

Aus dem Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien

Zum Schwermetallgehalt von Pflanzen einer Eisenerzschlackenhalde bei Leoben/Donawitz¹

Von Wolfgang PUNZ, Rosemarie SCHINNINGER und Manfred ENGENHART

Mit 4 Tabellen (im Text)

Eingelangt am 5. März 1986

Zusammenfassung: Im Rahmen ökophysiologischer Messungen wurden Pflanzen einer Eisenerzschlackenhalde bei Leoben/Donawitz auf ihre Eisen- und Mangangehalte untersucht, mit Daten aus der Literatur verglichen und in Zusammenhang mit den extremen Substratbedingungen (hoher Eisengehalt/höhe Alkalität) diskutiert.

Summary: Iron and manganese contents of plants from an iron slag heap near Leoben/Donawitz (Styria, Austria) were determined. The results were compared with data from other authors and discussed with respect to the high alkalinity and high iron content of the slag.

1. Einleitung

Die Erzschlackenhalden am Südosthang des Bärnerkogels nördlich von Leoben werden in jüngerer Zeit mit pflanzenverträglichem Substrat abgedeckt und sodann begrünt (KARASEK 1980). Die älteren, aus reinem Schlackenmaterial bestehenden Halden in diesem Bereich sind demgegenüber durch extreme Bedingungen wie Nährstoffmangel, hohe Alkalität (pH 7,4–10,3, Kalkgehalt 5–29%), Trockenheit, extreme Temperaturen infolge Überhitzung des Schlackensubstrats und hohe Eisen- und Mangangehalte gekennzeichnet (KARASEK 1980, PUNZ et al. 1984, SPERL, mündl. Mitt.).

Die Standortvegetation reflektiert diese Bedingungen: jene Haldenfläche, deren letzte Schüttung 1942 erfolgte, ist – abgesehen von dem locker geforsteten Baumbestand – fast deckend von einer Moossschicht überzogen und weist lediglich vereinzelt kleine Bestände von Höheren Pflanzen auf (vgl. PUNZ et al. 1984 und in Druck).

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Frage, inwieweit der hohe Eisenanteil des Haldenmaterials (bis zu 30%; KARASEK 1980) in einem erhöhten Eisengehalt der Pflanzen eine Entsprechung findet, da das Eisen lediglich im sauren Bodenmilieu leicht mobilisierbar, im basischen Bereich dagegen kaum verfügbar ist (BAUMEISTER & ERNST 1978). Weiters sollte festgestellt werden, ob auch für den untersuchten Standort art- bzw. familienspezifische Unterschiede hinsichtlich der Schwermetallaufnahme zu

¹) MAB-Publ. Nr. 62

beobachten sind, wie dies mehrfach in der Literatur berichtet wird (vgl. etwa BAUMEISTER & ERNST 1978, MUTSCH 1980, KINZEL 1982). Um ein Maß für die Größe der volatilen/partikulären Fracht zu erhalten, wurden auch Proben von einem nahegelegenen „natürlichen“ (= nicht schlackehältigen) Untergrund (Schlag) gezogen und analysiert.

2. Material und Methoden

Standort: Die Pflanzenproben wurden von drei benachbarten Standorten geworben, die alle nördlich von Leoben/Donawitz am Südostabhang des Bärnerkogels in ca. 750 m Seehöhe liegen. Der Standort „Halde“ bezeichnet einen Haldenbereich, der zwischen 1930 und 1942 geschüttet und später ohne Aufbringen von Humusmaterial mit Gehölzen bepflanzt wurde (PUNZ et al. 1984). „Neue Halde“ meint einen Bereich jüngerer Schüttung, wobei das Material in Etagen aufgebaut wird und an der Oberfläche pflanzenverträgliche Substrate aufgebracht werden (KARASEK 1980). Der Vergleichsstandort „Schlag“ ist ein Kahlschlag in unmittelbarer Nähe der „Halde“ mit „natürlichem“ (= nicht schlackenhaltigem) Substrat.

Schwermetallbestimmung: Die Pflanzenproben wurden grob von anhaftenden Substratteilen befreit, unter fließendem Leitungswasser gereinigt, sodann in einem Meßkolben mit Aqua dest. versetzt und 10 Minuten lang gerührt. Nach dem Absetzen wurden die Proben in einen zweiten Meßkolben übergeführt und wieder 10 Minuten mit Aqua dest. gerührt. Diese Prozedur wurde noch ein drittes Mal wiederholt. Anschließend wurden die Proben getrocknet, aufgeschlossen und in einem Atomabsorptionsspektrometer 3030 der Fa. PERKIN & ELMER in der Flamme vermessen. Die Eisen- und Mangangehalte sind in mg/kg (= mg.kg⁻¹) Trockenmasse der Pflanzen angegeben.

Um das Ausmaß des anhaftenden Staubes zu dokumentieren, ist in Tab. 1 ein Vergleich der Eisen- und Mangangehalte gewaschener und ungewaschener Pflanzenproben wiedergegeben.

Tab. 1: Eisen- und Mangangehalte (in mg/kg Trockenmasse) gewaschener und ungewaschener Pflanzenproben

Pflanzenart/Standort	gewaschen		ungewaschen	
	Eisen	Mangan	Eisen	Mangan
<i>Betula</i> /Halde	733	571	800	549
<i>Betula</i> /Neue Halde	599	333	1224	417
<i>Clematis</i> /Halde	972	379	2900	587
<i>Clematis</i> /Schlag	269	84	832	145

3. Ergebnisse

In Tab. 2 sind die Eisen- und Mangangehalte der untersuchten Pflanzen vom Standort „Halde“ (Herkunftsbezeichnung „Leoben“) wiedergegeben. Um den Ver-

gleich mit Werten aus der Literatur zu erleichtern, wurden diese ebenfalls (unter Angabe von Herkunft und Autor) in die Tabelle eingearbeitet. Die untersuchten Pflanzen sind grundsätzlich nach Familien zusammengefaßt; sofern nicht Werte für dieselbe Spezies in der Literatur gefunden werden konnten, wurden nach Möglichkeit Eisen- und Mangangehalte verwandter Arten in die Tabelle aufgenommen. Da in der angeführten Literatur mit wenigen Ausnahmen durchwegs die Dimension „ppm“ bzw. „mg/kg“ verwendet wird, sind die Eisen- und Mangangehalte in Tab. 2 auch in mg/kg Trockenmasse angegeben.

Tab. 2: Eigene Eisen- und Mangananalysen von Haldenpflanzen aus Leoben im Vergleich mit Daten aus der Literatur. Arten, die nicht auf der Halde vorkommen, sind durch ein vorangestelltes + gekennzeichnet. Die genaue Pflanzenbezeichnung findet sich bei PUNZ et al. 1986. Die Werte von ERNST (1974), ERNST & NELSEN (1979), KINZEL (1982) und RITTER-STUDNIČKA & DURSON-GROM (1973) wurden von μg Atom/g in mg/kg umgerechnet. Österreichische Herkunftsbezeichnungen sind durch Angabe des Bundeslandes, ausländische durch das internationale Kurzsymbol des betreffenden Staates (nach einem Schrägstrich) ergänzt. Abkürzungen: Bl = Blatt, Blätter, Blü = Blüte, Fr = Frucht, Gam = Gametophyt, GV = Gefäßversuch, Kl = Keimling, Nj 1 = ältester Nadeljahrgang, Nj 3 = jüngster Nadeljahrgang, Spp = Sporophyt, Spr = Sproß, Spr + = toter Sproß, St = Stengel, Th = Thallus, Wz = Wurzel.

Pflanzenart		Eisen (mg/kg)	Mangan (mg/kg)	Herkunft der Proben	Autoren
Blattflechten:					
<i>Peltigera rufescens</i>	Th	9073	1438	Leoben	
<i>Peltigera rufescens</i>		13760	371	Scunthorpe/GB	SEWARD 1973
<i>Peltigera rufescens</i>		90380	5000	Scunthorpe/GB	SEWARD 1973
+ <i>Umbilicaria deusta</i>		6000	—	Sudbury/CDN	NIEBOER et al. 1972
Strauchflechten:					
+ <i>Stereocaulon nanodes</i>		21025	6	Siebertal/D	ERNST 1974
Krustenflechten:					
+ <i>Lecanora conizaeoides</i>		34800	1160	Frederiksvaerk/DK	PILEGAARD 1978
+ <i>Acarospora montana</i>		15400	—	Harz/D	LANGE & ZIEGLER 1963
+ <i>Acarospora sinopica</i>		60822	10120	Langelstein/D	ERNST 1974
Lebermoose:					
+ <i>Marsupella emarginata</i>		20534	28	Elpetal/D	ERNST 1974
Laubmoose:					
<i>Oncophorus virens</i>	Gam	12845	1836	Leoben	
+ <i>Weisia viridula</i>		4564	556	Silberberg/D	ERNST 1974
<i>Tortula inermis</i>	Gam	3167	583	Leoben	
<i>Rhacomitrium canescens</i>	Gam	29102	3407	Leoben	
+ <i>Aulacomnium palustre</i>	Gam	2100	113	Łaki Strzeleckie/PL	CZARNOWSKA & REJMENT-GROCHOWSKA 1974
Pteridophyten:					
<i>Botrychium lunaria</i>	Spp	570	174	Leoben	
+ <i>Asplenium cunaeifolium</i>		90	14	Gurhofgraben, NÖ	MURSCH 1980
+ <i>Pteridium aquilinum</i>		1300	412	Puszcza Niepolomicka/PL	GRESZTA 1985
+ <i>Notholaena marantae</i>		2427	—	Vardište/YU	RITTER-STUDNIČKA & DURSON-GROM 1973

Gymnospermen:

<i>Pinus sp. (Nj 1)</i>	Bl	799	104	Leoben	
(Nj 2)	Bl	485	286	Leoben	
(Nj 3)	Bl	174	240	Leoben	
+ <i>Pinus sylvestris</i>	Bl	473	20	Kraubath	MUTSCH 1980
<i>Picea sp.</i>	Bl	287	146	Leoben	
+ <i>Picea abies</i>	Bl	169	1400	Nesselstauden, NÖ	MUTSCH 1980
+ <i>Picea sp.</i>	Bl	—	5000	—	NEBE in ZÖTTL 1985

Angiospermen:

<i>Clematis vitalba</i>	Bl	972	379	Leoben	
<i>Clematis vitalba</i>	Bl	464	38	Wien	MUTSCH 1980
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	Spr+	9372	1128	Leoben	
+ <i>Cerastium arvense</i>	Bl	524	46	Kraubath	MUTSCH 1980
+ <i>Silene inflata</i>		1903	—	Rychtárová/CSSR	BANÁSOVÁ & HAJDÚK 1975
<i>Quercus robur Kl</i>	Bl	370	618	Leoben	
<i>Quercus robur</i>	Bl	334	533	Telgte/D	ERNST et al. 1974
<i>Quercus robur</i>	Bl	145	1450	Brilon/D	ERNST et al. 1974
<i>Betula pendula</i>	Bl	733	571	Leoben	
<i>Betula pendula Kl</i>	Bl	1181	563	Leoben	
<i>Betula pendula</i>	Bl	215	324	Telgte/D	ERNST et al. 1974
<i>Betula pendula</i>	Bl	100	1430	Drenthe/NL	ERNST 1985b
<i>Sorbus aucuparia</i>	Bl	585	267	Leoben	
<i>Sorbus aucuparia</i>	Bl	254	198	St. Jakob in Def., Tirol	MUTSCH 1980
<i>Sanguisorba minor</i>	Bl	371	383	Leoben	
<i>Oenothera biennis</i>	Bl	1483	872	Leoben	
<i>Oenothera biennis</i>	Bl	437	105	Kraubath	MUTSCH 1980
+ <i>Epilobium angustifolium GV</i>	Bl	742	358	Zwolle/NL	ERNST & NELISSEN 1979
<i>Alyssum alyssoides</i>	Fr	3488	483	Leoben	
<i>Diplotaxis tenuifolia</i>	Bl	622	273	Leoben	
<i>Diplotaxis tenuifolia</i>	Bl	156	47	Seibersdorf, NÖ	MUTSCH 1980
<i>Arabis hirsuta</i>	Fr	137	77	Leoben	
+ <i>Arabis glabra</i>	Bl	117	45	Gurhofgraben, NÖ	MUTSCH 1980
+ <i>Erysimum sylvestre</i>	Spr	273	48	Bleiberg, K	SIEGHARDT 1985
<i>Reseda lutea</i>	Bl	2473	478	Leoben	
<i>Reseda lutea</i>	Bl	6812	80	Wien	MUTSCH 1980
<i>Echium vulgare</i>	Bl	1730	336	Leoben	
<i>Echium vulgare</i>	Bl	137	89	Hundsheimer Berg, NÖ	MUTSCH 1980
<i>Chaenorhinum minus</i>	Spr	688	111	Leoben	
+ <i>Scrophularia nodosa</i>	Bl	515	65	Kasgraben, Wien	MUTSCH 1980
+ <i>Euphrasia stricta</i>	Bl	694	—	Blankenrode/D	ERNST 1974
<i>Achillea millefolium</i>	Bl	1587	337	Leoben	
<i>Achillea millefolium</i>	Bl	10700	—	Adorf/D	BOLLMANN & SCHWANTZ 1957
<i>Erigeron acer</i>	Bl	1793	622	Leoben	
<i>Conyza canadensis</i>	Bl	1017	302	Leoben	
<i>Hieracium pilosella</i>	Bl	859	400	Leoben	

<i>Hieracium pilosella</i>	Bl	22000	—	Adorf/D	BOLLMANN & SCHWANITZ 1957
<i>Hieracium pilosella</i>	Spr	—	1131	Redziny/PL	SEWARD & BYLINSKA 1980
<i>Eupatorium cannabinum</i>	Bl	571	202	Leoben	.
<i>Epipactis atrorubens</i>	Blü	2488	360	Leoben	
	St	684	95	Leoben	
	Wz	494	240	Leoben	
	Bl	278	80	Leoben	
Maximalgehalte von Blütenpflanzen:					
+ <i>Vellozia equisetoides</i>	Bl	20480	—	—	ERNST in KINZEL 1982
+ <i>Maytenus bureaviana</i>	Bl	—	32560	—	JAFFRÉ in KINZEL 1982

Der relativ hohe Eisen- und Mangangehalt von *Peltigera* überrascht keineswegs, ist doch bekannt, daß Flechten eine beträchtliche Schwermetallresistenz aufweisen, die zum Großteil auf die Speicherung der Ionen in der Zellwand zurückzuführen sein dürfte (BROWN & SLINGSBY 1972, JAMES 1973, PUCKETT et al. 1973). Von SEWARD (1973) konnten, wie in der Tabelle ersichtlich ist, für *Peltigera rufescens* sogar zehnmal höhere Eisengehalte als bei unseren Untersuchungen gefunden werden, wobei jedoch eine mögliche Ausbildung unterschiedlich resisternter Flechtenrassen in Rechnung gestellt werden muß (PUNZ 1977, JAMES, mündl. Mitt.).

Auch die hohe Schwermetallaufnahmekapazität von Bryophyten ist bekannt und wurde bereits zur Bioindikation von Schwermetallen im Freiland benutzt (GOODMAN & ROBERTS 1971, PIETSCH 1980). Ein noch nicht näher bestimmtes Moos auf Erzschlackenhalden bei Oravská pôdžámok/ČSSR wies sogar einen Mangangehalt von 6250 mg/kg (Eisen: 1295 mg/kg) auf. (Zur Schwermetallresistenz von Moosen vgl. BIEBL 1947).

Von den untersuchten Kormophyten besaß fast die Hälfte einen Eisengehalt von mehr als 1000 mg/kg. Bei *Alyssum* und *Arenaria* wurden trockene Pflanzenteile untersucht, so daß eine Akkumulation von Schwermetallen in diesem Fall nicht ausgeschlossen werden kann. Immerhin besitzen noch *Reseda*, *Erigeron*, *Conyza*, *Echium*, *Achillea*, *Oenothera* und die Blätter von Birkenkeimlingen Eisengehalte von mehr als 1000 mg/kg Trockenmasse. Höhere Werte finden sich in der Literatur z. B. für *Reseda* (MUTSCH 1980), *Achillea* und *Hieracium* (BOLLMANN & SCHWANITZ 1957).

Im Vergleich dazu liegen die Eisengehalte von Pflanzen nicht schwermetallbelasteter Standorte vorwiegend zwischen 100 und 300 mg/kg, wobei für verschiedene Pflanzen, ja sogar verschiedene phänologische Stadien unterschiedliche Amplituden (von 20 bis 1600 mg/kg) angeführt werden (BAUMEISTER & ERNST 1978, MUTSCH 1980). Beim Mangangehalt ist mit noch größeren Gehaltsschwankungen bei „Normalpflanzen“ zu rechnen: es finden sich Werte zwischen 20 und 740 mg/kg in der Trockenmasse (BAUMEISTER & ERNST 1978); nach BERGMANN & NEUBERT (1976) wurden sogar Werte zwischen 6 und 1200 mg/kg pflanzlicher Trockenmasse gemessen. Die gefundenen Eisengehalte der Haldenpflanzen reichen zwar keineswegs an die in der Literatur angegebenen Maximalwerte heran, liegen jedoch meist deutlich über dem Gehalt von Pflanzen durchschnittlicher Böden. Dagegen konnten mit Ausnahme der Thallophyten sowie der toten Sproßteile von *Arenaria* keine bemerkenswert hohen Mangangehalte bei den untersuchten Pflanzen gefunden werden.

Erwähnung verdient die Tatsache, daß das für das Pflanzenwachstum entscheidende Eisen-Mangan-Verhältnis (BAUMEISTER & ERNST 1978, FOY et al. 1978, ERNST 1985b), welches für das optimale Wachstum mancher Pflanzen einen bestimmten Wert besitzen muß (OERTLI & JACOBSON 1960), eine außerordentlich starke Schwankungsbreite aufweist (so auch bei AGARWALA et al. 1964) und sich auch mit dem Alter (vgl. *Pinus*, Nj. 1 : 7.7/Nj. 2 : 1.7/Nj. 3 : 0.7) und dem Pflanzenorgan (vgl. *Epipactis*, St.: 7.2/ Blü: 6.9/ Bl: 3.5/ Wz: 2.1) zu ändern scheint. Weitergehende Schlüsse aus dieser Beobachtung wären insofern voreilig, als die tatsächliche Verfügbarkeit des Eisens und Mangans hiebei eine Rolle spielen dürfte (vgl. dazu die Diskussion).

Ein Vergleich der Standorte Halde-Schlag (Tab. 3) zeigt deutlich, daß alle Eisenwerte der Haldenpflanzen höher liegen als diejenigen der Schlagpflanzen. Mit zwei bemerkenswerten Ausnahmen (*Betula*, *Sorbus*) ist dieselbe Tendenz auch für Mangan zu beobachten.

Tab. 3: Vergleich Halde-Schlag; Eisen- und Mangangehalte (in mg/kg Blatttrockenmasse).

Pflanzenart	Halde		Schlag	
	Eisen	Mangan	Eisen	Mangan
<i>Betula pendula</i>	733	571	431	706
<i>Clematis vitalba</i>	972	379	269	84
<i>Chaenorrhinum minus</i>	688	111	295	—
<i>Sorbus aucuparia</i>	585	267	399	667
<i>Eupatorium cannabinum</i>	571	202	151	103
<i>Quercus robur</i> Kl	370	618	38	195

Ein Vergleich der Standorte Halde–Neue Halde schließlich (Tab. 4) zeigt für die wenigen untersuchten Pflanzen (nur wenige gleiche Arten waren auf beiden Standorten auffindbar) ebenfalls höhere Schwermetallgehalte in den Proben der Halde.

Tab. 4: Vergleich Halde–Neue Halde; Eisen- und Mangangehalte (in mg/kg Blatttrockenmasse).

Pflanzenart	Halde		Neue Halde	
	Eisen	Mangan	Eisen	Mangan
<i>Betula</i>	733	571	599	333
<i>Erigeron</i>	1017	302	632	250
<i>Picea</i>	287	146	177	41

4. Diskussion

Am Anfang der vorliegenden Untersuchungen stand die Frage, ob den haldenbewohnenden Pflanzen die Eisen- und Manganaufnahme trotz des alkalischen Substrats – unter „normalen“ Bodenverhältnissen extrem ungünstig für die pflanzliche Eisen- und Manganversorgung – in ausreichendem Maß möglich ist. Die Ergebnisse lassen eine vorsichtig bejahende Antwort auf diese Frage zu. Hinsichtlich der Eisen- und Mangangehalte liegen die Haldenpflanzen mindestens im Durchschnitt, in zahlreichen Fällen sogar beträchtlich darüber. Einige Blütenpflanzen sowie die untersuchten Flechten und Moose weisen sogar einen Eisengehalt von über 1000 mg/kg pflanzlicher Trockenmasse auf, was sie nach der Terminologie von DUVIGNEAUD & DENAYER-DE SMET in KINZEL (1982) als „Metallophyten“ (bzw. „Ferrophyten“ nach dem dominierenden Schwermetall des Substrats) und im Begriffssystem von BROOKS et al. in KINZEL (1982) als „Hyperakkumulatoren“ qualifizieren würde. Derartige rein formale Klassifikationen berücksichtigen freilich nicht die besonderen Bedingungen des Standorts, noch weniger aber die pflanzeneigenen Faktoren, wie etwa die speziellen Aufnahmemechanismen für Eisen und Mangan (vgl. KINZEL 1982, ERNST 1985a). Da nämlich die Ausbildung sogenannter eisenefizienter und -ineffizienter Aufnahmemechanismen unterhalb der Arrebene, d. h. auf dem Niveau von Sippen, erfolgt, läßt bei der Besprechung der Metallgehalte von Einzelpflanzen eine hohe Konzentration noch keineswegs auf eine generell hohe Eisenaufnahmefähigkeit der Art oder gar der Familie rückschließen.

In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, daß bei der sicherlich geringen Zahl untersuchter Arten keine deutliche Beziehung zu den in der Literatur erwähnten familienspezifischen Präferenzen für Schwermetalle, im konkreten Fall für Eisen und Mangan, hergestellt werden konnte. Lediglich für *Arenaria* würde der relativ hohe gemessene Mangangehalt mit den Beschreibungen von GÜTTLER und BERTRAND & SILBERSTEIN, beide in BAUMEISTER & ERNST 1978 (hohe Mangangehalte bei Caryophyllaceen), korrespondieren.

Bedeutsamer erscheint die – im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht weiter untersuchte – Frage nach der Verfügbarkeit der im Pflanzenkörper vorhandenen Schwermetallionen; denn eine hohe Schwermetallkonzentration in der Trockensubstanz reflektiert nicht notwendig auch eine metabolische Belastung, da die Pflanze die Möglichkeit besitzt, beispielsweise in Zellwand oder Vakuole Schwermetalle zu immobilisieren (ERNST 1974, MALONE et al. 1974) und damit die „tolerance“-Komponente der Gesamtresistenz (vgl. LEVITT 1972) gering zu halten. Es ist daher zu vermuten, daß trotz des extrem eisenreichen Substrats mit dem (jedenfalls denkmöglichen) Auftreten von Eisentoxizität bei den Haldenpflanzen wohl nicht zu rechnen ist, dies umso mehr, als die wenigen aus der Literatur (Zusammenstellung bei FOY et al. 1978) bekannten Fälle von Eisentoxizität nur unter extrem reduzierten Bedingungen beobachtet werden konnten. Offen bleibt sicherlich die Frage, ob eine Humusbildung – und damit ein Ansäuern des Substrats – nicht doch ein wesentlich vermehrtes Maß an Schwermetallionen freizusetzen vermag (vgl. ERNST & JOOSSE-VAN DAMME 1983). Ein Vergleich zwischen Halde und neuer Halde brachte jedenfalls keinen diesbezüglichen Hinweis (die Ausbildung einer Humusdecke ist freilich bei der neuen Halde noch nicht sehr weit fortgeschritten). Eine Antwort auf diese Frage bleibt somit entweder dem Zeitablauf oder noch durchzuführenden Modellversuchen überlassen. Dem Eisen- bzw. Mangangehalt der Halde dürfte am Phänomen der seit Jahren in der Moosphase stagnierenden Sukzession (die überdies fast vollständig von einer einzigen Spezies dominiert wird) wohl kaum die Hauptverantwortung zukommen.

Dank

Für die Erlaubnis zur Durchführung der Untersuchungen auf den Halden danken wir der VOEST-Alpine AG, insbesondere Herrn OFM Dipl.-Ing. Siegfried KARASEK für sein freundliches Entgegenkommen. Der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und dem Magistrat der Stadt Wien sind wir für die finanzielle Unterstützung zu Dank verpflichtet. Für ihre Hilfe bei Aufschluß und Analyse der Proben danken wir Dr. Wilhelm VOGEL, cand. phil. Gabriele MESSNER und cand. phil. Erwin FRÜHWIRT. Der Slowakischen Akademie der Wissenschaften danken wir für die Möglichkeit eines Besuchs mittelslowakischer Erzhalde; für die freundliche Führung danken wir Dr. Viera BANÁSOVÁ, Dr. Olga KONTRIŠOVÁ und Dr. Albert ŠČEPKA. Herrn Univ.-Prof. Dr. Karl BURIAN danken wir für die freundliche Unterstützung.

Literatur

- AGARWALA, S. C., SHARMA, C. P., KUMAR, A. (1964): Interrélationship of iron and manganese supply in growth, chlorophyll and iron porphyrin enzymes in barley plants. – *Plant Physiol.*, 39: 603–609.
- BANÁSOVÁ, V., HAJDÚK, J. (1975): Gehalt an Cu, Zn, As und andere Elemente in einigen Pflanzen und Haldeböden sowie in Gebieten mit Exhalatquellen. – *Biológia* (Bratislava), 30: 293–301.
- BAUMEISTER, W., ERNST, W. (1978): Mineralstoffe und Pflanzenwachstum. – G. Fischer, Stuttgart.
- BERGMANN, W., NEUBERT, P. (1976): Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. – VEB G. Fischer, Jena.
- BIEBL, R. (1947): Die Resistenz gegen Zink, Bor und Mangan als Mittel zur Kennzeichnung verschiedener pflanzlicher Plasmasorten. – *Sitz.-Ber. Österr. Akad. Wiss., Math. naturw. Kl. I.*, 155: 145–157.
- BOLLMANN, A., SCHWANITZ, F. (1957): Über den Eisengehalt in Pflanzen eines eisenreichen Standortes. – *Z. Botanik* 45: 39–42.
- BROWN, D. H., SLINGSBY, D. R. (1972): The cellular location of lead and potassium in the lichen *Cladonia rangiformis* (L.) HOFFM. – *New Phytologist*, 71: 297–305.
- CZARNOWSKA, K., REJEMENT-GROCHOWSKA, I. (1974): Concentrations of heavy metals – iron, manganese, zinc and copper – in mosses. – *Acta Soc. Bot. Pol.*, 43: 39–44.
- ERNST, W. (1974): Schwermetallvegetation der Erde. – G. Fischer, Stuttgart.
- ERNST, W. H. O. (1985a): The effects of forest management on the genetic variability of plant species in the herb layer. – In: GREGORIUS, H. R. (Ed.), *Population Genetics in Forestry*, 60: 200–211, Springer, Berlin.
- ERNST, W. H. O. (1985b): Bedeutung einer veränderten Mineralstoffverfügbarkeit (Schwermetalle, Al, Ti) für Wachstums- und Selektionsprozesse in Wäldern. – Bielefelder Ökol. Beitr., 1: 143–158.
- ERNST, W. H. O., JOOSSE-VAN DAMME, E. N. G. (1983): Umweltbelastung durch Mineralstoffe – Biologische Effekte. – G. Fischer, Stuttgart.
- ERNST, W., NELISSEN, H. J. M. (1979): Growth and mineral nutrition of plant species from clearings on different horizons of an iron-humus podzol profile. – *Oecologia* (Berl.), 41: 175–182.
- ERNST, W., MATHYS, W., SALASKE, J., JANIESCH, P. (1974): Aspekte von Schwermetallbelastungen in Westfalen. – *Abh. L.-Mus. Naturkde.*, Münster/Westfalen, 36: 1–54.

- FOY, C. D., CHANEY, R. L., WHITE, M. C. (1978): The physiology of metal toxicity in plants. – *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 29: 511–566.
- GOODMAN, G. T., ROBERTS, T. M. (1971): Plants and soils as indicators of metals in the air. – *Nature*, 231: 287–292.
- GRESZTA, J. (1985): Untersuchungen über die Einwirkung von Stäuben aus einer Eisen- und Aluminiumhütte auf ein Waldökosystem. – *Bielefelder Ökol. Beitr.*, 1: 53–64.
- JAMES, P. W. (1973): The effect of air pollutants other than hydrogen fluoride and sulphur dioxide on lichens. In: FERRY, B. W., BADDELEY, M. S., HAWKSWORTH, D. L. (ed.), *Air Pollution and Lichens*, 8: 143–175. – The Athlone Press Univ., London.
- KARASEK, S. (1980): Haldenrekultivierungen im Rauchschadensgebiet Leoben-Dona-witz. – *Mitt. Forstl. B.-Versuchsanst. Wien*, 131: 113–123.
- KINZEL, H. (1982): *Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel*. – Ulmer, Stuttgart.
- LANGE, O. L., ZIEGLER, H. (1963): Der Schwermetallgehalt von Flechten aus dem *Acarosporum sinopicae* auf Erzschlackenhalden des Harzes. I. Eisen und Kupfer. – *Mitt. florist. soziol. Arbgem.*, N. F., 10: 156–183.
- LEVITT, J. (1972): *Responses of plants to environmental stress*. – Academic Press, New York.
- MALONE, C., KOEPPE, D. E., MILLER, R. J. (1974): Localisation of lead accumulated by corn plants. – *Plant Physiol.*, 53: 388–394.
- MUTSCH, F. (1980): Schwermetallanalysen an Freilandpflanzen im Hinblick auf die natürliche Spurenelementversorgung und die Schwermetallintoxikation. – *Diss. Univ. Wien*.
- NIEBOER, E., AHMED, K. J., PUCKETT, K. J., RICHARDSON, D. H. S. (1972): Heavy metal content of lichens in relation to distance from a nickel smelter in Sudbury, Ontario. – *Lichenologist*, 52: 292–304.
- OERTLI, J. J., JACOBSON, L. (1960): Some quantitative considerations in iron nutrition of higher plants. – *Plant Physiol.*, 35: 636–688.
- PIETSCH, W. (1980): Unterschiedliche Akkumulation von Schwermetallen durch *Sphagnumarten* an straßenseitigen Mooren in der DDR. – *Kongreß- und Tagungsberichte Martin-Luther-Univ., Halle-Wittenberg*, 26: 36–42.
- PILEGAARD, K. (1978): Airborne metals and SO_2 monitored by epiphytic lichens in an industrial area. – *Environ. Pollut.*, 17: 81–92.
- PUCKETT, K. J., NIEBOER, E., GORZYNSKI, M. J., RICHARDSON, D. H. S. (1973): The uptake of metal ions by lichens: A modified ion-exchange process. – *New Phytol.*, 72: 329–342.
- PUNZ, W. (1977): Stoffwechselphysiologische Untersuchungen über die Wirkung von kombinierten Umweltgiften auf Flechten. – *Diss. Univ. Wien*.
- PUNZ, W., SCHINNINGER, R., DOMSCHITZ, E., HOF, I., TEUSCHL, G. (1984): Untersuchungen auf rekultivierten Halden im Raum Leoben/Donawitz. – *Sitz.-Ber. Österr. Akad. Wiss., Math. naturw. Kl. I.*, 193: 143–159.
- PUNZ, W., ENGENHART, M., SCHINNINGER, R. (1986): Zur Vegetation einer Eisenerzschlackenhalde bei Leoben/Donawitz. – *Mitt. naturw. Ver. Steiermark*, in Druck.
- RITTER-STUDNICKA, H., DURSON-GROM, K. (1973): Über den Eisen-, Nickel- und Chromgehalt in einigen Serpentinpflanzen Bosniens. – *Österr. Bot. Z.*, 120: 410–431.
- SEWARD, M. R. D. (1973): Lichen ecology of the Scunthorpe heathlands. I. Mineral accumulation. – *Lichenologist*, 5: 423–433.

- SEAWARD, M. R. D., BYLINSKA, E. A. (1980): Plant-substrate correlations in bioindication studies of metals. – Kongreß- und Tagungsberichte Martin-Luther-Univ. Halle-Wittenberg, 24: 45–51.
- SIEGHARDT, H. (1985): Zur Frage der Besiedelung schwermetallhaltiger Abraumhalden in Bleiberg/Kärnten. II. *Erysimum sylvestre* (Cr.) Scop. – Carinthia II., 175/95: 377–392.
- ZÖTTL, H. W. (1985): Schwermetalle im Stoffumsatz von Waldökosystemen. – Bielefelder Ökol. Beitr., 1: 31–51.

Anschrift der Verfasser: Mag. Dr. Wolfgang PUNZ, Dr. Manfred ENGENHART,
Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien,
A-1091 Althanstraße 14;
Mag. Dr. Rosemarie SCHINNINGER,
A-8045 Graz/Andritz, Reichsstraße 77.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark](#)

Jahr/Year: 1986

Band/Volume: [116](#)

Autor(en)/Author(s): Punz Wolfgang, Schinninger Rosemarie, Engenhart Manfred

Artikel/Article: [Zum Schwermetallgehalt von Pflanzen einer Eisenerzschlackenhalde bei Leoben/Donawitz. 211-220](#)