

Zur Moosflora auf Bergbauhalden und anderen Schwermetallstandorten im Ostalpenraum - ein Überblick

Wolfgang PUNZ

Ortsangaben von 71 Schwermetallstandorten im Ostalpenraum, zu welchen bryologische Angaben vorliegen, werden vorgestellt und die vorkommenden Arten für Galmei- und Kupferlokalitäten angeführt. Neben den "Kupfermoosen" gibt es Taxa, welche offensichtlich eine gewisse Schwermetallresistenz aufweisen (u.a. *Bryum*-, *Cephaloziella*-, *Grimmia*-, *Pohlia*- und *Tortella*-Arten), deren Vorkommen jedoch nicht auf Schwermetallstandorte beschränkt ist.

PUNZ, W 1999. Mosses of mining areas and other heavy metal contaminated habitats in the Eastern Alps.

A list is presented which show 71 metal-contaminated habitats in the Eastern Alps with bryophyte vegetation. On copper-rich sites there can be found sometimes the well-known "copper mosses"; in contrast, other frequently observed taxa as *Bryum*-, *Cephaloziella*-, *Grimmia*-, *Pohlia*- and *Tortella* species are not restricted to heavy metal contaminated areas.

Keywords: bryophytes, copper mosses, heavy metals, Eastern Alps.

Einleitung

Im Ostalpenraum gibt es zahlreiche Standorte mit erhöhter Schwermetallkonzentration im Substrat, die teils natürlicher Provenienz sind, teils auf bergbauliche Aktivitäten zurückgehen. Wenn auch Schwermetalle in geringen Konzentrationen für Pflanzen essentiell sein können (Mikronährstoffe), sind sie in höheren Dosen jedoch stets toxisch. Die externe Aufnahme der Schwermetalle, wie die Ionenaufnahme im allgemeinen, erfolgt bei Bryophyten in Folge ihres anatomisch-morphologischen Baues ohne die differenzierten Möglichkeiten zur Abschirmung und Kontrolle, wie sie die Höheren Pflanzen besitzen. Während zahlreiche Befunde auf das Vorkommen schwermetallresistenter Moospopulationen hinweisen (SHAW 1990), dürfte es lediglich eine geringe

Anzahl von Moosarten geben, welche als echte (Eu-) Metallophyten sensu ANTONOVICS et al. (1971) - "taxa found only on metal contaminated soil" angesprochen werden können.

Für den Ostalpenraum datiert die erste Beobachtung von "Erzmoosen" in das frühe 19. Jahrhundert, als 1814 von Mathias MIELICHHOFER bei Hüttschlag/Salzburg die gleichnamige Laubmoosgattung entdeckt wurde (GAMS 1966). Zahlreiche weitere Arbeiten konzentrieren sich auf wenige "klassische" Lokalitäten, wie etwa der Schwarzwand im Großarlal (POELT 1955), den Pfunderer Berg bei Klausen/Südtirol (GAMS 1972) oder die Fragant in Kärnten (HARTL & SAMPL 1977); daneben wurden allgemeine Angaben zur Verbreitung im Gebiet gesammelt (z.B. NIKLFELD 1973). Die besondere Resistenz einer als "Kupfermoose" (copper mosses) apostrophierten Gruppe von Laub- und Lebermoosen fand zunehmend auch von physiologischer Seite Beachtung (e.c. URL 1956, PERSSON 1956; Review: TYLER 1990).

In den letzten Jahren wurden vom Autor die verstreut vorliegenden floristisch/soziologischen Befunde zu ostalpinen Schwermetallstandorten für die Höheren Pflanzen kompiliert (PUNZ 1995, PUNZ & MUCINA 1997). Eine erste Zusammenstellung für Moose über schwermetallreichem Substrat in jüngerer Zeit geben ZECHMEISTER & PUNZ (1990). Die seither weitergeführte Auswertung der Angaben zur Moosflora auf Schwermetallböden im Ostalpenraum wird hiermit vorgelegt.

Ergebnisse

Für den Ostalpenraum wurden insgesamt 71 Standorte ermittelt, zu denen Angaben über die Moosflora vorhanden sind. Nicht eingearbeitet wurden die zahlreichen Angaben über "Vorkommen auf erzhaltigem Gestein" ohne genauere Informationen über die jeweilige Lokalität. Die Standorte sind nach dem dominierenden Schwermetall im Substrat gegliedert; es entfallen davon 33 auf Blei/Zink ("Galmei")-, 16 auf Kupfer-, 18 auf Serpentin/Chrom-, und 4 auf andere Lokalitäten.

Eine Übersicht über sämtliche Standorte (vgl. Abb. 1) samt den dokumentierten Moosarten (incl. *M* = Moosanflug, ohne Artnennungen) wird anschließend gegeben; wegen der z.T. sehr umfangreichen, u.U.

revisionsbedürftigen Angaben sind jedoch die serpentinicolen Taxa nicht angeführt. In Klammer sind zu jeder Lokalität Koordinaten und Land angegeben: Koordinaten (latN x longE in Grad, Minuten, in Form einer vierstelligen Zahl); Land (Österreich: B Burgenland, K Kärnten, N Niederösterreich, O Oberösterreich, S Salzburg, St Steiermark, T Tirol, V Vorarlberg; Italien: BG Bergamo, BZ Südtirol, TN Trento, UD Udine; CH Schweiz; SLO Slowenien). Die Nomenklatur der Moose bezieht sich auf FRAHM & FREY (1983) bzw. auf die nomenklatorischen Angaben der jeweiligen Autoren.

Galmeistandorte: Abfaltersbach (4644x1232-T): *Dicranum scoparium*, *Pleurozium schreberi*, *Pogonatum urnigerinum*; Alpe Grem (4553x0950-BG): *Brachythecium* sp., *Bryum capillare*, *Scleropodium purum*, *Tortella tortuosa*, *Weisia tortilis*; Arera (4556x0948-BG): *Bryum caespiticium*, *Cephaloziella starkei*, *Tortella tortuosa*; Arnoldstein (4633x1341-K): *Cephaloziella divaricata*, *Cephaloziella starkei*, *Tortella tortuosa*; Arzberg (4715x1529-St): *Bryum caespiticium*, *Pohlia* sp., Biberwier (4732x1054-T): *Bryum caespiticium*, *Cephaloziella starkei*; Bleiberg (4637x1340-K): *Tortella tortuosa*, *Rhacomitrium canescens*; Boden (4640x1330-K): *Rhytidiadelphus triquetrus*; Ciema di Grem (4555x0950-BG): *Cephaloziella starkei*, *Tortella tortuosa*; Cinque Valli (4603x1121-TN): *Bryum inclinatum*, *Mielichhoferia mielichhoferi*; Gafleintal (4719x1048-T) M; Gaflunatal (4704x1004-V): *Polytrichum piliferum* Galmeikogel (4751x1522-N): *Bryum argenteum*, *Bryum inclinatum*, *Bryum intermedium*, *Tortella tortuosa*; Hochobir (4630x1429-K): *Tortella* sp., Kreuzen (4641x1335-K) M; Lafatsch (4722x1126-T): *Tortella inclinata*; Lumkofel (4643x1251-K): *Cephaloziella starkei*, *Tortella tortuosa*; Mte Castello (4554x0942-BG): *Cephaloziella starkei*, *Tortella tortuosa*; Mte Golla (4556x0949-BG): *Cephaloziella starkei*, *Tortella tortuosa*; Mte Secco (4555x0954-BG): *Cephaloziella starkei*, *Tortella tortuosa*; Nogare (4606x1113-TN): *Campylopus schimperii*, *Pogonatum aloides*; Pecnik-Peca (4628x1449-SLO): *Bryum caespiticium*, *Tortella tortuosa*; Peroli bassa (4552x0950-TN): *Tortella tortuosa*; Presolana (4555x1005-BG): *Bryum caespiticium*, *Tortella tortuosa*; Raibl (4627x1335-UD): *Bryum caespiticium*, *Cephaloziella divaricata*, *Tortella tortuosa*; Ramingstein (4704x1351-S): *Grimmia ovalis*; St. Martin (4654x1111-BZ): *Bryum inclinatum*, *Pogonatum urnigeri*, *Pohlia wahlenbergii*, *Polytrichum piliferum*, *Tortula ruralis* var *calcicola*; Stopa (4629x1450-SLO) M; Tegestal (4719x1044-T): *Bryum inclinatum*, *Tortella tortuosa*; Telfer

Weißén (4655x1121-BZ): *Ceratodon purpureus*, *Pohlia cruda*, *Polytrichum juniperum*; Terce (4628x1447-SLO): *Bryum caespiticium*; Tschirgant (4714x1046-T) M; Wanneck (4719x1052-T): *Bryum caespiticium*.

Kupferstandorte: Brunnalm (4724x1221-T): *Abietinella abietina*, *Racomitrium canescens*, *Racomitrium heterostichum*, *Rhytidiadelphus triquetrus*, *Scapania subalpina*, *Tortella tortuosa*; Falkenstein (4721x1144-T): *Amblystegium serpens*, *Bryum capillare*, *Campylium chrysophyllum*; Großfragant (4657x1301-T): *Gymnocolea acutiloba*; Guggenberg (4638x1320-K): *Calypogeia neesiana*, *Cephalozia bicuspidata*, *Diplophyllum albicans*, *Isopterygium elegans*, *Merceya ligulata*, *Schistostega pennata*; Hermdelehof (4607x1123-TN): *Bryum inclinatum*, *Pogonatum urnigerum*; Hochkönig (4724x1308-S): *Pohlia* sp., Knappenberg (4742x1548-N): M; Koglmoos (4721x1145-T): *Encalypta streptocarpa*, *Tortella tortuosa*; Pfundererberg (4639x1133-BZ): *Gymnocolea acutiloba*; Ringenwechsel (4722x1147-T): *Bryum elegans*, *Fissidens dubius*, *Tortella tortuosa*; Schwarzwand (4710x1313-S) *Mielichhoferia mielichhoferi*, *Merceya ligulata*, *Cephaloziella massalongoi*, *Cephaloziella phyllacantha*, *Grimmia atrata*, *Marsupella emarginata*, *Mielichhoferia elongata*, *Nardia scalaris*, *Oligotrichum hercynicum*, *Pohlia drummondii*, *Scapania obcordata* [Liste unvollst.]; Seekaralm (4716x1334-S): M; Tofereralm (4710x1311-S): *Anthelia juratzkana*, *Cephaloziella* sp., *Lophozia* sp., *Nardia scalaris*, *Oligotrichum incurvum*, *Pohlia drummondii*, *Pohlia grandiflora*, *Scapania obcordata*; Villanderer Alpe (4640x1127-BZ): *Lophozia* sp., *Pohlia cruda*, *Pohlia drummondii*; Öblarn (4726x1403-St): M; Zinkwand (4716x1341-S): *Grimmia atrata*, *Marsupella aquatica*, *Marsupella speculata*, *Mielichhoferia mielichhoferi*.

Serpentinstandorte: Elsenau/Friedberg (4728x1607-St) Gamskogel (4723x1517-St); Großglockner (4705x1247-T); Gurhofgraben (4819x1524-N); Hirt (4655x1427-K); Hochgrößen (4728x1415-St); Kienberg/Bernstein (4725x1622-B); Kirchkogel/Tragöß (4722x1520-St); Kl. Plischa/Bernstein (4725x1623-B); Kraubath (4717x1455-St); Lärchkogel/Trieben (4729x1429-St); Meidling im Tale (4820x1536-N); Ochsenkogel (4719x1507-St); Petalgraben (4729x1426-St); Steinegg (4837x1534-N); Totalp/Davos (4651x0950-CH); Waldkogel (4717x1515-St); Wattental (4712x1135-T)

Andere Standorte: Erzberg/Eisenerz (4732x1454-St) [Kalkflora]; Leoben (4723x1504-St): *Bryum argenteum*, *Bryum caespiticium*, *Ditrichum flexicaule*, *Racomitrium canescens*, *Tortella tortuosa*; Linz/VOEST (4818x1417-O): *Barbula trifaria*, *Bryum argenteum*, *Ceratodon purpureus*, *Funaria hygrometrica*, *Pottia lanceolata*, *Marchantia polymorpha*; Tessenberg (4646x1229-T): *Bryum intermedium*, *Philonotis calcarea*

Für die umfangreiche Quellenübersicht muss aus Platzgründen auf die Zusammenstellung bei PUNZ (1999) verwiesen werden.

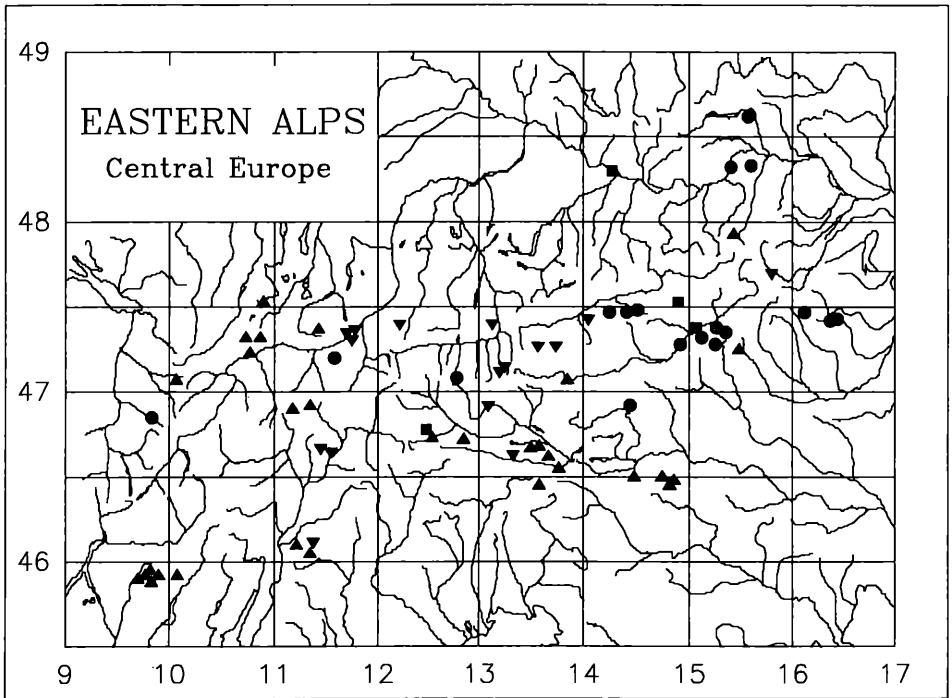


Abb. 1. Schwermetallstandorte im Ostalpenraum, zu welchen Angaben über Moosflora vorliegen. Dominierendes Schwermetall im Substrat: ▲ Galmei (Blei/Zink), ▼ Kupfer, ● Serpentin, ■ Andere - Metal-contaminated habitats in the Eastern Alps with data on bryophyte vegetation. Predominant heavy metal in the substrate: ▲ lead / zink ▼ copper, ● serpentine, ■ others.

Diskussion

Eine spezifische Moosflora kann nach wie vor lediglich für Kupferstandorte beobachtet werden ("Kupfermoose"); im Gebiet sind dies *Mielichhoferia*

mielichhoferi, *Mielichhoferia elongata*, *Merceya ligulata*, *Grimmia atrata*; *Gymnocolea acutiloba*, *Cephaloziella phyllacantha*, *Cephaloziella massalongoi*). Ihr Vorkommen dürfte ähnlich wie bei den Schwermetallflechten auf die sauren Gesteine v.a. der Zentralalpen beschränkt sein (vgl. Abb. 2). Daneben gibt es Moosgattungen und -arten, welche außer Kupfer- auch Blei/Zinkhalden besiedeln und ganz offensichtlich eine gewisse Schwermetallresistenz besitzen; hiezu zählen u.a. *Oligotrichum hercynicum*, *Nardia scalaris*, *Bryum*-, *Grimmia*- und *Pohlia*-Arten. *Pohlia nutans* kommt auf Halden mit extrem hohen Kupferkonzentrationen vor, und sie scheint das einzige Beispiel für "Hyperakkumulation" (also das Anreichern von Schwermetallen im Pflanzenkörper über die Bodenkonzentration hinaus) bei Moosen zu sein (nach SHAW 1990). Von einer dritten Gruppe ist bekannt, dass sie anthropogen belastete Standorte im Bereich der ganzen Nordhemisphäre besiedelt; hiezu zählen etwa die Arten *Bryum argenteum*, *Ceratodon purpureus*, *Funaria hygrometrica*, *Marchantia polymorpha*. Für *Ceratodon purpureus* ist das Vorkommen auf Kupfer-, Nickel- und Antimonhalden in der Slowakei belegt (BANASOVA 1974, 1978). Schließlich gibt es daneben noch zahlreiche, sichtlich fakultative "Begleiter" auf vielen Lokalitäten, bei denen eine spezifische Beziehung zu Schwermetallen im Substrat nicht erkennbar ist.

Zum Vorkommen auf Serpentin (die Besonderheiten der Serpentinflora werden nicht ausschließlich auf den Schwermetallgehalt, sondern auf einen ganzen Komplex physikalisch-chemischer Faktoren zurückgeführt) liegen zahlreiche Befunde vor; für den Ostalpenraum werden hier 18 Standorte angeführt. Allerdings referiert bereits LÄMMERMAYER (1934), dass "übereinstimmend von älteren und neueren Autoren die Moosflora des Serpentin als nicht reichhaltig bezeichnet wird"; die Moosflora des Magnesits sei „noch ärmllicher als jene des Serpentin“. Auch GAMS (1975) bezweifelt die Existenz ophiolithophiler Moose, zitiert allerdings das von PODPERA gefundene Zwergmoos *Nanomitrium* [*Micromitrium*] *tenerum* var *moravica*. Einigermaßen euryophiolithophil sollen basiphile Moose wie *Encalypta streptocarpa*, *Weisia viridula* [*controversa*] und *Cephaloziella starkei* [*divaricata*] sein.

Zur Soziologie der Kupfermoose wurde von ZECHMEISTER & PUNZ (1990) auf der Basis der Aufnahmen von SAUKEL (1980) eine neue Subassoziation (Rhacomitrio-Andreaeetum rupestris mielichhoferietosum) vorgeschlagen und

eine weitere (*Pogonatum urnigeri mielichhoferietosum*) zur Diskussion gestellt. Ansonsten wird auf die in der genannten Arbeit ausgeführte Gruppierung der Moose schwermetallreicher Standorte hingewiesen; eine spezifische Gesellschaftsbildung liegt ebensowenig wie auf Serpentinsubstrat (hiez zu aber die Ausführungen von MAURER 1961) oder anderen Standorten mit hohen Bodenschwermetallgehalten (vgl. die Hinweise zum *Tortelletum inclinatae* auf Hochofenschlackenhalden bei ZECHMEISTER & PUNZ 1990) vor.

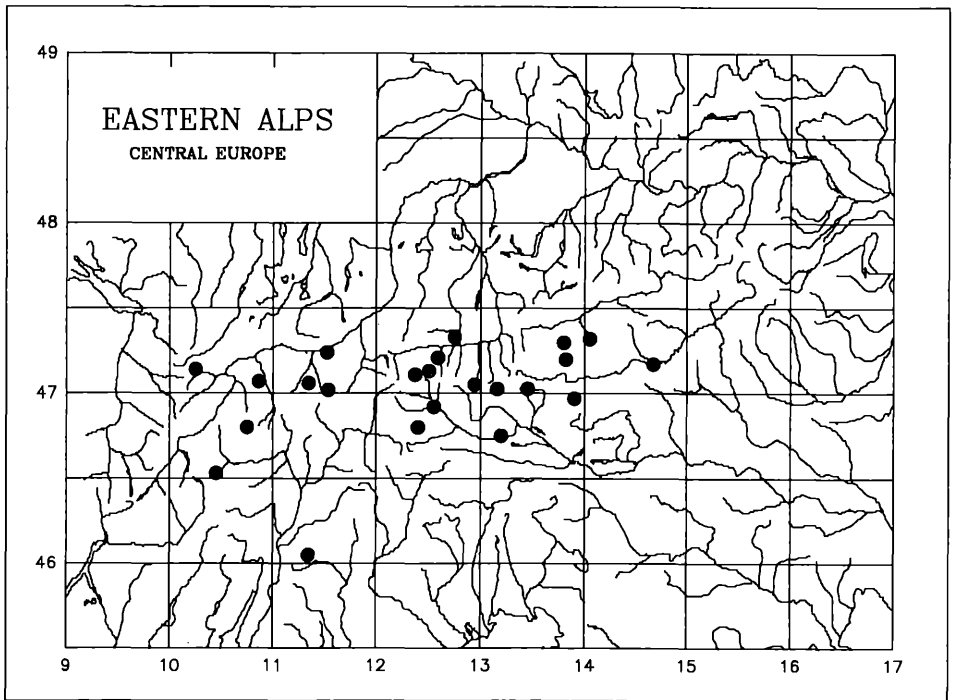


Abb. 2. *Mielichhoferia*-Standorte im Ostalpenraum. Nach GRIMS, schriftl. Mitt. und verschiedenen anderen Quellen. - Habitats of *Mielichhoferia* in the Eastern Alps - Based on pers. informations by GRIMS and various other sources.

Die Frage, welches die Mechanismen der Schwermetallresistenz von Moosen sind, oder anders gesagt: auf welche Weise Bryophyten hohe toxische Ionenkonzentrationen ertragen bzw. vermeiden (avoidance/tolerance sensu LEVITT 1972), kann noch nicht umfassend beantwortet werden. Wir wissen nicht, ob Moose ähnlich wie Höhere Pflanzen schwermetallresistente Ökotypen ausbilden: so zeigten sich bei *Bryum argenteum* keine Resistenzunterschiede an unterschiedlich schwermetallbelasteten Lokalitäten,

während für *Pohlia nutans* zumindest ein diesbezüglicher Befund vorliegt (dies und das Folgende nach SHAW 1990). Die Deposition des jeweiligen Schwermetalls (entsprechend der avoidance-Komponente der Resistenz) erfolgt vor allem im Bereich der äußeren Zellwand. Die cytoplasmatische Resistenz (= Toleranz s.str.) von Moosen wurde von der Wiener Schule der Vergleichenden Protoplasmatik ausgiebig untersucht; eine Zusammenschau mit den Ergebnissen der Avoidanz-Befunde steht jedoch aus. Die spezielle Problematik der eigentlichen Kupfermoose kann im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht ausführlich abgehandelt werden. Nicht zuletzt der Umstand, dass hierbei offenbar ein echter Schwermetallendemismus, also ausschließliches Vorkommen auf Schwermetallstandorten vorliegt, lässt eine weitere Beschäftigung mit diesem Thema von ökologischer, populationsgenetischer wie systematischer Seite gleichermaßen reizvoll wie wünschenswert erscheinen.

Literatur

- ANTONOVICS, J., BRADSHAW, A.D. & TURNER, R.G. 1971. Heavy metal tolerance in plants. *Adv. ecol. Res.* 7: 1-85.
- BANÁSOVÁ, V 1974. Predbe)né výsledki výskumu vegetácie medených hald na slovensku. *Acta bot. slov. Acad. Sci. slovacae A 1.* 189-195.
- BANÁSOVÁ, V 1978. Vergleich der Vegetation auf Antimonschacht- und Flotationshalden von Popro. *Acta bot. slov. Acad. Sci. slovacae A 3:* 241-244.
- FRAHM, J.P & FREY, W 1983. *Moosflora*. Eugen Ulmer. Stuttgart.
- GAMS, H. 1966. Erzpflanzen der Alpen. *Jb. Ver. Schutz Alpenpfl.* 31. 65-73.
- GAMS, H. 1972. Zur Pflanzendecke um Klausen. *Der Schlern* 46: 395-398.
- GAMS, H. 1975. Vergleichende Betrachtung europäischer Ophiolithflore. *Veröff. Geobot. Inst. Rübel (ETH Zürich)* 55: 117-140.
- HARTL, H. & SAMPL, H. 1977 Untersuchungen zum "Kupfermoos" *Gymnocolea acutiloba* (KAALAAS) K. MÜLLER in der Großfragant, Mölltal, Kärnten. *Carinthia II* 167/87: 239-242.
- LÄMMERMAYER, L. 1934. Notizen zur Flora über Gips, Dolomit, Phyllit und Magnesit in Steiermark. *Mitt. naturw. Ver. Steiermark* 71. 41-62.

- LEVITT, J. 1972. *Responses of plants to environmental stress*. Academic Press New York.
- MAURER, W. 1961. Die Moosvegetation des Serpentinegebietes bei Kirchdorf in Steiermark. *Mitt. Abt. Zoologie u. Botanik Landesmuseum Joanneum (Graz)* 13: 1-27
- NIKLFIELD, H. 1973. Über Grundzüge der Pflanzenverbreitung in Österreich und einigen Nachbargebieten (Mit einer Kartentafel aus dem Atlas der Republik Österreich). *Verh. Zool.-Bot. Ges. Wien* 113: 53-69.
- PERSSON, H. 1956. Studies in "copper mosses" *J. Hattori Bot. Lab.* 17: 1-18.
- POELT, J. 1955. Flechten der Schwarzen Wand in der Großarl. *Verh. Zool.-Bot. Ges. Wien* 95: 107-113.
- 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. 1999. Kartierung von Schwermetallbiotopen im Ostalpenraum. *Sauteria* 10: im Druck.
- PUNZ, W. & MUCINA, L. 1997. Vegetation on anthropogenic metalliferous soils in the Eastern Alps. - *Folia Geobot. Phytotax.* 32: 283-295.
- SAUKEL, J. 1980. *Ökologisch-soziologische, systematische und physiologische Untersuchungen an Pflanzen der Grube "Schwarzwand" im Großarlal (Salzburg)*. Diss. Univ. Wien.
- SHAW, A.J. 1990. Metal tolerance in bryophytes. In: SHAW A.J., (ed.) *Evolutionary aspects of Heavy Metal Tolerance in Plants*. CRC Press Boca Raton. 133-151.
- TYLER, G. 1990. Bryophytes and heavy metals: a literature review *Bot. J. Linnean Soc.* 104: 231-253.
- URL, W. 1956. Über Schwermetall-, zumal Kupferresistenz einiger Moose. *Protoplasma* 46: 768-793.
- ZECHMEISTER, H. & PUNZ, W. 1990. Zum Vorkommen von Moosen auf schwermetallreichen Substraten, insbesondere Bergwerkshalden, im Ostalpenraum. *Verh. Zool. Bot. Ges. Österreich* 127: 95-105.

Anschrift des Verfassers: Univ-Ass. Prof. Mag. Dr. Wolfgang PUNZ, Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien, Abteilung für Ökophysiologie. A-1091 Wien, Althanstraße 14 POB 285. e-mail: Wolfgang.Punz@univie.ac.at