

„Erbe des Bergbaus“ – zur Vegetation ostalpiner Schwermetallstandorte

Legacy of mining industry: Metalliferous sites in the Eastern Alps and their vegetation

Wolfgang Punz

Fakultät für Lebenswissenschaften, Department für Ökogenomik und Systembiologie,
Universität Wien,

Zusammenfassung

Es werden 175 ostalpine Schwermetalllokalitäten, zu welchen floristische Daten vorliegen, in Form einer Karte (mit Standortsliste samt Literaturangaben) vorgestellt und durch Angaben über Schwermetallpflanzengesellschaften und Metallophyten ergänzt. Erhöhte Bodenschwermetallgehalte stellen einen Stressfaktor für Pflanzen dar, sodass etliche Taxa derart kontaminierte Standorte nicht besiedeln können; andere dagegen (vor allem aus den Familien der Nelkengewächse, Kreuzblütler, Süßgräser und Korbblütler) sind imstande, Resistenzstrategien (Avoidanz/Toleranz) zu entwickeln. Dabei können bei der pflanzlichen Schwermetallaufnahme und –translokation verschiedene Typen (accumulator/excluder) beobachtet werden. Schwermetallstandorte sollten generell aus allgemeinen Gründen des Biotopschutzes, wegen ihres Nutzens für Bioremediationsforschung, sowie als gleichsam naturgegebene ökologische Versuchsstationen möglichst erhalten bleiben.

Abstract

Elevated heavy metal soil concentrations provide an edaphic stress for plants. Some taxa are unable to colonize such places while other plants (predominantly from the plant families Caryophyllaceae, Brassicaceae, Poaceae, Asteraceae) are capable to develop resistance (avoidance/tolerance) strategies. Heavy metal uptake and translocation shows different patterns (accumulator/excluder). A map together with a list of investigated heavy metal localities in the Eastern Alps (botanical data comprised from field studies and literature as well) including serpentine is presented, the site number having risen from initially 51 to 175 sites now. Some specific metallicolous plant associations (but not within the class *Violetea calaminariae*) are itemized. The number of true eumetallophytes („Erzpflanzen“) is nevertheless rare (*Thlaspi rotundifolium* ssp. *cepaefolium*, *Alyssum wulfenianum*; copper mosses). Preservation of metalliferous sites is considered highly desirable for reasons of a) bioremediation research, b) ecological field studies and c) general biotope protection.

Einleitung

Pflanzen sind im Boden verwurzelt, somit immobil und daher praktisch nicht in der Lage, den edaphischen Bedingungen auszuweichen. Dies gilt naturgemäß auch für Schwermetalle, welche, sofern sie in hohen Konzentrationen vorliegen, einen beträchtlichen Stressfaktor darstellen. Bis zum 19. Jahrhundert gibt es nur wenige schriftlich fixierte Angaben zum Thema (Überblick bei Punz 2004, 2006). Die Beschreibung der unterschiedlichen Vegetation auf Kalk- und Silikatuntergrund durch Unger 1836 (damals Arzt in Kitzbühel, später Ordinarius für Pflanzenphysiologie an der Universität Wien) mag als Beginn der Pflanzenökophysiologie im heutigen Sinn angesehen werden. Der „Einfluss des Bodens auf die Verteilung der Pflanzen“ (Stur 1856) wird zunächst bei der Serpentinflora (exemplarisch: Pančič 1859), später vor allem in Hinblick auf Prospektionsmöglichkeiten („Zeigerpflanzen“) wahrgenommen (so etwa v. Linstow 1929, „Bodenanzeigende Pflanzen“; vgl. auch Tollmann 1986). Allmählich werden auch Begriffe wie „Erzpflanzen“ (Andrae 1882), „Schwermetallpflanzen“ (Wein 1926) und „Metallophyten“ (Duvigneaud & Denayer DeSmet 1963) eingeführt.

Zum Verständnis der Schwermetallproblematik bei Pflanzen

Der aufwärts gerichtete, von der Transpiration angetriebene Wassertransport in der Pflanze erfolgt nach Aufnahme aus dem Boden über die Wurzel in die oberirdischen Organe (Stamm, Blätter), wobei die im Boden gelösten Ionen grundsätzlich passiv mitverfrachtet werden. Allerdings kann dieser Prozess (im Sinn einer reduzierten oder auch gesteigerten Aufnahme) teilweise aktiv beeinflusst werden, insbesondere durch Pflanze-Boden-Interaktionen, Mycorrhiza, Aufnahmeinterferenzen, Aufnahmekontrolle am inneren Wurzelzylinder durch die Endodermis; in Spross und Blättern kann es zur Translokation in ältere Organe (Rosetten!), Deposition der Schwermetalle in Kristallen, Haaren und Zellwand, Bindung der Schwermetalle an Peptide und Phytochelatine, Kompartimentierung der Schwermetalle in der Vakuole und Exkretion kommen (Überblick bei Punz & Sieghardt 1993). Nach einem von Levitt (1972) entwickelten Konzept können diese Prozesse der *avoidance*-Komponente der pflanzlichen Resistenz zugeordnet werden, während lediglich die Widerstandsfähigkeit des lebenden Plasmas als *tolerance* bezeichnet werden sollte (hiez u Punz & Körber-Ulrich 1993). Die Handhabbarkeit dieses Konzepts ist allerdings umstritten (Ernst 2006).

Schwermetallvegetation im Ostalpenraum

Eine vor 25 Jahren erarbeitete Kompilation zur Schwermetallvegetation in den Ostalpen (Punz 1988b) erbrachte nur eine geringe Zahl von Angaben, sodass der Schluss nahe lag, dass die Flora der (zum großen Teil anthropogenen) Schwermetallstandorte offensichtlich bis dato nur wenig von den Fachbotanikern beachtet worden war. Nach einem Vierteljahrhundert wird hier eine ergänzte und auf das mehr als dreifache erweiterte Zusammenstellung verstreut vorhandener Daten zur Vegetation von 175 ostalpinen, großteils sekundären Schwermetalllokalitäten vorgelegt.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden die Standorte nach dem „dominierenden“ Schwermetall im Substrat gruppiert. In die Auflistung wurden auch Angaben zu Serpentin- und Magnesitstandorten aufgenommen, erstere wegen der auch hier vorhandenen erhöhten Schwermetall- (insbesondere Nickel-) Gehalte, letztere wegen der in einigen Punkten gegebenen floristischen Ähnlichkeit mit den Serpentinophyten. Das exemplarisch dargestellte Vorkommen des Schwermetallmooses *Mielichhoferia mielichhoferi* zeigt deren Beschränkung auf die sauren Gesteine der Zentralalpen.

Über Serpentin werden zwei Pflanzengesellschaften beschrieben, das Armerio-Potentilletum arenariae und das Festuco eggleri-Pinetum sylvestris. Floristisch erscheint es zweifelhaft, ob es sich bei „Serpentinpflanzen“ tatsächlich um genetisch distinkte Taxa oder lediglich um Serpentinomorphosen bzw. Varianten handelt; beispielsweise können von den bei Wendelberger (1974) für das Burgenland angeführten achtzehn Serpentin-taxa unterschiedlicher Ranghöhe heute nur mehr fünf als gültig erachtet werden (Serpentin-Streifenfarn/*Asplenium cuneifolium*, Braungrüner Streifenfarn/*Asplenium adulterinum*, Aufsteigender Wiesenhafer/*Avenula adsurgens*, Serpentin-Kartäusernelke/*Dianthus carthusianorum* ssp. *capillifrons*, Schmalblatt-Vergissmeinnicht/*Myosotis stenophylla*; provisorisch zu ergänzen um Serpentin-Crantz-Fingerkraut/*Potentilla crantzii* var. *serpentina*, Serpentin-Mehlbeere/*Sorbus austriaca* subsp. *Serpentini*, Serpentin-Steppen-Aschenkraut/*Tephrosia integrifolia* subsp. *Serpentini*; hiez u Punz et al. 2010). Für das so genannte „Serpentinphänomen“ oder „serpentine syndrome“ (Jenny 1980) sind neben den chemischen auch physikalisch/mikroklimatische Faktoren verantwortlich (Überblick bei Muntean 1977).

Für Galmei- und Kupferstandorte wurden eine Reihe von Pflanzengesellschaften (*Sileno rupestris* – *Asplenium septentrionalis*, *Notholaena* – *Sempervivum hirti*; *Linaria alpina* – *Cerastium uniflorum* comm., *Papaver kernerii* – *Thlaspi kernerii*, *Violetum dubyanae*, *Thlaspi cepaeifolii*, *Scrophularia juratensis* – *Erysimum sylvestris*, *Minuartia gerardii* – *Silene glareosa* comm., *Epipactis atrorubens* – *Silene glareosa* comm., *Sileno alpestris* – *Moehringium muscosae*) beschrieben, welche jedoch nicht, wie

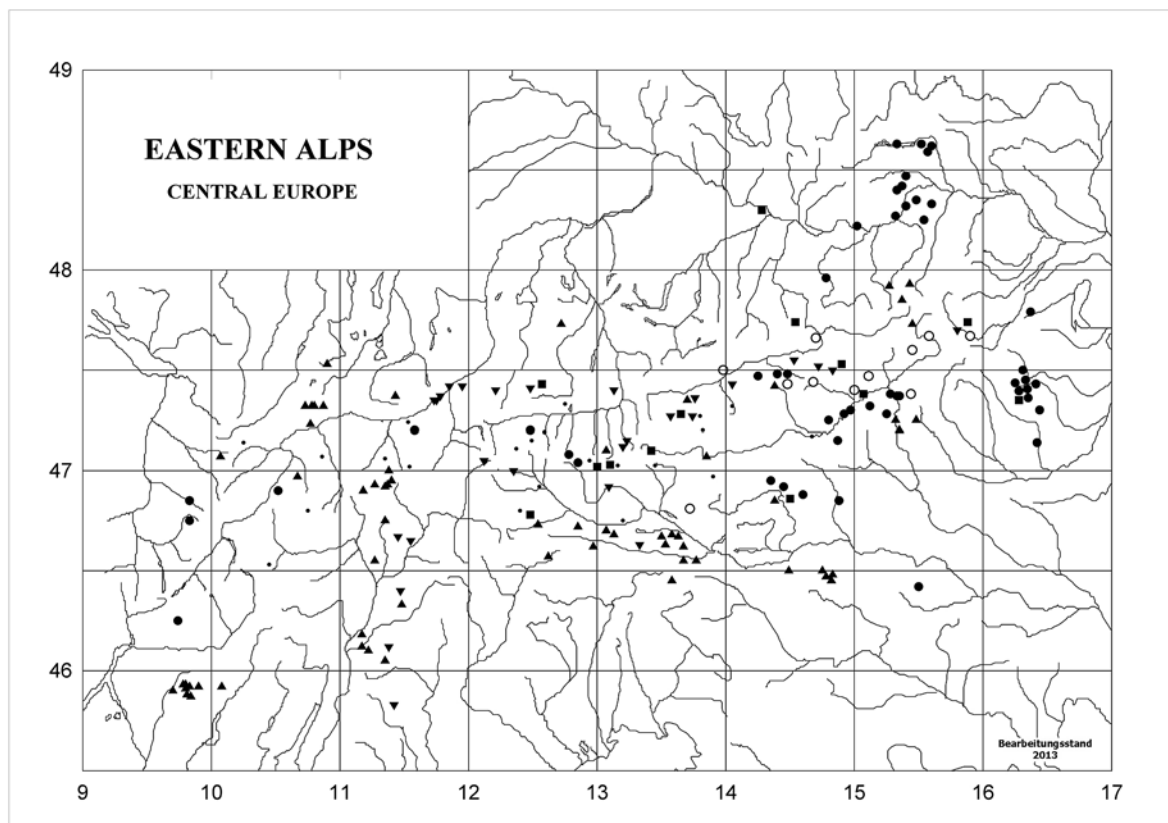


Abb. 1: Schwermetallstandorte in Österreich und dem angrenzenden Ostalpenraum, zu welchen floristische Befunde vorliegen, sowie die Fundorte des Kupfermooses *Mielichhoferia*. Aus Maßstabsgründen sind nicht alle Standorte punktgenau wiedergegeben. Vgl. Tab. 1

▲ Galmei, ▼ Kupfer, ● Serpentin/Chrom, ○ Magnesit, ■ Arsen/ Antimon/Andere ▪ *Mielichhoferia*.

Fig. 1: Sites with elevated soil heavy metal concentrations in Austria/the Eastern Alps where floristic information is available, supplemented by the localities of the copper moss *Mielichhoferia*.

▲ calamine, ▼ copper, ● serpentine/chromium, ○ magnesite, ■ arsenic/antimony/others ▪ *Mielichhoferia*. See also Tab. 1

früher (Ernst 1974) angenommen, der einheitlichen Klasse der *Violetea calaminariae* angehören (Punz & Mucina 1997). Floristisch gibt es nur wenige „obligate“ Metallophyten sensu Baker et al. (2010), nämlich das Rundblättrige Täschelkraut/*Thlaspi rotundifolium* ssp. *cepaefolium*, das Wulfen-Steinkraut/*Alyssum wulfenianum* sowie die klassischen Kupfermoose (dazu Zechmeister & Punz 1990). Ähnlich wie für die Britischen Inseln (Baker & Proctor 1990) kann aber für den Ostalpenraum gezeigt werden, dass Schwermetallstandorte vor allem durch das Vorkommen von Nelkengewächsen/Caryophyllaceen, Kreuzblütlern/Brassicaceen, Gräsern/Poaceen, Korbblütler/Asteraceen, Lippenblüter/Lamiaceen,

Braunwurzgewächse/Scrophulariaceen, Rötengewächse/Rubiaceen, Veilchengewächse/Violaceen und einzelne Arten anderer Familien charakterisiert sind, während sich beispielsweise kaum Vertreter von Rosengewächsen/Rosaceen, Hahnenfußgewächsen/Ranunculaceen, Doldenblütlern/Apiaceen und Sauergräsern/Cyperaceen finden (Punz 1995, Punz & Orasche 1995).

Hinsichtlich Aufnahme und Translokation verhalten sich die Pflanzen auffallend unterschiedlich, sodass hiezu das Begriffspaar „*excluder*“ und „*accumulator*“ geprägt wurde (Baker 1981). Am Beispiel des Zink: manche Braunwurzgewächse/Scrophulariaceen (Leinkraut/*Linaria*, Augentrost/*Euphrasia*) sind imstande, ihren oberirdischen

Zinkgehalt trotz hoher Bodenkonzentrationen bei niedrigen Werten (200-300 ppm) zu stabilisieren, während sich etwa bei der Hallerschen Schaumkresse/*Cardaminopsis halleri* und Täschelkraut/*Thlaspi*-Arten bereits bei niedrigen Bodenzinkgehalten über 10.000 ppm in den Pflanzensprossen finden (Wenzel & Jockwer 1999, Punz 2001). Diese Fähigkeit wird als erfolgversprechend im Hinblick auf Techniken der Bioremediation angesehen.

Bewahrenswert erscheinen Schwermetallstandorte über die letztgenannte Eigenschaft hinaus auch aus allgemeinen Gründen des Biotopschutzes, sowie als gleichsam naturgegebene ökologische Versuchsstationen.

Der Autor ist für jede ergänzende Information dankbar.

Literatur

- Andrae, C.J. (1882): Mitteilung über *Arabis halleri*. - Corr.blatt Verhandl. Naturhist. Ver. preuß. Rheinlande Westfalen, 39: 108-110.
- 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. & Proctor, J. (1990): The influence of cadmium, copper, lead, and zinc on the distribution and evolution of metallophytes in British Isles. - Plant Systematics and Evolution., 173: 91-108.
- Baker, A. J. M., Ernst, W. H. O., Van der Ent, A., Malaisse, F. & Ginocchio, A. R. (2010): Metallophytes – the unique biological resource, its ecology and conservational status in Europe, central Africa and Latin America. In: Batty L. C. & Hallberg K. B. (eds): Ecology of industrial pollution, 7-40, Cambridge University Press, Cambridge.
- Bouslama, S. (2006): Boden-Pflanze-Interaktionen auf Cu-belasteten Böden in Österreich. – Diplomarbeit Univ. Wien
- Braun-Blanquet, J. (1961): Die inneralpine Trockenvegetation. – Fischer, Stuttgart.
- Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensoziologie. – Springer, Wien.
- Brooks, R.R. & Johannes, D. (1993): Phytoarchaeology. Hist. ethno- & econ. Bot. Ser. 3, Dioscorides Press, Portland.
- Duvigneaud, P. & Denayer-deSmet, S. (1963): Cuivre et végétation au Katanga. – Bull. soc. roy Bot. Belg., 96: 93-224.
- Egger, B. (1994): Végétation et stations alpines sur serpentine près de Davos. – Veröff. Geobot. Inst. ETH Rübel (Zürich), 117.
- Egglar, J. (1954): Vegetationsaufnahmen und Bodenuntersuchungen von den Serpentinegebieten bei Kirchdorf in Steiermark und bei Bernstein im Burgenland. – Mitt. naturw. Ver. Steiermark, 84: 25-37.
- Emmerer, B. (2000): Zur Vegetationsentwicklung auf alten Bergbauhalden in den Niederen Tauern und den Eisenerzer Alpen. – Diplomarbeit Univ. Graz.
- Emmerer, B. & Hafellner, J. (2003): Zur aktuellen Vegetation auf Halden historischer Bergbaue in den Hochlagen der Niederen Tauern (Österreich). – Mitt. naturw. Ver. Steiermark, 133: 37-79.
- Emmerer, B., Steinlechner, E., Trinkaus, P. & Gössler, W. (2003): Ökologische Untersuchungen der bronzezeitlichen Kupferschlackenhalde in der Eisenerzer Ramsau. In: Klemm S.: Montanarchäologie in den Eisenerzer Alpen, Steiermark. Archäologische und naturwissenschaftliche Untersuchungen zum prähistorischen Kupferbergbau in der Eisenerzer Ramsau, 165-173, Verlag ÖAW, Wien.
- Ernst, W. (1965): Ökologisch-soziologische Untersuchungen der Schwermetall-Pflanzengesellschaften Mitteleuropas unter Einschluß der Alpen. – Abh. Landesmuseum Naturkde. Münster/Westfalen., 27: 1-54.
- Ernst, W. (1974): Schwermetallvegetation der Erde. – G. Fischer, Stuttgart.
- Ernst, W.H.O. (2006): Evolution of metal tolerance in higher plants. – For. Snow. Landsc. Res., 80: 251-274.
- Gams, H. (1936): Die Vegetation des Großglocknergebietes. – Abh. Zool. Bot. Ges. Wien, 16: 1-79.
- Gams, H. (1966): Erzpflanzen der Alpen. – Jb. Ver. Schutz Alpenpfl., 31: 65-73
- Gams, H. (1958): Das Pflanzenleben des Wattentales. – Schlern-Schr., 165: 49-57.
- Gigon, A. (1983): Welches ist der wichtigste Standortsfaktor für die floristischen Unterschiede zwischen benachbarten Pflanzengesellschaften? – Verh. Ges. f. Ökologie (Festschrift Ellenberg), XI: 145-160.
- Göhlert, F. (1927): Flora des Erzberges. – Diss. Univ. Wien.
- Hartl, H. & Sampl, H. (1977): Untersuchungen zum "Kupfermoos" *Gymnocolea acutiloba* (Kaalaas) K. Müller in der Großfragant, Mölltal, Kärnten. – Carinthia II., 167/87: 239-242.

- Hasl, F. (1925): Die Flora der Serpentinberge Steiermarks. – Diss. Univ. Wien.
- Haubenwallner, S. (1994): Untersuchungen über die Verteilung von Arsen, Selen, Aluminium, Eisen, Kupfer und Calcium in verschiedenen Pflanzenspezies aus dem Bereich des Arsenbergbaues Rotgülden. – Diplomarbeit TU Graz.
- Holzner, W. (1986): Österreichischer Trockenrasenkatalog. – BMGU, Wien
- Jenny, H. (1980): The soil resource: origin and behavior. – Ecological Studies, 37: 256–259.
- Justin, Ch. (1993) Über bemerkenswerte Vorkommen ausgewählter Pflanzensippen auf Serpentinstandorten Österreichs, Sloweniens sowie der Tschechischen Republik. – Linzer biol. Beitr., 25: 1033-1091.
- Körper-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.
- Kretschmer, L. (1930): Die Pflanzengesellschaften auf Serpentin im Gurhofgraben bei Melk. – Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich, 80: 163-208.
- Kudjelka, A.P., Weinke, H.H., Weber, L. & Punz, W. (2002): Pflanzenverfügbarkeit und Mobilität von Schwermetallen in Blei-Zink-Bergwerkshalden des Grazer Paläozoikums. – Joanea Geologie und Paläontologie (Graz), 4: 91-110.
- Lämmermayer, L. (1926): Materialien zur Systematik und Ökologie der Serpentinflora. I. Neue Beiträge zur Kenntnis der Flora steirischer Serpentine. – Sitzg. Ber. Österr. Akad. Wiss., Math. naturw. Kl., I, 135: 369-407.
- Lämmermayer, L. (1928): Weitere Beiträge zur Flora der Magnesit- und Serpentinböden. – Sitzg. Ber. Österr. Akad. Wiss., Math. naturw. Kl., I, 137: 825-859.
- Lämmermayer, L. (1930): Neue floristische Ergebnisse der Begehung steirischer Magnesit- und Serpentinlager. – Verh. Zool.-bot. Ges. Wien, 80: 83-93.
- Lämmermayer, L. (1933): Bericht über die floristische Begehung zweier steirischer Magnesitlager. – Verh. Zool.-bot. Ges. Wien, 83: 202-210.
- Lämmermayer, L. (1935): Notizen zur Flora über Gips, Dolomit, Phyllit und Magnesit in Steiermark. – Mitt. naturw. Ver. Steiermark, 72: 27-38.
- Lämmermayer, L. (1942): Bericht über die floristische Begehung steirischer Magnesit- und Serpentinlagerstätten. – Sitzg. Ber. Österr. Akad. Wiss., Math. naturw. Kl., I, 151: 79-86.
- Levitt, J. (1972): Responses of plants to environmental stresses. – Academic Press, New York.
- Linstow, O.v. (1929): Bodenanzeigende Pflanzen. – Abh. Preuß. Geol. Landesanstalt, 114.
- Maier, R., Punz, W., Sieghardt, H., Domschitz, E., Nagl, A., Wiener, S., Kulhanek, A. & Mühlebner, W. (1981): Zur Ökologie einiger Pflanzen auf den schwermetallhaltigen Halden in Bleiberg/Kärnten. – Carinthia II, 171/91: 201-222.
- Marchetti, D.B. (1956): Les „Prealpi Bergamasche“. In: IX. Excursion Phytogeographique internationale Alpes orientales (Guide itineraire), 26-38, Inst. Bot. dell' Università, Firenze.
- Maurer, W. (1966): Flora und Vegetation des Serpentinegebietes bei Kirchdorf in Steiermark. – Mitt. Abh. Zool. Bot. Landesmus. Joanneum Graz, 13: 1-29.
- Melzer, H. (1965): Neues und Kritisches zur Flora von Kärnten. – Carinthia II, 155/75: 172-190.
- Melzer, H. (1968): Botanisches von der Petzen. – Jb. Ver. Schutz Alpenpfl., 33: 69-74.
- Melzer, H. (1974): Beiträge zur Flora von Kärnten und der Nachbarländer Salzburg, Osttirol und Friaul. – Carinthia II, 164/84: 227-243.
- 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.
- Muntean, H. (1977): Vegetation und Ökologie steirischer Serpentinstandorte. – Diss. Univ. Graz.
- Niklfeld, H. (1979): Vegetationsmuster und Arealtypen der montanen Trockenflora in den nordöstlichen Alpen. – Stapfia 4.
- Pančič, J. (1859): Die Flora der Serpentinberge in Mittel-Serbien. – Verh. Zool.-Bot. Ges. Wien, 9: 139-150.
- Pober, E. (1985): Vorläufiger Bericht über vegetationskundliche Untersuchungen an Ultrabasit- (Serpentin-) Vorkommen im niederösterreichischen Anteil der böhmischen Masse (südöstliches Waldviertel). – Abt. Vegetationskunde Pflanzensoziologie, Inst. f. Pflanzenphysiologie, Univ. Wien.
- Poelt, J. (1955): Flechten der Schwarzen Wand in der Großarl. – Verh. Zool.-Bot. Ges., Wien 95: 107-113.
- Punz, W. (1988a): Experimentell-ökologischer Freilandkurs 1987 [Protokoll]. – Inst. f. Pflanzenphysiologie, Univ. Wien.
- Punz, W. (1988b): Standorte von Schwermetallvegetation in Österreich. – Symp. Synanthropic Flora Vegetation V (Martin/CSSR): 209-219.
- Punz, W. (1989a): Zur Vegetation von Hochofenschlackenhalden. – Linzer biol. Beitr., 21: 211-228.
- Punz, W. (1989b): Zur Ökologie von Pflanzen auf Hochofenschlackenhalden. – Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich, 126: 139-158.

- Punz, W. (1990): Experimentell-ökologischer Freilandkurs 1989 (Tirol-Lombardei) [Protokoll]. – Inst. f. Pflanzenphysiologie, Univ. Wien.
- Punz, W. (1991): Experimentell-ökologischer Freilandkurs 1990 (Kärnten) [Protokoll]. – Inst. f. Pflanzenphysiologie, Univ. Wien.
- 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. (2001): Schwermetallakkumulierende und -hyperakkumulierende Pflanzen auf Bergbaustandorten im Ostalpenraum. – *Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich*, 137: 129-136
- Punz, W. (2004): Von den Erzpflanzen zu den Metallophyten. – *Ber. Geol. BA Wien*, 56: 87-88.
- Punz, W. (2006): Über die Erforschung der Metallophyten im 19. Jahrhundert. – *Ber. Geol. BA*, 69: 52.
- Punz, W. & Engenhardt, M. (1988): Zur Vegetation von Blei-Zink-Halden im Raum Mariazell. – *Mitt. naturw. Ver. Steiermark*, 118: 173-176.
- Punz, W. & Engenhardt, M. (1990): Zur Vegetation auf Blei-Zink-Halden im Raum Niedere Tauern. – *Sitzgs.ber. Österr. Akad. Wiss., math.naturw.Kl. I*, 198: 1-12.
- Punz, W. & Körber-Ulrich, S.M. (1993): Resistenzökologische Befunde von Pflanzen an Schwermetallstandorten im Ostalpenraum. – *Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich*, 130: 201-224.
- Punz, W. & Mucina, L. (1997): Vegetation on anthropogenic metalliferous soils in the Eastern Alps. – *Folia geotax. geobot.*, 32: 283–295.
- 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. – *Env. Exp. Bot.*, 33: 85-98.
- Punz, W. & Wieshofer, I. (1989): Experimentell-ökologischer Freilandkurs 1988 (Südtirol) [Protokoll]. – Inst. f. Pflanzenphysiologie der Univ. Wien.
- 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. – *Der Schlern*, 64: 480-515.
- Punz, W., Engenhardt, M., Körber-Ulrich, S.M., Kovacs, G., Punz-Guschlbauer, U., Thonke, A., Wieländer, B. & Wieshofer, I. (1993): Pflanzen auf Schwermetallhalden im Ostalpenraum - Neue Befunde. – *Sitzg. ber. Österr. Akad. Wiss., Mathem. 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., Körber-Ulrich, S.M., Engenhardt, M., Mauthner, G., Sapelza, W.P., Sieghardt, H., Thonke, A., Wieländer, B. & Wieshofer, I. (1995): Pflanzenökologische Befunde vom Bergbauggebiet Schneeberg/Monteneve im Passeier (Südtirol/I). – *Sitzg.ber. Österr. Akad. Wiss., Mathem. naturw. Kl. Abt. I*, 201: 67-81.
- Punz, W., Aigner, B., Sieghardt, H., Justin, Ch. & Zechmeister, H. (2011): Serpentinophyten im Burgenland (Austria). – *Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich*, 147: 83-92.
- Repp, G. (1963): Die Kupferresistenz des Protoplasmas höherer Pflanzen auf Kupfererzböden. – *Protoplasma*, 57: 643-657.
- Saukel, J. (1980): Ökologisch-soziologische, systematische und physiologische Untersuchungen an Pflanzen der Grube „Schwarzwand“ im Großarlal (Salzburg). – *Diss. Univ. Wien*.
- Silberberger, I. (1992): Vegetation der nordöstlichen Kitzbüheler Alpen (subalpine und alpine Stufe) (Österreich). – *Ber. nat.-med. Verein Innsbruck*, 79: 103-122.
- Sissolak, M. (1984): Ökophysiologische Untersuchungen von Pflanzen an kupferbelasteten und unbelasteten Standorten im Gebiet von Hüttschlag (Salzburg). – *Diss. Univ. Wien*.
- Steinhauser, G., Adlassnig, W., Lendl, Th., Peroutka, M., Weidinger, M., Lichtscheidl, I.K. & Bichler, M. (2009): Metalloid contaminated microhabitats and their biodiversity at a former antimony mining site in Schläining, – Austria. *Open Environmental Sciences*, 3: 26-41.
- Stur, D. (1856): Über den Einfluß des Bodens auf die Vertheilung der Pflanzen. – *Sitzgs.ber. kais. Akad. Wiss. (Wien), Math. naturw. Cl.*, 20: 71-149.
- Tollmann, A. (1986): Geologie von Österreich III. – *Deuticke, Wien*.
- Thyssen, P. & Poelt, J. (1958): Ein neuer Fund des „Kupfermooses“ *Merceya ligulata* (Spr.) Schpr. in den Ostalpen. – *Ber. Bayer. Bot. Ges.* 32: 152.
- Unger, F. (1936): Über den Einfluß des Bodens auf die Verteilung der Gewächse. – *Rohrmann & Schweigerd, Wien*.
- Vergnano Gambi, O. V. (1992): The distribution and ecology of the vegetation of ultramafic soils in Italy. – In: Roberts B.A. & Proctor J. (eds.): *The ecology of areas with serpentinized rocks. A world view*, 217-247, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Wein, K. (1926): Die Beziehungen zwischen Erzvorkommen und Pflanzenverbreitung in Deutschland. – *Naturforscher*, 3: 240–243.

- Weiss, Y. (2013): Kupferhalde Knappenberg – vergleichende Analyse der azonalen Vegetation und Bodenparameter von einer Schwermetallhalde (Cu, Mn) und des umliegenden Waldes bei Hirschwang (NÖ, AUT). – Diplomarbeit Univ. Wien.
- Wendelberger, G. (1974): Die Serpentinpflanzenvorkommen des Burgenlandes in ihrer pflanzengeographischen Stellung. – *Wiss. Arb. Bgld*, 53: 5-20.
- Wenzel, W.W. & Jockwer, F. (1999): Accumulation of heavy metals in plants grown on mineralised soils of the Austrian Alps. – *Environmental Pollution*, 104: 145-155.
- Wettstein, R.v.(1885): Beitrag zur Pilzflora der Bergwerke. – *Österr. Bot. Z.*, 35: 151-153.
- Wittmann, H., Türk, R. & Breuss, O. (1989): Beitrag zur Flechtenflora Kärntens. I: Flechten und Flechtenparasiten der Großfragant (Hohe Tauern, Österreich). – *Carinthia II*, 179/99: 451-475.
- Zechmeister, H. & Punz, W. (1990): Zum Vorkommen von Moosen auf schwermetallreichen Substraten, insbesondere Bergwerkshalden, im Ostalpenraum. – *Verh. Zool. Bot. Ges. Österreich*, 127: 95-105.
- Zollitsch, L. (1927): Zur Frage der Bodenstetigkeit alpiner Pflanzen. – *Flora*, 122: 93-158.

Tabelle 1: Schwermetallstandorte im Ostalpenraum, zu welchen floristische Angaben vorliegen. Angegeben sind: Name des Standorts; Koordinaten (lat N x long E in Grad und Minuten); Quellen (in Auswahl). Die Standorte sind nach dem vorherrschenden Schwermetall im Substrat (Galmei; Kupfer; Magnesit; Serpentin/Chrom; Andere/ Arsen/Antimon bzw. Mischvererzung) gruppiert, innerhalb dieser alphabetisch geordnet.

Table 1: Sites with elevated soil heavy metal concentrations in Austria/the Eastern Alps where floristic information is available. The table contains: name of site; coordinates (latitude N x longitude E, in degrees and minutes); sources (literature).

Standort	lat N long E	Quellen
Galmei		
Abfaltersbach	4644 1232	Czeika unveröff.
Alpe Grem	4553 0950	Ernst 1974
Arera	4556 0948	Marchetti 1956, Ernst 1974, Punz 1990
Arnoldstein	4633 1341	Ernst 1974, Melzer 1974, Punz 1988a
Arzberg	4715 1529	Ernst 1974, Melzer 1988, Punz unveröff.
Arzwaldgraben	4714 1517	Kudjelka et al. 2002
Biberwier	4732 1054	Ernst 1974
Bleiberg	4637 1340	Ernst 1965, Melzer 1974, Maier et al. 1981, Punz 1988a
Boden	4640 1330	Punz et al. 1993
Brandmauer	4755 1516	Punz & Engenhardt 1988
Cinque valli	4603 1121	Punz & Wieshofer 1989
Cima di Grem	4555 0950	Ernst 1974
Cima di Menna	4556 0947	Ernst 1974
Comelico	4634 1237	Stur 1856
Crna	4628 1449	Ernst 1974
Deutschfeistritz	4712 1521	Wettstein 1885
Erzwies	4706 1304	Gruber, schriftl. Mitt..
Faedo	4611 1110	Punz 1988a
Gafleintal	4719 1048	Punz 1988a

Gaflunatal	4704 1004	Grabherr, schriftl. Mitt..
Galmeikogel	4751 1522	Punz & Engenhardt 1988
Hochobir	4630 1429	Ernst 1974, Punz 1991, Punz et al. 1993
Inzeller Kienberg	4744 1243	Ernst 1974
Jauken	4642 1304	Ernst 1974, Melzer 1965
Koflergraben	4640 1338	Punz 1988a
Kohlanger/Frein	4744 1527	Punz & Engenhardt 1988
Kreuzen	4641 1335	Punz et al.1993
Ladurns - Silberböden	4656 1122	Punz et al. 1994
Lafatsch/Kastenalm	4722 1126	Punz et al. 1994
Lumkofel	4643 1251	Ernst 1974, Melzer 1965
Maglern	4633 1340	Melzer unveröff.
Meiselding	4651 1423	Maier unveröff.
Monte Calisio	4607 1110	Punz et al. 1994
Monte Castello	4554 0942	Ernst 1974
Monte Golla	4556 0949	Ernst 1974
Monte Secco	4555 0954	Ernst 1965
Nogare	4606 1113	Punz & Wieshofer 1989
Obernberg/Brenner	4700 1123	Punz 1988a
Peroli bassa	4552 0950	Punz 1990
Pecnik/Peca	4628 1449	Ernst 1974
Petzen	4630 1445	Melzer 1968, Ernst 1974
Pflerschtal	4657 1124	Punz & Wieshofer 1989, Punz et al. 1994
Polinik	4637 1258	Ernst 1974
Presolana	4555 1005	Ernst 1974
Prestavel	4620 1129	Punz et al. 1994
Rabenstein/Frohnleiten	4715 1519	Melzer 1988, Kudjelka et al. 2002, Punz unveröff.
Rabenstein/Sarntal	4645 1121	Punz & Wieshofer 1989
Raibl/Cave del Predil	4627 1335	Melzer 1965, Ernst 1974, Punz et al. 1993
Ramingstein	4704 1351	Punz & Engenhardt 1990, Punz et al. 1993
Rauchberg	4719 1047	Ernst 1974
Reizkofel	4641 1308	Ernst 1974
Ridnaun	4656 1116	Punz 1988a
Schladming	4718 1342	Punz & Engenhardt 1990
Schneeberg/ St. Martin	4654 1111	Punz et al. 1990, 1995
Schwarzenberg	4756 1526	Punz & Engenhardt 1988
Stopa	4629 1450	Punz 1991
Tegestal	4719 1044	Punz 1990
Telfer Weißen/Roßkopf	4655 1121	Punz et al. 1994
Terce	4628 1447	Ernst 1974
Terlan	4633 1116	Punz 1988a, Punz & Wieshofer 1989
Tösens	4658 1040	Punz 1990
Tschekelnock	4638 1332	Ernst 1974
Tschirgant	4714 1046	Punz et al. 1994
Wanneck	4719 1052	Ernst 1974

Windisch-Bleiberg	4629 1414	Punz unveröff
Zerjav	4629 1452	Vodnik, schriftl. Mitt..
Zinkenkogel	4725 1423	Melzer 1979
Kupfer		
Brunnalm	4724 1221	Punz & Engenhardt unveröff.
Deutschnofen	4624 1128	Punz et al. 1994
Eisenerzer Ramsau	4731 1449	Emmerer 2000, Emmerer et al. 2003
Falkenstein	4721 1144	Punz & Wieshofer 1989
Groszfragant	4657 1301	Hartl & Sampl 1977, Wittmann et al. 1989
Guggenberg	4638 1320	Thyssen & Poelt 1958
Hermdelehof	4607 1123	Punz & Wieshofer 1989
Hochkönig/Hochkail	4724 1308	Repp 1963, Körber-Ulrich 1996, Bouslama 2006
Johnsbach	4733 1435	Hasitschka, schriftl. Mitt..
Kelchalm	4723 1228	Punz unveröff.
Knappenberg	4742 1548	Weiss 2013, Punz & Engenhardt unveröff.
Koglmoos	4721 1145	Punz 1990
Krahbergzinken	4722 1344	Emmerer & Hafellner 2003
Luserna	4550 1125	Brooks & Johannes 1993
Pfundererberg	4639 1133	Gams 1966, Punz & Wieshofer 1989
Prettau	4703 1207	Voppichler unveröff
Radmer	4731 1443	Emmerer 2000, Kinzel unveröff.
Ringenwechsel	4722 1147	Punz 1990
Schwarzwand	4710 1313	Poelt 1955, Saukel 1980, Körber-Ulrich 1996
Seekar	4716 1334	Emmerer & Hafellner 2003, Klug unveröff.
St. Gertraudi	4725 1151	Punz & Wieshofer 1989
Tofereralm	4710 1311	Sissolak 1984
Tögischtal-Blindis	4658 1221	Czeika, schriftl. Mitt..
Villanderer Alpe	4640 1127	Punz et al. 1994
Walchen/Öblarn	4726 1403	Emmerer 2000
Wildschönau	4725 1157	Punz et al. 1994
Serpentin/Chrom		
Bernstein	4724 1616	Justin 1993
Bründlberg	4838 1531	Pober 1985, Justin 1993
Bründlleiten	4837 1536	Pober 1985, Justin 1993
Eisenberg	4711 1624	Justin 1993
Eitenthal	4816 1519	Justin 1993
Elsenu/Friedberg	4728 1607	Lämmermayer 1926, Muntean 1977
Gabraungraben	4722 1521	Lämmermayer 1928, Muntean 1977
Gamskogel	4723 1517	Lämmermayer 1942
Gföhl	4832 1526	Justin 1993
Große Plischa	4720 1621	Justin 1993

Groszglockner	4705 1247	Zollitsch 1927, Gams 1936
Gurhofgraben	4819 1524	Kretschmer 1930, Justin 1993
Hausenbach	4815 1532	Justin 1993
Heiligenblut	4702 1251	Justin 1993
Hirt	4655 1427	Lämmermayer 1928
Hochgrößen	4728 1415	Hasl 1925, Lämmermayer 1926
Hochneukirchen	4728 1612	Justin 1993
Ispertal	4813 1501	Pober 1985, Justin 1993
Kanitzriegel	4725 1617	Justin 1993
Kienberg/Steinstückl	4725 1616	Eggler 1954, Justin 1993
Kirchkogel	4722 1520	Maurer 1966, Niklfeld 1979
Klein-Heinrichschlag	4825 1522	Pober 1985, Justin 1993
Kleine Plischa	4725 1623	Maurer 1966
Knittelfeld	4709 1452	Justin 1993
Kraubath	4717 1455	Braun-Blanquet 1961, Niklfeld 1979, Justin 1993
Lärchkogel/Triebeben	4729 1429	Lämmermayer 1930, Justin 1993
Meidling im Tale	4820 1536	Pober 1985, Justin 1993
Mühlradl	4838 1533	Pober 1985, Justin 1993
Nauders	4654 1031	Justin 1993
Ochsenkogel	4719 1507	Hasl 1925, Justin 1993
Ochsenkopf/Parpan	4645 0950	Braun-Blanquet 1964
Palzmühl	4821 1529	Justin 1993
Petalgraben	4729 1426	Lämmermayer 1926
Pilgersdorf	4728 1619	Holzner 1986
Pirkerkogel	4657 1421	Justin 1993
Plankogel	4653 1436	Justin 1993
Purtschall	4700 1253	Justin 1993
Rechnitz	4718 1626	Justin 1993
Redlschlag	4724 1620	Eggler 1954, Justin 1993
Rumpersdorf	4718 1620	Justin 1993
Seckau	4715 1448	Justin 1993
Sieggraben	4748 1622	Justin 1993
Sommergraben	4718 1458	Hasl 1925, Ulrich unveröff.
Steinbach	4730 1619	Justin 1993
Steinegg	4837 1534	Pober 1985, Justin 1993
Totalp/Davos	4651 0950	Gigon 1983, Egger 1994
Trastallberg	4824 1520	Pober 1985, Justin 1993
Unterfelben	4712 1229	Justin 1993
Val Malenco	4615 0944	Vergnano Gambi 1992
Waldkogel	4717 1515	Lämmermayer 1930
Wattental	4712 1135	Gams 1958
Windischfeistritz	4625 1530	Hasl 1925, Lämmermayer 1926
Wolfsberg	4651 1453	Justin 1993
Zell/Waidhofen	4758 1447	Justin 1993
Zwettler Leiten	4828 1524	Pober 1985, Justin 1993

Magnetit

Arzbachgraben	4740 1535	Lämmermayer 1930
Breitenau	4723 1526	Lämmermayer 1928, 1942, Justin 1993
Eichberg/Klamm	4740 1554	Lämmermayer 1930
Hohentauern	4635 1429	Lämmermayer 1928
Kaswassergraben	4740 1442	Lämmermayer 1933
Leoben	4724 1500	Lämmermayer 1933, 1942
Oberdorf/Tragöß	4728 1507	Lämmermayer 1930
Radenthein	4649 1343	Justin 1993
St. Martin	4730 1359	Lämmermayer 1930
Veitsch	4736 1527	Lämmermayer 1928, 1930, 1935
Wald	4726 1441	Lämmermayer 1928

Andere (incl. Arsen/Antimon/Mischvererzungen)

Bockhartscharte	4704 1302	Tusek unveröff.
Erzberg/Eisenerz	4732 1454	Göhlert 1927
Gebra	4725 1230	Silberberger 1992
Giglachsee	4717 1339	Emmerer & Hafellner 2003, Saukel unveröff.
Grillenbergr	4742 1553	Punz & Engenhardt unveröff.
Leoben	4723 1504	Punz 1989a,b
Leogang	4725 1241	Punz unveröff.
Linz/VOEST	4818 1417	Punz 1989a und unveröff.
Radhausberg	4704 1306	Gruber, schriftl. Mitt..
Rauris/Knappenhaus	4703 1259	Tusek unveröff.
Rotgülden	4706 1325	Haubenwallner 1994
Sandlgraben	4744 1435	Schimpl unveröff.
Sausalpe	4653 1433	Göd, schriftl. Mitt.
Schlaining	4721 1617	Steinhauser et al. 2009, Punz & Engenhardt unveröff.
Tessenberg	4646 1229	Czeika, schriftl. Mitt..
Zinkwand	4716 1341	Emmerer & Hafellner 2003, Saukel unveröff

