

# Pflanzen auf Schwermetallstandorten im Ostalpenraum und deren Häufigkeitsverteilung

Wolfgang PUNZ und Ines Christine ORASCHE

Unter den Höheren Pflanzen im Ostalpenraum gibt es kaum Metallophyten sensu ANTONOVICS et al. auf Kupfer- und Galmeistandorten. Die meisten schwermetallresistenten Taxa gehören zu den Caryophyllaceen, Brassicaceen, Poaceen, Asteraceen, Lamiaceen, Scrophulariaceen und Violaceen. Am häufigsten finden sich hemikryptophytische, anemochore, autogame und Pionierpflanzenarten.

PUNZ W. & ORASCHE I. Ch., 1995: Occurrence and frequency of metallophytes at heavy metal sites in the Eastern Alps.

On copper and calamine soil, metallophytes sensu ANTONOVICS et al. are rarely found among higher plants in the Eastern Alps. The majority of metal-resistant taxa occur in Caryophyllaceae, Brassicaceae, Poaceae, Asteraceae, Lamiaceae, Scrophulariaceae and Violaceae. Hemicryptophytic, anemochoric, autogamic and pioneer species are most frequently found.

Keywords: metallophytes, "Erzpflanzen", Eastern Alps.

## Einleitung

Die Bergbaugeschichte in den Ostalpen, die nach einem verbreiteten Wort als „reich an armen Lagerstätten“ (LECHNER et al. 1964, HOLZER 1966) gelten, reicht bis in die Steinzeit zurück. Kupfer wurde als erstes Metall abgebaut, und zwar seit der Älteren Bronzezeit (etwa 1900-1700 v. Chr.) (KIRNBAUER 1968, BROOKS & JOHANNES 1993). Floristische Befunde von derartigen schwermetallreichen Sonderstandorten sind aus dem Alpenraum jedoch erst seit etwa 200 Jahren belegt: *Aethionema thomasianum* wurde von dem Waadländer Jacques GAY von Eisengruben bei Cogne in den Grajischen Alpen, *Iberis cepaeifolia* (heute *Thlaspi rotundifolium* ssp. *cepaeifolium*) von Franz Xaver VON WULFEN bei den Blei-/Zinkgruben von Raibl in den Karnischen Alpen beschrieben. Zu den beiden **erzholden** Blütenpflanzen kam eine größere Anzahl **chalkophiler** Moose und Flechten, wie GAMS in seiner Schrift über „Erzpflanzen der Alpen“ aus dem Jahr 1966 darlegt. Das Vorkommen von Erzflechten (also solchen Lichenen, welche zum Wachstum auf schwermetallhaltigem Substrat befähigt sind) ist im wesentlichen auf den zentralalpinen Raum mit seinen sauren Gesteinen beschränkt. Neben den bekannten „klassischen“ Standorten wie der Schwarzwand bei Großarl (Salzburg/A) und dem Pfunderer Berg bei Klau-

sen (Südtirol/I) (POELT 1955, GAMS 1966, 1972) finden sich Flechten verbreitet auf mehr oder weniger schwermetallreichem Gestein, wobei vor allem Arten aus den Gattungen *Acarospora*, *Bellemerea*, *Haematomma*, *Lecanora*, *Lecidea* und *Rhizocarpon* zu nennen sind (TÜRK, mündl. Mitt.). Die soziologischen Angaben für den Alpenraum gelten als spärlich; ausführlichere Angaben sind für den geplanten „Catalogus Lichenum Austriae“ zu erwarten, welcher der bereits publizierten Bibliographie von TÜRK & POELT (1993) in absehbarer Zeit folgen soll. Das Vorkommen von Moosen auf schwermetallreichen Substraten (Kupfer- und Galmeistandorte) wurde in jüngster Zeit von ZECHMEISTER & PUNZ (1990) bearbeitet. Die meisten der vorkommenden Moosarten wachsen keineswegs nur auf schwermetallreichen Standorten, großenteils handelt es sich um lichtliebende, thermophile Arten, die bevorzugt an Pionierstandorten vorkommen. Eine Ausnahme bilden die in der Literatur reichlich dokumentierten sogenannten „Kupfermoose“ mit den „klassischen“ Vertretern *Mielichhoferia mielichhoferi*, *M. elongata*, *Merceya* (= *Scopelophila*) *ligulata*, *Grimmia atrata* sowie *Gymnocolea acutiloba*, *Cephaloziella phyllacantha*, *C. massalongoi*, die in ihrem Vorkommen im Untersuchungsgebiet auf Kupferstandorte beschränkt sind; hinzu kommen noch einige häufige Begleiter. Bryosoziologisch wurden hierfür von ZECHMEISTER & PUNZ (1990) die beiden Subassoziationen Rhacomitrio-Andreaeetum rupestris mielichhoferietosum und Pogonatetum urnigeri mielichhoferetosum vorgeschlagen. Eine umfassende Zusammenstellung der Moosflora Österreichs wird von GRIMS und anderen vorbereitet.

Demgegenüber sind Angaben über das Vorkommen **Höherer Pflanzen** über schwermetallreichem Substrat im Ostalpenraum bis weit in dieses Jahrhundert hinein dürftig geblieben, wenn man einmal vom Spezialfall der Serpentinflora („serpentine factor“, vgl. WENDELBERGER 1974, GAMS 1975, PROCTOR & WOODELL 1975, MUNTEAN 1977, BROOKS 1987, ROBERTS & PROCTOR 1992, BAKER et al. 1992, JUSTIN 1993 u.v.a.) absieht. Auf Grund der Untersuchungen von ERNST (1974) in den sechziger Jahren sowie deren Zusammenfassung im Rahmen seines Standardwerks „Schwermetallvegetation der Erde“ wurden die alpinen Schwermetallrasen als Verband *Galio anisophylli-Minuartion verna* zusammengefaßt und der Klasse der euro-west-sibirischen Schwermetallpflanzengesellschaften *Violetea calaminariae* zugeordnet (ERNST 1974), wobei als Klassenkennarten Schwermetallökotypen von *Minuartia verna* und *Silene vulgaris* angeführt werden. Das völlige Fehlen von Angaben aus dem kristallinen (= zentralalpinen) Bereich ist bereits von SAUKEL (1980) kritisiert worden. Viele der floristischen Befunde erscheinen im Licht neuerer Arbeiten — stellvertretend für alle sei FISCHER (1994) genannt — nicht mehr haltbar; die soziologische Zuordnung nicht

nur der Serpentinegesellschaften (HORVAT et al. 1974, NIKLFELD 1979) zu den Violetea calaminariae ist mehrfach in Zweifel gezogen und zuletzt völlig verworfen worden. In dem Sammelwerk „Die Pflanzengesellschaften Österreichs“ werden die beschriebenen „Schwermetallgesellschaften“ fünf verschiedenen Klassen zugewiesen: das Marsupelletum emarginatae (in der Subassoziation mielichhoferetosum) den Montio-Cardaminetea (ZECHMEISTER 1993); das Sileno rupestris-Asplenietum septentrionalis und das Notholaeno-Sempervivetum hirti den Asplenitea trichomanis (MUCINA 1993); das Thlaspietum cepaeifolii und die Minuartia gerardii (Thlaspion)-Gesellschaft den Thlaspietea rotundifolii (ENGLISCH et al. 1993); das Armerio-Potentilletum arenariae den Festuco-Brometea (MUCINA & KOLBEK 1993); schließlich das Festuco eggleri-Pinetum und das Festuco ovinae-Pinetum den Vaccinio-Piceetea (WALLNÖFER 1993). Nach Auffassung der genannten Autoren gibt es also in den Ostalpen keine Violetea calaminariae.

Der Erstautor der vorliegenden Arbeit hat in den vergangenen Jahren auf Grund von Literaturauswertungen, vorwiegend aber durch eigene Feldstudien reiches Material zur Flora auf Galmei- und Kupferstandorten im Ostalpenraum zusammengetragen (Gesamtüberblick zuletzt bei PUNZ 1991, 1992; regionale Arbeiten: PUNZ et al. 1990b, 1994 [Tirol]; PUNZ et al. 1990a [Steiermark]; PUNZ & SCHINNINGER 1995, PUNZ & MAIER 1995 [Kärnten]; außerdem: ZECHMEISTER & PUNZ 1990 [Moose]). Der Umfang des vorhandenen Materials scheint es zu rechtfertigen, eine erste Zwischenbilanz zur Häufigkeitsverteilung der ostalpinen Metallophyten vorzulegen. Wie dargestellt, beschränken sich die Befunde auf die Kupfer- und Galmeistandorte; auf eine laufende Revision der Flora österreichischer Serpentinstandorte (JUSTIN, zuletzt 1993) darf hingewiesen werden.

## Methodik

Die vorgestellten Ergebnisse zur Metallophytenflora im Ostalpenraum basieren auf der Auswertung der floristischen Daten von 56 Galmei- und 13 Kupferstandorten. Die Primärdaten wurden vom Autor kompiliert und ausgewertet (ausführlich bei PUNZ 1992), weitere Berechnungen erfolgten durch ORASCHE (1993). Eine Standortübersicht findet sich in Abbildung 1; weitere Angaben zur Lage der Lokalitäten samt Literaturhinweis finden sich bei PUNZ (1991). Bei der Bewertung der floristischen Daten ist zu beachten, daß die vorhandenen Unterlagen heterogen sind: kleinstflächige Standorte stehen neben ausgedehnten Haldensystemen; die Substratkonzentration kann relativ gering, aber auch extrem hoch sein; während von einigen Standorten

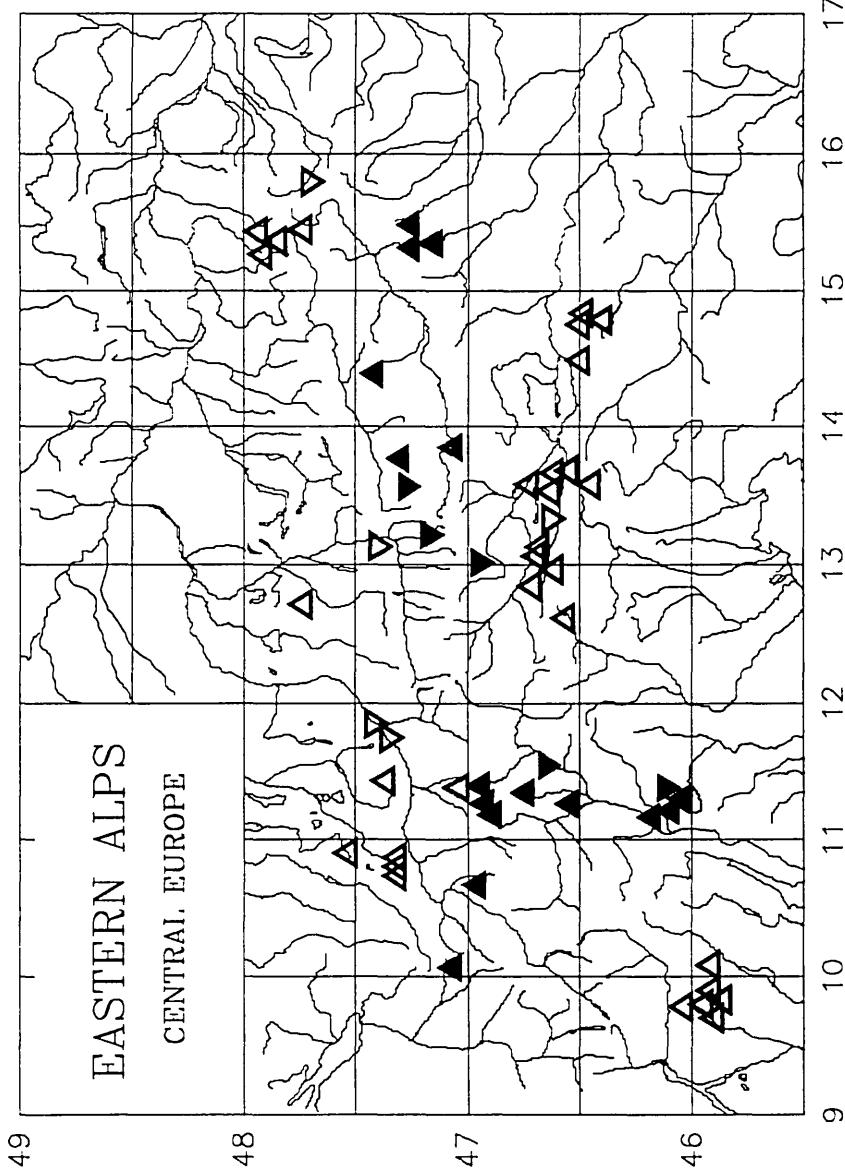


Abb. 1: Schwermetallstandorte im Ostalpenraum, welche für die Auswertung der floristischen Daten (Höhere Pflanzen) herangezogen wurden (Breite  $\times$  Länge in Grad und Minuten in Form einer vierstelligen Zahl). Weitere Angaben zu den einzelnen Standorten bei PUNZ (1991, 1992).  
**A:**  $\Delta$  Galmeistandorte über Kalk; **B:**  $\blacktriangle$  Galmeistandorte über nichtkalkigem Untergrund; **C:**  $\nabla$  Kupferstandorte über Kalk; **D:**  $\blacktriangledown$  Kupferstandorte über nichtkalkigem Untergrund. Aus darstellungstechnischen Gründen (Maßstab!) konnten die Standorte nicht in allen Fällen als eigenes Symbol wiedergegeben werden; einzelne, dicht beieinander liegende Standorte wurden der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt, sind aber in der nachfolgenden Übersicht enthalten. — Localities with high substrate metal concentration in the area of the Eastern Alps used for the calculation of metallophyte frequency (higher plants), followed by latitude  $\times$  longitude. **A:** calamine on calcareous soil ( $\Delta$ ); **B:** calamine on non calcareous soil ( $\blacktriangle$ ); **C:** copper on calcareous soil ( $\nabla$ ); **D:** copper on non calcareous soil ( $\blacktriangledown$ ). Owing to technical reasons (scale!), not in all cases the localities are given with their own symbols. Distinct sites closely situated to each other have not been mapped out for reasons of visibility, although they are presented in the list below. See also PUNZ (1991, 1992).

- A:** Alpe Grem 4553  $\times$  0950, Arera 4555  $\times$  0948, Arnoldstein 4633  $\times$  1341, Bibervier 4732  $\times$  1054, Bleiberg 4637  $\times$  1340, Brandmauer 4755  $\times$  1516, Cave del Predil 4627  $\times$  1335, Cma. di Grem 4555  $\times$  0950, Cma. di Menna 4556  $\times$  0947, Comelico 4634  $\times$  1237, Crna/Pecnik-Peca 4628  $\times$  1449, Gafleintal 4719  $\times$  1048, Galmekogel 4751  $\times$  1522, Hochobir 4630  $\times$  1429, Inzeller Kienberg 4744  $\times$  1243, Jauken 4642  $\times$  1304, Koflergraben 4640  $\times$  1338, Kohlanger/Frein 4744  $\times$  1527, Kreuzen 4641  $\times$  1335, Lafatschi/Kastenalm 4722  $\times$  1126, Lumkofel 4643  $\times$  1251, Mte. Castello 4554  $\times$  0942, Mte. Golla 4556  $\times$  0949, Mte. Secco 4555  $\times$  0954, Obernberg/Brenner 4700  $\times$  1123, Peroli bassa 4552  $\times$  0950, Petzen 4630  $\times$  1445, Polinik 4637  $\times$  1258, Presolana 4555  $\times$  1005, Pzo. Arera 4556  $\times$  0948, Rauchberg 4719  $\times$  1047, Reißkofel 4641  $\times$  1308, Schwarzenberg 4756  $\times$  1526, Stopa 4629  $\times$  1450, Tegetal 4719  $\times$  1044, Terce 4628  $\times$  1447, Tschekelnock 4638  $\times$  1332, Wanneck 4719  $\times$  1052.
- B:** Arzberg 4715  $\times$  1529, Cinque valli 4603  $\times$  1121, Deutschfeistritz 4712  $\times$  1521, Doss le Grave 4607  $\times$  1110, Faedo 4611  $\times$  1110, Gaflunatal 4704  $\times$  1004, Ladurns 4656  $\times$  1122, Nogare 4606  $\times$  1113, Pflerschatal 4657  $\times$  1124, Rabenstein/Frohnleiten 4715  $\times$  1519, Rabenstein/Sarmal 4645  $\times$  1121, Ramingstein 4704  $\times$  1351, Ridnaun 4656  $\times$  1116, Schladming 4718  $\times$  1342, Schneeberg 4654  $\times$  1111, Terlan 4633  $\times$  1116, Tösens 4658  $\times$  1040, Zinkenkogel 4725  $\times$  1423.
- C:** Falkenstein 4721  $\times$  1144, Guggenberg 4638  $\times$  1320, Hochkönig/Hochkail 4724  $\times$  1308, Knappenberg 4742  $\times$  1548, Koglmoos 4721  $\times$  1145, Ringenwechsel 4722  $\times$  1147, St. Gertraudi 4725  $\times$  1151.
- D:** Großfragant 4657  $\times$  1301, Hermelehof 4607  $\times$  1123, Pfundererberg 4639  $\times$  1133, Schwarzwand 4710  $\times$  1313, Seekaralm 4716  $\times$  1334, Toferalm 4710  $\times$  1311.

nur einzelne Arten angegeben sind, liegen anderswo umfangreiche floristisch-soziologische Bearbeitungen vor; die floristischen Angaben entsprechen zum Teil nicht dem neuesten Stand, ohne daß Revisionen vorliegen. Die Namen der Höheren Pflanzen sind nach EHRENDORFER (1973) bzw. FISCHER (1994), diejenigen der Moose nach FRAHM & FREY (1983) wiedergegeben.

## Ergebnisse

In der Folge ist die Auswertung der Angaben zum Vorkommen von Höheren Pflanzen wiedergegeben, wobei zunächst auf die Galmei- und anschließend auf die Kupferstandorte eingegangen wird.

### Galmeistandorte

Auf den 56 bearbeiteten Galmeistandorten sind Spermatophytenarten insgesamt 1081mal, Pteridophyten (verteilt auf 12 Gattungen) 40mal genannt. Das Vorkommen der Spermatophyten verteilt sich auf folgende Familien (**a** = Anzahl der auftretenden Gattungen; **b** = Anzahl der Arten; **c** = Anzahl der Artnennungen; **d** = **c** in Prozent sämtlicher Artnennungen):

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>
Caryophyllaceae	10	29	154	14,2 %
Poaceae	23	48	124	11,5 %
Brassicaceae	17	30	91	8,4 %
Asteraceae	27	44	93	8,6 %
Lamiaceae	13	19	61	5,6 %
Scrophulariaceae	11	21	59	5,5 %
Fabaceae	14	22	46	4,3 %
Rubiaceae	2	8	42	3,9 %
Rosaceae	15	18	35	3,2 %
Campanulaceae	2	11	31	2,9 %
Violaceae	1	5	20	1,8 %
Ranunculaceae	8	17	21	1,9 %
Saxifragaceae	1	12	17	1,6 %
Orchidaceae	4	8	21	1,9 %
Salicaceae	1	11	20	1,8 %

Apiaceae	12	15	18	1,7 %
Crassulaceae	2	6	18	1,7 %
Cyperaceae	2	11	13	1,2 %
Ericaceae	6	9	11	1,0 %
Juncaceae	2	5	9	0,8 %
Polygonaceae	2	2	7	0,6 %

Die restlichen 26 % teilen sich insgesamt 35 Familien mit insgesamt 47 Gattungen und 76 Arten (in Klammer: Anzahl der Gattungen/der Arten): Adoxaceae (1/1), Asclepiadaceae (1/1), Berberidaceae (1/1), Betulaceae (2/3), Boraginaceae (3/4), Caprifoliaceae (2/2), Chenopodiaceae (1/1), Cistaceae (1/4), Corylaceae (2/2), Cupressaceae (1/1), Dipsacaceae (2/5), Fagaceae (1/1), Gentianaceae (1/6), Geraniaceae (1/2), Globulariaceae (1/2), Hypericaceae (1/1), Lentibulariaceae (1/2), Liliaceae (5/5), Linaceae (1/2), Oleaceae (1/1), Onagraceae (1/3), Orobanchaceae (1/1), Papaveraceae (2/2), Parnassiaceae (1/1), Pinaceae (4/5), Plantaginaceae (1/3), Plumbaginaceae (1/2), Polygalaceae (1/5), Primulaceae (2/2), Pyrolaceae (1/1), Resedaceae (1/1), Rhamnaceae (1/1), Santalaceae (1/2), Solanaceae (1/1), Thymelaeaceae (1/1), Valerianaceae (1/4).

Geordnet nach dem Substrat, ergibt sich folgende Häufigkeitsreihung der vorkommenden Arten (in Klammer: Anzahl der Nennungen):

Kalkuntergrund: *Silene vulgaris* (30), *Minuartia gerardii* (28), *Galium anisophyllum* (27), *Poa alpina* (21), *Thymus praecox* (19), *Anthyllis vulneraria* (11), *Viola dubiana* (10), *Scrophularia juratensis* (10), *Euphrasia salisburgensis* (10), *Festuca ovina* (9), *Epipactis atrorubens* (9), *Dianthus sylvestris* (9), *Solidago virgaurea* (8), *Cardaminopsis halleri* (8), *Biscutella laevigata* (7), *Lotus corniculatus* (7), *Campanula cochleariifolia* (7), *Geranium robertianum* (6), *Calamintha alpina* (6), *Silene pusilla* (6), *Thlaspi rotundifolium* (6).

„Nichtkalkiger“ Untergrund: *Silene rupestris* (11), *Silene vulgaris* (6), *Betula pendula* (6), *Cardamine resedifolia* (6), *Linaria alpina* (5), *Avenella flexuosa* (4), *Agrostis stolonifera* (4), *Anthoxanthum odoratum* (4), *Galium anisophyllum* (4), *Poa alpina* (4), *Silene nutans* (4), *Pinus sylvestris* (4), *Picea abies* (3).

Die häufigsten Arten der Farnpflanzen sind (in Klammer angegeben: Anzahl der Vorkommen auf kalkigem bzw. nichtkalkigem Untergrund): *Asplenium viride* (7/4), *Asplenium ruta-muraria* (3/-), *Cystopteris fragilis* (3/1), *Gymno-*

*carpium robertianum* (2/1), *Asplenium septentrionale* (-/4); die häufigsten Bryophyten sind *Tortella tortuosa* (15/-), *Bryum caespiticium* (8/1), *Cephaloziella starkei* (8/-), die häufigsten Flechten *Cladonia pyxidata* (13/2), *Stereocaulon alpinum* (-/3), *Lecanora polytropa* (-/2).

Folgt man der Einteilung von ELLENBERG (1982), so verteilen sich die auf den Galmeihalden vorgefundenen Spermatophytenarten auf folgende Lebensformen: Hemikryptophyten 220 (56,7 %); Chamaephyten, holzig 25 (6,4 %) bzw. krautig 47 (12,1 %); Geophyten 30 (7,7 %); Phanerophyten 18 (4,6 %); Nanophanerophyten 23 (5,9 %); Therophyten 23 (5,9 %); Hydrophyten 2 (0,5 %). Von den vorkommenden Pflanzen rubrizieren unter Halbparasiten 7 Arten, unter Lianen 5, schwermetalltoleranten Typen 3 und schwermetallresistenten Ökotypen ebenfalls 3 Spezies. Die mittleren ökologischen Zeigerwerte (mit Standardabweichung) ergeben folgendes Bild: Lichtzahl (L):  $7,17 \pm 1,37$ ; Temperaturzahl (T):  $3,93 \pm 1,99$ ; Kontinentalitätszahl (K):  $3,90 \pm 1,32$ ; Feuchtigkeitszahl (F):  $4,72 \pm 1,62$ ; Reaktionszahl (R):  $6,64 \pm 2,19$ ; Stickstoffzahl (N):  $3,55 \pm 1,94$ .

Entsprechend der Klassifikation von OBERDORFER (1979) machen die Pionierpflanzen mit 101 Arten rund 22,4 % von insgesamt 451 Arten aus, der entsprechende Anteil der Arten mit Angaben „Steinschutt, -halden“ liegt mit 68 Spezies bei 15,1 %. Was die Samenverbreitung betrifft, so stehen 64 anemochoren Arten 22 myrmekochore, 43 zoochore, 3 autochore und 2 hydrochore Arten gegenüber. Hinsichtlich der Bestäubung sind 203 Spezies als entomogam, 5 als anemogam und 47 als autogam auszuweisen.

Das Arealtypenspektrum der bei OBERDORFER aufscheinenden Arten verteilt sich folgendermaßen: submediterran 115 (westsubmediterran 3, ostsubmediterran 11), eurasiatisch 117 (eurasiatisch-kontinental 24, eurasiatisch-subozean 56), subatlantisch 24, gemäßigt-kontinental 17, präalpin 97 (westpräalpin 4, ostpräalpin 16), alpin 130 (westalpin 6, ostalpin 17), alpin-altaisch 8, nordisch 73 (nordisch-subozeanisch 9, nordisch[-kontinental] 3), circum-nordisch 37, arktisch 38 (arktisch-subozeanisch 12, arktisch[-kontinental] 3, arktisch[-ozeanisch] 1), mediterran 7 (mediterran[-kontinental] 1), europäisch-kontinental 3, gemäßigt 1.

### Kupferstandorte

Auf den hier ausgewerteten 13 Kupferstandorten sind insgesamt 186 Spermatophyten- und 11 Pteridophytenarten genannt. Geordnet nach den häufigsten Familien, ergibt sich für die Spermatophyten folgendes Bild (**a** = Anzahl der auftretenden Gattungen; **b** = Anzahl der Arten; **c** = Anzahl der Artennnungen; **d** = **c** in Prozent sämtlicher Artennnungen):

	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>
Asteraceae	10	15	23	12,3 %
Poaceae	10	14	22	11,8 %
Caryophyllaceae	5	8	18	9,6 %
Pinaceae	4	4	16	8,6 %
Betulaceae	2	5	12	6,4 %
Ericaceae	3	5	11	5,9 %
Scrophulariaceae	4	6	8	4,3 %
Brassicaceae	4	7	7	3,7 %
Saxifragaceae	1	3	6	3,2 %
Salicaceae	2	3	6	3,2 %
Polygonaceae	2	4	6	3,2 %
Rosaceae	4	4	6	3,2 %
Campanulaceae	1	2	5	2,7 %
Cyperaceae	1	3	5	2,7 %
Juncaceae	2	3	5	2,7 %

Die restlichen 16,5 % teilen sich insgesamt 14 Familien mit insgesamt 17 Gattungen und 20 Arten (in Klammer: Anzahl der Gattungen/der Arten): Aceraceae (1/1), Apiaceae (2/2), Fagaceae (1/1), Lamiaceae (2/2), Liliaceae (1/1), Onagraceae (1/1), Orchidaceae (2/2), Oxalidaceae (1/1), Polygalaceae (1/2), Pyrolaceae (1/2), Ranunculaceae (1/1), Rubiaceae (1/1), Santalaceae (1/1), Valerianaceae (1/2).

Auf nichtkalkigem Substrat ergibt sich für die Arten folgende Häufigkeitsreihung: *Silene vulgaris* (7), *Picea abies* (5), *Larix decidua* (5), *Alnus viridis* (4), *Acer pseudoplatanus* (4), *Saxifraga stellaris* (4). Die drei Kupferstandorte über kalkigem Substrat waren extrem artenarm.

Die häufigsten Farnpflanzen sind (in Klammer: Anzahl des Vorkommens auf kalkigem bzw. nichtkalkigem Untergrund): *Asplenium viride* (-/3), *Asplenium ruta-muraria* (-/2), *Dryopteris villarii* (1/-). Für die Moose stammen fast alle Angaben von Standorten mit nichtkalkigem Substrat; von den Flechten treten auf Kalk Arten der Gattungen *Cladonia* (7), *Stereocaulon* (2) und *Cetraria* (1), auf nichtkalkigem Untergrund solche von *Lecanora* (4), *Rhizocarpon* (3), *Cetraria* (2), *Cladonia* (2) und *Stereocaulon* (2) auf.

Folgt man der Einteilung von ELLENBERG (1982), so verteilen sich die auf den Kupferhalden vorgefundenen Spermatophytenarten auf folgende Lebensformen: Hemikryptophyten 55 (49,6 %); Chamaephyten, holzig 7 (6,3 %) bzw. krautig 11 (9,9 %); Geophyten 11 (9,9 %); Phanerophyten 14 (12,6 %); Nanophanerophyten 6 (5,4 %); Therophyten 7 (6,3 %). Von den vorkommenden Pflanzen rubrizieren unter Halbparasiten 4 Arten, unter Lianen 1 und unter schwermetallresistenten Ökotypen 3 Arten. Die mittleren ökologischen Zeigerwerte (mit Standardabweichung) ergeben folgendes Bild: Lichtzahl (L):  $6,80 \pm 1,53$ ; Temperaturzahl (T):  $3,45 \pm 1,63$ ; Kontinentalitätszahl (K):  $3,59 \pm 1,30$ ; Feuchtigkeitszahl (F):  $5,19 \pm 1,69$ ; Reaktionszahl (R):  $5,48 \pm 2,74$ ; Stickstoffzahl (N):  $3,59 \pm 2,00$ .

Entsprechend der Klassifikation von OBERDORFER (1979) machen die Pionierpflanzen mit 29 von insgesamt 107 verglichenen Arten 27,1 % aus, der Anteil der Arten mit Angaben „Steinschutt, -halden“ liegt bei 16,8 % (= 18 Spezies). Für das Merkmal der Samenverbreitung ergab sich eine Verteilung von 22 anemochoren, 8 myrmecochoren, 1 autochoren und 5 zoothoren Arten. Hinsichtlich der Bestäubung sind 53 Arten als entomogam, 11 als autogam und 3 als anemogam anzusehen. Das Arealtypenspektrum der bei OBERDORFER aufscheinenden Arten verteilt sich folgendermaßen: submediterran 23, eurasiatisch 35 (eurasiatisch-kontinental 6, eurasiatisch-subozeanisch 18), subatlantisch 5, gemäßigt-kontinental 1, präalpin 38, alpin 37, alpin-altaisch 1, nordisch 38 (nordisch-subozeanisch 5, nordisch [-kontinental] 2), circum-nordisch 15, arktisch 15 (arktisch-subozeanisch 7), mediterran 1.

## Diskussion

Gibt es überhaupt „Erzpflanzen“ im Ostalpenraum? Für das Gebiet des Ostalpenraums ist sicherlich nur von einer geringen Zahl „eumetallophytischer“ Taxa auszugehen: über Galmeiböden sind dies, wie zuletzt von PUNZ et al. (1993) ausgeführt wurde, *Thlaspi rotundifolium* ssp. *cepaeifolium*, *Alyssum wulfenianum* und *Viola tricolor* ssp. *subalpina* var. *raiblensis*, alle drei von einem „klassischen“ Galmeistandort, nämlich den blei-/zinkhältigen Böden im Bergaugebiet Raibl — Cave del Predil (Friaul/Italien). Auf ophiolithischem Substrat können nach JUSTIN (1993) etwa *Asplenium adulterinum*, *A. cuneifolium*, *A. scolopendrium*, *Myosotis stenophylla*, *Notholaena marantha*, *Potentilla crantzii* ssp. *serpentinii* und *Veronica scardica* als Serpentinophyten gelten. Im übrigen bedürfte es für eine angemessene Antwort einer begrifflichen Klärung: ob man nämlich Erzpflanzen (auch

Chalko- oder Metallophyten) mit ANTONOVICS et al. (1971) als „taxa found only on metal contaminated soil“ definiert und sie den Pseudometallophyten („taxa occurring both on contaminated soils and on normal soils in the same region“) gegenüberstellt (vgl. BROOKS 1987: obligate und fakultative Serpentinophyten) oder ob man den Begriff mit ERNST et al. (1990) erweitert auf „alle Pflanzen, die eine Population in schwermetallreicher Umgebung aufrechterhalten können“. Eine ausführlicher Erörterung dieser Problematik findet sich bei PUNZ (in press).

Wie sieht nun die einleitend in Aussicht gestellte Bilanz zur Häufigkeitsverteilung ostalpiner Metallophyten aus, oder, anders gefragt, welche systematischen Gruppen sind im Bereich der Ostalpen zum Ertragen hoher Bodenschwermetallgehalte befähigt, bringen also schwermetallresistente Metallophyten hervor? An dieser Stelle sei hervorgehoben, daß wir entgegen dem verbreiteten Usus in den angelsächsischen Publikationen den Oberbegriff Resistenz bevorzugen, der nach LEVITT [1972, 1980] die beiden Komponenten „avoidance“ und „tolerance“ einschließt. An der Spitze der Liste steht hier mit den **Caryophyllaceen** eine Familie, die (ebenso wie die Brassicaceen, jedoch mit unterschiedlichem physiologischem Hintergrund) sowohl auf Kalkböden wie auch unter halischen Bedingungen zahlreiche Vertreter aufzuweisen hat. Dies liegt vor allem an ihrer Fähigkeit, die „zellinterne“ Kationenkonzentration — in der Regel über die Bildung von Oxalat — niedrig zu halten (ausführlicher hierzu wie überhaupt zum Konzept des „Physiotypus“: ALBERT 1982, KINZEL 1982). Insbesondere die Gattung *Silene* ist zu nennen. Sie stellt mit der Art *vulgaris* (häufig in der Unterart *glareosa*) den erfolgreichsten Besiedler auf ostalpinen Schwermetallstandorten überhaupt. Die *Silene*-Arten *rupestris*, *alpina* und *pusilla* sind zur Besiedlung zumindest mäßig schwermetallbelasteter Standorte befähigt. *Silene rupestris* tritt als Kennart des Sileno rupestris-Asplenietum septentrionalis auf metamorphen Gesteinen mit hohem Schwermetallgehalt auf (PUNZ & ENGENHART 1990, MUCINA 1993, PUNZ et al. 1993). *Minuartia gerardii* — alle früheren Angaben von *M. verna* im alpinen Gebiet sind taxonomisch wohl als *M. gerardii* aufzufassen (vgl. FISCHER 1994) — wird, ebenso wie *Armeria maritima*, im Sinne der Paläoendemismushypothese (STEBBINS 1942, siehe dagegen ANTONOVICS et al. 1971; vgl. hierzu ERNST 1969, 1990) als Glazialrelikt auf den offenen Schwermetallstandorten angesehen und tritt als Dominante der *Minuartia gerardii*-(*Thlaspiion*)-Gesellschaft im schwermetallreichen Schutt der Nördlichen Kalkalpen auf (MUCINA 1993).

Zahlreiche Befunde zur Schwermetallresistenz von Mitgliedern der **Poaceen** — vor allem zu *Agrostis*, *Deschampsia*, *Festuca*, *Anthoxanthum* — liegen

seit BRADSHAW (1952) in der Literatur vor (Überblick unter anderem bei ANTONOVICS et al. 1971, BRADSHAW & CHADWICK 1980). Dieses Faktum erklärt BAKER (1987) mit der „unverhältnismäßigen“ Größe der genannten Familie. Diese Erklärung greift wohl zu kurz, denn sie berücksichtigt in keiner Weise bekannte ökophysiologische Befunde (vgl. hierzu die Ausführungen bei PUNZ & SIEGHARDT 1993). Dies wird von der Tatsache unterstrichen, daß Gräser niemals als Hyperakkumulatoren genannt worden sind (BAKER & BROOKS 1989) und ausgeprägte „Excluder-Eigenschaft“ zeigen — also die Fähigkeit besitzen, die Schwermetallkonzentrationen im Sproß trotz hoher Bodengehalte weitgehend konstant und niedrig zu halten (BAKER 1981, PUNZ & SIEGHARDT 1993).

Vertreter der **Brassicaceen** sind auf Grund ihres spezifischen Physiotypus (KINZEL 1982), namentlich dank ihrer Fähigkeit, Kationen mit Hilfe aufgenommener und synthetisierter Gegenionen in gelöster Form anreichern zu können, zur Besiedlung von Kalk- und Salzböden imstande. Es darf angenommen werden, daß derartige Mechanismen auch bei schwermetallbewohnenden Arten zum Tragen kommen könnten, wobei ein Zurücktreten über Kupferböden wohl auf die stark erhöhte Fähigkeit zur Kupferspeicherung (und damit das raschere Erreichen einer internen toxischen Konzentration) zurückzuführen sein wird (MUTSCH 1981, POPP 1982). Auffällig ist, daß — anders als beispielsweise bei den Poaceen — unter den Brassicaceen die Tendenz zur Akkumulation von Schwermetallionen in oberirdischen Pflanzenorganen ausgeprägt sein dürfte (Ausnahme: Blei), sie also beinahe generell als „accumulator“-Typ im Sinne von BAKER (1981) angesprochen werden können (PUNZ & SIEGHARDT 1993, PUNZ & SCHINNINGER 1995, PUNZ et al. 1994). Im Untersuchungsgebiet sind vor allem *Thlaspi rotundifolium* ssp. *cepaefolium* (Raibl, siehe oben), *Thlaspi caerulescens* (= *alpestre*) (Ramingstein), *Thlaspi rotundifolium* ssp. *rotundifolium* sowie die südostalpine Art *Thlaspi minima* (= *kernerii*) zu nennen. Weitere vorkommende Brassicaceen sind die „Erzblume“ *Cardaminopsis halleri* (HEGI 1908 ff., ERNST 1968, MELZER 1988) und *Cardamine resedifolia*, im Gebiet ein Zink-Akkumulator (PUNZ et al. 1994).

Die Familie der **Asteraceen** stellt keine „klassischen“ Chalkophyten. Möglicherweise steht das häufige Vorkommen von Vertretern dieser sehr erfolgreichen Gruppe als Begleiter (so etwa *Achillea*: SHIMWELL & LAURIE 1972, ERNST 1976) mit bloßen Vermeidungsstrategien, wie sie für „accidental metallophytes“ (BAKER 1987) häufig nachgewiesen wurden, in Zusammenhang. Die Frequenz der **Lamiaceen** ist vor allem durch *Thymus*-Arten (vgl. ERNST 1974), die der **Scrophulariaceen** durch das Vorkommen von *Euphrasia* (Fähigkeit zur erhöhten Schwermetallaufnahme: ERNST 1965, 1972,

1990), *Scrophularia* und *Linaria* bedingt. Unter den **Violaceen** finden sich neben der bereits erwähnten *Viola tricolor* ssp. *subalpina* var. *raiblensis* noch *Viola dubyana* BURNAT ex GREMLI („spesso in strati ricchi di metalli pesanti“, PIGNATTI 1982) sowie *Viola lutea* ssp. *sudetica* (MELZER 1979). Von den übrigen Pflanzen und -gruppen sind es oft nur einzelne Taxa, die für ihre Schwermetallresistenz — also zumindest für ihr Vorkommen auf schwermetallhaltigen Böden — bekannt sind. Hierzu zählen etwa: *Linum catharticum* (ERNST 1968), *Rumex acetosa* (SCHWANITZ & HAHN 1954), *Thesium* (ERNST 1990), *Anthyllis*, *Lotus* (GAMS 1966).

Farnpflanzen treten häufig über ophiolithischem Substrat (Serpentinfarne [!]; für das Gebiet zuletzt JUSTIN 1993), aber auch auf anderen Schwermetallstandorten auf. Schon ERNST (1974) stellte fest, daß die — wenigen — Angaben über Farnpflanzen auf eine geringe Schwermetallaufnahme hindeuten; insgesamt dürfte also die „avoidance“-Komponente der Resistenz eine wesentliche Rolle spielen.

Der vorangegangene Überblick galt den Familien mit zahlreichen Vertretern auf Schwermetallböden. Umgekehrt gibt es auch jenes Phänomen, welches MUNTEAN (1977) und andere Autoren beschrieben und KRUCKEBERG & KRUCKEBERG (1990) folgendermaßen formuliert haben: "Entire families appear to avoid metalliferous substrate", zu deutsch: daß ganze [Gattungen und] Familien um metallhaltige Substrate ganz offensichtlich „einen Bogen machen“. Hierzu zählen offenbar die (auch von den genannten Autoren angeführten) Rosaceen, weiterhin auch große Familien (zur Familiengröße im Gebiet vgl. FISCHER & HÖRANDL 1994) wie die Ranunculaceen, Apiaceen (vgl. hierzu die Feststellung von BAKER & PROCTOR 1990 für die Britischen Inseln) und — mit wenigen bemerkenswerten Ausnahmen (GAMS 1966, RASCIO 1977) — die Fabaceen.

Die Besprechung der ökologischen Auswertung muß berücksichtigen, daß die Angaben in den herangezogenen Werken (OBERDORFER, ELLENBERG) nur bedingt für den Alpenraum Gültigkeit haben. In bezug auf die Lebensformen entspricht das Hervortreten von Hemikryptophyten auf den offenen Haldenstandorten generell sowohl der Erwartung wie auch den Literaturangaben — so etwa für „pit heaps“ in England (HALL 1957) oder die scoricolae Vegetation über Hochofenschlacke in Österreich (PUNZ 1989), wengleich die Befunde eher wenig spektakulär erscheinen. Phanerophyten und Chamaephyten kommen selten, Therophyten etwas häufiger vor als im mitteleuropäischen Durchschnitt. Auch die ökologischen Zeigerwerte spiegeln die übliche Haldensituation — also lichtreich, eher kühl (auf Grund der zahlreichen Standorte oberhalb der montanen Stufe) und kontinental —, sind

aber ansonsten auf Grund der hohen Standardabweichung nicht sehr aussagekräftig.

Bei den Angaben zur Samenverbreitung reflektiert der hohe Anteil an Anemochoren zumindest teilweise den Umstand, daß diese Ausbreitungsformen bei der raschen Besiedlung gestörter Standorte (wie sie Halden darstellen) einen Konkurrenzvorteil besitzen. Freilich kommt auch Zoochorie, insbesondere Myrmekochorie recht häufig vor; letztere ist hauptsächlich für die nähere Umgebung relevant, da Myrmekochorie lediglich zu einer Verbreitung von einigen Metern pro Jahr führt (ERNST 1990). Was die Bestäubungsmechanismen anlangt, so erwartet BAKER (1987) einen erhöhten Anteil an Autogamen unter den Schwermetallpflanzen (zur Vermeidung des Genflusses zwischen angepaßten resistenten Populationen und den nicht resistenten Populationen der Umgebung), was von unseren Befunden zumindest gestützt wird. Der vorherrschende Bestäubungsmechanismus ist allerdings (auf der Grundlage der OBERDORFERSchen Angaben) die Entomogamie. Das Überwiegen von Pionier- bzw. Steinschuttarten sowie der alpinen Arten entspricht ebenfalls der Erwartung. Das Arealtypenspektrum zeigt bei Überwiegen alpiner Arten eine hohe Frequenz eurasischer, submediterraner, praeralpiner und nordischer Arten — ebenfalls ein nicht ungewöhnliches Bild angesichts der Verteilung der untersuchten Galmei- und Kupferstandorte im Ostalpenraum (vgl. auch ERNST 1965).

Gemäß der Themenstellung geht diese Arbeit nur marginal auf die physiologischen Grundlagen der pflanzlichen Adaptation an Schwermetallstandorte ein. Wir möchten allerdings betonen, daß die bisher vorliegenden Untersuchungen noch keineswegs für eine umfassende Erklärung der Schwermetallresistenz ausreichen. Angesichts der zahlreichen möglichen pflanzlichen Resistenzstrategien (Überblick bei SCHLEE 1992) sollten nach unserer Auffassung in zukünftigen Untersuchungen ökophysiologische und anatomisch/morphologische Aspekte (vgl. hierzu die Ausführungen bei PUNZ & SIEGHARDT 1993) verstärkt Berücksichtigung finden.

## Literatur

- ALBERT R., 1982: Halophyten. In: KINZEL H. (Ed.), Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel, p. 33-215. E. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- ANTONOVICS J., BRADSHAW A. D. & TURNER R. G., 1971: Heavy metal tolerance in plants. Adv. Ecol. Res. 7, 1-85.

- BAKER A. J. M., 1981: Accumulators and excluders — strategies in the response of plants to heavy metals. *J. Pl. Nutr.* 3, 643-654.
- BAKER A. J. M., 1987: Metal tolerance. *New Phytologist* 106, 93-111.
- BAKER A. J. M. & BROOKS R. R., 1989: Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements — a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1, 81-126.
- BAKER A. J. M. & PROCTOR J., 1990: The influence of cadmium, copper, lead and zinc on the distribution and evolution of metallophytes in the British Isles. *Pl. Syst. Evol.* 173, 91-108.
- BAKER A. J. M., PROCTOR J. & REEVES R. D., 1992: The vegetation of ultramafic (serpentine) soils. *Intercept*, Andover (Hampshire).
- BRADSHAW A. D., 1952: Populations of *Agrostis tenuis* resistant to lead and zinc poisoning. *Nature (Lond.)* 169, 1098.
- BRADSHAW A. D. & CHADWICK M. J., 1980: The restoration of land. Blackwell, Oxford.
- BROOKS R. R., 1987: Serpentine and its vegetation. Croom Helm, London, Sydney.
- BROOKS R. R. & JOHANNES D., 1993: Phytoarchaeology, vol. 3. Dioscorides Press, Portland.
- EHRENDORFER F., 1973: Liste der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. G. Fischer, Stuttgart.
- ELLENBERG H., 1982: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Ulmer, Stuttgart.
- ENGLISCH T., VALACHOVIC M., MUCINA L., GRABHERR G. & ELLMAUER T. 1993: *Thlaspietea rotundifolii*. In: GRABHERR G. & MUCINA L. (Ed.), Die Pflanzengesellschaften Österreichs II, p. 276-342. G. Fischer, Jena.
- ERNST W., 1965: Ökologisch-soziologische Untersuchungen der Schwermetall-Pflanzengesellschaften Mitteleuropas unter Einschluß der Alpen. Abh. Landesmuseum Naturkde. Münster/Westf. 27, 1-54.
- ERNST W., 1968: Zur Kenntnis der Soziologie und Ökologie der Schwermetallvegetation Großbritanniens. Ber. Dtsch. Bot. Ges. 81, 116-124.
- ERNST W., 1969: Pollenanalytischer Nachweis eines Schwermetallrasens in Wales. *Vegetatio (Tüxen-Festschrift)* 18, 393-400.

- ERNST W., 1972: Schwermetallresistenz und Mineralstoffhaushalt. *Forschungsber. Land Nordrhein-Westfalen* 2251, p. 1-38.
- ERNST W., 1974: Schwermetallvegetation der Erde. G. Fischer, Stuttgart.
- ERNST W., 1976: Physiological and biochemical aspects of metal tolerance. In: MANSFIELD T. A. (Ed.), *Effects of air pollutants on plants*, p. 115-133. Cambridge University Press, London.
- ERNST W. H. O. [= ERNST W.], 1990: Mine vegetation in Europe. Heavy metal tolerance in plants. In: SHAW J. (Ed.), *Evolutionary aspects of heavy metal tolerance in plants*, p. 211-237. CRC Press, Boca Raton.
- ERNST W. H. O., SCHAT H. & VERKLEIJ J. A. C. 1990: Evolutionary biology of metal resistance in *Silene vulgaris*. *Evol. Trends Pl.* 4, 45-51.
- FISCHER M. A. (Ed.), 1994: *Exkursionsflora von Österreich*. Ulmer, Stuttgart, Wien.
- FISCHER M. A. & HÖRndl E., 1994: Das Forschungsprojekt zur Schaffung einer wissenschaftlichen Flora Österreichs. *Fl. Austr. Novit.* 1, 4-33.
- FRAHM J. P. & FREY W., 1983: *Moosflora*. Ulmer, Stuttgart.
- GAMS H., 1966: Erzpflanzen der Alpen. *Jb. Ver. Schutz Alpenpfl.* 31, 65-73.
- GAMS H., 1972: Zur Pflanzendecke um Klausen. *Schlern* 46, 395-398.
- GAMS H., 1975: Vergleichende Betrachtung europäischer Ophiolith-Floren. *Veröff. Geobot. Inst. Rübel ETH Zürich* 55, 117-140.
- HALL I. G., 1957: The ecology of disused pit heaps in England. *J. Ecol.* 45, 689-720.
- HEGI G., 1908 ff.: *Flora von Mitteleuropa*. P. Parey, Berlin, Hamburg.
- HOLZER H., 1966: Erläuterungen zur Karte der Lagerstätten mineralischer Rohstoffe der Republik Österreich. *Geol. Bundesanstalt, Wien*.
- HORVAT I., GLAVAC V. & ELLENBERG H., 1974: *Vegetation Südosteuropas (= Geobotanica selecta IV)*. G. Fischer, Stuttgart.
- JUSTIN Ch., 1993: Über bemerkenswerte Vorkommen ausgewählter Pflanzensippen auf Serpentinstandorten Österreichs, Sloweniens sowie der Tschechischen Republik. *Linzer biol. Beitr.* 25, 1033-1091.
- KINZEL H., 1982: Die calcicolen und calcifugen, basiphilen und acidophilen Pflanzen. In: KINZEL H. (Ed.), *Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel*, p. 216-380. E. Ulmer, Stuttgart.

- KIRNBAUER F., 1968: Historischer Bergbau I und II. — Österreichischer Volkskundeatlas, 3. Lfg., p. 1-70.
- KRUCKEBERG A. R. & KRUCKEBERG A. L., 1990: Endemic metallophytes: their taxonomic, genetic and evolutionary attributes. In: SHAW J. (Ed.), Evolutionary aspects of heavy metal tolerance in plants, p. 301-312. CRC Press, Boca Raton.
- LECHNER K., HOLZER H., RUTTNER A. & GRILL R., 1964: Karte der Lagerstätten mineralischer Rohstoffe der Republik Österreich 1:1.000.000. Geol. Bundesanstalt, Wien.
- LEVITT J., 1972: Responses of plants to environmental stress. Academic Press, New York.
- LEVITT J., 1980: Responses of plants to environmental stress. 2<sup>nd</sup> Edition. Academic Press, New York.
- MELZER H., 1979: Neues zur Flora von Steiermark XXI. Mitt. naturw. Ver. Steiermark 109, 151-161.
- MELZER H., 1988: Neues zur Flora von Steiermark XXX. Mitt. naturw. Ver. Steiermark 118, 157-171.
- MUCINA L. & KOLBEK J., 1993: Festuco-Brometea. In: MUCINA L., GRABHERR G. & ELLMAUER T. (Ed.), Die Pflanzengesellschaften Österreichs I, p. 420-492. G. Fischer, Jena.
- MUCINA L., 1993: Asplenietea trichomanis. In: GRABHERR G. & MUCINA L. (Ed.), Die Pflanzengesellschaften Österreichs II, p. 241-275. G. Fischer, Jena.
- MUNTEAN H., 1977: Vegetation und Ökologie steirischer Serpentinstandorte. Diss. Univ. Graz.
- MUTSCH F., 1981: Schwermetallanalysen an Freilandpflanzen im Hinblick auf die natürliche Spurenelementversorgung und die Schwermetallintoxikation. Diss. Univ. Wien.
- NIKLFELD H., 1979: Vegetationsmuster und Arealtypen der montanen Trockenflora in den nordöstlichen Alpen. Staphia 4.
- OBERDORFER E., 1979: Pflanzensoziologische Exkursionsflora. E. Ulmer, Stuttgart.
- ORASCHE I., 1993: Schwermetallstandorte im Ostalpenraum und ihre Vegetation. Diplomarbeit Univ. Wien.

- PIGNATTI S., 1982: Flora d'Italia. Edagricola, Bologna.
- POELT J., 1955: Flechten der Schwarzen Wand in der Großarl. Verh. Zool.-Bot. Ges. Wien 95, 107-113.
- POPP M., 1982: Genotypic differences in the mineral metabolism of plants adapted to extreme habitats. Proc. 1<sup>st</sup> Int. Symp. on Genetic Specificity of Mineral Nutrition of Plants, Beograd, p. 159-171.
- PROCTOR J. & WOODELL S. R. J., 1975: The ecology of serpentine soils. Adv. Ecol. Res. 9, 255-366.
- PUNZ W., 1989: Zur Ökologie von Pflanzen auf Hochofenschlackenhalden. Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 126, 139-158.
- PUNZ W., 1991: Zur Flora und Vegetation über schwermetallhaltigem Substrat im Ostalpenraum — Eine Übersicht. Verh. Zool. Bot. Ges. Österreich 128, 1-18.
- PUNZ W., 1992: Schwermetallstandorte im Ostalpenraum und ihre Vegetation. Ber. naturw.-med. Ver. Innsbruck 79, 67-80.
- PUNZ W., in press: Metallophytes in the Eastern Alps. With special emphasis on higher plants growing on calamine and copper localities. Phytton.
- PUNZ W. & ENGENHART M., 1990: Zur Vegetation auf Blei-Zink-Halden im Raum Niedere Tauern. Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss., Math.-naturw. Kl., Abt. I 198, 1-12.
- 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.-naturw. Kl., Abt. I 200, 1-16.
- PUNZ W., KOVACS G., KÖRBER-ULRICH S. M., THONKE A., WIELÄNDER B. & WIESHOFER I., 1994: Schwermetallstandorte im mittleren Alpenraum - neue Befunde. Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 131, 1-26.
- PUNZ W., KOVACS G., MAUTHNER G., SAPELZA W., ULRICH S. M., WIELÄNDER B. & WIESHOFER I., 1990: Zur Ökologie und Ökophysiology der Vegetation im Bereich des Bergbaugebietes St. Martin am Schneeberg im Passeier. Schlern 64, 480-515.
- PUNZ W. & MAIER R., 1995: Vorkommen und Resistenzstrategien von Schwermetallpflanzen im Raum Kärnten. Carinthia SH 53, 112-114.

- PUNZ W. & SCHINNINGER R., 1995: Metallophytes in the South-Eastern Alps. *Acta Pharm.* 45, 187-190.
- PUNZ W., SCHINNINGER R. & ENGENHART M., 1990: Floristische Bearbeitungen von Schwermetallstandorten in der Steiermark — Eine Übersicht. *Mitt. naturw. Ver. Steiermark* 120, 291-297.
- PUNZ W. & SIEGHARDT H., 1993: The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals. *Environ. Exp. Bot.* 33, 85-98.
- RASCIO N., 1977: Metal accumulation by some plants growing on zinc-mine deposits. *Oikos* 29, 250-253.
- REPP G., 1963: Die Kupferresistenz des Protoplasmas höherer Pflanzen auf Kupfererzböden. *Protoplasma* 57, 643-657.
- ROBERTS B. A. & PROCTOR J., 1992: The ecology of areas with serpentized rocks. A world view. Kluwer Acad. Publishers, Dordrecht.
- SAUKEL J., 1980: Ökologisch-soziologische, systematische und physiologische Untersuchungen an Pflanzen der Grube „Schwarzwand“ im Großarltal (Salzburg). Diss. Univ. Wien.
- SCHLEE D., 1992: Ökologische Biochemie. Springer, Berlin.
- SCHWANITZ F. & HAHN H., 1954: Genetisch-entwicklungsphysiologische Untersuchungen an Galmeipflanzen II. Über Galmeibiotypen bei *Linum catharticum* L., *Campanula rotundifolia* L., *Plantago lanceolata* L. und *Rumex acetosa* L. *Z. Bot.* 42, 459-471.
- SHIMWELL D. W. & LAURIE A. E., 1972: Lead and zinc contamination of vegetation in the Southern Pennines. *Environ. Pollut.* 3, 291-301.
- STEBBINS G. L., 1942: The genetic approach to rare and endemic species. *Madrono* 6, 241-272.
- TÜRK R. & POELT J., 1993: Bibliographie der Flechten und flechtenbewohnenden Pilze in Österreich. Biosystematics and Ecology Series 3, Austrian Academy of Sciences.
- WALLNÖFER S., 1993: Vaccino-Piceetea. In: MUCINA L., GRABHERR G. & WALLNÖFER S. (Ed.), *Die Pflanzengesellschaften Österreichs III*, p. 283-337. G. Fischer, Jena.
- WENDELBERGER G., 1974: Die Serpentinpflanzen des Burgenlandes in ihrer pflanzengeographischen Stellung. *Wiss. Arb. Burgenland* 53, 5-20.

ZECHMEISTER H., 1993: Montio-Cardaminetea. In: GRABHERR G. & MUCINA L. (Ed.), Die Pflanzengesellschaften Österreichs II, p. 213-240. G. Fischer, Jena.

ZECHMEISTER H. & PUNZ W., 1990: Zum Vorkommen von Moosen auf schwermetallreichen Substraten, insbesondere Bergwerkshalden, im Ostalpenraum. Verh. Zool. Bot. Ges. Österreich 127, 95-105.

Manuskript eingelangt: 1995 04 16

Anschrift der Autoren: Ass.-Prof. Mag. Dr. Wolfgang PUNZ und Mag. Ines Christine ORASCHE, Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien, Althanstraße 14, A-1091 Wien.