

# **SCHWERMETALLDEPOSITION IN ÖSTERREICH**

**erfaßt durch Biomonitoring mit Moosen  
(Aufsammlung 1995)**

Harald Zechmeister

MONOGRAPHIEN

Band 94

M-094

Wien, 1997

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie



**für das Projekt verantwortlich**

Mag. Alarich Riss (Umweltbundesamt)

**Autor**

Univ.-Doz. Mag. Dr. Harald G. Zechmeister  
(Universität Wien, Institut für Pflanzenphysiologie)

**Aufsammlung und Aufbereitung der Proben**

Mag. Anna Dünhofen  
Mag. Thorsten Englisch  
Mag. Sonja Latzin  
Andreas Tribsch  
Univ.-Doz. Mag. Dr. Harald G. Zechmeister (alle Universität Wien)

**Laborkoordination**

Dr. Andrea Hanus (Umweltbundesamt Wien)

**Analytik**

Monika Denner  
Brigitte Kainz  
Peter Kristöfel  
Andreas Poell (alle Umweltbundesamt Wien)

**Kartenerstellung**

Dipl.Ing. Ulrike Falkner (Umweltbundesamt Wien)  
Elvira Frühauf (Umweltbundesamt Wien)

**Layout**

Manuela Kaitna (Umweltbundesamt Wien)

**Übersetzung**

Mag. Ulrike Stärk (Umweltbundesamt Wien)

**Titelbild**

Summenkarte der Schadstoffdepositionen in Österreich, erstellt aus den jeweiligen Abweichungen vom gesamtösterreichischen Median der Konzentrationen der Elemente As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, S und Zn in Moosen

Der Autor möchte allen jenen danken, welche durch ihre Mithilfe an dieser Studie beteiligt waren:

Prof. Dr. Åke Rühling, Dept. Plant Ecology, Univ. Lund, Schweden für die Gesamtkoordination des europaweiten Projektes; Dr. Franz Mutsch, FBVA Wien, für das unbürokratische Überlassen von Humus- und Bodendaten aus dem WBS; Dr. Lotti Thöni Forschungsstelle Umweltbeobachtung, Egg/Zürich für wertvolle fachliche Diskussionen; Univ.-Prof. Mag. Dr. Georg Grabherr, Abt. f. Vegetationsökologie, Inst. f. Pflanzenphysiologie, Univ. Wien, für die Benutzung apparativer Einrichtungen; Ing. Kreiner, MA 22, Wien, Dipl. Ing. M. F. Kalina, TU Wien und Landesrat Thaller, Salzburger Landesregierung, für das zur Verfügungstellen von WADOS-Daten; Dipl.Ing. W. Seitz, Abt.III f3, Tiroler Landesforstdirektion für fachliche Beratung bei der Auswahl der Tiroler Probepunkte; Dr. Gert Bachmann, Abt. Chemische Physiologie, Inst. f. Pflanzenphysiologie, Univ. Wien, für logistische Unterstützung in EDV-Angelegenheiten und natürlich im besonderen all jenen, die oben bereits als Mitarbeiter genannt sind und ohne deren Hilfe das Projekt wohl kaum durchführbar gewesen wäre.

**Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt (Federal Environment Agency)  
Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien (Vienna), Austria

Druck: Riegelnik, 1080 Wien

© Umweltbundesamt, Wien, 1997  
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)  
ISBN 3-85457-398-7

**INHALTSVERZEICHNIS**

	Seite
<b>KURZFASSUNG/SUMMARY</b> .....	7/12
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	17
<b>2 METHODIK</b> .....	20
<b>2.1 Probenahme</b> .....	20
2.1.1 Standorte .....	20
2.1.2 Moosarten .....	22
2.1.3 Zeitpunkt der Aufsammlung .....	23
<b>2.2 Aufarbeitung der Proben</b> .....	23
<b>2.3 Analytik</b> .....	23
2.3.1 Aufschluß .....	23
2.3.2 Bestimmung .....	24
<b>2.4 Statistik</b> .....	24
<b>2.5 Erstellung der Punktkarten bzw. der interpolierten Karten</b> .....	25
<b>3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION</b> .....	26
<b>3.1 Ergebnisse gegliedert nach Elementen</b> .....	27
3.1.1 Arsen (As) .....	27
3.1.1.1 Allgemeines .....	27
3.1.1.2 Österreich gesamt .....	27
3.1.1.3 Regionale Verteilung .....	27
3.1.2 Cadmium (Cd) .....	29
3.1.2.1 Allgemeines .....	29
3.1.2.2 Österreich gesamt .....	29
3.1.2.3 Regionale Verteilung .....	29
3.1.3 Cobalt (Co) .....	31
3.1.3.1 Allgemeines .....	31
3.1.3.2 Österreich gesamt .....	31
3.1.3.3 Regionale Verteilung .....	31
3.1.4 Chrom (Cr) .....	33
3.1.4.1 Allgemeines .....	33
3.1.4.2 Österreich gesamt .....	33
3.1.4.3 Regionale Verteilung .....	33
3.1.5 Kupfer (Cu) .....	35
3.1.5.1 Allgemeines .....	35
3.1.5.2 Österreich gesamt .....	35
3.1.5.3 Regionale Verteilung .....	35
3.1.6 Eisen (Fe) .....	37
3.1.6.1 Allgemeines .....	37
3.1.6.2 Österreich gesamt .....	38
3.1.6.3 Regionale Verteilung .....	38
3.1.7 Hg (Quecksilber) .....	38
3.1.7.1 Allgemeines .....	38
3.1.7.2 Österreich gesamt .....	39
3.1.7.3 Regionale Verteilung .....	39

3.1.8	Molybdän (Mo).....	40
3.1.8.1	Allgemeines.....	40
3.1.8.2	Österreich gesamt.....	40
3.1.8.3	Regionale Verteilung.....	40
3.1.9	Nickel (Ni).....	42
3.1.9.1	Allgemeines.....	42
3.1.9.2	Österreich gesamt.....	42
3.1.9.3	Regionale Verteilung.....	42
3.1.10	Blei (Pb).....	44
3.1.10.1	Allgemeines.....	44
3.1.10.2	Österreich gesamt.....	45
3.1.10.3	Regionale Verteilung.....	45
3.1.11	Titan (Ti).....	48
3.1.11.1	Allgemeines.....	48
3.1.12	Vanadium (V).....	48
3.1.12.1	Allgemeines.....	48
3.1.12.2	Österreich gesamt.....	49
3.1.12.3	Regionale Verteilung.....	49
3.1.13	Zink (Zn).....	51
3.1.13.1	Allgemeines.....	51
3.1.13.2	Österreich gesamt.....	52
3.1.13.3	Regionale Verteilung.....	52
3.1.14	Schwefel (S).....	53
3.1.14.1	Allgemeines.....	53
3.1.14.2	Österreich gesamt.....	54
3.1.14.3	Regionale Verteilung.....	54
<b>3.2</b>	<b>Ergebnisse gegliedert nach Bundesländern</b> .....	<b>57</b>
3.2.1	Burgenland.....	57
3.2.2	Kärnten.....	57
3.2.3	Niederösterreich.....	58
3.2.4	Oberösterreich.....	59
3.2.5	Salzburg.....	60
3.2.6	Steiermark.....	60
3.2.7	Tirol.....	61
3.2.8	Vorarlberg.....	62
3.2.9	Wien.....	63
<b>3.3</b>	<b>Transekte durch das Bundesgebiet</b> .....	<b>69</b>
3.3.1	N-S Transekte.....	69
3.3.1.1	Tansekt Ost (1).....	69
3.3.1.2	Transekt Mitte (2).....	69
3.3.1.3	Transekt West (3).....	70
3.3.2	W-O Transekt (4).....	70
<b>3.4</b>	<b>Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse (HKA)</b> .....	<b>77</b>
<b>3.5</b>	<b>Beurteilung einer regionalen Gesamtbelastung</b> .....	<b>80</b>
<b>3.6</b>	<b>Vergleichende Untersuchungen mit der Österreichischen Pilotstudie 1991</b> .....	<b>81</b>
<b>3.7</b>	<b>Die Österreichischen Meßwerte im internationalen Vergleich</b> .....	<b>86</b>
<b>3.8</b>	<b>Vergleichende Untersuchungen von Elementkonzentrationen in Moosen mit Frachten in Wados (Wet and dry only sampler)</b> .....	<b>92</b>

---

<b>3.9</b>	<b>Abschätzung einer Flächendeposition</b> .....	94
<b>3.10</b>	<b>Vergleichende Untersuchungen mit den Schwermetalldaten aus der Waldbodenzustandsinventur</b> .....	96
3.10.1	Vergleich Moosproben/Humus .....	97
3.10.2	Vergleich Moosproben/Mineralböden (0-10 bzw. 30-50 cm).....	98
3.10.3	Vergleich Moosproben/Boden gesamt.....	98
<b>4</b>	<b>BEGLEITENDE UNTERSUCHUNGEN ZU DEN EINZELNEN MONITORINGARTEN</b> .....	103
<b>4.1</b>	<b>Wachstumsuntersuchungen</b> .....	103
4.1.1	Abietinella abietina .....	103
4.1.2	Biomasseuntersuchungen pro Flächeneinheit .....	104
<b>4.2</b>	<b>Korrelation der Schwermetallkonzentrationen in unterschiedlichen Moosarten</b> .....	105
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	112
<b>6</b>	<b>LITERATUR</b> .....	114
	<b>ANHANG</b> .....	109
	<b>KARTENTEIL</b> .....	147



## KURZFASSUNG

### Einleitung

Die Kontrolle grenzüberschreitender Luftschadstoffe gehört zu den vorrangigen Zielen umfassender Umweltpolitik. Die dafür eingesetzten Methoden müssen erprobt, standardisiert und entsprechend den jeweils gesetzten Zielen weiträumig einsetzbar sein. Die Methode der Erfassung der atmosphärischen Schwermetalldepositionen, mittels Moosen als Biomonitoren, wird unter diesem Aspekt seit den frühen 70er Jahren in vielen Ländern Europas mit Erfolg angewandt.

Dieses Untersuchungsprogramm wurde, wie auch in früheren Jahren, auf Initiative des 'Nordic Council of Ministers' gestartet. Die Zahl der an diesem Programm teilnehmenden Länder ist mit 30 inzwischen beträchtlich und umfaßt neben den meisten europäischen Staaten auch solche des Baltikums sowie weitere, inzwischen selbstständige Staaten der ehemaligen UdSSR.

Nach dem Abschluß einer Pilotstudie im Jahre 1993, bei der die Anwendbarkeit der 'Moosmethode' auch für Österreich getestet wurde, kann diese Studie erstmals umfangreiche flächendeckende Aussagen zur Schwermetalldeposition in Österreich bringen. Dabei wurden die atmosphärischen Depositionen der Jahre 1993-1995 erfaßt. Die zeitliche Abgrenzbarkeit der Depositionsraten ist einer der großen Vorteile dieser Methode.

Der vorliegende Bericht liefert zum ersten Mal ein flächendeckendes Bild der atmosphärischen Schwermetalldepositionen in Österreich und zeigt in deutlicher Weise sowohl Problemzonen als auch Gebiete mit Hintergrunddepositionen auf. Zusätzlich wurden umfassende, wissenschaftliche Studien zur Evaluierung der Methode durchgeführt. Einen umfassenden Vergleich mit den anderen Teilnehmerländern des Untersuchungsprogrammes wird der gesamteuropäische Bericht (Ende 1998) bringen.

### 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. 2 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, Sbg. Landesregierung, Pilotstudie des Umweltbundesamtes). Die Lage der übrigen 42 Sammelpunkten wurde nach dem Prinzip der gleichmäßigen Flächendeckung bestimmt. Die Probedichte beträgt 2,5/1.000 km<sup>2</sup>.

Die Proben wurden gereinigt und auf Drei-Jahrestriebe eingekürzt. Für Wachstumsmessungen und Depositionsberechnungen wurden 90 Moosproben von 54 Standorten 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.
- **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.
- **Auswertung der Daten:** In der beschreibenden Statistik wurden vorwiegend Mittelwerte, Mediane, Standardabweichungen, Minimum, Maximum und Perzentil berechnet und tabellarisch, mittels Blockdiagrammen sowie als "Notched Box and Whisker Plots" dargestellt. Darüber hinaus wurden einfache lineare Regressionen errechnet und graphisch dargestellt, unter zusätzlicher Bestimmung des Bestimmtheitsmaßes und eines Korrelationskoeffizienten. Weiters wurden einfache und Mehrfach-Varianzanalysen durchgeführt. Von den multivariaten Methoden fand die Hauptkomponentenanalyse Anwendung. An Signifikanztests wurden je nach Anwendbarkeit der Vorzeichentest, die Signifikanzprüfung des Maßkorrelationskoeffizienten und der t-Test durchgeführt. Die Erstellung der farbigen Punktkarten und der interpolierten Karten erfolgte im Umweltbundesamt.

## Ergebnisse

### Gegliedert nach Schwermetallen

**As (Arsen):** Mehr als die Hälfte aller Proben liegt unter der Nachweisgrenze. Überdurchschnittlich hohe Konzentrationen finden sich vor allem im Nordosten Österreichs. Die Gründe dafür liegen überwiegend 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).

**Cd (Cadmium):** 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, besteht eine hohe Korrelation zwischen der Konzentration einzelner Schwermetalle und der Niederschlagsmenge. Stark erhöhte Werte z. B. im Salzkammergut oder Mariazellergebiet sind primär auf diesen Umstand zurückzuführen (Median 0,25 µg/g).

**Co (Kobalt):** 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).

**Cr (Chrom):** 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).

**Cu (Kupfer):** Die Verteilung der Cu-Konzentrationen weist auf eine größere Zahl lokaler Emittenten hin. Vor allem die Situation 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).

**Fe (Eisen):** 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 493 µg/g).

**Hg (Quecksilber):** 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).

**Mo (Molybdän):** 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 TCW in Treibach (durchschnittlich 7,66 µg/g im Depositionszeitraum 1993-1995; zum Vergleich – siehe Median aller Österreichproben) (Median 0,32 µg/g).

**Ni (Nickel):** 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).

**Pb (Blei):** Erhöhte Konzentrationen treten einerseits in Gebieten mit bedeutenden Niederschlägen auf (siehe auch Cd), andererseits entlang der Transitrouten, vor allem aus Ländern mit geringerem Anteil an bleifreiem Benzin. Die Bleidepositionen zeigen stark rückläufige Tendenzen (Median 8,9 µg/g).

**Ti (Titan):** Titan wurde vor allem zur Erfassung einer etwaigen Sekundärkontamination der Moosproben mit Bodenteilchen analysiert. Aufgrund des gewählten Aufschlusses liegen z. T. Minderbefunde vor.

**V (Vanadium):** 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 µg/g) (Median 1,3 µg/g).

**Zn (Zink):** 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 µg/g).

**S (Schwefel):** Wenngleich kein Schwermetall, doch ein bedeutender Indikator für anthropogene Verunreinigungen. Erhöhte Konzentrationen sind in der Umgebung lokaler Emittenten (Linz, Wien) oder in niederschlagsreichen Gebieten zu finden (Median 1.110 µg/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 Silvrettage-

biet erhöhte Depositionen aus Niederschlägen und lokale Quellen (Verkehr, Hausbrand) vor. Die Gründe für die z. T. stark erhöhten Konzentrationen im Südwesten Niederösterreichs sind unklar. Lokale Emittenten können, 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. A 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 Einzelemittenten 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 %). Daß die Abnahme der Konzentrationen zumindest bei einzelnen Elementen (z. B. Cr, As) auch analytische Ursachen hat, kann nicht ganz ausgeschlossen werden.

### **Wissenschaftliche Begleituntersuchungen**

**Depositionsberechnungen:** Mittels mehrerer Untersuchungsansätze wurde versucht, aus den vorgefundenen Konzentrationen Depositionsraten zu ermitteln. Dazu wurden Vergleichsreihen mit WADOS (**W**et **A**nd **D**ry **O**nly **S**ampler) durchgeführt. Zwischen den Konzentrationen der nassen Deposition, gewonnen aus den Sammlern, und denen in den parallel geworbenen Moosen konnte keine Korrelation ermittelt werden. Die Hauptursache dürfte darin liegen, daß nur Daten der nassen und nicht auch der trockenen Depositionen in den WADOS vorlagen. Trockene Deposition spielt aber gerade bei einzelnen Schwermetallen eine bedeutende Rolle. Daher wurden die Koeffizienten für die Aufnahmekapazität der einzelnen Schwermetalle aus Literaturangaben entwickelt (= Effizienzfaktor). Diese wurden dann, unter Einbeziehung der in dieser Studie gewonnenen Daten über den Biomassezuwachs, mittels der Formel  $C \cdot A/E$  ( $C$  = Konzentration;  $A$  = Biomasse der Monitoringart;  $E$  = Effizienzfaktor) für die Errechnung der Depositionsraten verwendet. Nur für regionale Depositionsberechnungen dürfen Mittelwerte der Biomassezuwächse verwendet werden, bei punktuellen Berechnungen müssen exakte Wuchsdaten des Standortes vorliegen.

**Vergleichende Untersuchungen mit Humusproben:** Dank der Zusammenarbeit mit der Forstlichen Bundesversuchsanstalt lagen Daten zu den im Zuge der Waldbodenzustandsinventur gewonnenen Humusproben vor. 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 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 Ergebnisse 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 dementsprechende 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 Fächeneinheit unerlässlich. Daher wurden an 54 Standorten 90 Moosproben flächenbezogen aufgesammelt und analysiert. Die Mittelwerte der annualen Biomassezuwächse sind: *Hylocomium splendens* (127g/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.

## Kartendarstellungen

Die interpolierten Karten sind graphische Veranschaulichungen punktuell gemessener Konzentrationen. Diese Darstellungsform nimmt nicht auf räumliche oder topographische Einflußfaktoren der Schwermetalldeposition Rücksicht. Prognosen über die Konzentrationsverteilungen außerhalb der tatsächlich beprobten Orte sind nur für Standorte zulässig, welche den allgemeinen Kriterien der Aufsammlung entsprechen. Die Punktkarten hingegen sind reelle Darstellungen der vorgefundenen Situation.

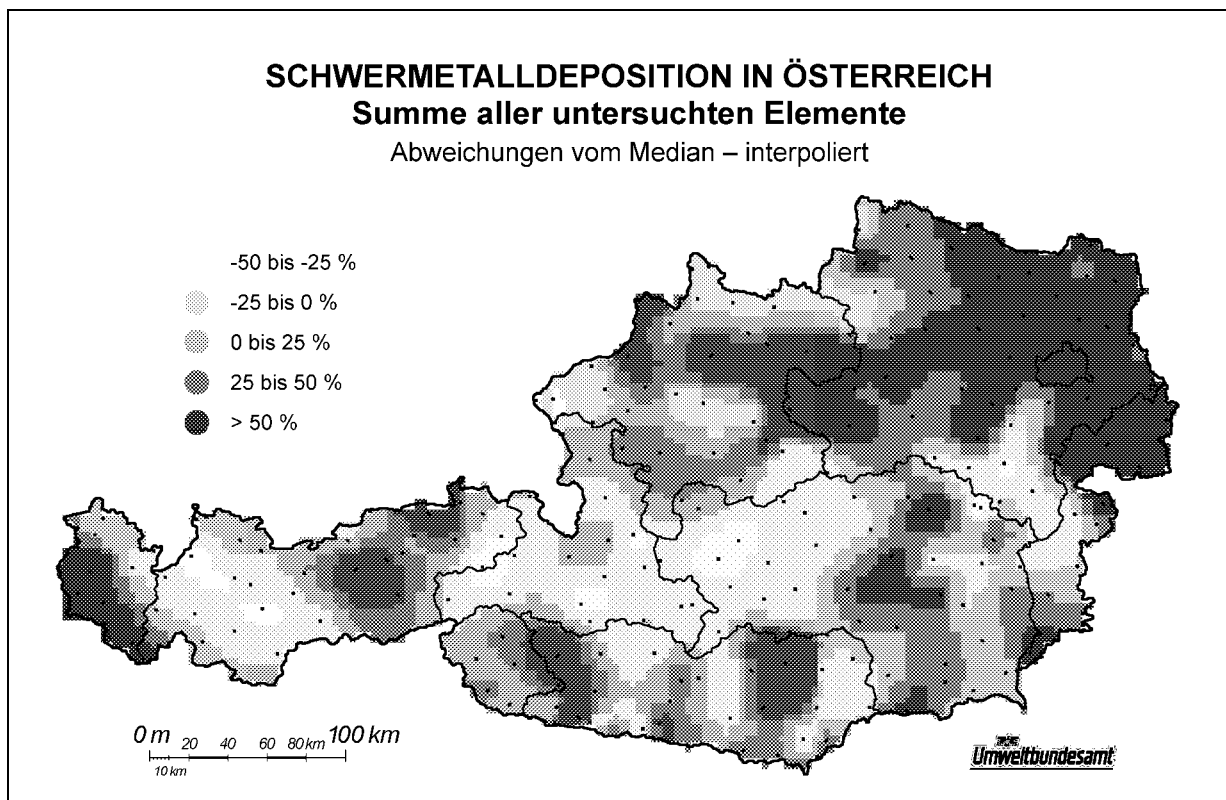


Abb. A: Summenkarte der Schwermetalldepositionen in Österreich; erstellt aus den jeweiligen Abweichungen vom gesamtösterreichischen Median.

## SUMMARY

### Introduction

Among the manifold goals of comprehensive environmental policy transboundary air pollution control is key. In this context only proven and standardised methods can be used. In line with the various goals to be obtained these methods must furthermore be generally applicable. Taking all this into account, atmospheric heavy metal deposition has been successfully monitored with mosses serving as bioindicators in many European countries since the early 1970s.

The present study is part of a European project and was like in the past years initiated by the Nordic Council of Ministers. The number of countries participating in this monitoring programme has steadily increased to 30 and comprises most of the European states, some Baltic states as well as a number of other – in the meantime independent – countries from the former USSR.

In 1993 a pilot study was carried out to confirm that the moss method was suitable to be applied to Austria as well. The present study for the first time allows a nation-wide assessment of heavy metal deposition in Austria. The data represent atmospheric deposition from 1993-1995. One of the big advantages of this method is that the time of deposition can be determined.

The present survey of atmospheric heavy metal deposition in Austria clearly indicates problem areas as well as areas with background concentrations. In addition, comprehensive scientific studies were carried out in order to evaluate the method used.

The pan-European report (to be published in the end of 1998) will contain a comparison with the other states participating in this investigation programme.

### Material and Methods

- **Sampling:** the guidelines for sampling are based on many years of international experience. Sampling sites must be located at least 300 m away from main roads and populated areas and at least 100 m from single houses or at least 5 m from trees or bushes. In the larger valleys of the Alps a minimum height difference of 500 m between the valley floor and the sampling site should be observed. The minimum distance between high-tension pylons must not be smaller than 300 m. Sampling sites should not be directly exposed to throughfall precipitation. Preference is given to clearings within woodlands, but also heath and natural grasslands are accepted as sampling sites. On each sampling site a number of subsamples is taken, the actual sampling area should not exceed 50 x 50 m. The amount of moss required is about two litres. The samples were collected in paper bags and dried as quickly as possible (drying oven, 35 °C).

In Austria 232 samples were taken from 220 sampling sites. 178 sampling sites serve as reference sites for other investigation programmes (Federal Forest Research Centre, Federal Environment Agency Austria, Municipal Department (MA) 22 of Vienna, Provincial Government of Styria, pilot study of the Federal Environment Agency). The remaining 42 sites were selected in the aim of achieving an equal distribution of sampling sites all over Austria. Sampling site density was 2.5 sites per 1,000 sq. kilometres.

The samples were cleaned and cut back to the shoots of three years. In order to determine growth and to calculate deposition rates 90 moss samples were taken at 54 sites from specified unit areas and prepared correspondingly. Sampling was carried out between August 28<sup>th</sup> and November 1<sup>st</sup> 1995.

- **Moss species used for monitoring:** *Pleurozium schreberi* (121 samples), *Hylocomium splendens* (54), *Hypnum cupressiforme* (27) and *Abietinella abietina* (18).

- **Analysis:** After drying and milling (in porcelain) the samples were treated with 5+1 parts of nitric acid and perchloric acid and then digested by means of a Kjeldahtherm digesting unit. Hg and As were analysed by means of the AAS Hydride System, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Ti, and Zn by ICP-ES. Digestion and analyses were carried out by the laboratory of the Federal Environment Agency Vienna.
- **Evaluation of data:** For the statistics mainly mean values, medians, standard deviations, minimum, maximum, and percentile were determined and represented graphically in block diagrams and Notched Box and Whisker Plots. In addition, simple linear regressions were calculated and graphically displayed with determination of R-squared and the correlation coefficient. Furthermore simple and multiple variance analyses were carried out. The multivariate method used was the principle component analysis. The tests of significance carried out in line with their applicability were the sign test, correlation analyses and the t-test. Both the coloured maps containing points representing measured values and the interpolated maps were established at the Federal Environment Agency.

## Results

### According to heavy metals

**As (arsenic):** In more than half of the samples concentrations were below the detection limit. Higher than average concentrations were found especially in the north east of Austria. The reasons for this lie mainly with long-range transport from our northern and eastern neighbours (Slovak Republic, Czech Republic, Poland), emissions from combustion processes in the conurbation Vienna and the deposition of airborne particles from agriculturally intensively used areas. In the Central Alps elevated values are in part of geogenic origin (the median of all samples is 0.16 µg/g).

**Cd (cadmium):** The distribution of Cd concentrations is determined by local emission sources (e. g. traffic in the Inn valley) and the amount of precipitation. Previous investigations revealed a high correlation between the concentration of individual heavy metals and the amount of precipitation. Strongly elevated levels as determined in the Salzkammergut or the Mariazell area are mainly due to high precipitation rates (median 0.25 µg/g).

**Co (cobalt):** The concentrations of cobalt are low. In some places elevated levels are of geogenic origin (ultra-basic rocks, ophiolites). Due to a lack of data from our eastern neighbours proof of transport from these areas could not be established (median 0.28 µg/g; > 50 % of all samples are below the detection limit).

**Cr (chromium):** The north east of Austria differs significantly from the other areas. A comparison of Austrian data with those from neighbouring countries has revealed that long-range transport from eastern countries (Slovak Republic, Czech Republic, Poland) plays an important role. Another reason for elevated concentrations are extensive agricultural areas lying periodically fallow (local deposition of airborne particles). One of the local hot spots caused by anthropogenic emissions is Linz, elevated levels in the Silvretta area are of geogenic origin (median 1.11 µg/g).

**Cu (copper):** The spatial distribution of copper concentrations indicates a larger number of local emission sources. Particularly striking is the situation in the Inn valley, which is affected by a number of environmental impacts, namely the emissions from the secondary copper reclamation plant Brixlegg, traffic, population density and the specific climatic conditions (median 5.9 µg/g).

**Fe (iron):** Significantly elevated levels were recorded in the north east of Austria. Potential emission sources correspond to those established for chromium (long-range transport, cultivation of the soil) (median 493 µg/g).

**Hg (mercury):** Concentrations significantly above average were found in the Inn valley, the western Lower Austrian foothills of the Alps, and the Walgau (province of Vorarlberg). Elevated concentrations observed in Leoben are due to emissions from the Donawitz plant working Hg-rich ores. Due to its high mobility and associated analytical difficulties it is difficult to give an exact account of Hg pollution (median 0.06 µg/g).

**Mo (molybdenum):** It is presumably due to the specific geological conditions that Mo concentrations are higher in the south of Austria than in the rest of Austria. The highest concentrations were recorded in the vicinity of the TCW works in Treibach (on average 7.66 µg/g in the deposition period 1993-1995; for comparison see median of all Austrian samples) (median 0.32 µg/g).

**Ni (nickel):** Elevated concentrations in the north east seem to be due to emissions from various combustion processes in the capital. Another aspect to be taken into account is the long-range transport from the east (above all from the Slovak Republic). In Austria the highest concentration was observed in the vicinity of the Treibach TCW works (11.4 µg/g) (median 1.3 µg/g).

**Pb (lead):** Elevated concentrations occur in areas characterised by high precipitation rates, along transit routes, and here especially from countries with a low share of lead-free petrol.

Lead depositions show a strongly decreasing trend (median 8.9 µg/g).

**Ti (titan):** Titan was analysed in order to determine potential secondary contamination of the moss samples with soil particles. Due to the selected method of digestion, results often indicate too low concentrations.

**V (vanadium):** The north east of Austria differs significantly from the other areas. Main emission sources are combustion processes in the Vienna area as well as refineries (above all in Bratislava). The highest concentrations were measured in the vicinity of the TCW works in Treibach. (14.7 µg/g) (median 1.3 µg/g).

**Zn (zinc):** The strongly elevated concentrations found in Linz (VOEST) and the Inn valley (Brixlegg, mineralisation, traffic) seem to be due to local emission sources. Here and there a correlation could be established with precipitation rates and emissions of geogenic origin (median 31 µg/g).

**S (sulphur):** Although no heavy metal, sulphur is an important indicator of anthropogenic emissions. Elevated concentrations occur in the vicinity of local emission sources (Linz, Vienna) and in areas characterised by a lot of precipitation (median 1110 µg/g).

### Regional Survey

After removing the parallel samples and one sample that due to secondary contamination was not suitable for evaluation 219 samples were used to evaluate the conditions at the respective sites.

There are a couple of areas which showed strongly elevated levels of a number of heavy metals turning these areas into problem areas:

Particularly striking is the pollution load in the lower Inn valley (Cu, Cd, Pb, Zn, Hg) which is due to a variety of different factors, like traffic, larger single emission sources, higher population density, inverted atmospheric conditions). The north east of Austria is characterised by emissions from the conurbation Vienna (all kinds of combustion processes), intensive agriculture (e. g. increased share of remobilised soil particles containing heavy metals) and the long-range transport from the neighbouring Slovak Republic, Czech Republic and Poland. The south of Vorarlberg is also influenced by a number of parameters: emissions of geogenic origin in the Silvretta area, higher depositions from precipitation and local emission sources (traffic, domestic combustion units). The reasons for the in part strongly elevated concentra-

tion found in the south west of Lower Austria have not been determined yet. In addition to long-range transport local emission sources cannot be excluded.

The highest concentrations (absolute peak values) of Mo, Ni and V have been recorded in the vicinity of the TCW works in Treibach. Since the used method measures atmospheric depositions of 1993-1995 it can be assumed that the concentrations found were actually caused by emissions from the works.

The samples from large parts of Eastern Tyrol, Carinthia, and the south east of Styria show primarily elevated heavy metal concentrations of geogenic origin.

Figure A shows the heavy metal deposition in Austria in the period 1993-1995. This map shows the sum of all deviations of single heavy metal concentrations with reference to the corresponding median for the whole of Austria. The above mentioned areas and the single emission sources can be clearly distinguished in the map.

### Heavy metal depositions as compared to the sampling from 1991

A comparison of depositions of the two sampling periods can be easily made since a large number of samples were taken from sites already sampled in 1991. For nearly all of the investigated heavy metals a in part strong decrease of average concentrations (e. g. Pb -44 %, Cd -27 %) could be established. However, it can not be totally ruled out that the lower concentrations are at least for some elements (e. g. Cr, As) due to the different analytical methods used.

### Accompanying scientific investigations

**Calculation of deposition rates:** A number of different approaches were used to determine deposition rates from the concentrations found. To this end comparisons were established by means of data from Wet and Dry Only Samplers (WADOS). No correlation could be found between concentrations from wet deposition taken from the samplers and the moss samples taken at the same time. The main reason for this seems to be the fact that from the WADOS only data on wet deposition were available. And this although especially in the case of some heavy metals dry deposition plays a significant role. This is why the coefficients for the adsorption capacity of the individual heavy metals were developed from literature (efficiency factor). These coefficients together with the data on biomass increase obtained from this study were used to calculate deposition rates by means of the formula  $C \cdot A / E$  (C=concentration; A=biomass of the species used for monitoring; E=efficiency factor). The increase in biomass may only be averaged for regional deposition calculations; for the calculation of site-related deposition rates exact growth data of the respective site are required.

**Comparative studies with humus samples:** Due to the co-operation with the Federal Forest Research Center humus samples taken in the course of the Forest Condition Survey were available. In the beginning it was planned to make comparative investigation of moss and humus samples an integral part of the international programme. However, due to huge differences in the methods applied, these investigations had to be limited to the national level. In total, such comparisons could be made at 137 sampling sites. But due to the differences in sampling sites (clearances in the moss study, forest sites in the Forest Damage Monitoring System) comparability of data is rather limited. As expected, due to the longer accumulation time concentrations are markedly higher in humus samples than in moss samples. A significant correlation could only be established for Cd, Cu, and Ni. Presumably the changes in heavy metal depositions over the years play an important role (e. g. with Pb). The low correlation of most results is another factor ruling out secondary contamination of mosses with soil particles, at the same time confirming the assumption of a mostly atmospheric input of the concentrations measured in the moss samples.

**Analysis of the annual increase in biomass of the species used for monitoring:** In order to allow comprehensive sampling of the east of Austria which is characterised by pannonian

climate *Abietinella abietina* was included in the sampling programme. First, the suitability of this moss species had to be determined. This was done by analysing annual growth rates (length and weight/shoot) and by establishing correlations with species known to be suitable for indicating heavy metal retention efficiency (regressions, quotients). According to the results *Abietinella abietina* is a species most suitable for this programme and should at least in Austria be given preference to *Hypnum*.

In order to calculate deposition rates exact data on the annual increase in biomass per area unit are indispensable. Therefore 90 moss samples were taken from specified unit areas at 54 sampling sites and analysed. Annual average increases in biomass amounted to: 127 g/m<sup>2</sup> for *Hylocomium splendens*, 161 g/m<sup>2</sup> for *Pleurozium schreberi*, 188 g/m<sup>2</sup> for *Hypnum pressiforme* and 144 g/m<sup>2</sup> for *Abietinella abietina*; biomass in dry weight. Due to the in part wide variations deposition calculations should always be based on sampling per unit area.

## Maps

Interpolated maps are graphical representations of concentrations measured at the individual sites. This kind of representation does not take into account the spatial and topographical parameters influencing heavy metal deposition. Projections of concentration patterns for areas not actually sampled is restricted to sites which fulfil the general sampling criteria. The maps containing points representing measured values, however, do reflect the actual situation.

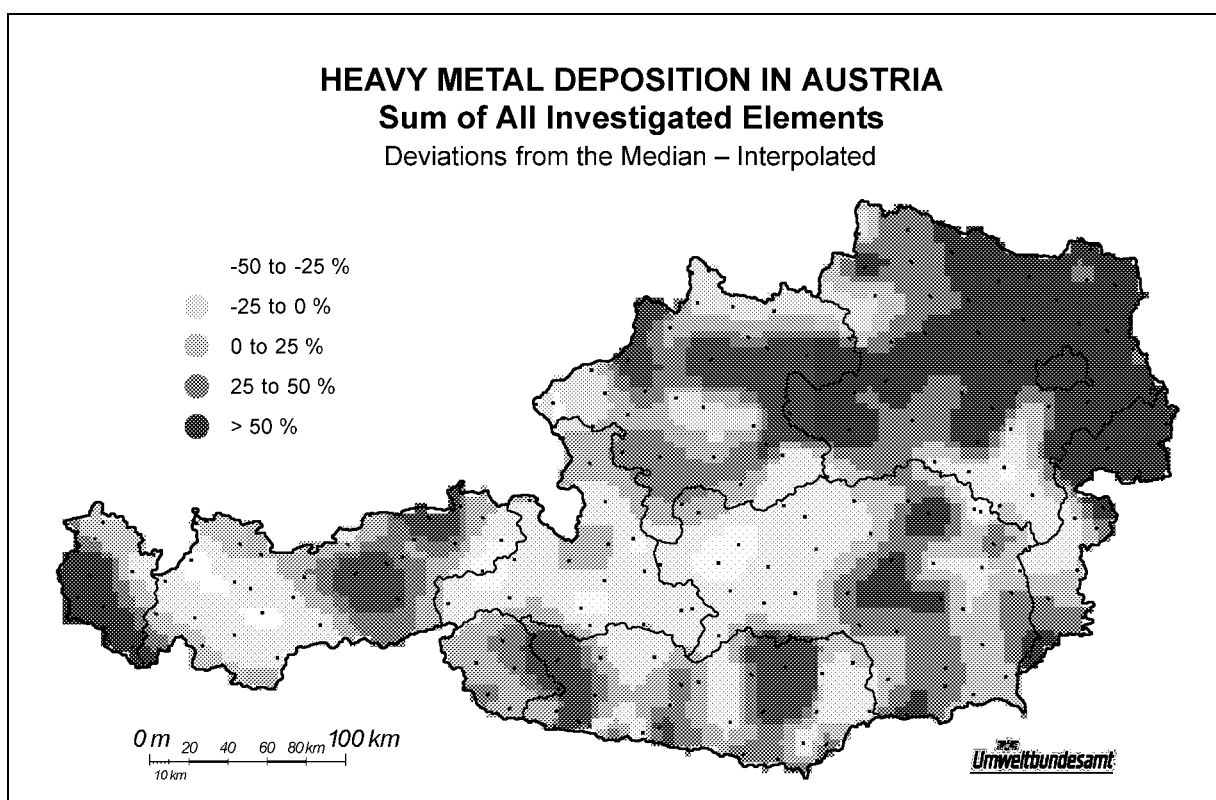


Fig. A: Map of the sums of heavy metal deposition in Austria; derived from the individual deviations from the Austrian median.