©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Carinthia II	175./95. Jahrgang	S. 377–392	Klagenfurt 1985

Aus dem Institut für Pflanzenphysiologie
der Universität Wien

Zur Frage der Besiedelung schwermetallhältiger Abraumhalden in Bleiberg/Kärnten

Teil II: *Erysimum sylvestre* (Cr.) Scop.

Von Helmuth Sieghardt*)

Mit 12 Abbildungen

*) Publikation Nr. 58 der MaB-Projektgruppe Urbanökologie.

Zusammenfassung: *Erysimum sylvestre* besiedelt in Bleiberg, Kärnten, die aus dem Bergbau stammenden und z. T. sehr steilen, schwermetallhältigen Abraumhalden. Blatt- und wurzelanatomische Studien zeigen einen, den extremen Bedingungen auf diesen Halden sehr gut angepaßten Bauplan, der sich u. a. in der Ausbildung eines mechanischen Gewebes in der Wurzel und im Sproß ausdrückt. Histochemische Befunde zeigen eine Bleifixierung sowohl in der sekundären Wurzel (Periderm und Wurzelrinde) als auch in den äußeren Zellwänden der Trichome. Aufgrund dieser und elementanalytischer Ergebnisse kann geschlossen werden, daß der Großteil der in das Wurzelgewebe aufgenommenen Schwermetalle (Blei und Zink) in den Zellwandräumen festgelegt wird bzw. die „Amboßhaare" Orte einer möglichen Schwermetall-Deposition sein können. Die recht unterschiedlichen Konzentrationen der Schwermetalle Blei und Zink in den Wurzeln und im Sproß lassen zumindest zwei verschiedene Wege der Stoffaufnahme vermuten. Dem Calcium wird beim Ferntransport des Zinks in die Blattorgane eine entscheidende Rolle zugeschrieben. Das Zurückhalten von Schwermetallen in den Zellwandräumen der Wurzeln und der Transport toxischer Metalle in die äußeren Zellwände der Trichome werden als metabolische Prozesse zur Herabsetzung der Schwermetallbelastung im Sinne einer Schwermetall-Toleranz angesehen.

Summary: Plants of *Erysimum sylvestre* settling metalliferous mine dumps (Bleiberg, Carinthia) were collected to investigate anatomical and ecophysiological specifications, especially by means of histochemical methods and quantitative heavy metal analysis. Secondary roots are retaining most of absorbed lead, whereas in aboveground organs only zinc concentrations were remarkable high. It is postulated, that zinc uptake is metabolically controlled, while lead uptake regulation is non metabolic. Heavy metal tolerance may result out of retention of these toxic metals in the roots as well as out of their deposition in the outer cell wall of plant hairs. These various processes may prevent interference of toxic metals with metabolic reactions at high concentrations in plants.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

EINLEITUNG

Die zur Familie der Brassicaceen (Cruciferae) zählende Species *Erysimum sylvestre* besiedelt im Raum Bleiberg/Kreuth in Kärnten die sehr steilen Flanken schwermetallhältiger Abraumhalden. Das kalkreiche Schuttmaterial ist neben dem Gehalt an Schwermetallen (Blei und Zink) vor allem durch den Mangel an humusreicher Feinerde und dem geringen Wasserhaltevermögen des Substrates gekennzeichnet. Nur wenige Individuen von *Erysimum* und *Silene* sind in der Lage, diese extremen Standorte dauernd zu besiedeln. In den edaphisch günstigeren Randzonen der unverfestigten Halde ist die Besiedelung größerer Areale durch andere Arten, z. B. *Epipactis atrorubens, Scrophularia canina, Pinus sylvestris* und *Picea abies,* möglich. ERNST (1964) beschreibt *Erysimum sylvestre* als typischen Vertreter des Thlaspietum cepaeifolii erysimetosum, einer Pflanzengesellschaft, deren Trennarten *Erysimum sylvestre* und *Scrophularia canina* auf kalk- und schwermetallreichen Halden des Erzbergbaues der östlichen Gailtaler Alpen siedeln.

Die bis zu 30 cm hoch werdende Gattung *Erysimum* ist an die extremen Standortbedingungen (hohe mechanische Anforderungen) vor allem durch die Ausbildung eines meist hangparallel in geringer Tiefe verlaufendes, reich verzweigtes Wurzelsystem angepaßt (Abb. 1). Neben der Steilheit des Geländes (Hangneigung ca. 35°) und dem rutschenden Substrat (Grob- und Feinschutt), die diese morphologische Spezialisierung des Wurzelsystems erfordern, bedingen vor allem ökophysiologische Streßsituationen – Süd-Exposition des Hanges und damit extreme Boden- und

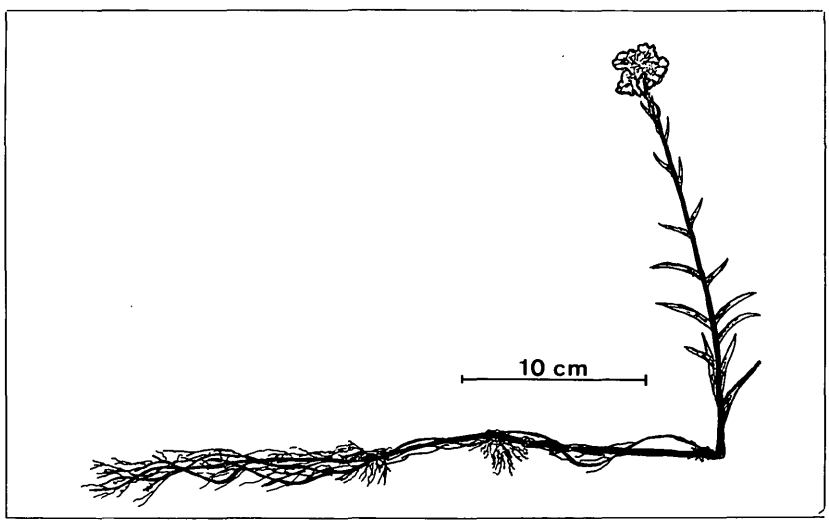


Abb. 1: Schematische Darstellung des Wurzelsystems von *Erysimum*; Standort „unverfestigte Halde" (Erläuterungen siehe Text).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Oberflächentemperaturen, hohe Transpirationsraten, verbunden mit relativ hohen Saugspannungen in den wasserleitenden Gefäßen der Sproßachse – sowie der Schwermetallreichtum im Wurzelraum besondere Überlebensstrategien (vgl. MAIER et al., 1981).

Der anatomisch-morphologische Bau der Wurzeln und der oberirdischen Organe von *Erysimum* einerseits und der Schwermetallgehalt in den betreffenden Pflanzenteilen andererseits soll in diesem Teil behandelt werden.

MATERIAL UND METHODIK

Pflanzenanatomie: Für die anatomisch-morphologischen Studien wurde das Bleiberger Probenmaterial in die einzelnen Organe getrennt, mit Aqua dest. gewaschen, in 70%igem Alkohol fixiert und konserviert. Serienschnitte von Blättern und Wurzeln konnten mit Hilfe eines Schlittenmikrotoms OM (Fa. REICHERT-JUNG) angefertigt werden. Die Schnittdicke betrug je nach Organ 25–50 μm. Die Auswertung erfolgte mit Hilfe der Mikrofotographie (Mikroskop-DIAVAR mit elektronischer Systemkamera Kam ES). Die Schwarzweißaufnahmen wurden mit Ilford Pan F (18 DIN/50 ASA), die Farbaufnahmen mit Kodak-Ektachrome Professional Film (Tungsten 50, 18 DIN/50 ASA) und die REM-Aufnahmen mit einer Polaroid SX 70 gemacht.

Histochemie: Die Sproß- und Wurzelquerschnitte wurden zunächst ca. eine Stunde gewässert (Aqua dest.) und anschließend mit Astrablau-Safranin gefärbt. Verholzte (lignifizierte) Zellwände färben sich rot, Cellulosewände blau (zur Methodik vgl. GERLACH, 1977). Blei wurde mit Natriumrhodizonat ($C_6O_6Na_2$) sowohl an Querschnitten als auch an Wurzelsegmenten (Stückfärbung) nachgewiesen (Methode, siehe SIEGHARDT, 1984).

Qualitative und quantitative Elementanalyse: Für die qualitative Elementanalyse wurden kleine Blattstücke präparativ vorbereitet (Oberflächenbesputterung mit Gold) und anschließend im Rasterelektronenmikroskop mit Zusatzeinrichtung (energiedispersive Röntgenstrahlanalyse) untersucht.

Die quantitative Elementanalyse des Pflanzenmaterials erfolgte mit Hilfe der Atomabsorptionsspektralphotometrie (siehe Teil I).

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Pflanzenanatomische Studien

Der blattanatomische Bau von *Erysimum sylvestre* läßt ein Mesophyll erkennen, das keine Gliederung in ein für die bifazialen Blattorgane der Cruciferen typisches adachsiales Palisadenparenchym und ein abachsiales

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

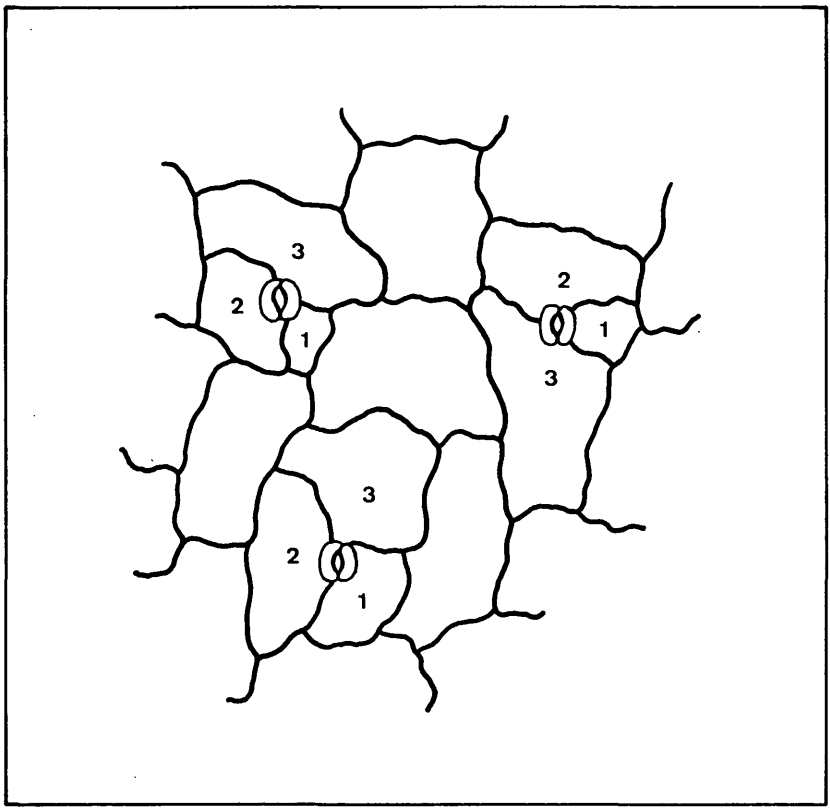


Abb. 2: Schematische Zeichnung der abaxialen Epidermis mit Stomata (Nebenzellen numeriert).

Schwammparenchym aufweist. In diesem Assimilationsgewebe liegen zahlreiche Leitbündelstränge, die einen kollateral-geschlossenen Bau besitzen und von einer parenchymatischen Gefäßbündelscheide umschlossen sind. Sowohl auf der Blattunterseite als auch auf der Blattoberseite befinden sich zahlreiche Spaltöffnungen, die aufgrund der Morphologie des Stomatakomplexes dem sog. Cruciferen-Typus (= anisocytischer Typus) angehören (Abb. 2), (vgl. METCALFE u. CHALK, 1950; FAHN, 1982).

Eine für die Gattung *Erysimum* typische epidermale Bildung sind die in Längsreihen (parallel zur Längsachse des Blattes) angeordneten Trichome (Abb. 3 u. 4). Dabei handelt es sich um einzellige „Amboßhaare", die mit ihrem „Fuß" in subepidermalem Gewebe verankert sind, und nur der warzig-körnig aussehende, spindelförmige Haarkörper (die Zellwände sind mit Ca/Si inkrustiert) ragt über die Epidermis hinaus (SOLEREDER, 1899; HUMMEL u. STAESCHE, 1962; UPHOF, 1962).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

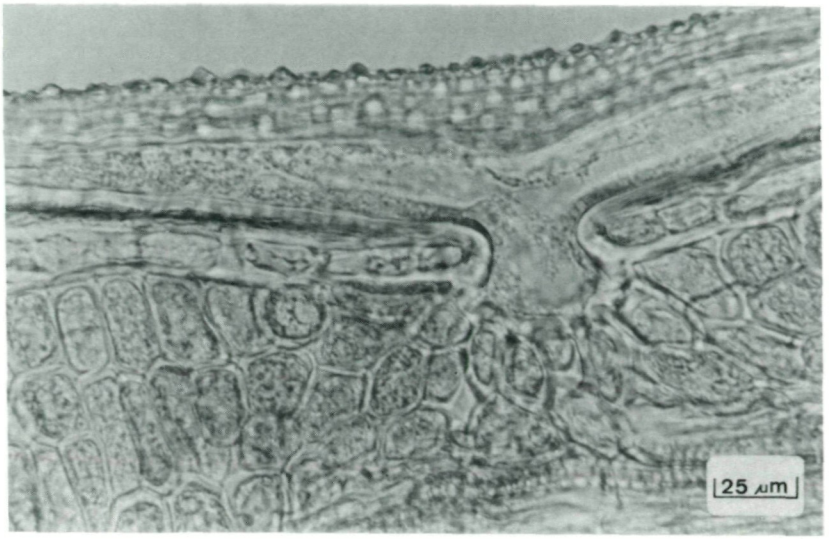


Abb. 3: Blattquerschnitt (parallel zur Mittelrippe) von *Erysimum:* „Amboßhaar", die warzig-körnige Oberfläche der Zellwand ist deutlich zu sehen; der erweiterte Fuß des Haares ist in subepidermalem Gewebe verankert.

Der anatomische Bau der Sproßachse zeigt im Querschnitt ein als geschlossener Ring ausgebildetes mechanisches Gewebe aus verholzten (lignifizierten), dickwandigen Zellen (Abb. 5). Die primäre Rinde ist in ihrem äußeren Teil kollenchymatisch ausgebildet. Im Zentrum der Sproßachse befindet sich ein teils parenchymatisches, an der Peripherie teilweise verholztes Markgewebe. Diese spezielle Bauweise des Stengels signalisiert eine gute Anpassung an das steile und z. T. noch unverfestigte Substrat, wodurch die Überlebenschance dieser Pionierpflanze erhöht ist.

Der Wurzelquerschnitt läßt ein für dieses Organ sehr typisches Verteilungsmuster der mechanischen Zellelemente erkennen (Abb. 6). Durch die hohe mechanische Belastung des Wurzelsystems (vgl. Abb. 1) befinden sich die der Festigung dienenden Sklerenchymfasern sowohl im Bereich des sekundären Xylems als auch peripher in der sekundären Rinde. Die äußeren Teile des Rindengewebes sind ebenfalls kollenchymatisch ausgebildet. Als sekundäres Abschlußgewebe ist ein mehrreihiger Kork (Periderm) vorhanden.

Histochemie

Neben der quantitativen Elementanalyse wurde der Versuch unternommen, das Schwermetall Blei auch histochemisch nachzuweisen. Wie frühere Untersuchungen gezeigt haben, eignet sich Natriumrhodizonat sehr

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 4: Blattoberseite von *Erysimum* mit „Amboßhaaren" (REM-Aufnahme).

gut, dieses Schwermetall in Wurzelsystemen in situ nachzuweisen (vgl. MAIER et al., 1981; SIEGHARDT, 1984). Innerhalb der einzelnen Organe sind z. T. sehr große Unterschiede im Schwermetallgehalt der Gewebe festzustellen. Wie die Abbildungen 7 und 8 zeigen, ist das Blei in älteren Wurzeln im Periderm und innerhalb des Zentralzylinders hauptsächlich um die größeren Gefäße nachzuweisen. Da eine saubere Trennung der Wurzelrinde vom Zentralzylinder nicht möglich war, mußte auf eine genauere Differenzierung hinsichtlich der Schwermetallokalisation verzichtet werden (vgl. Teil I). In der Sproßachse und den Blättern konnte dieses Schwermetall mit dieser Methode nicht mehr nachgewiesen werden. Möglicherweise ist die Konzentration im Xylemsaft zu gering, um über weite Strecken an der Innenwand der Gefäße adsorptiv gebunden zu sein.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

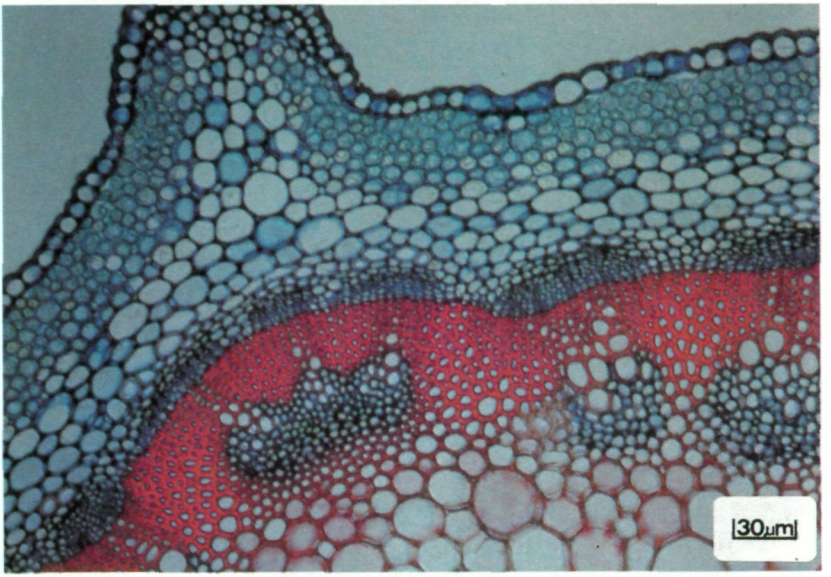


Abb. 5: Querschnitt durch den Stengel von *Erysimum;* Phloem und Xylem sind durch das mechanische Gewebe (rot) getrennt. Äußere Teile der primären Rinde sind kollenchymatisch ausgebildet.

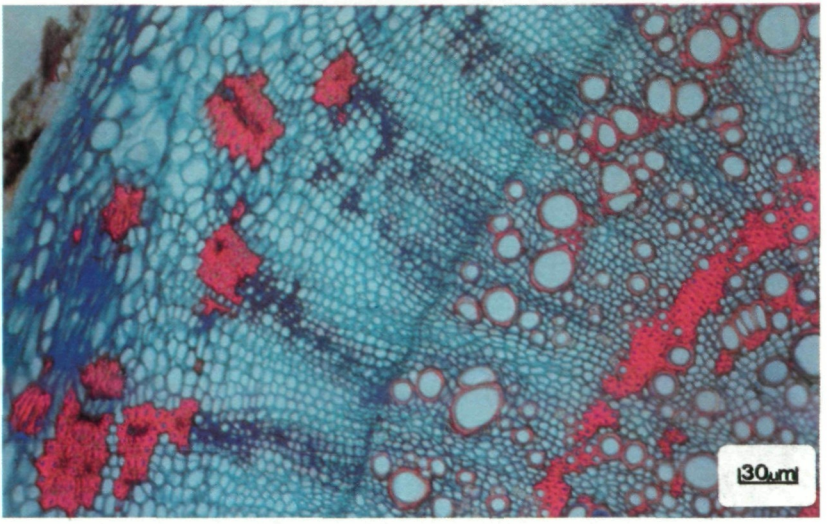


Abb. 6: Querschnitt durch eine sekundäre Wurzel von *Erysimum;* lignifizierte (verholzte) Zellwände des Xylems sind rot gefärbt. Die mechanischen Elemente (rot) sind im sekundären Xylem und in der sekundären Rinde vorhanden; die äußere Rinde ist teilweise kollenchymatisch verdickt.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

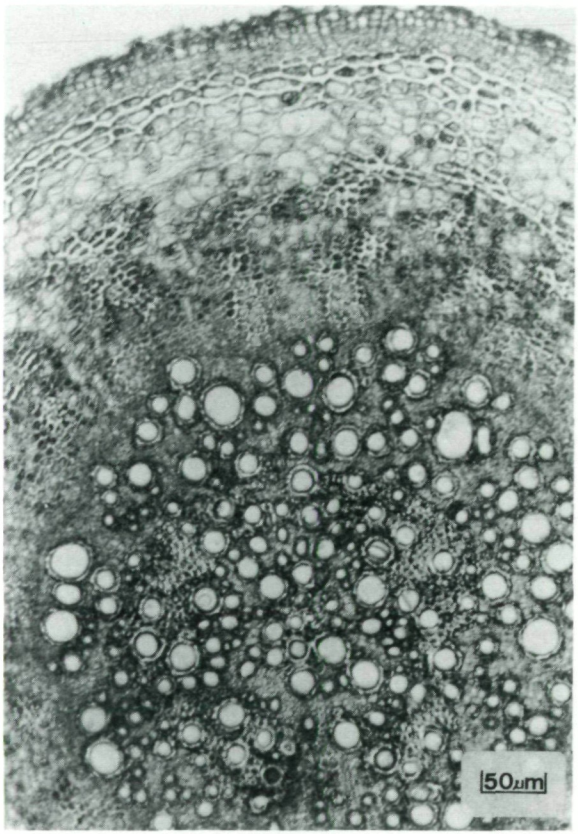


Abb. 7:
Querschnitt durch eine sekundäre Wurzel von *Erysimum*; festigende Zellelemente (Sklerenchymfasern) sind im Xylem und in der Rinde ausgebildet; den Abschluß nach außen hin bildet ein mehrreihiges Korkgewebe (Periderm).

Aus der quantitativen Elementanalyse ist aber ersichtlich, daß ca. 14% des gesamten Bleigehaltes in der Pflanze auf die oberirdischen Organe entfällt. Die hohe Selektivität der Zellwand-Pektine für divalente Metall-Kationen einerseits und die Endodermis als physiologische Barriere andererseits lassen vermuten, daß das Blei im Wurzelgewebe (Periderm und Rinden-free-space) festgelegt ist und nur ein geringer Teil in die oberirdischen Organe transportiert wird (LANE u. MARTIN, 1977 und 1980; PETERSON et al., 1981; SIEGHARDT, 1984).

Qualitative Elementanalyse

Die Deposition schwermetallhältiger Stäube auf Blättern schließt nicht aus, daß einzelne Schwermetalle aufgrund ihrer unterschiedlichen Wasserlöslichkeit via Spaltöffnungen in das Blattgewebe gelangen und damit in physiologischer Sicht an verschiedenen Stellen wirksam und die Ursache phytotoxischer Veränderungen des Assimilationsgewebes sein können

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

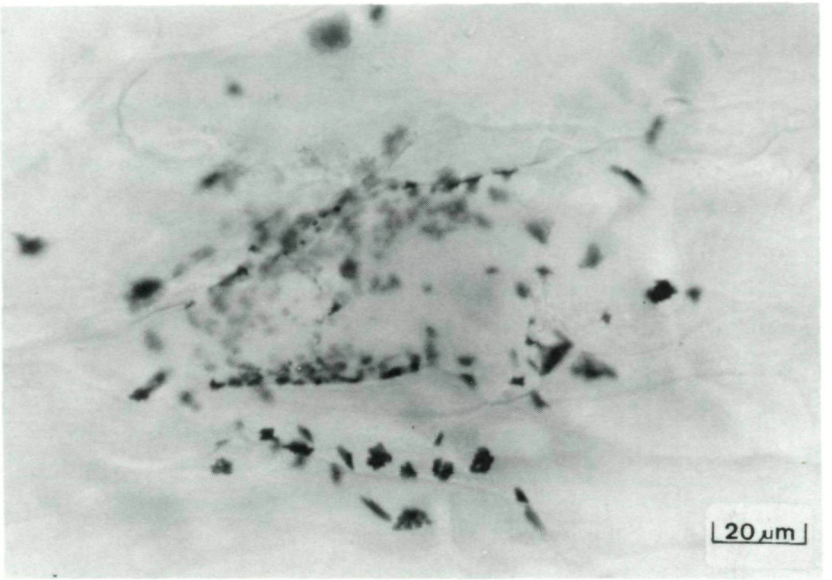
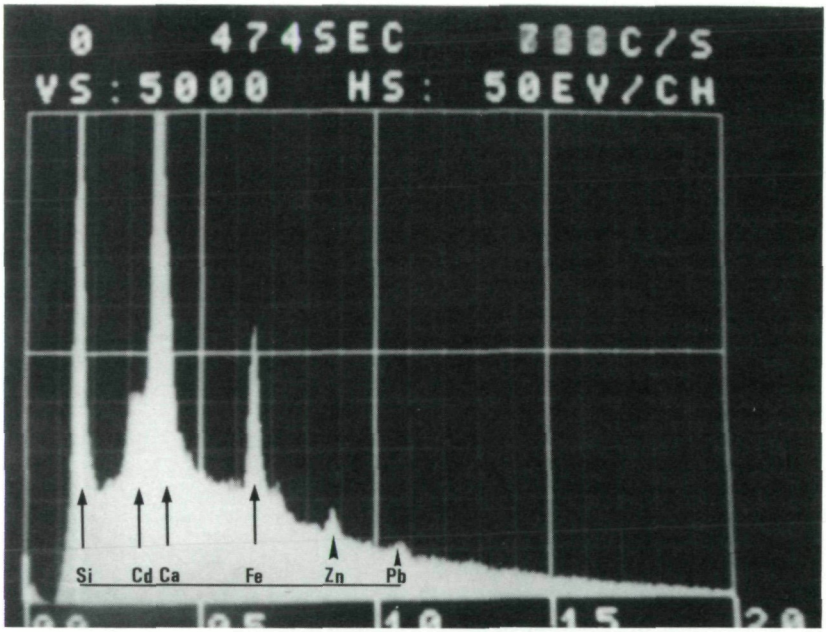


Abb. 8: Äußere Korkzellen des Periderms der sekundären Wurzel von *Erysimum;* die schwarzen Punkte (Flecken) sind Orte eines positiven Pb-Nachweises (Bildausschnitt).

(vgl. MAIER et al., 1979). Für Zink ist bekannt, daß es in größeren Mengen sowohl in den löslichen Proteinen des Zellplasmas als auch in den äußeren Zellwänden der Epidermis deponiert werden kann (ERNST, 1974).

In diesem Zusammenhang seien auch die vielen „Amboßhaare" auf den Blattspreiten von *Erysimum* erwähnt, die eine enorme Oberflächenvergrößerung darstellen und als „Feinstaubfalle" wirken können (vgl. Abb. 9a u. 9b). Mit Hilfe der energiedispersiven Röntgenstrahlanalyse war es möglich, einzelne dieser Haare sowohl auf ihren Staubelementgehalt als auch deren warzige Strukturen (Inkrustierungen der Zellwände) zu untersuchen. Das Ergebnis weist neben dem Gehalt an Calcium, Silizium und Eisen insbesondere die Schwermetalle Cadmium, Blei und Zink in diesen Strukturen aus. Offenbar werden diese Metalle bevorzugt in den Zellwänden der Trichome abgelagert. Histochemische Befunde zeigen eine charakteristische Rotfärbung der Zellwände mancher Haare, was auf die Anwesenheit von Blei schließen läßt (Abb. 10). Ziel weiterer anatomisch-cytochemischer Studien wird es sein, die Lokalisation dieser Schwermetalle in den Haaren genauer zu bestimmen, um die Entstehung dieser Schwermetallniederschläge in diesen epidermalen Bildungen erklären zu können. Die Festlegung der Schwermetalle in den Zellwänden der Trichome könnte auch als Prozeß des Schwermetallentzuges aus dem aktiven Stoffwechsel in den Blättern verstanden werden (TURNER u. GREGORY, 1967; TURNER u. MARSHALL, 1971).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at



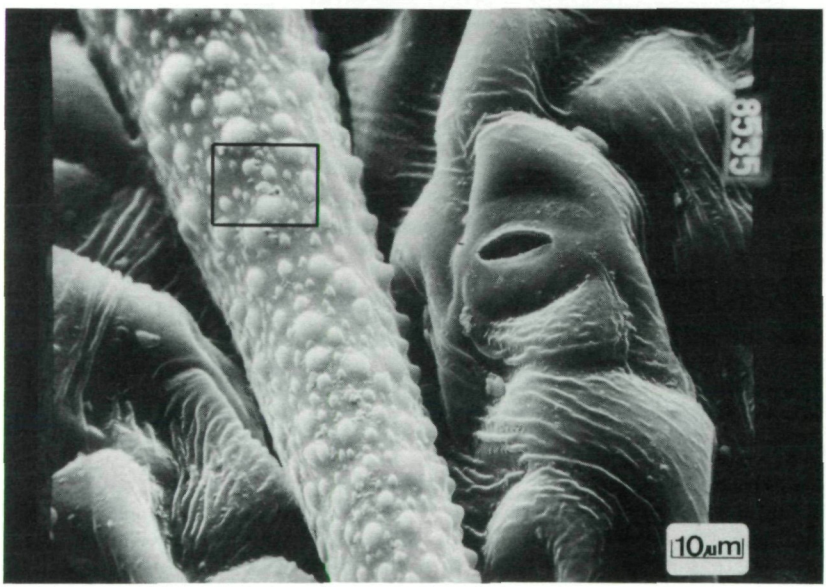


Abb. 9a und 9b: Qualitative Elementanalyse eines Trichoms von *Erysimum* (REM-Bildausschnitt); Zellwand-Inkrustierung mit Schwermetallen (Cadmium, Blei und Zink).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Quantitative Elementanalyse

Die sehr unterschiedlichen Elementgehalte von Blei und Zink in den Wurzeln und den oberirdischen Organen von *Erysimum* lassen auf verschiedene Mechanismen der Schwermetallaufnahme und des Transportes in der Pflanze schließen. Für beide Metalle werden sowohl metabolische (BOWEN, 1969; BROYER et al., 1972; JARVIS et al., 1977) als auch nichtmetabolische Prozesse (ARVIK u. ZIMDAHL, 1974) für die Aufnahme in das Wurzelsystem angenommen. Wie die Abbildung 11 zeigt, wird das Blei in der Wurzel festgelegt, während das Zink in der Wurzel und den oberirdischen Organen in etwa gleichen Konzentrationen vorhanden ist. Vom Blei wird vermutet, daß der überwiegende Teil des in den Rinden-free-space aufgenommenen Schwermetalles an bestimmte Zellwand-Pektine (Galakturonsäure-Derivate) adsorptiv gebunden ist (FOY et al., 1978; KOHN et al., 1981; MALONE et al., 1974; SIEGHARDT, 1984). Dazu kommt, daß im radialen Stofftransport die Endodermis als Stoffbarriere ionenselektive Aufgaben erfüllt. Ein Weitertransport in den Zentralzylinder ist nur durch „Umgehung" (= bypass) des Casparyschen Streifens möglich. Auf diese Weise kommt es mitunter zu einer respektablen Anhäufung von Pb (und anderer Schwermetalle) in den Endodermis- und

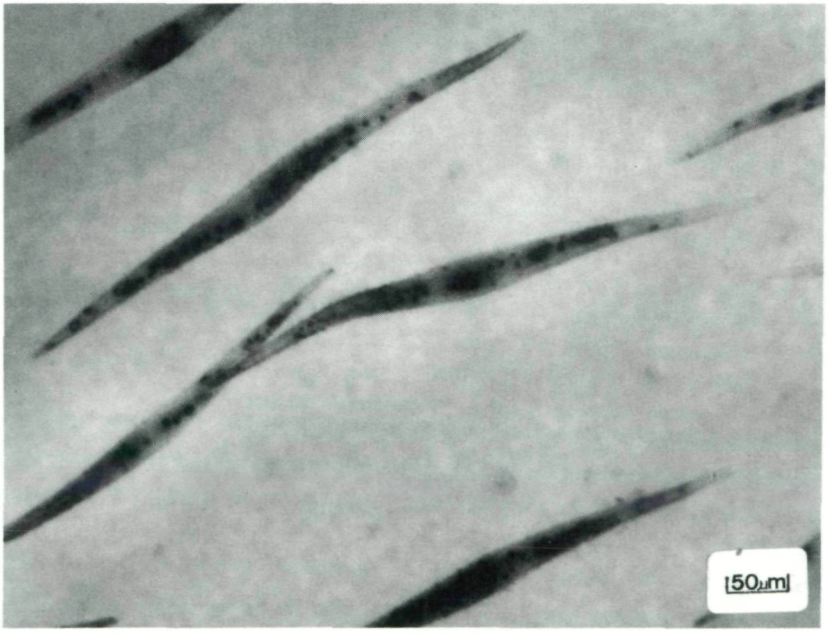


Abb. 10: Blattunterseite von *Erysimum:* „Amboßhaare"; histochemischer Pb-Nachweis mit Natriumrhodizonat; die dunklen „Flecken" auf der Oberseite der Trichome deuten auf eine Pb-Anreicherung hin.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Perizykelzellen (vgl. TANTON u. CROWDY, 1971; HOF, 1984). Ob bei der anschließenden „Entladung" der Schwermetalle in den Ferntransport via Xylem in die oberirdischen Organe auch das Xylemparenchym aktiv beteiligt ist, läßt sich nur vermuten (vgl. Teil I). Die Festlegung der Schwermetalle in den Zellwänden des Korkgewebes und der Wurzelrinde einerseits und die Bildung unlöslicher Metall-Oxalate in den Interzellularräumen der Wurzel andererseits wären stoffwechselphysiologische Mechanismen, toxische Schwermetalle unwirksam zu machen, wie dies Van BALEN et al. (1980) feststellen konnten. Diese Prozesse könnten mithelfen, toxische Metalle zu deaktivieren, um zu verhindern, daß Interaktionen mit metabolischen Prozessen bei hohen Schwermetallkonzentrationen stattfinden (HARDIMAN et al., 1984).

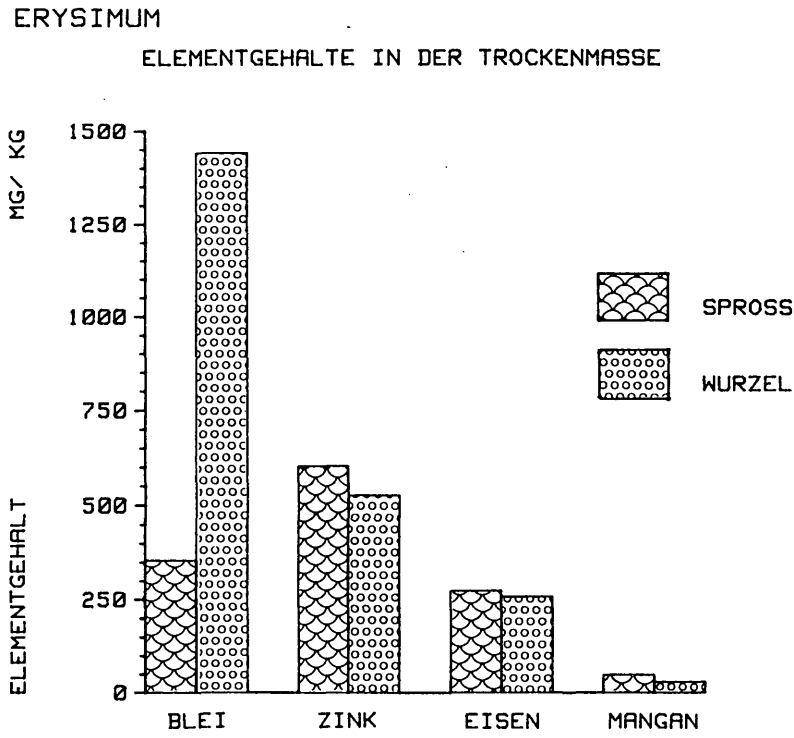


Abb. 11: Elementgehalte in der Trockenmasse von *Erysimum* (Wurzel und Sproß).

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

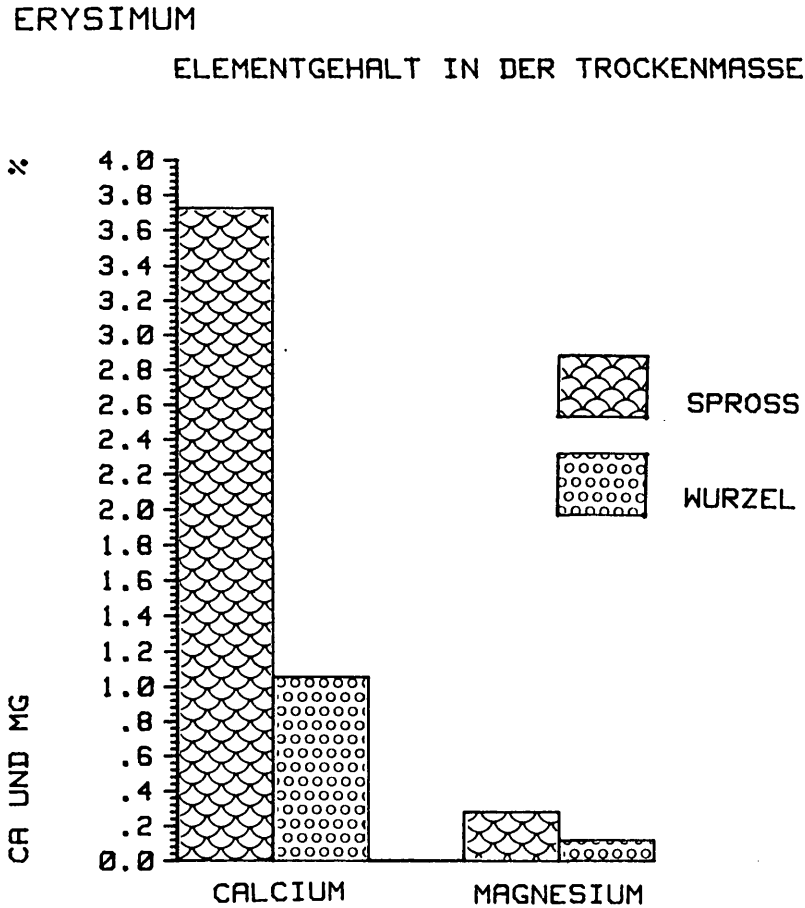


Abb. 12: Elementgehalt in % der Trockenmasse von *Erysimum* (Wurzel und Sproß).

Die relativ hohen Zinkkonzentrationen in den Wurzeln (550 ppm) und den oberirdischen Organen (Sproß 650 ppm) dürften einerseits mit Veränderungen im Zellwandchemismus und der Kationenaustauschkapazität der Wurzeln (PETERSON, 1969), andererseits mit Änderungen des Translokationsmusters in Zusammenhang stehen. Wie aus den Untersuchungen von WHITE et al. (1981) hervorgeht, ist der Metalltransport im Xylemsaft durch die Bildung von Organo-Komplexen (z. B. organischer Säuren als natürliche Chelatoren) weitgehend mitbestimmt, wodurch die Translokation erhöht und das Schwermetall in den Blattorganen akkumuliert wird (vgl. ERNST, 1982). Vor allem junge, wachsende Photosyntheseorgane sind

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

besonders auf einen ausreichenden Zink-Nachschub via Xylem angewiesen (Erhöhung des Zn-Bedarfs zinktoleranter Populationen durch Wachstum und Photosynthese). In diesem Zusammenhang sei auch die aktive Rolle des Ca^{2+} beim selektiven Kationentransport erwähnt (EPSTEIN, 1961), wodurch die Effizienz des Ionentransportes (z. B. für Mn und Mg) erheblich gesteigert werden kann (vgl. VELTRUP, 1981; siehe Abb. 12). Andererseits kann es gerade bei der Aufnahme divalenter Metallkationen in das intakte Wurzelsystem zur Konkurrenz um den Transportcarrier kommen, wie dies beim Calcium und Cadmium der Fall sein dürfte (JARVIS et al., 1976), die aufgrund ähnlicher relativer Ionenradii um die Aufnahme in das pflanzliche Gewebe konkurrieren. Der hohe Calciumgehalt in den Wurzeln von *Erysimum* scheint diese Ansicht zu bestätigen (Abb. 12). Für die Translokation des Zinks in den Sproß wird weiters nach den Untersuchungen von ERNST (1969) angenommen, daß dieses Schwermetall (ähnlich wie Fe) in chelatisierter Form transportiert wird. Für Blei und Zink bleibt aber derzeit noch die Frage des Aufnahmemechanismus offen: eine Möglichkeit wäre die Aufnahme von Metallchelaten aus der Bodenlösung; dagegen spricht jedoch die Molekülgröße der Chelat-Komplexe; eine andere wäre die Bildung „pflanzeneigener" Metall-Organokomplexe (z. B. durch Wurzelausscheidungen von Aminosäuren und/oder Hydroxycarbonsäuren), die ins Wurzelgewebe aufgenommen und über die Xylembahnen in die oberirdischen Organe transloziert werden können (STEVENSON, 1976).

DANK

Für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit möchte ich der Österr. Akademie der Wissenschaften (Kommission für Ökologie) meinen Dank aussprechen. Frau Dipl.-Ing. M. SARA (Zentrum für Ultrastrukturforschung der Universität für Bodenkultur) und Herrn Dr. H. MÜLLER (Institut für Bodenforschung und Baugeologie der Universität für Bodenkultur) danke ich für ihre Unterstützung am REM. Herrn A. SVOBODA gebührt für die sorgfältige Ausarbeitung der Schwarzweiß- und Farbbilder mein herzlicher Dank.

LITERATUR

ARVIK, J. H., and R. L. ZIMDAHL (1974): The influence of temperature, pH and metabolic inhibitors on uptake of lead by plant roots. – J. Environ. Qual. 3:374–376.

BOWEN, J. E. (1969): Adsorption of copper, zinc and manganese by sugar cane leaf tissue. – Plant Physiol. 44:255–261.

BROYER, T. C., C. M. JOHNSON and R. E. PAUL (1972): Some aspects of lead in plant nutrition. – Plant and Soil 36:301–313.

EPSTEIN, E. (1961): The essential role of calcium in selective cation transport by plant cells. – Plant Physiol. 36:437–444.

ERNST, W. (1964): Ökologisch-soziologische Untersuchungen in den Schwermetallpflanzengesellschaften Mitteleuropas unter Einschluß der Alpen. – Diss. Mathem. Nat. Fak. Univ. Münster. – Abh. Landesmuseum Naturkunde Münster 27(1):1–54.

– (1969): Zur Physiologie der Schwermetallpflanzen. – Subzelluläre Speicherungsorte des Zinks. – Ber. Dtsch. Bot. Ges. 82:161–164.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

– (1974): Schwermetallvegetation der Erde. – Geobotanica selecta Bd. V, G. Fischer Verlag, Stuttgart.

– (1982): Schwermetallpflanzen. – In: H. KINZEL (ed.), Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel, Verlag E. Ulmer, Stuttgart.

FAHN, A. (1982): Plant anatomy (third edition). – Pergamon Press Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris und Frankfurt.

FOY, C. D., R. L. CHANEY and M. C. WHITE (1978): The physiology of metal toxicity in plants. – Ann. Rev. Plant Physiol. 29:511–566.

GERLACH, D. (1977): Botanische Mikrotechnik. – G. Thieme Verlag, Stuttgart.

HARDIMAN, R. T., B. JACOBY and A. BANIN (1984): Factors affecting the distribution of cadmium, copper and lead and their effect upon yield and zinc content in bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.). – Plant and Soil 81:17–27.

HOF, I. (1984): Lokalisation und Wirksamkeit des Schwermetalles Blei in juvenilen Wurzelsystemen von *Zea mays* L.; Untersuchungen zur Makro- und Mikromorphologie von Primärwurzeln. – Diss. Univ. Wien.

HUMMEL K., und K. STAESCHE (1962): Die Verbreitung der Haartypen in den natürlichen Verwandtschaftsgruppen. – In: Handbuch der Pflanzenanatomie, Bd. IV/5.

JARVIS, S. C., L. H. P. JONES and M. C. HOPPER (1976): Cadmium uptake from solution by plants and its transport from roots to shoots. – Plant and Soil 44:179–191.

JARVIS, S. C., L. H. P. JONES and C. R. CLEMENTS (1977): Uptake and transport of lead by perennial ryegrass from flowing solution culture with a controlled concentration of lead. – Plant and Soil 46:371–379.

KOHN, R. A., A. MALOVIKOWA, W. BOCK und G. DONGOWSKI (1981): Bindung von Blei-Ionen an Nahrungspektine in Gemüse und Obst. – Die Nahrung 25(9):853–867.

LANE, S. D., and E. S. MARTIN (1977): A histochemical investigation of lead uptake in *Raphanus sativus*. – New Phytol. 79:281–286.

– (1980): Further observations on the distribution of lead in juvenile roots of *Raphanus sativus*. – Z. Pflanzenphysiol. 97:145–152.

MAIER, R., M. ALTGAYER, W. PUNZ, C. RAMMER, R. SCHINNINGER, H. SIEGHARDT, H. SLAD und C. WINTER (1979): Wasserhaushalt und Produktivität staubbelasteter Pflanzen in der Umgebung einer Zementfabrik in Kärnten. – Carinthia II, Klagenfurt, 169./89.:167–193.

MAIER, R., W. PUNZ, H. SIEGHARDT, E. DOMSCHITZ, A. NAGL, S. WIENER, A. KULHANEK und W. MÜHLEBNER (1981): Zur Ökologie einiger Pflanzen auf den schwermetallhaltigen Halden in Bleiberg/Kärnten. – Carinthia II, Klagenfurt, 171./91.:201–222.

MALONE, C., D. E. KOEPPE and R. J. MILLER (1974): Localization of lead accumulated by corn plants. – Plant Physiol. 53:388–394.

METCALFE, C. R., and L. CHALK (1950): Anatomy of the Dicotyledons. Vol. I.

PETERSON, P. J. (1969): The distribution of zinc-65 in *Agrostis stolonifera* L. and *A. tenuis* SIBTH. tissues. – J. exp. Bot. 20:863–875.

PETERSON, C. A., M. E. EMANUEL and S. G. HUMPHREYS (1981): Pathway of movement of apoplastic fluorescent dye tracers through the endodermis at the site of secondary root formation in corn (*Zea mays*) and broad bean (*Vicia faba*). – Can. J. Bot. 59(5):618–625.

SIEGHARDT, H. (1984): Eine anatomisch-histochemische Studie zur Bleiverteilung in Primärwurzeln von *Pisum sativum* L. – Mikroskopie (Wien) 41:125–133.

SOLEREDER, H. (1899): Systematische Anatomie der Dicotyledonen. – Verlag F. Enke, Stuttgart.

STEVENSON, F. J. (1976): Stability constants of Cu^{2+}, Pb^{2+} and Cd^{2+} with complexes with humic-acid. – Soil Sci. Soc. Amer. J. 40:665–672.

TANTON, T. W., and S. H. CROWDY (1971): The distribution of lead chelate in the transpiration stream in higher plants. – Pest. Sci. 2:211–213.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

TURNER R. G., and R. P. G. GREGORY (1967): The use of radio-isotopes to investigate heavy metal tolerance in plant. – Isotopes in plant nutrition and physiology. – IAEA 463–509, Wien.

TURNER, R. G., and C. MARSHALL (1971): The accumulation of 65-Zn by root homogenates of zinc-tolerant and non-tolerant clones of *Agrostis tenuis* SIBTH. – New Phytol. 70:539–545.

UPHOF, J. C. Th. (1962): Plant hairs. – In: Handbuch der Pflanzenanatomie Bd. IV/5.

VAN BALEN, E., S. C. VAN DE GEIJN and G. M. DEJMET (1980): Autographic evidence for incorporation of cadmium into calcium oxalate crystals. – Z. Pflanzenphysiol. 97:123–133.

VELTRUP, W. (1981): Effect of heavy metals on the calcium absorption by intact barley roots. – Journal of Plant Nutrition 3(1–4):225–231.

WHITE, M. C., A. M. DECKER and R. L. CHANEY (1981): Metal complexation in xylem fluid. III. Electrophoretic evidence. – Plant Physiol. 67:311–315.

Anschrift des Verfassers: Dr. Helmuth SIEGHARDT, Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien, Biologiezentrum, Althanstraße 14, A-1090 Wien.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Carinthia II

Jahr/Year: 1985

Band/Volume: 175_95

Autor(en)/Author(s): Sieghardt Helmut

Artikel/Article: Zur Frage der Besiedelung schwermetallhältiger Abraumhalden in Bleiberg/Kärnten 377-392