

Bioindikation mit Moosen

Harald G. ZECHMEISTER

Seit mehr als 10 Jahren werden vom Autor Moose in den verschiedensten Bereichen der Bioindikation und des Biomonitorings eingesetzt. Einerseits werden Bryophyta zur Überwachung ökotoxikologisch relevanter Substanzen verwendet, andererseits dienen sie als Indikatoren des Einflusses landwirtschaftlicher Nutzung auf ländliche Ökosysteme.

Umfangreiche Untersuchungen wurden zum Themenkreis „Biomonitoring atmosphärischer Schwermetalldeposition in Österreich“ unternommen. Neben flächendeckendem Monitoring wurden auch wissenschaftliche Studien z.B. zur Abhängigkeit der Schwermetalldeposition von der Seehöhe oder populationsbiologische Untersuchungen zu den Monitoringarten durchgeführt. Weitere Untersuchungsschwerpunkte liegen im Bereich der Erfassung akkumulativer, indifferenter Schadstoffe (z.B. SO₂, NO_x usw.) sowohl in Hintergrundgebieten (IM-Fläche Zöbelboden) als auch in Ballungsräumen (Wien, Linz).

Ein weiterer Arbeitsbereich ist die Kulturlandschaftsforschung, wobei Moose einerseits als Indikatoren einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Nutzung herangezogen werden, andererseits der Einfluss anthropogener Eingriffe auf die Biodiversität in der Osthälfte Österreichs untersucht wird.

ZECHMEISTER, H.G. 1999. Bioindication with bryophytes.

Bryophytes have been used by the author as bioindicators for about ten years a) to determine substances which are considered to be relevant ecotoxicologically and b) to get an overall view of the influence of agricultural land-use on bryophyte species diversity.

Therefore investigations have been performed to estimate the deposition of atmospheric heavy metal pollution all over Austria, with an emphasis on aspects which are closely related to the topographic situation of the country (e.g. correlation of heavy metal deposition and altitude). Studies on biomonitoring of other air polluting substances (e.g. SO₂, NO_x) have been performed in areas with low background depositions (Zöbelboden) as well as in areas with a steep gradient of polluting substances (e.g. Vienna, Linz). In recent investigations the influence of anthropogenic land-use on species diversity is investigated in many parts of Austria with an emphasis on the eastern part of the country

Keywords: bryophytes, bioindication, biomonitoring, heavy metals, sustainable land-use, Austria

Einleitung

Ziel der Bioindikation bzw. des Biomonitorings mit Moosen ist die qualitative und quantitative Erfassung von statischen und dynamischen Umweltparametern. Dies umfasst sowohl natürliche Veränderungen (z.B. Sukzessionen oder populationsdynamische Prozesse) als auch anthropogen bedingte Eingriffe unterschiedlicher Qualität wie z.B. Veränderungen im Ressourcenhaushalt oder die Freisetzung ökotoxikologisch wirksamer Substanzen (z.B. MARTIN & COUGHTREY 1982, RAO 1982, ZECHMEISTER 1994).

Moose eignen sich aufgrund spezieller morphologischer und physiologischer Eigenschaften, sowie ihrer umfangreichen Vermehrungsstrategien in besonders hohem Maße als Indikatoren kurz- bzw. mittelfristiger Veränderungen.

Im Folgenden werden Methoden und ausgewählte Ergebnisse der Arbeiten des Autors zu diesem Themenkreis vorgestellt. Der Zeitraum dieser Arbeiten umfasst die Jahre 1988-1998.

Methoden und Ergebnisse

Moose als Akkumulationsindikatoren zur Erfassung atmosphärischer Schwermetalldepositionen

Die Grundlagen und Vorteile der Methode sind umfangreich untersucht und bestens dokumentiert (z.B. TYLER 1990, MARKERT 1993, ZECHMEISTER 1994).

Die untersuchten Schwermetalle (As, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, Ti, V, Zn) werden durch die in den Zellwänden lokalisierten Ionenaustauschkapazitäten (Polyuronsäure, Mannuronsäure, u.a.) gebunden (RÜHLING & TYLER 1970, BROWN 1984). Dies ist eine externe, passive, also stoffwechselunabhängige Anlagerung. Durch die Möglichkeit der zeitlichen Datierung der Einträge über eine exakte Jahrestriebeanalyse gilt diese Methode derzeit als die beste Bioindikationsmethode zur Überwachung atmosphärischer Schwermetalldepositionen mit Pflanzen. Die „Moosmethode“ ist aufgrund höherer Konzentrationen in den Moosen als in den Proben aus technischen Sammelgeräten (z.B. BERGERHOFF, WADOS) und der damit verbundenen besseren Analysegenauigkeit bisweilen sogar diesen überlegen. Da Biomonitoring im Vergleich mit technischen Methoden kostengünstig ist, kann diese Methode auch flächendeckend eingesetzt werden.

Seit 1989 werden vom Autor in Österreich intensive Untersuchungen zum Thema ‚Moose als Indikatoren zur Erfassung atmosphärischer Schwermetalldepositionen‘ durchgeführt.

In einer Pilotstudie wurde eine für diese Themenstellung in Skandinavien entwickelte Methode (z.B. RÜHLING et al. 1987) in ihrer Anwendbarkeit für Österreich getestet und den speziellen topographischen und klimatischen Bedingungen unseres Landes entsprechend evaluiert (ZECHMEISTER 1994). 1995 erfolgte eine all den entwickelten Rahmenbedingungen entsprechende flächendeckende Monitoringstudie (ZECHMEISTER 1997a). Bei dieser Aufsammlung wurden 220 Standorte unter strenger Einhaltung standardisierter Bedingungen beprobt. Dadurch konnte erstmals für Österreich ein Gesamtüberblick über die Situation der Schwermetalldepositionen des Landes gegeben werden. Bislang waren (neben den Resultaten der Pilotstudie) nur die Ergebnisse punktueller Messungen, vor allem in unmittelbarer Emittentennähe (z.B. Planseewerk Reutte; ZECHMEISTER unpubl.) bekannt.

SCHWERMETALLDEPOSITION IN ÖSTERREICH

Summe aller untersuchten Elemente

Abweichungen vom Median – interpoliert

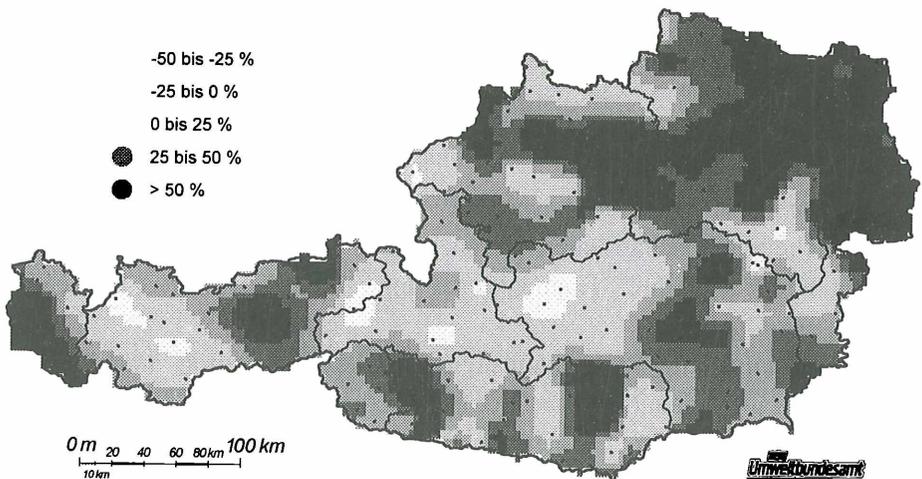


Abb. 1. Summenkarte der Schwermetalldepositionen in Österreich; erstellt aus den jeweiligen Abweichungen vom gesamtösterreichischen Median. Map of the sums of heavy metal depositions in Austria.

Einleitung

Ziel der Bioindikation bzw. des Biomonitorings mit Moosen ist die qualitative und quantitative Erfassung von statischen und dynamischen Umweltparametern. Dies umfasst sowohl natürliche Veränderungen (z.B. Sukzessionen oder populationsdynamische Prozesse) als auch anthropogen bedingte Eingriffe unterschiedlicher Qualität wie z.B. Veränderungen im Ressourcenhaushalt oder die Freisetzung ökotoxikologisch wirksamer Substanzen (z.B. MARTIN & COUGHTREY 1982, RAO 1982, ZECHMEISTER 1994).

Moose eignen sich aufgrund spezieller morphologischer und physiologischer Eigenschaften, sowie ihrer umfangreichen Vermehrungsstrategien in besonders hohem Maße als Indikatoren kurz- bzw. mittelfristiger Veränderungen.

Im Folgenden werden Methoden und ausgewählte Ergebnisse der Arbeiten des Autors zu diesem Themenkreis vorgestellt. Der Zeitraum dieser Arbeiten umfasst die Jahre 1988-1998.

Methoden und Ergebnisse

Moose als Akkumulationsindikatoren zur Erfassung atmosphärischer Schwermetalldepositionen

Die Grundlagen und Vorteile der Methode sind umfangreich untersucht und bestens dokumentiert (z.B. TYLER 1990, MARKERT 1993, ZECHMEISTER 1994).

Die untersuchten Schwermetalle (As, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, Ti, V, Zn) werden durch die in den Zellwänden lokalisierten Ionentauschkapazitäten (Polyuronsäure, Mannuronsäure, u.a.) gebunden (RÜHLING & TYLER 1970, BROWN 1984). Dies ist eine externe, passive, also stoffwechselunabhängige Anlagerung. Durch die Möglichkeit der zeitlichen Datierung der Einträge über eine exakte Jahrestriebanalyse gilt diese Methode derzeit als die beste Bioindikationsmethode zur Überwachung atmosphärischer Schwermetalldepositionen mit Pflanzen. Die „Moosmethode“ ist aufgrund höherer Konzentrationen in den Moosen als in den Proben aus technischen Sammelgeräten (z.B. BERGERHOFF, WADOS) und der damit verbundenen besseren Analysegenauigkeit bisweilen sogar diesen überlegen. Da Biomonitoring im Vergleich mit technischen Methoden kostengünstig ist, kann diese Methode auch flächendeckend eingesetzt werden.

Seit 1989 werden vom Autor in Österreich intensive Untersuchungen zum Thema ‚Moose als Indikatoren zur Erfassung atmosphärischer Schwermetalldepositionen‘ durchgeführt.

In einer Pilotstudie wurde eine für diese Themenstellung in Skandinavien entwickelte Methode (z.B. RÜHLING et al. 1987) in ihrer Anwendbarkeit für Österreich getestet und den speziellen topographischen und klimatischen Bedingungen unseres Landes entsprechend evaluiert (ZECHMEISTER 1994). 1995 erfolgte eine all den entwickelten Rahmenbedingungen entsprechende flächendeckende Monitoringstudie (ZECHMEISTER 1997a). Bei dieser Aufsammlung wurden 220 Standorte unter strenger Einhaltung standardisierter Bedingungen beprobt. Dadurch konnte erstmals für Österreich ein Gesamtüberblick über die Situation der Schwermetalldepositionen des Landes gegeben werden. Bislang waren (neben den Resultaten der Pilotstudie) nur die Ergebnisse punktueller Messungen, vor allem in unmittelbarer Emittentennähe (z.B. Planseewerk Reutte; ZECHMEISTER unpubl.) bekannt.

SCHWERMETALLDEPOSITION IN ÖSTERREICH

Summe aller untersuchten Elemente

Abweichungen vom Median – interpoliert

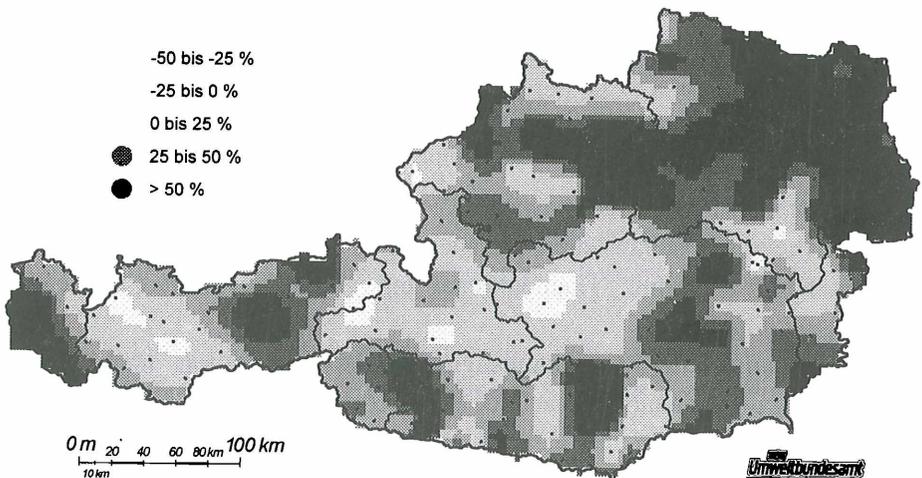


Abb. 1. Summenkarte der Schwermetalldepositionen in Österreich; erstellt aus den jeweiligen Abweichungen vom gesamtösterreichischen Median. Map of the sums of heavy metal depositions in Austria.

Die in den Schwermetallstudien verwendeten Arten waren: *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Hypnum cupressiforme* (s.str und *lacunosum*), *Abietinella abietina*; *Ctenidium molluscum* (nur in der Pilotstudie).

Die Darstellung und Interpretation der Ergebnisse ist umfassend dokumentiert (z.B. ZECHMEISTER 1997a; auch Abb. 1). Die Untersuchungen zeigen einerseits lokale Emitenten auf (z.B. Treibacher Chemische Werke), andererseits wird auf regionale Aspekte verwiesen (z.B. Depositionsmuster im Inntal). Eingehend wird auch der Ferntransport aus angrenzenden Ländern (z.B. Slowakei) diskutiert, sowie auf den Faktor "Schadstoffsenke Alpen" verwiesen. Vergleicht man die Aufsammlung 1995 mit den Ergebnissen der Pilotstudie lassen sich zeitliche Trends verfolgen. So führte die Einführung des bleifreien Benzins zu einer deutlichen Reduktion der Pb-Depositionen (um 42%), während bei anderen Schwermetallen (z.B. Cu oder Cd) keine Rückgänge zu verzeichnen sind.

Die österreichischen Untersuchungen sind eingebettet in eine gesamteuropäische Studie, welche vom NORDIC COUNCIL OF MINISTERS koordiniert wird. An der Aufsammlung 1995 nahmen 26 Länder Europas und der ehemaligen UdSSR teil (RÜHLING 1994, RÜHLING 1999). Diese länderübergreifenden Untersuchungen können als Basis für die Kontrolle emissionsreduzierender Verfahren und Gesetze sowie dahingehender Ansätze betrachtet werden. Die angewandten Methoden werden inzwischen von anderen Organisationen (z.B. der International Atomic Energy Agency) auch für einen weltweiten Einsatz propagiert (IAEA 1998).

Neben primären Monitoringaspekten wurden in jeder Studie auch umfangreiche wissenschaftliche Untersuchungen betrieben.

Im Folgenden sind nur Themenkreise mit besonders hervorstechenden Ergebnissen aufgelistet:

- Untersuchungen der Höhenabhängigkeit der Deposition hochvolatiler Schwermetallteilchen (z.B. von Cd, Pb) (ZECHMEISTER 1995a; Abb. 2).
- Messungen zu den annualen Biomassezuwächsen der einzelnen Monitoringarten; dabei wurden in verschiedenen (auch experimentellen Ansätzen) sowohl Individuen als auch Populationen untersucht (z.B. ZECHMEISTER 1995b, ZECHMEISTER 1998).
- Evaluierung der Berechnung von Schwermetalldepositionen pro Flächen- und Zeiteinheit (ZECHMEISTER 1997a, ZECHMEISTER 1999).

Höhenprofil Zillertal

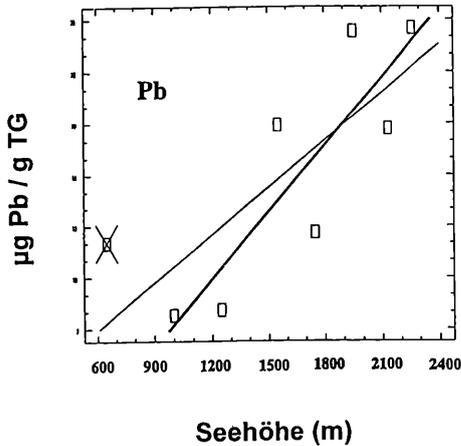


Abb. 2. Darstellung der Pb-Konzentrationen in Moosen entlang des Höhenprofils Zillertal (Aufsammlung 1990) einschließlich der Regressionsgerade aller Werte bzw. mit 'outlier-rejection' - Outlier regression analysis, showing the increase of lead depositions along an altitudinal gradient at Zillertal (collection of 1990).

Moose als Reaktionsindikatoren zur Erfassung akkumulativer, indifferenten Schadstoffe

Als akkumulative, indifferente Schadstoffe werden jene ökotoxikologisch wirksamen Stoffgruppen (SO₂, NO_x, Ozon, PCB's etc.) bezeichnet, die in ihrer Wirkung durch Bryophyten als Biomonitore zwar erkennbar, aber nicht klar trennbar sind, und in ihrer Toxizität meist eher multiplikativ als rein additiv wirken.

Moose können in vielerlei Hinsicht auf die Veränderung der Umweltqualitäten reagieren. Ein erhöhter SO₂ Gehalt der Luft führt z.B. zu einer Zerstörung des Chlorophyll a (z.B. RAO 1982) und dadurch bedingter Vitalitätsminderung. Bisweilen kann es auch zu einer Umstellung in der Fortpflanzungsstrategie kommen (LEBLANC & DESLOOVER 1970). Längerfristiger Schadstoffeinfluss führt demnach meist zu einer Veränderung der ursprünglichen Artenzusammensetzung (z.B. BURTON 1990, ZECHMEISTER 1997b).

Methoden in diesem Bereich umfassen die Erkennung qualitativer und quantitativer Veränderungen eines meist enger definierten Raumes.

Quantitative Methoden erfolgen unter Beobachtung klar definierter, oft fixierter Dauerbeobachtungsflächen (z.B. mittels einschlägiger VDI-Methoden oder durch Dauerquadranten). Qualitative Daten werden über Artenlisten des Gesamttraumes oder Auschnitten daraus (z.B. Epiphyten) erhoben.

Zu diesem Themenbereich gibt es mehrere laufende Studien
Langzeitstudie „Intregrated Monitoring“ im Gebiet ‚Zöbelboden‘ im Bereich des Nationalparkes Nördliche Kalkalpen. Das Programm, an dem eine große Anzahl wissenschaftlicher Gruppen unterschiedlichster Themenbereiche beteiligt sind, steht unter Leitung des Umweltbundesamtes, der Untersuchungszeitraum ist vorerst mit dreissig Jahren festgelegt. Die Fläche gilt aufgrund begleitender Untersuchungen als Hintergrundgebiet (ZECHMEISTER 1996) und steht demnach als Gegenstück zu den Untersuchungen in den Ballungsräumen Wien und Linz (z.B. ZECHMEISTER 1992, HOHENWALLNER & ZECHMEISTER 1999).

Moose in der Kulturlandschaftsforschung

Im laufenden Forschungsschwerpunkt ‚Kulturlandschaftsforschung‘ (KLF) des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr werden Moose in zwei Modulen als Indikatoren eingesetzt

Einerseits werden Bryophyta als Indikatoren einer nachhaltigen Nutzung österreichischer Kulturlandschaften untersucht (Modul IN5, Teilmodul BRYO). Dieser Untersuchungsansatz basiert auf umfangreichen Voruntersuchungen durch das KLF-Modul IN2 „Landschaftsökologische Strukturmerkmale als Indikatoren der Nachhaltigkeit“ Letztere Untersuchung ermöglicht eine Reduktion der Untersuchungsflächen auf ca. 40 Einheiten, verteilt über Österreich, in der Größenordnung von 1 km² Mit dieser Auswahl werden alle Kulturlandschaftstypen Österreichs weitgehend abgedeckt. Moose sind in dieser Forschungseinheit Teil eines mehrschichtigen Indikatorsets. Sie dienen dabei als Hemerobiezeiger (KOWARIK 1988) entlang einer Hemerobieskala, sollen aber auch als Feinindikatoren für die Parameter Ressourcentönung, sowie stress und disturbance, eingereiht werden (siehe auch ZECHMEISTER & TRIBSCH 1999).

In einem zweiten Forschungsansatz (Modul BD1) wird die Biodiversität von Moosen in Lebensräumen mit unterschiedlicher Landnutzung sowie

unterschiedlichen klimatischen und orographischen Bedingungen untersucht. Die 40 Untersuchungsflächen (in der Größe von 600 x 600m) liegen in der Osthälfte Österreichs und erstrecken sich in einem breiten Transekt vom pannonischen Seewinkel bis in die alpine Stufe des Schneeberggebietes. Der Untersuchungsaufbau und die Zusammenarbeit verschiedenster Spezialisten gewährleistet u.a. den Vergleich mehrerer gemeinsam miteinander vorkommender Organismengruppen (z.B Moose, Flechten, Höhere Pflanzen, Vögel, Spinnen, Ameisen, Laufkäfer etc.) und somit die auch Untersuchung natürlicher und anthropogener Einflussfaktoren auf die Komplexität ökologischer Systeme.

Beide Untersuchungen sind aber erst in der Erhebungsphase (Beginn 1997) und werden zu einem späteren Zeitpunkt präsentiert.

Danksagung.

Die Finanzierung der schwermetallbezogenen Projekte bzw. die Forschungsprojekte im Rahmen des Forschungsschwerpunktes Kulturlandschaftsforschung erfolg(t)en durch das Umweltbundesamt, das BM für Wissenschaft und Verkehr bzw. das BM für Umwelt, Jugend und Familie. Die Untersuchung auf der IM-Fläche Zöbelboden werden vom Umweltbundesamt unterstützt.

Literatur

- BROWN, D.H. 1984. Uptake of mineral elements and their use in pollution monitoring. In DYER, A.F & DUCKET, J.G. (eds.). *The experimental biology of bryophytes*. Academic Press. London. 55-62.
- BURTON, M.A. 1990. Terrestrial and aquatic bryophytes as monitors of environmental contaminants in urban and industrial habitats. *Bot.Journ. Linn.Soc.* 104: 267-280.
- IAEA, 1998. *Research co-ordination meeting for the coordinated research project on validation and application of plants as biomonitors of trace element atmospheric pollution, analysed by nuclear and related techniques*. Symposium Report. VIC. Vienna.

- KOWARIK, I. 1988. Zum menschlichen Einfluss auf Flora und Vegetation. *Landschaftsentwicklung und Umweltforschung* 56: 1-280.
- HOHENWALLNER, D. & ZECHMEISTER, H.G. 1999. Mooskartierung der Wiener Innenstadt unter Anwendung eines stratifizierten random sampling designs. In ZECHMEISTER, H.G. (Hrsg.). *Bryologische Forschung in Österreich. Abh. Zool.-Bot. Ges. in Österreich* 30: 93-102.
- LEBLANC, F & DESLOOVER, J.L. 1970. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and Mosses in Montreal. *Can. J. Botany* 48: 1485-1496.
- MARKERT, B. (ed.) 1993. *Plants as biomonitors. Indicators for heavy metals in the terrestrial environment*. VCH. Weinheim.
- MARTIN, M. & COUGHTREY, P 1982. *Biological monitoring of heavy metal pollution*. Land and air. Appl. Sc. Publ. N.Y
- RAO, D.N. 1982. Responses of bryophytes to air pollution. In: SMITH, A.J.E. (ed.). *Bryophyte Ecology*. Chapman & Hall. London. 445-471.
- RÜHLING, Å. (ed.) 1994. *Atmospheric heavy metal deposition in Europe – estimation based on moss analysis*. *NORD 1994*: 9. Nordic Council of Ministers. Copenhagen.
- RÜHLING, Å. (ed.) 1999 *Atmospheric heavy metal deposition in Europe estimation based on moss analysis*. *NORD 1998*: in print. Nordic Council of Ministers. Copenhagen.
- RÜHLING, Å. & TYLER, G. 1970. Sorption and retention of heavy metals in the woodland moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) Br. et Sch. *Oikos* 21. 92-97
- TYLER, G. 1990. Bryophytes and heavy metals: a literature review *Bot. J. of the Linnean society* 104: 231-253.
- ZECHMEISTER, H.G. 1992. Die Vegetation auf Flachdächern von Großbauten aus der Jahrhundertwende. *Tüxenia* 12: 307-314.
- ZECHMEISTER, H.G. 1994. Biomonitoring der Schwermetalldeposition mittels Moosen in Österreich. *Monographien des Umweltbundesamtes Wien* 42: 1-168.
- ZECHMEISTER, H.G. 1995a. Correlation between altitude and heavy metal deposition in the Alps. *Environmental pollution* 89: 73-80.

- ZECHMEISTER, H.G. 1995b. Growth rates of five pleurocarpous moss species under various climatic conditions. *Journal of Bryology* 18: 455-468.
- ZECHMEISTER, H.G. 1996. *Biomonitoring und Bioindikation mittels Moosen*. Teil 1. 1992. Integrated Monitoring Serie. IM-Rep-005. Umweltbundesamt. Wien.
- ZECHMEISTER, H.G. 1997a. Schwermetalldeposition in Österreich. Aufsammlung 1995. *Monographien des Umweltbundesamtes Wien* 94: 1-145.
- ZECHMEISTER, H.G. 1997b. *Biomonitoring mittels Moosen*. Teil 2. 1993. Integrated Monitoring Serie. IM-Rep-006. Umweltbundesamt. Wien.
- ZECHMEISTER, H.G. 1998. Annual growth of four pleurocarpous moss species and their applicability for biomonitoring heavy metals. *Environmental Monitoring & Assessment* 52: 441-451.
- ZECHMEISTER, H.G. 1999. Estimation of heavy metal deposition rates per area and time derived from concentrations analyzed in mosses. (in prep.).
- ZECHMEISTER, H.G. & TRIBSCH, A. 1999. Moose als Indikatoren einer nachhaltigen Nutzung österreichischer Kulturlandschaften. In: ZECHMEISTER, H.G. (Hrsg.). *Bryologische Forschung in Österreich*. *Abh. Zool.-Bot. Ges. in Österreich* 30: 179-187

Anschrift des Verfassers Univ.-Doz. Dr. Harald G. ZECHMEISTER, Abteilung für Vegetationsökologie und Naturschutzforschung, Institut für Pflanzenphysiologie, Universität Wien, Althanstr.14, A- 1091 Wien. e-mail: Harald.Zechmeister@univie.ac.at

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Abhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Österreich](#)

Jahr/Year: 1999

Band/Volume: [30](#)

Autor(en)/Author(s): Zechmeister Harald Gustav

Artikel/Article: [Bioindikation mit Moosen. 61-69](#)