Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 141 (2004): 79–84
© Zoologisch-Botanische Gesellschaft Österreich; download unter www.biologiezentrum.at

Blei- und Zinkaufnahme bei *Thlaspi minimum* und *Arabidopsis halleri*, ein Vergleich

Bettina AIGNER, Helmuth SIEGHARDT, Wilfried KÖRNER, Marieluise WEIDINGER

Weltweit sind ca. 400 Pflanzenarten bekannt, die Schwermetalle hyperakkumulieren. Die Brassicaceen stellen dabei zahlenmäßig das Hauptkontingent unter den Metall-Hyperakkumulatoren. *Thlaspi minimum* und *Arabidopsis halleri* (syn. *Cardaminopsis halleri*), zwei Vertreter dieser Familie, speichern Schwermetalle in den oberirdischen Organen, wobei aber große Unterschiede in der Verteilung der Metall-Ionen innerhalb des Blattgewebes auftreten. Bei *Thlaspi* erfolgt der Zinktransport vor allem in die Epidermiszellen der Rosettenblätter. In den oberirdischen Organen von *Arabidopsis* weisen die Blütenstände und die Blätter die höchsten Zinkkonzentrationen auf, wobei die Parenchymzellen des Chlorenchyms bevorzugte Orte einer Schwermetalldeposition sind. Dies lässt auf unterschiedliche Strategien einer Metalltoleranz schließen, die beide Pflanzenarten bei der Bewältigung des Schwermetallstresses verfolgen.

AIGNER B., SIEGHARDT H., KÖRNER W. & WEIDINGER M., 2004: Heavy metal accumulation in *Thlaspi minimum* and *Arabidopsis halleri*, a comparison.
Today, about 400 plant species are known to hyperaccumulate heavy metals. Brassicaceae are one of the families containing the most metal accumulators. Two representatives of this family are *Thlaspi minimum* and *Arabidopsis halleri*. Both are able to accumulate heavy metals in their aerial parts, but there are great differences in the distribution of the metalions within the leaf tissue. In *Thlaspi*, Zn is predominantly localized in the epidermal cells of the rosette leaves. In the aboveground organs of *Arabidopsis halleri* Zn is mainly located in the inflorescences and the leaves. Within the rosette leaves of *Arabidopsis* the parenchyma cells of the chlorenchyma are preferential places of heavy metal deposition. We conclude that these two species apparently pursue different strategies of heavy metal tolerance.

Keywords: *Thlaspi minimum, Arabidopsis halleri*, Brassicaceae, metal hyperaccumulation.

Einleitung

Die meisten Pflanzen reagieren auf erhöhte Schwermetallgehalte im Boden, indem sie die Aufnahme von Schwermetallionen in die Wurzelsysteme entweder verhindern oder erschweren („avoidance" sensu LEVITT 1980, „excluder" sensu BAKER 1981). Viele können nur überleben, wenn durch spezifische Maßnahmen im Stoffwechsel die aufgenommenen Schwermetallmengen unschädlich gemacht werden. Nach BAKER (1981) besitzen Pflanzen auf schwermetallkontaminierten Böden verschiedene Strategien der Schwermetallaufnahme: Excluder schließen Schwermetalle bei der Aufnahme weitgehend aus oder fixieren Metalle in den Wurzeln und verhindern so einen Transport in die oberirdischen Organe. Akkumulatoren/Hyperakkumulatoren reichern Schwermetalle bevorzugt in den oberirdischen Organen an. Bei Indikatoren erfolgt die Schwermetallaufnahme in Beziehung zur Schwermetallkonzentration des Bodens. Hyperakkumulatorpflanzen können nach BAKER & BROOKS (1989) > 1.000 $\mu g.g^{-1}$ Ni, Cr, Co, Pb oder Cu bzw. > 10.000 $\mu g.g^{-1}$ Mn und Zn in den Blättern speichern.

Die kritischen Gehalte, bei denen Schwermetalle toxisch wirken, sind für die einzelnen Pflanzenarten jedoch verschieden. Die toxische Wirkung eines Schwermetalls hängt vor allem von seiner Lokalisation bzw. Bindungsform ab. Im Apoplasten der Wurzel sind Schwermetalle durch die Bindung an die Zellwände von phytotoxischen Wirkungen weitgehend ausgeschlossen. Schwermetallüberschuss im Cytosol kann den Stoffwech-

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; downl

sel jedoch erheblich beeinträchtigen. Durch Produktion von spezifischen Metaboliten (Stresspolypeptiden und Stressproteinen) können Metallophyten einem Schwermetallstress wirksam gegensteuern (vgl. MENGEL 1991).

Die meisten Hyperakkumulatoren sind auf bestimmte Schwermetallstandorte beschränkt, die durch ein bzw. mehrere Schwermetalle im Boden dominiert werden (z. B. Galmei/Serpentin). *Thlaspi minimum* und *Arabidopsis halleri* sind zwei Beispiele für Hyperakkumulatoren, die auf den Blei-Zink-Halden (Galmei-Lagerstätten) des Hochobir (Nordkarawanken, Kärnten) vorkommen. Nach PUNZ & MUCINA (1997) kann die Haldenvegetation des Hochobir dem Typus *Papaveri kerneri – Thlaspietum kerneri* zugeordnet werden. Ökophysiologische Stressoren (hohe Einstrahlungs- und Temperaturamplituden, geringe Rückhaltekapazität für das Wasser und die Nährstoffarmut des Substrates) sowie ein Überangebot an toxischen Schwermetallen stellen an die pflanzlichen Besiedler hohe Anforderungen, die das Überleben auf diesen Halden sehr erschweren (s. PUNZ & MAIER 1999).

Material und Methodik

Thlaspi minimum und *Arabidopsis halleri* wurden gemeinsam mit Bodenproben aus dem Wurzelraum auf einer Halde oberhalb der Eisenkappler Hütte am Hochobir aufgesammelt.

Für die Bestimmung der Gesamtschwermetallgehalte wurden die Pflanzen in unterirdische Biomasse, Rosettenblätter und Blütenstände getrennt. Anschließend wurden die Proben unter fließendem Leitungswasser gewaschen und dann zweimal mit deionisiertem Wasser gespült. Die gesäuberten Pflanzenteile wurden 3 Tage bei 80°C im Trockenschrank getrocknet. Mit einer Achatkugelmühle wurde das Material fein vermahlen. Am Institut für Geochemie der Universität Wien erfolgte der extrahierbare Säure-Gesamtaufschluss in einem Mikrowellengerät (MLS 1200 mega; siehe KUDJELKA 2002). Die Elementgehalte wurden mit einem ICP-MS „Elan 6100" der Fa. Perkin Elmer bestimmt.

Für die Mikroelementanalyse wurden Blätter gewaschen, zweimal mit deionisiertem Wasser gespült und anschließend gefriergetrocknet. Die getrockneten Proben wurden auf Kohlestubs geklebt, mit Kohle bedampft und im Rasterelektronenmikroskop (JEOL 35CF) am Institut für Zoologie der Universität Wien, Abteilung Ultrastrukturforschung, untersucht. Die Röntgenstrahl-Mikroelementanalyse (XMA) ermöglicht die Bestimmung chemischer Elemente in der Probe, wobei qualitative und semiquantitative Elementbestimmungen simultan durchgeführt werden können.

Die Analyse der Bodenproben erfolgte am Institut für Waldökologie der Universität für Bodenkultur. Das Probenmaterial wurde hinsichtlich des Schwermetallgehaltes nach 3 unterschiedlichen Verfahren untersucht: Der „Gesamtschwermetallgehalt" des Bodens wurde mit Aqua regia (Königswasser-Aufschluss), die adsorbierten Schwermetalle im Boden mit Bariumchlorid ($BaCl_2$) und die an die organische Substanz im Boden komplexierten Schwermetalle im AED/EDTA-Auszug bestimmt. Der pH-Wert des Feinbodens (Korngröße <2 mm) wurde mit $CaCl_2$/Aqua dest. ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

In der nachfolgenden Tabelle sind die Schwermetallkonzentrationen ($\mu g.g^{-1}$) des Bodens für die Elemente Blei (Pb), Cadmium (Cd), Eisen (Fe), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), und Zink (Zn) dargestellt. Die Schwankungsbreite des Boden-pH-Wertes lag zwischen 7,9 und 8,4, je nach Probenahmeort auf der Halde bzw. Kalkgehalt des Bodens.

Tab.1: Schwermetallgehalt im Feinboden. – Heavy metal content of the fine soil.

Extrakte	Cd $\mu g.g^{-1}$	Cu $\mu g.g^{-1}$	Fe $\mu g.g^{-1}$	Ni $\mu g.g^{-1}$	Pb $\mu g.g^{-1}$	Zn $\mu g.g^{-1}$
Aqua regia	55,89	2,67	6.161,00	8,94	61.201,41	5.824,95
0,1 M $BaCl_2$	3,69	nbb.	nbb.	nbb.	22,46	21,29
AED/EDTA	17,71	0,49	0,02	0,10	34.136,54	1.144,05

Im Wesentlichen hängt die Schwermetallaufnahme von der Löslichkeit im Boden ab. Hier sind vor allem jene Faktoren von Bedeutung, die zur Fixierung bzw. Mobilisierung der Schwermetalle beitragen (pH-Wert, organische Substanz, Fe-, Al- und Mn-Oxide). Das gilt im Besonderen für das Blei, dessen Mobilität durch Bindung an Huminstoffe bzw. an Tonminerale in kalkhaltigen Böden bei relativ hohen pH-Werten sehr gering ist (vgl. KINNIBURG et al. 1976, ALLOWAY 1999).

Bei beiden Pflanzenarten ist das Blei überwiegend in der unterirdischen Biomasse festgelegt. Durch Fixierung an die Zellwände ist dieses Schwermetall von einem Transport in die oberirdischen Organe weitgehend ausgeschlossen. Offenbar stellt die Endodermis der jungen Wurzel keine absolute Barriere dar. Mit dem Xylemtransport wird das ionogene Blei in die oberirdischen Organe transportiert und in den Blättern/Blütenständen deponiert (s. Abb.2).

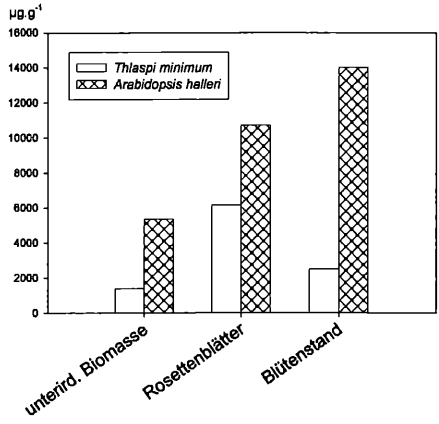

Abb. 1: Zinkgehalte in verschiedenen Organen von *Thlaspi minimum* und *Arabidopsis halleri*. – The concentration of zinc in different organs of *Thlaspi minimum* and *Arabidopsis halleri*.

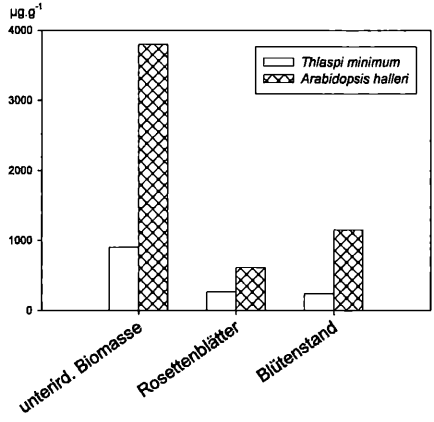

Abb. 2: Bleigehalte in verschiedenen Organen von *Thlaspi minimum* und *Arabidopsis halleri*. – The concentration of lead in different organs of *Thlaspi minimum* and *Arabidopsis halleri*.

Das Verteilungsmuster von Zink zeigt ein völlig anderes Bild: Sowohl bei *Thlaspi minimum* als auch bei *Arabidopsis halleri* wurden die höchsten Konzentrationen in den Rosettenblättern bzw. in den Blütenständen gemessen (Abb. 1). Mit hoher Wahrscheinlich-

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; downloaded from www.biologiezentrum.at

keit wird das Zink als Metallchelat in die oberirdischen Organe transportiert und hier auf zellulärem Niveau kompartimentiert (vgl. ERNST 1996).

Vergleicht man die Zn-Verteilung in den verschiedenen Geweben der Rosettenblätter beider Pflanzen so ergibt sich folgendes Bild (s. Abb. 3):

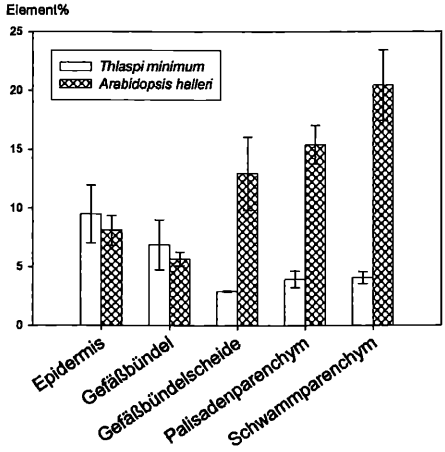

Abb. 3: Verteilung des Zinks in verschiedenen Blattgeweben von *Thlaspi minimum* und *Arabidopsis halleri*. – Distribution of Zn in different leaf tissues of *Thlaspi minimum* und *Arabidopsis halleri*.

Auf der Blattunterseite von *Thlaspi minimum* sind stark vergrößerte Epidermiszellen zu erkennen, die zwischen „normalen", den Spaltöffnungen unmittelbar benachbarten Epidermiszellen liegen (Abb. 4 u. 5). In diesen großen Zellen wurden hohe Zinkgehalte gemessen. Die mit sehr großen Vakuolen ausgestatteten Epidermiszellen sind offenbar ein bevorzugtes Speicherdepot für das Zink (vgl. Abb. 3). In den Gefäßbündeln der Blattspreite konnten ebenfalls relativ hohe Zinkgehalte gemessen werden. Relativ niedrige Werte wurden in den Parenchymzellen des Assimilationsgewebes festgestellt. *Arabidopsis halleri* hingegen zeigt eine wesentlich andere Schwermetallverteilung innerhalb

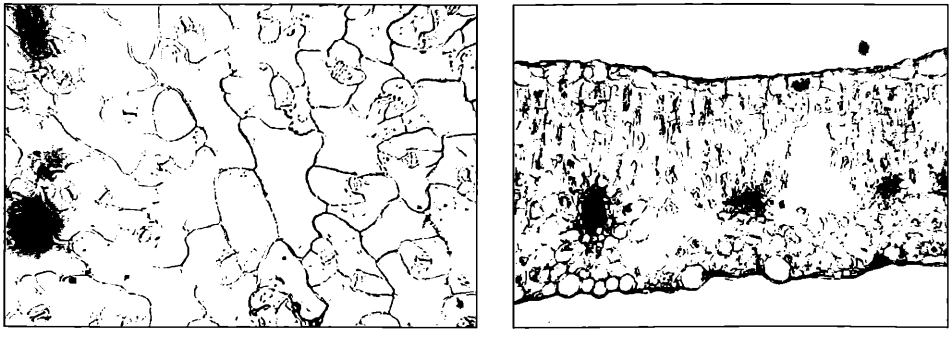

Abb. 4 u. 5: *Thlaspi minimum* – Blattunterseite und Blattquerschnitt. Man beachte die stark vergrößerten Epidermiszellen. – *Thlaspi minimum* – leaf lower surface and cross section. Note the enlarged epidermal cells.

seiner Rosettenblätter (Abb. 3). Die Zellen der Epidermis, die keinen morphologischen Dimorphismus hinsichtlich Größe und Form erkennen lassen, weisen relativ niedrige Zinkgehalte im Vergleich zu den Parenchymzellen des Assimilationsgewebes auf (vgl. ZHAO et al. 2000).

Das unterschiedliche Verteilungsmuster in den Rosettenblättern von *Thlaspi minimum* und *Arabidopsis halleri* lässt vermuten, dass zwei verschiedene Transport- und Verteilungsmechanismen für das Zink wirksam werden. Bei *Thlaspi* gelangt das Zink von der Wurzel über die Sprossachse und die Gefäßbündel ins Blattgewebe, wo ein spezifischer „Transporter" apoplastisch und/oder transzellulär das Schwermetall in die großen Epidermiszellen (Vakuolen) transportiert und dort deponiert (vgl. FREY et al. 2000). Damit ist das Zink dem aktuellen Stoffwechsel entzogen und die Phytotoxizität für die Pflanze minimiert.

Bei *Arabidopsis* dürfte das Zink über die Gefäßbündel und weiter apoplastisch im gesamten Blattgewebe verteilt werden. Dafür sprechen die relativ hohen Zinkgehalte in den Parenchymzellen des Assimilationsgewebes. Ob hier ein erhöhter Bedarf an diesem Schwermetall im Sinne einer multiplen Metallaktivierung auf Enzyme besteht, kann nur vermutet werden (vgl. MENGEL 1991). Die hohen Zinkkonzentrationen in den Blütenständen lassen auf ein „Einströmen" ohne wirksame Transportbarriere in diese Organe schliessen.

Sowohl *Thlaspi* als auch *Arabidopsis* können als Akkumulator- (Hyperakkumulator-) Typen bezeichnet werden, wobei ganz unterschiedliche Strategien zur Bewältigung des Schwermetall-Stresses führen.

Dank

Diese Arbeit wurde durch das FWF-Projekt P15991-B03 gefördert.

Literatur

ALLOWAY B. J., 1999: Vorgänge in Böden und das Verhalten von Schwermetallen. Springer-Verlag Berlin–Heidelberg.

BAKER A. J. M., 1981: Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. Journal of Plant Nutrition, 3 (1–4), 643–654.

BAKER A. J. M. & BROOKS R. R., 1989: Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – A review of their distribution, ecology and phytochemistry. Biorecovery 1, 81–126.

ERNST W. H. O., 1996: Schwermetalle, In: Stress bei Pflanzen (R. BRÄNDLE Hrsg.), 191–219. Verlag P. Haupt, Bern–Stuttgart–Wien.

FREY B., KELLER C., ZIEROLD K. & SCHULIN R., 2000: Distribution of Zn in functionally different leaf epidermal cells of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. Plant, Cell and Environment 23, 675–687.

KINNIBURG D. J., JACKSON M. L. & SYERS J. K., 1976: Adsorption of alkaline earth, transition, and heavy metal cations by hydrous oxide gels of iron and aluminium. Soil Sci. Soc. Am. J. 40, 796–799.

KUDJELKA A., 2002: Pflanzenverfügbarkeit und Mobilität von Schwermetallen in Blei-Zink-Bergwerkshalden des Grazer Paläozoikums. Dipl.-Arbeit, Universität Wien.

LEVITT J., 1980: Response of plants to environmental stress. 2nd ed. Academic Press, New York.

© Zool.-Bot. Ges. Österreich, Austria; download unter www.biologiezentrum.at

MENGEL K., 1991: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 7., überarb. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Jena.

PUNZ W. & MAIER R., 1999: Zur Ökologie der Vegetation auf den Bergbauhalden des Hochobir, in: Der Hochobir – Aus Natur und Geschichte, Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten (Hrsg.), Klagenfurt.

PUNZ W. & MUCINA L., 1997: Vegetation on anthropogenic metalliferous soils in the Eastern Alps, Folia Geobot. Phytotax. 32, 283–295.

ZHAO F. J., LOMBI E., BREEDON T. & MCGRATH S. P., 2000: Zinc hyperaccumulation and cellular distribution in *Arabidopsis halleri*. Plant, Cell and Environment 23, 507–514.

Manuskript eingelangt: 2004 05 19

Anschrift:
Mag. Bettina AIGNER und Univ.-Prof. Dr. Helmuth SIEGHARDT, Universität Wien, Inst. für Ökologie und Naturschutz, Abteilung Ökophysiologie der Pflanzen, Althanstraße 14, A-1090 Wien, Österreich.
Ass.-Prof. Mag. Dr. Wilfried KÖRNER, Universität Wien, Institut für Geologische Wissenschaften, Althanstraße 14, A-1090 Wien, Österreich.
Dr. Marieluise WEIDINGER, Universität Wien, Institut für Zoologie, Abteilung Ultrastrukturforschung, Althanstraße 14, A-1090 Wien, Österreich.
E-Mail: bettina.aigner@univie.ac.at

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien. Frueher: Verh.des Zoologisch-Botanischen Vereins in Wien. seit 2014 "Acta ZooBot Austria"

Jahr/Year: 2004

Band/Volume: 141

Autor(en)/Author(s): Aigner Bettina, Sieghardt Helmut, Körner Wilfried, Weidinger Herbert

Artikel/Article: Blei- und Zinkaufnahme bei Thlaspi minimum und Arabidopsis halleri, ein Vergleich 79-84