

# **Biomonitoring mit Moosen am Beispiel der Erfassung von Schwermetall- depositionen in Österreich**

**Harald G. Zechmeister und Alarich Riss**

Vortrag, gehalten am 14. Jänner 1998

## **Einleitung**

### **Bioindikation und Biomonitoring**

Jeder Organismus ist das Produkt einer langen Evolution. Jedes Lebewesen zeigt demnach gegenüber seiner Umwelt eine mehr oder wenige große Kapazität zur Anpassung, und hat in Abhängigkeit von seiner genetischen Prädisposition unterschiedliche physiologische Toleranzbereiche und unterschiedliche ökologische Potenzen. Im weitesten Sinn ist daher jedes Lebewesen ein Bioindikator, weil es über die Lebensumstände unter denen es wächst,

Auskunft gibt. Es zeigt (*indicare* = anzeigen) sowohl die abiotischen als auch die biotischen Umgebungsparameter, bei Pflanzen besser Standortfaktoren, an.

Von Bioindikator im engeren Sinn wird aber zumeist nur dann gesprochen, wenn es um die Reaktion einer Pflanze auf direkte anthropogene Einflüsse, häufig Schadstoffe bzw. um die Überprüfung rein anthropogener oder anthropogen modifizierter Umweltfaktoren geht (z.B.: Veränderungen durch Drainage, Düngung oder durch übergeordnete Effekte wie 'climate change'). In diesem Sinne findet der Begriff in einem Großteil der Literatur Verwendung (z.B. MANNING & FEDER 1980, MARTIN & COUGHTREY 1982, ARNDT 1987).

Während der Bioindikator über die Art der Einwirkung des Schadstoffes Auskunft gibt, ist es mittels eines Biomonitoring möglich, auch etwas über die Menge des einwirkenden Schadstoffes zu erfahren. Biomonitoring ist daher unmittelbar mit 'Messen' bzw. Analyse verbunden.

Im schadstoffbezogenen Biomonitoring gibt es zwei Formen: passives und aktives Monitoring. Im passiven Monitoring werden Organismen untersucht (gemessen) welche an ihrem natürlichen Standort wachsen. Im aktiven Monitoring werden die Monitoringarten unter Standardbedingungen gezogen, aktiv exponiert und nach genau vorgegebenem Zeitraum analysiert. Die in diesem Artikel beschriebene Studie entspricht dem passiven Monitoring.

Die Vorteile des Biomonitorings gegenüber anderen Monitoringmethoden sind vielfältig:

- Durch biologische Materialien wird ein besserer Einblick darüber gewährt, welche Schadstoffe tatsächlich in einem Lebensraum wirksam deponiert werden.
- Es können genauere Informationen über die Menge und Wege der Schadstoffe in der Nahrungskette erlangt werden.
- Man kann die tatsächlichen Auswirkungen eines Schadstoffes im Ökosystem erkennen, bzw. die Pufferkapazitäten eines Systems abschätzen.
- Biomonitore erlauben ortsunabhängige Einsatzmöglichkeit, weil sie unabhängig von jeglicher technischer Energieversorgung sind und keiner Infrastruktur bedürfen. Sie sind daher sowohl für punktuelle als auch flächendeckende Untersuchungen geeignet.
- Im Gegensatz zu technischen Meßgeräten haben sie nur geringen (aktives Monitoring) oder keinen Betreuungsaufwand.
- Biomonitoringmethoden sind im Vergleich mit technischen Geräten extrem kostengünstig
- Sie sind außerdem wenig auffällig, und dementsprechend weniger anfällig gegenüber Vandalismus.

Auch die Nachteile sollen nicht verschwiegen werden:

- Die Resultate sind zumeist abhängig von den eingesetzten Arten und können nicht immer standardisiert werden.
- Die Untersuchungsgebiete sind (zumindestens im passiven Monitoring) auf die Verbreitungsgebiete der Bioindikatoren beschränkt.
- Einzelne Schadstoffe sind in ihrer Einzelwirkung nicht immer klar erfaßbar bzw. zu trennen. Eine rein additive Wirkung muß oft einer multiplikativen Wirkung weichen.
- Schwankungen im genetischen bzw. physiologischen Bereich können Ergebnisse verfälschen.
- Tierfraß, Pflanzenkrankheiten, Klimaschwankungen usw. können das Untersuchungsprogramm bisweilen beeinträchtigen.
- In legislativen Bereichen werden in Österreich fast immer technische Messungen als Standard gesetzt.

### **Moose als Bioindikatoren und Biomonitore**

Moose finden seit den 60er Jahren eine immer breitere Verwendung als Bioindikatoren. Dabei werden sie einerseits als passive Reaktionsindikatoren zur Erfassung von Luftschadstoffen eingesetzt, ohne daß es dabei aber zu einer klaren Trennung der einzelnen Einflußfaktoren wie  $\text{SO}_2$ , Fluor,  $\text{NO}_x$  und an-

deren Schadstoffen kommen kann (LEBLANC & DE SLOOVER 1970, NORDHORN-RICHTER & DÜLL 1982, ZECHMEISTER 1996).

Zur Untersuchung ausgewählter Stoffgruppen hingegen werden Moose als Akkumulationsindikatoren (Biomonitore i.e. Sinn; ZECHMEISTER 1994) verwendet. Dabei haben sie sich vor allem zur Quantifizierung von atmosphärischen Schwermetalleinträgen bewährt. Es gibt wohl kaum eine zweite Organismengruppe, welche sich dafür so gut eignet wie die Moose.

Die Nährstoff- und Wasserversorgung erfolgt bei den verwendeten Monitoringarten primär über atmosphärische Einträge (nasse, okkulte und trockene Depositionen; BROWN & BATES 1990, BATES 1992). Durch eine fehlende Cuticula werden die Ionen ungehindert von den in den Zellwänden vorhandenen Austauschkapazitäten (Polyuronsäuremoleküle u.a.) aufgenommen. Die Aufnahme ist passiv und somit weitgehend unabhängig von stoffwechselabhängigen Prozessen (BROWN 1984). Die Aufnahmereaktion ist ein einfacher Substitutionsprozess, dabei werden polyvalente Ionen (wie Schwermetalle) selbst bei einem hohen Anteil an konkurrenzierenden, physiologisch relevanten Ionen weitgehend ungehindert aufgenommen. Hohe Temperaturen und pH-Werte  $< 4$  beeinflussen aber die Aufnahmereaktionen (GJENGEDAHN & STEINNES 1990). Die Aufnahmeleistungen für die einzelnen Schwermetalle schwanken zum Teil stark. Dies ist

auch einer der Hauptansatzpunkte für Kritik und künftige Forschungen (RÜHLING & TYLER 1970, ROSS 1990, BERG *et al.* 1995). Die Aufnahmekapazitäten bei den unterschiedlichen Monitoringarten sind aber durchaus vergleichbar (THÖNI 1996, RÜHLING & STEINNES 1999). Die Ausschwemmung trocken deponierter Partikel beträgt nach TAYLOR & WHITERSPOON (1972) deutlich weniger als 20 %.

Aufgrund der Wuchsform der Monitoringarten und ihrer dichten Beblätterung kommt es zu einer effizienten Filterung der Luft. Die Wuchsform ("Filze", im Sinne von MÄGDEFRAU 1982) gewährleistet, daß die untersuchten Teile der Pflanzen nicht mit Bodenteilchen in Kontakt kommen und somit sekundär kontaminiert werden.

Die Identifizierung der annualen Zuwächse ist bei den eingesetzten Monitoringarten möglich (ZECHMEISTER 1995b, 1998), womit eine zeitliche Zuordnung der analysierten Konzentrationen gewährleistet wird. Dadurch wird es erst ermöglicht, daß mittels einer einzigen Aufsammlung die Depositionen der letzten Jahre exakt erfaßt und quantifiziert werden können. Dies stellt wohl einen der größten Vorteile dieser Methode gegenüber anderen Biomonitoringmethoden dar. Darüberhinaus ermöglicht die exakte zeitliche Zuordnung auch das Verfolgen von mittel- und längerfristigen Veränderungen der Schwermetalldepositionen an exakt denselben Orten und Regionen (z.B. RÜHLING, 1994a).

Aufgrund zahlreicher Untersuchungen der jüngeren Vergangenheit ist neben der Erfassung der Konzentrationen in Moosen erstmals auch eine Umrechnung auf Depositionswerte pro Flächeneinheit machbar.

Zusätzlich ist eine äußerst korrekte Quantifizierung der deponierten Schadstoffe möglich, weil durch die langzeitige Anreicherung die Konzentrationen in den untersuchten Arten höher sind und somit Meßfehler einen geringeren Stellenwert einnehmen als dies oft bei der Analyse technisch gesammelter Einträge (z.B. mittels Bergerhoff) mit geringen Konzentrationen der Fall ist.

Im Sinne der Verwendung von Moosen als Akkumulationsindikatoren (RÜHLING 1994a, b) wurden in Österreich vier Moosarten (*Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Hypnum cupressiforme* und *Abietinella abietina*) gesammelt und auf ihre Gehalte an Arsen (As), Cadmium (Cd), Kobalt (Co), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Eisen (Fe), Quecksilber (Hg), Molybdän (Mo), Nickel (Ni), Blei (Pb), Titan (Ti), Vanadium (V), Zink (Zn) und Schwefel (S) analysiert. Die negativen Auswirkungen eines Großteils dieser Elemente sind allgemein bekannt und umfassend publiziert (z.B. ADRIANO 1986, PACYNA & OTTAR 1989, MERIAN 1991, VERNET 1991, MARKERT 1992, VERRY & VERNET 1992).

## **Der internationale Aspekt der Untersuchungen**

Flächendeckende Untersuchungen auf regionaler Ebene gibt es seit den frühen 70er Jahren vor allem aus dem skandinavischen Raum (z.B. RÜHLING & TYLER 1969, 1971). 1980 kam es zu einer ersten koordinierten Erfassung der atmosphärischen Schwermetalldeposition in Schweden, Dänemark und Grönland (GYDESEN *et al.* 1983). 1985 erfolgte eine Untersuchung unter Einschluß aller skandinavischen Länder, diesmal unter der Schirmherrschaft der „Steering Body of the Environmental Monitoring in the Nordic Countries under the Nordic Council of Ministers“. Im Jahre 1988 wurde beschlossen, daß die dafür verwendete Methodik im Rahmen des „Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of Long-Range Transmission of Air-Pollutants in Europe“ (EMEP) eingesetzt werden soll. Österreich beteiligt sich seit 1990 an diesen Untersuchungen. Die Untersuchungen wurden mit einer Pilotstudie gestartet, mittels derer die Anwendbarkeit der Methode auf Österreich angepaßt wurde (ZECHMEISTER 1994).

Auch die vorliegende Studie wurde im Zuge eines europaweiten Projektes, wie auch in vergangenen Jahren auf Initiative des 'Nordic Council of Ministers', durchgeführt. Die Zahl der an diesem Untersuchungsprogramm teilnehmenden Ländern ist mit 30 inzwischen beträchtlich und umfaßt die meisten europäischen Staaten. Der gesamteuropäische Bericht liegt bereits vor (RÜHLING & STEINNES 1999)

Alle Ergebnisse der hier referierten Studie sind in einer Monographie (Bd. 94) des Umweltbundesamtes (ZECHMEISTER 1997) umfassend publiziert und über das Umweltbundesamt Wien zu beziehen.

## **Methodik**

### **Aufsammlung**

Die Richtlinien zur Aufsammlung entsprechen den langjährigen internationalen Erfahrungen und nehmen Bezug auf Mindestabstände zur nächsten Straße oder Siedlung (300 m), zu den nächsten freistehenden Häusern (100 m), oder zu den nächsten Bäumen und Sträuchern (5 m). In größeren Tälern des Alpenraumes wurde eine Mindesthöhendifferenz zwischen Talboden und Sammelpunkt von 500 m eingeführt, sowie ein Mindestabstand zu Hochspannungsmasten von 300 m. Die Sammelpunkte liegen außerhalb des Abfluß- oder Tropfbereiches anderer Pflanzen und sind daher nach oben hin offen. Bevorzugt wurden Freiflächen innerhalb von Waldstandorten beprobt, aber auch Moore oder natürliche Rasen. Jede Standortsprobe besteht aus mehreren Teilproben, die Probenfläche umfaßt maximal 50 x 50 m. Die benötigte Probenmenge beträgt ca. zwei Liter. Gesammelt wurde in Papiersäcken, danach erfolgte eine möglichst rasche Trocknung (Trockenschrank, 35°C).

In Österreich wurden an 220 Standorten insgesamt 232 Proben gesammelt. Davon sind 178 Standorte Vergleichsflächen mit anderen Forschungsprogrammen (Forstliche Bundesversuchsanstalt,

Umweltbundesamt, Magistratsabteilung 22 der Gemeinde Wien, Salzburger Landesregierung, Pilotstudie des Umweltbundesamtes). Die Lage der übrigen 42 Sammelpunkte wurde nach dem Prinzip der gleichmäßigen Flächendeckung bestimmt. Die Probedichte beträgt  $2,5/1000 \text{ km}^2$ . Der höchst Sammelpunkt lag auf 1840m (ÖK 173, Sölden), der niedrigste auf 110m (ÖK 109, Pamhagen) Seehöhe.

Die Proben wurden gereinigt und auf drei Jahrestriebe eingekürzt. 90 Moosproben von 54 Standorten wurden flächenbezogen aufgesammelt und entsprechend aufgearbeitet.

Die Aufsammlung erfolgte zwischen 28. August und 1. November 1995.

### **Monitoringarten**

Als Monitoringarten wurden *Pleurozium schreberi* (121 Proben), *Hylocomium splendens* (54), *Hypnum cupressiforme* (27) sowie *Abietinella abietina* (18) verwendet.

### **Aufschluß und Analyse**

Nach Trocknung und Vermahlung (in Porzellan) wurden die Proben mit 5+1 Teilen Salpetersäure und Perchlorsäure versetzt und mittels Kjeldatherm-Aufschlußblock aufgeschlossen. Hg und As wurden mittels AAS-Hydrid System analysiert, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Ti, V und Zn mittels ICP-ES.

Aufschluß und Analysen wurden im Labor des UBA-Wien durchgeführt.

## Ergebnisse

### Gegliedert nach Schwermetallen

**Arsen (As):** Mehr als die Hälfte aller Proben liegt unter der Nachweisgrenze. Überdurchschnittlich hohe Konzentrationen finden sich vor allem im Nordosten Österreichs. Die Gründe dafür liegen vor allem im Ferntransport aus den nördlichen und östlichen Nachbarländern (Slowakei, Tschechien, Polen), in den Emissionen aus den Verbrennungsprozessen des Ballungsraumes Wien, sowie in der Verfrachtung windverblasener Teilchen der agrarisch intensiv genutzten Böden. Im Zentralalpin sind die erhöhten Werte teilweise geogen bedingt. (Der Median aller Proben liegt bei 0,16 µg/g).

**Cadmium (Cd):** Die Verteilung der Cd-Konzentrationen ist einerseits von lokalen Emittenten geprägt (z.B. Verkehr im Inntal), andererseits von der Niederschlagsmenge. Wie frühere Untersuchungen gezeigt haben (z.B. ZECHMEISTER 1994, 1995a), besteht eine hohe Korrelation zwischen der Konzentration einzelner Schwermetalle und der Niederschlagsmenge. Schwermetalle wie Cd oder Pb, welche über Hochtemperaturprozesse freigesetzt werden, haben eine sehr lange Verweildauer in der Atmosphäre und werden dabei weit verfrachtet und demnach meist weit ab ihrer Herkunft deponiert. Stark erhöhte Werte z.B. im Salzkammergut oder Mariazeller Gebiet sind primär auf diesen Umstand zurückzuführen. (Median 0,25 µg/g).

**Kobalt (Co):** Die Co-Konzentrationen sind gering. Mancherorts haben die Erhöhungen geogene Gründe (Ultrabasalte, Ophiolite). Aufgrund fehlender Co-Daten aus den östlichen Nachbarländern können Verfrachtungen aus diesen Gebieten nicht nachgewiesen werden. (Median 0,28 µg/g; > 50% der Proben liegen unter der Nachweisgrenze).

**Chrom (Cr):** Der Nordosten Österreichs unterscheidet sich signifikant von den anderen Regionen. Wie der Datenvergleich mit den Nachbarländern gezeigt hat, spielt der Ferntransport aus den Ostländern (Slowakei, Polen, Tschechien) eine nicht unbedeutende Rolle. Weiters stellen die periodisch großflächig brachliegenden Ackerböden (lokaler Flugstaub) Ursache der erhöhten Konzentrationen dar. Ein lokaler, anthropogen bedingter 'hot-spot' ist Linz, im Silvrettagebiet liegen geogene Ursachen für erhöhte Werte vor. (Median 1,11 µg/g).

**Kupfer (Cu):** Die Verteilung der Cu-Konzentrationen weist auf eine größere Zahl lokaler Emittenten hin. Vor allem die Situation im Inntal ist äußerst auffällig. Hier müssen neben Emissionen der sekundären Kupferhütte Brixlegg, der Verkehr, die Siedlungsdichte und die klimatische Situation in Betracht gezogen werden. (Median 5,9 µg/g).

**Eisen (Fe):** Auffallend erhöht sind bei diesem Metall die Konzentrationen im Nordosten Österreichs. Es sind die gleichen potentiellen Urheber wie bei Chrom zu nennen (Ferntransport, Bodenbewirtschaftung). (Median 493µg/g).

Quecksilber (Hg): Deutlich über dem Durchschnitt liegen die Konzentrationen im Inntal, dem westlichen niederösterreichischen Alpenvorland und dem Walgau. Der erhöhte Wert in Leoben ist vermutlich auf das Werk Donawitz und das dort verarbeitete Hg-reiche Erz zurückzuführen. Aufgrund der hohen Mobilität von Hg und der damit verbundenen analytischen Schwierigkeiten ist eine exakte Beurteilung aber schwierig. (Median 0,06 µg/g).

Molybdän (Mo): Mo weist vermutlich aufgrund der geologischen Bedingungen im Süden Österreichs höhere Werte auf als im übrigen Österreich. Die höchsten gemessenen Konzentrationen finden sich aber in der Umgebung der Treibacher Chemischen Werke (TCW) (durchschnittlich 7,66 µg/g im Depositionszeitraum 1993 - 1995; zum Vergleich - siehe Median aller Österreichproben). (Median 0,32 µg/g).

Nickel (Ni): Für die erhöhten Konzentrationen im Nordosten dürfte einerseits die Emissionen der Bundeshauptstadt mit vermehrten Verbrennungsprozessen aller Art verantwortlich sein, andererseits ist auch der Ferntransport aus dem Osten (vor allem der Slowakei) zu berücksichtigen. Die größte in Österreich gemessene Konzentration findet sich in der Umgebung der TCW in Treibach (11,4 µg/g). (Median 1,3 µg/g).

Blei (Pb): Erhöhte Konzentrationen treten einerseits in Gebieten mit bedeutenden Niederschlägen auf (siehe auch Cd), andererseits entlang der

Transitrouten, vor allem aus Ländern mit geringem Anteil an bleifreiem Benzin. Die Bleidepositionen zeigen nicht zuletzt aufgrund der Einführung des bleifreien Benzins stark rückläufige Tendenzen. Die Verkehrsrouten aus Ländern mit einem geringen Anteil an bleifreiem Benzinn sind aber weiterhin auffällig. (Median 8,9  $\mu\text{g/g}$ ).

Vanadium (V): Der Nordosten Österreichs hebt sich deutlich von den anderen Gebieten ab. Verbrennungsprozesse im Wiener Raum, sowie die Raffinerien (vor allem in Bratislava) sind bedeutende Emittenten. Die größten gemessenen Konzentrationen finden sich in der Umgebung der TCW in Treibach (14,7  $\mu\text{g/g}$ ). (Median 1,3  $\mu\text{g/g}$ ).

Zink (Zn): Lokale Emittenten dürften in Linz (VÖEST) und dem Inntal (Brixlegg, Vererzungen, Verkehr) für stark erhöhte Konzentrationen verantwortlich sein. Vereinzelt liegen Zusammenhänge mit den Niederschlagsmengen und geogenen Ursachen vor. (Median 31  $\mu\text{g/g}$ ).

## **Regionaler Überblick**

Nach Abzug der Parallelproben und einer aufgrund sekundärer Bodenverunreinigung nicht beurteilten Probe wurden 219 Proben zur standörtlichen Beurteilung herangezogen.

Einzelne Regionen zeigen bei mehreren Schwermetallen stark erhöhte Konzentrationen und können so als Problemzonen angesprochen werden:

Besonders auffällig ist das untere Inntal (Cu, Cd, Pb, Zn, Hg). Hier liegt eine Vielzahl an Einflußfaktoren vor (Verkehr, größere Einzelemittenten, höhere Siedlungsdichte, Inversionswetterlagen). Der Nordosten Österreich ist geprägt durch Emissionen aus dem Ballungsraum Wien (Verbrennungsprozesse aller Art), einer intensiven Landwirtschaft (z.B. erhöhter Anteil an remobilisierten, schwermetallhaltigen Bodenteilchen) und dem Ferntransport aus den Nachbarländern Slowakei, Tschechien und Polen. Im südlichen Vorarlberg sind ebenfalls mehrere Einflußgrößen zu nennen. Hier liegen neben geogenen Belastungen im Silvrettagebiet, erhöhte Depositionen aus Niederschlägen und lokale Quellen (Verkehr, Hausbrand) vor. Die Gründe für die zum Teil stark erhöhten Konzentrationen im Südwesten Niederösterreichs sind unklar. Lokale Emittenten sollten neben dem Ferntransport nicht ausgeschlossen werden.

Extrem erhöhte Konzentrationen (=absolute Spitzenwerte) bei Mo, Ni und V findet man in der Umgebung der TCW in Treibach. Da mittels der verwendeten Methode atmosphärische Depositionen der Jahre 1993-1995 gemessen werden, sollte es sich um Auswirkungen aktueller Emissionen aus dem Werk handeln.

Die Proben weiter Teile Osttirols, Kärntens und der Südoststeiermark weisen primär geogen bedingte, erhöhte Schwermetallkonzentrationen auf.

Eine Darstellung der Situation der Schwermetalldeposition im Zeitraum 1993-1995 in Österreich ist in Abb. 1 ersichtlich. Diese Karte zeigt die Summe aller Abweichungen der einzelnen Schwermetallkonzentrationen, bezogen auf den jeweiligen gesamtösterreichischen Median. In dieser Abbildung treten die oben genannten Regionen und Einzelmittenten deutlich hervor.

### **Die Schwermetalldepositionen im Vergleich mit der Aufsammlung von 1991**

Da an einem Großteil der Standorte aus dem Jahr 1991 wieder Proben geworben wurden, ist ein Vergleich der Depositionen in den beiden Untersuchungszeiträumen möglich. Dabei zeigt sich bei fast allen untersuchten Schwermetallen eine zum Teil deutliche Abnahme der durchschnittlichen Konzentrationen (z.B. Pb -44%, Cd -27%). Dies steht in Übereinstimmung mit vielen technisch hoch entwickelten Ländern Mittel- und Westeuropas, in denen emissionshemmende Maßnahmen bereits greifen (z.B. SIEWERS & HERPIN 1998, RÜHLING & STEINNES 1999). In krassem Gegensatz dazu sind die Verhältnisse in vielen Ländern des ehemaligen Ostblocks (z.B. Slowakei, Polen), wo man immer noch mit steigenden Schwermetallemissionen rechnen muß.

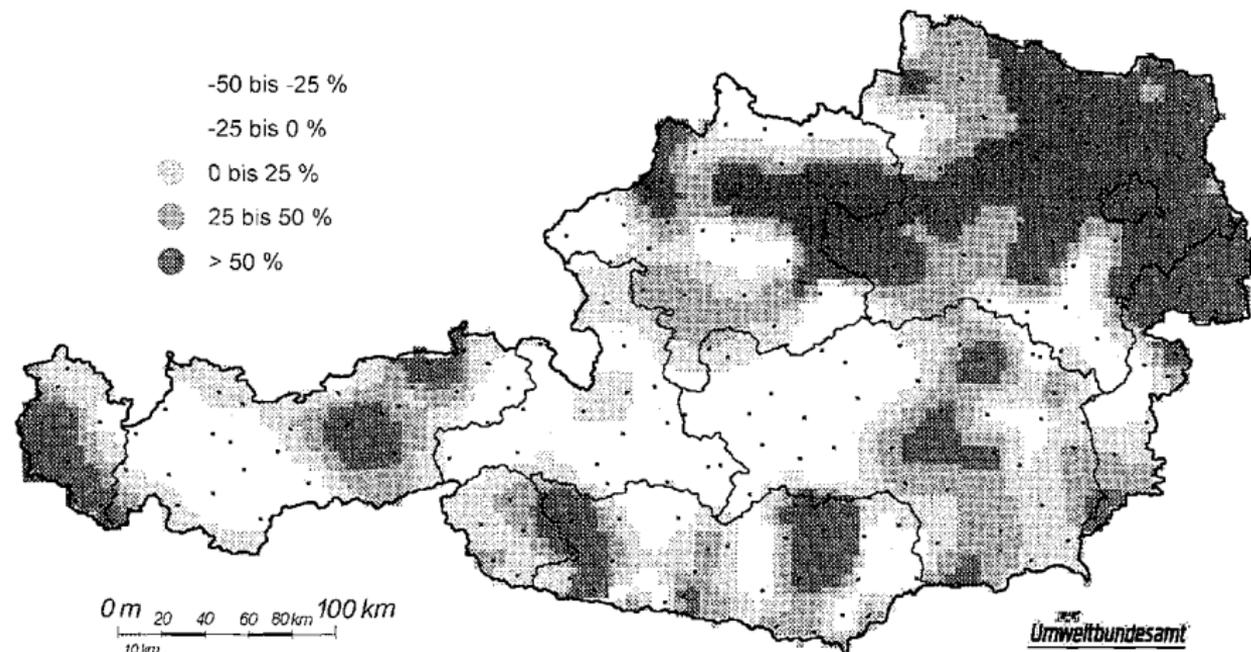
### **Wissenschaftliche Begleituntersuchungen**

Depositionsberechnungen: Mittels mehrerer Untersuchungsansätze wurde versucht, aus den

# SCHWERMETALLDEPOSITION IN ÖSTERREICH www.biologiezentrum.at

## Summe aller untersuchten Elemente

Abweichungen vom Median – interpoliert



**Abb. 1:** Summenkarte der Schwermetalldepositionen in Österreich; erstellt aus den jeweiligen Abweichungen vom gesamtösterreichischen Median.

vorgefundenen Konzentrationen in den Moosen Depositionsraten, also Schwermetalleintrag pro Flächeneinheit, zu ermitteln. Letzteres ist zumeist Grundlage für die Festlegung von Schwellenwerten. Für diese Umrechnungen wurden die Koeffizienten für die Aufnahmekapazität der einzelnen Schwermetalle (=Effizienzfaktor) aus Literaturangaben entwickelt (SCHMID-GROB *et al.* 1992, BERG *et al.* 1995; WOLTERBEEK *et al.* 1995, THÖNI 1996, THÖNI *et al.* 1996). Diese wurden dann, unter Einbeziehung der in dieser Studie gewonnenen Daten über den Biomassezuwachs (siehe unten), mittels der Formel  $C \cdot A/E$  ( $C$ =Konzentration;  $A$ = Biomasse der Monitoringart;  $E$ =Effizienzfaktor) für die Errechnung der Depositionsraten verwendet (Tab. 1).

Vergleichende Untersuchungen mit Humusproben: Dank der Zusammenarbeit mit der Forstlichen Bundesversuchsanstalt lagen Daten zu den im Zuge der Waldbodenzustandsinventur gewonnenen Humusproben vor (ENGLISCH *et al.* 1992, MUTSCH 1992). Die Vergleichsuntersuchungen Moos-Humus waren vorerst als fixer Bestandteil des internationalen Programmes geplant, mußten aber wegen zu großer Differenzen in den Methoden auf nationale Ebene beschränkt bleiben. An 137 Standorten konnten derartige Vergleiche angestellt werden. Aufgrund unterschiedlicher Aufnahmepunkte (Freiflächen in der Moosstudie, Waldstandorte im Waldschadensbeobachtungssystem) sind die Daten jedoch nur bedingt vergleichbar. Aufgrund der längeren Anreicherungsdauer zeigen die Humusproben

	<b>Pb</b>	<b>V</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Cd</b>	<b>Mo</b>	<b>Co</b>	<b>As</b>
<b>OE ges(219)</b>	1282	367	7086	97920	1364	150	374	52	87	37	28
<b>Region 1(23)</b>	1344	563	7670	144960	1378	225	362	55	74	39	29
<b>Region 2(20)</b>	1440	941	7857	349500	1605	493	750	49	91	39	29
<b>Region 3(16)</b>	1355	393	6600	107800	1297	172	462	61	247	40	30
<b>Region 4(21)</b>	1451	416	10090	123880	1973	170	424	70	95	42	32
<b>Region 5(50)</b>	1482	400	7124	81600	1479	142	286	62	82	35	26
<b>Region 6(74)</b>	1035	298	6133	85560	1186	124	331	41	68	36	27
<b>Region 7(15)</b>	1296	424	6629	89280	1339	150	346	50	223	37	28

**Tab. 1:** Flächendeposition (in  $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{a}$ ) von Schwermetallen im Bundesgebiet und in den einzelnen Regionen. Region 1: Kristallines Mittelgebirge, Region 2: Nordosten Österreichs, Region 3: Berg- und Vorland der Südostabdachung, Region 4: Nördliches Alpenvorland, Region 5: Flysch- und Kalkalpen, Region 6: Kristalline Zentralalpen, Region 7: Südalpen, inkl. Klagenfurter Becken. Flächengliederung nach NOWAK (1990).

erwartungsgemäß deutlich höhere Konzentrationen als die Moosproben. Signifikante Zusammenhänge liegen nur bei Cd, Cu und Ni vor. Möglicherweise spielen die Veränderungen der Schwermetalldepositionen im Laufe der Jahre eine bedeutende Rolle (z.B. bei Pb). Die niedrige Korrelation der meisten Proben spricht auch gegen eine Sekundärkontamination der Moose mit Bodenteilchen und somit für den überwiegend atmosphärischen Einfluß der in den Moosen gemessenen Konzentrationen.

Analyse der annualen Biomassezuwächse der Monitoringarten: Um auch den pannonisch geprägten Osten Österreichs flächendeckend besammeln zu können wurde die Art *Abietinella abietina* neu ins Programm aufgenommen. Um die Verwendbarkeit dieses Mooses zu überprüfen, mußten dementprechende Untersuchungen angestellt werden. Dabei wurden einerseits Analysen der jährlichen Zuwächse (Länge und Gewicht / Individuum), als auch Korrelationen mit erprobten Monitoringarten bezüglich der Schwermetallaufnahmeeffizienz durchgeführt (Regressionen, Quotienten). Danach kann *Abietinella abietina* als für das Programm optimale Art eingestuft werden und sollte zumindest in Österreich gegenüber *Hypnum* den Vorzug erhalten.

Für die Depositionsberechnungen sind exakte Daten zum annualen Biomassezuwachs pro Flächeneinheit unerlässlich. Daher wurden an 54 Standorten 90 Moosproben flächenbezogen aufgesammelt und

analysiert. Die Mittelwerte der annuellen Biomassezuwächse sind: *Hylocomium splendens* (127 g/m<sup>2</sup>), *Pleurozium schreberi* (161 g/m<sup>2</sup>), *Hypnum cupressiforme* (188 g/m<sup>2</sup>) und *Abietinella abietina* (144 g/m<sup>2</sup>); Biomasse in Trockengewicht. Da die Schwankungsbreiten zum Teil sehr groß sind, sollten künftig Depositionsberechnungen nur mit flächenbezogenen Aufsammlungen einher gehen (siehe auch ZECHMEISTER 1998).

## **Ausblick**

Das internationale Programm wird im Jahr 2000 mit einer neuerlichen Aufsammlung fortgesetzt werden. Eine österreichische Beteiligung wird von den Finanzierungsmöglichkeiten abhängen. Ein weiteres Monitoring der Schwermetalldepositionen scheint nicht zuletzt aufgrund der Emissions-situation in den benachbarten Ost-Staaten aber auch weiterhin notwendig.

In künftigen Untersuchungen wäre eine detailliertere kartographische Darstellung der Ergebnisse als bisher (z.B. unter Einbeziehung topographischer Verhältnisse) wünschenswert, nicht zuletzt, um die tatsächlichen Depositionsverhältnisse in Österreich besser wiedergeben zu können. Die dafür notwendigen technischen Verfahren (GIS - geographisches Informations System) stehen dem Umweltbundesamt bereits zur Verfügung.

## Literatur

- ADRIANO D.C. 1986: Trace elements in the terrestrial environment. Springer. N.Y.
- ARNDT U. 1987: Bioindikatoren: Möglichkeiten, Grenzen u. neue Erkenntnisse. Ulmer. Stuttgart.
- BATES J.W. 1992: Mineral nutrient acquisition and retention by bryophytes. *Journal of Bryology* 17: 223-240.
- BERG T., RØSET O. & STEINNES E. 1995: Moss (*Hylocomium splendens*) used as biomonitor of atmospheric trace element deposition: estimation of uptake efficiencies. *Atmospheric Environment* 29: 353-360.
- 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.
- BROWN D.H. & BATES J.W. 1990: Bryophytes and nutrient cycling. *Botanical J. of the Linnean Society* 104: 129-147.
- ENGLISCH M., KARRER G. & MUTSCH F. 1992: Österreichische Waldbodenzustandsinventur. Teil I: Methodische Grundlagen. *Mitteilungen der FBVA* 168: 5-21.
- GJENGEDAL E. & STEINNES E. 1990: Uptake of metal ions in moss from artificial precipitation. *Environm. Monitor. Ass.* 14: 77-87.
- GYDESEN H., PILEGAARD K., RASMUSSEN L. & RÜHLING A. 1983: Moss analyses used as a means of surveying the atmospheric heavy-metal deposition in Sweden, Denmark and Greenland in 1980. *National Swedish Environ. Prot.Board. Bulletin* 1670.
- LEBLANC F. & DE SLOOVER J.L. 1970: Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal. *Can.J.Bot.* 48: 1485-1496.
- MÄGDEFRAU K. 1982: Life-forms of bryophytes. In: SMITH, A.J.E. (ed.): *Bryophyte ecology*. London: Chapman & Hall, 45-58.
- MANNING W. & FEDER W. 1980: Biomonitoring air pollutants with plants. *Appl.Sc.Publ.* London.

- MARKERT B. 1992: Presence and significance of naturally occurring chemical elements of the periodic system in the plant organism and consequences for future investigations on inorganic environmental chemistry in ecosystems. *Vegetatio* 103: 1-30.
- MARTIN M. & COUGHTREY P. 1982: Biological monitoring of heavy metal pollution. Land and air. Appl. Sc. Publ. N.Y.
- MERIAN E. (ed.). 1991: Metals and their compounds in the environment. VCH. Weinheim.
- MUTSCH F. 1992: Österreichische Waldbodenzustandsinventur Teil VI: Schwermetalle. Mitteilungen der FBVA 168: 145-192.
- NORDHORN-RICHTER G. & DÜLL R. 1982: Monitoring air pollutants by mapping the bryophyte flora. In: STEUBING, L. & JÄGER, H.J. (eds.): Monitoring of air pollutants by plants. Junk Publ. The Hague.
- NOWAK H. 1990: Vereinfachte Landschaftsgliederung in Österreich. UBA-IB 228. Wien.
- ORTHOFFER R. 1996: Abschätzung der Emissionen von ausgewählten Schwermetallen in die Atmosphäre für Österreich im Stichjahr 1994 gemäß CORINAIR 1994. Bericht. UBA. Wien.
- PACYNÁ J.M. & OTTAR B. 1989 (eds.): Control and fate of atmospheric trace metals. Kluwer Academic Press. Dordrecht.
- ROSS H.B. 1990: On the use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for estimating atmospheric trace metal deposition. *Water, Air, Soil Pollution* 50: 63-76.
- RÜHLING Å. (ed.) 1994a: Atmospheric heavy metal deposition in Europe - estimation based on moss analysis. *Nord* 1994, 9: 1 - 53.
- RÜHLING Å. 1994b: Monitoring of atmospheric heavy-metal deposition in Europe using bryophytes and humus samples as indicators. Proposal for an international programme 1995. Lund.
- RÜHLING Å. & STEINNES E. 1999 (eds.): Atmospheric heavy metal deposition in Europe 1995-1996. *Nord* 1998: 15.

- RÜHLING A. & TYLER G. 1969: Ecology of heavy metals - a regional and historical study. Bot.Not. 122: 248-259.
- 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.
- RÜHLING A. & TYLER G. 1971: Regional differences in the deposition of heavy metals over Scandinavia. J. Appl. Ecology 8: 497-507.
- SCHMID-GROB I., THÖNI L. & HERTZ J. 1992: Applicability of the moss *Hypnum cupressiforme* Hedw. s.l. for biomonitoring of heavy metals: 2. A comparison with the moss *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. and the freights in bulk precipitation in Switzerland. Metal compounds in environment and life 4: 153-162.
- SIEWERS U. & HERPIN U. 1998: Moos-Monitoring 1995/1996. Zeitabhängige und flächenhafte Untersuchungen von Schwermetalleinträgen in Deutschland. Forschungsbericht. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hannover.
- TAYLOR F.G. & WHITERSPOON J.P. 1972: Retention of simulated fallout particles by lichens and mosses. Health Physics 23: 867-869.
- THÖNI L. 1996: Vergleich von Elementkonzentrationen in drei Biomonitoringmoosen untereinander und mit Depositionsfrachten im Bulksammler nach Bergerhoff. Bericht. BUWAL. Zürich.
- THÖNI L., SCHNYDER N. & KRIEG F. 1996: Comparison of metal concentrations in three species of mosses and metal freights in bulk precipitations. Fresenius J. Anal. Chem. 354: 703-708.
- VERNET J.P. 1991: Heavy metals in the environment. Elsevier. Amsterdam.
- VERRY E.S. & VERMETTE S.J. (eds.) 1992: The deposition and fate of trace metals in our environment. USDA-Forest service. MN.
- WINIARTER W. & SCHNEIDER M. 1995: Abschätzung der Schwermetallemissionen in Österreich. Reports UBA 95-108. Umweltbundesamt. Wien.

- WOLTERBEEK H., KUIK P., VERBURG T.G., HERPIN U., MARKERT B. & THÖNI L. 1995: Moss interspecies comparisons in trace element concentrations. *Environmental Monitoring and Assessment* 35: 263-286.
- 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. *J. 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. 1997: Schwermetalldepositionen in Österreich. *Aufsammlung 1995. Monographien des Umweltbundesamtes Wien* 94:1-145.
- ZECHMEISTER H.G. 1998: Annual growth of four pleurocarpous moss species and their applicability for biomonitoring heavy metals. *Environmental Monitoring & Assessment* 52: 441-451.

### **Anschrift der Verfasser:**

Univ.-Doz. Mag. Dr. Harald G. Zechmeister,  
Institut für Ökologie und Naturschutz der Universität Wien, Abteilung für Naturschutzforschung  
Vegetations- und Landschaftsökologie,  
Althanstraße 14; A-1091 Wien.

Mag. Alarich Riss, Umweltbundesamt Wien,  
Spittelauer Lände 5; A-1090 Wien.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 2002

Band/Volume: [137](#) [140](#)

Autor(en)/Author(s): Zechmeister Harald Gustav, Riss Alarich

Artikel/Article: [Biomonitoring mit Moosen am Beispiel der Erfassung von Schwermetalldepositionen in Österreich.](#)

197-221