



Schwermetalldepositionen  
in Österreich

Biomonitoring mit Moosen  
Aufsammlung 2005





umweltbundesamt<sup>U</sup>

# SCHWERMETALLDEPOSITIONEN IN ÖSTERREICH

erfasst durch Biomonitoring mit Moosen  
(Aufsammlung 2005)

Harald G. Zechmeister  
Daniela Hohenwallner  
Andrea Hanus-Illnar  
Ingrid Roder  
Alarich Riss

REPORT  
REP-0201

Wien, August 2009



**Projektleitung**

Harald G. Zechmeister (Univ. Wien, IECB)

Alarich Riss (Umweltbundesamt)

**AutorInnen**

Harald G. Zechmeister (Univ. Wien, IECB)

Daniela Hohenwallner (Univ. Wien, IECB)

Andrea Hanus-Illnar (Umweltbundesamt)

Ingrid Roder (Umweltbundesamt)

Alarich Riss (Umweltbundesamt)

**Aufbereitung und chemische Analysen**

Umweltbundesamt, Stoffe & Analysen, Abt. Anorganische Analysen

**Übersetzung**

Ulrike Lamb (Umweltbundesamt)

**Lektorat**

Maria Deweis (Umweltbundesamt)

**Satz/Layout**

Manuela Kaitna (Umweltbundesamt)

Ute Kutschera (Umweltbundesamt)

**Umschlagbild**

Monitoringart *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. (Stockwerksmoos) (© Harald G. Zechmeister (Univ. Wien, IECB))

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

**Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH  
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

*Gedruckt auf CO<sub>2</sub>-neutralem 100 % Recyclingpapier*

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2009

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-85457-999-3

# INHALTSVERZEICHNIS

	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	5
	<b>SUMMARY</b> .....	11
<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	15
<b>2</b>	<b>Methodik</b> .....	17
<b>2.1</b>	<b>Probenahme</b> .....	17
2.1.1	Die Probenahmepunkte .....	18
2.1.2	Moosarten .....	18
2.1.3	Zeitpunkt der Aufsammlung .....	19
<b>2.2</b>	<b>Aufarbeitung der Proben</b> .....	19
<b>2.3</b>	<b>Aufschluss und Analytik</b> .....	20
2.3.1	Aufschluss .....	20
2.3.2	Analytik .....	20
<b>2.4</b>	<b>Statistik</b> .....	21
<b>2.5</b>	<b>Erstellung der Punktkarten bzw. der interpolierten Karten</b> .....	23
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE</b> .....	24
<b>3.1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	24
3.1.1	Multivariate Auswertung der Daten .....	24
<b>3.2</b>	<b>Verteilung der Konzentrationsdaten</b> .....	25
<b>3.3</b>	<b>Ergebnisse – gegliedert nach Elementen</b> .....	25
3.3.1	Aluminium (Al) .....	26
3.3.2	Antimon (Sb) .....	28
3.3.3	Arsen (As) .....	29
3.3.4	Blei (Pb) .....	31
3.3.5	Cadmium (Cd) .....	34
3.3.6	Chrom (Cr) .....	36
3.3.7	Cobalt (Co) .....	37
3.3.8	Eisen (Fe) .....	39
3.3.9	Kupfer (Cu) .....	41
3.3.10	Molybdän (Mo) .....	43
3.3.11	Nickel (Ni) .....	44
3.3.12	Quecksilber (Hg) .....	47
3.3.13	Schwefel (S) .....	48
3.3.14	Stickstoff (N) .....	50
3.3.15	Vanadium (V) .....	52
3.3.16	Zink (Zn) .....	54
<b>3.4</b>	<b>Ergebnisse gegliedert nach Bundesländern</b> .....	59
3.4.1	Burgenland .....	59
3.4.2	Kärnten .....	60
3.4.3	Niederösterreich .....	61



3.4.4	Oberösterreich.....	62
3.4.5	Salzburg .....	63
3.4.6	Steiermark.....	64
3.4.7	Tirol .....	65
3.4.8	Vorarlberg.....	66
<b>3.5</b>	<b>Analyse der Biomassezuwächse der Monitoringarten.....</b>	<b>78</b>
3.5.1	Pleurozium schreberi.....	79
3.5.2	Hylocomium splendens .....	79
3.5.3	Hypnum cupressiforme agg. ....	79
3.5.4	Abietinella abietina .....	79
<b>3.6</b>	<b>Zeitliche Veränderungen der Schwermetallkonzentrationen in Moosen im Zeitraum zwischen 1989 bis 2005.....</b>	<b>80</b>
<b>3.7</b>	<b>Abschätzung der Depositionsraten.....</b>	<b>88</b>
3.7.1	Allgemeines.....	88
3.7.2	Berechnung der Depositionsdaten an konkreten Standorten .....	89
3.7.3	Berechnung von Depositionsdaten auf regionaler und nationaler Ebene .....	90
3.7.4	Vergleich mit den Depositionsdaten von 2000.....	90
<b>4</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN .....</b>	<b>92</b>
<b>5</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>94</b>
	<b>ANHANG .....</b>	<b>98</b>
	<b>Anhang 1: Liste aller Sammelpunkte .....</b>	<b>99</b>
	<b>Anhang 2: Tabelle der Konzentrationen aller analysierten Elemente an allen Hintergrundstandorten .....</b>	<b>107</b>
	<b>Anhang 3: Flächendeposition an Standorten mit Daten zur jährlichen Biomasse der Monitoringarten.....</b>	<b>117</b>
	<b>KARTEN.....</b>	<b>119</b>

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfassung der atmosphärischen Schwermetalldepositionen unter Verwendung von Moosen als Biomonitoren wird seit den frühen 70er-Jahren in vielen Ländern Europas mit großem Erfolg angewandt. Die zugrunde liegende Methode ist inzwischen aufgrund einer Vielzahl an begleitenden wissenschaftlichen Arbeiten gut abgesichert und kann als die kostengünstigste Methode zur Bestimmung aktueller atmosphärischer Schwermetalleinträge bezeichnet werden.

***Moose als  
Biomonitore für  
Schwermetalle***

Seit dem Jahr 1991 kommt diese Methode auch in Österreich zum Einsatz. Nach den flächendeckenden Untersuchungen von 1995 und 2000 ist dies die dritte und für 28 Sammelpunkte sogar die vierte Wiederholungsinventur.

Die vorliegende Studie wurde im Zuge eines Projektes der „ICP-Vegetation“ durchgeführt – und somit innerhalb jenes UNECE-Programmes, welches Teil der „Working Group on Effects under the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP)“ ist.

An diesem Programm nehmen 32 europäische Länder sowie Staaten des Baltikums und der ehemaligen UdSSR teil.

***teilnehmende  
Länder***

## 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 frei stehenden Häusern (100 m) oder zu den nächsten Bäumen und Sträuchern (5 m). Alle Sammelpunkte lagen außerhalb des Abfluss- oder Tropfbereiches anderer Pflanzen und repräsentieren daher den direkten atmosphärischen Eintrag. Bevorzugt wurde an Freiflächen (50 m x 50 m) innerhalb von Waldstandorten gesammelt, aber auch in Mooren oder (Halb)trockenrasen. Jede Standortprobe besteht aus mehreren Teilproben, die Probenfläche umfasste ca. 50 m x 50 m. Die gesammelte Probenmenge betrug ca. zwei Liter. Nach Aufsammlung erfolgte eine möglichst rasche Trocknung (Luft-trocknung bzw. Trockenschrank bei 35 °C).

***Sammlung vor allem  
an Waldstandorten***

**Probenahmepunkte:** In Österreich wurde an 220 Standorten gesammelt. Die Probenahmepunkte sind größtenteils identisch mit jenen der Aufsammlungen von 1995 und 2000 und inkludieren auch 28 Sammelpunkte der Pilotstudie 1991/92. Die Probedichte beträgt ca. 2,5 Standorte pro 1.000 km<sup>2</sup> und liegt somit im internationalen Vergleich im guten Durchschnitt.

***220 Standorte  
wurden besammelt***

Die Proben repräsentieren die Depositionsmengen ca. der letzten 2½ Jahre. An 67 Standorten wurde zum Zwecke einer Depositionsberechnung flächenbezogen aufgesammelt.

Die Aufsammlung der 220 Proben an Hintergrundstandorten erfolgte zwischen 8. August und 15. Oktober 2005. Die Aufsammlung war von schweren Unwettern in den Bundesländern Vorarlberg, Tirol und Steiermark beeinflusst, die sich vereinzelt auch auf die Konzentrationen in den Moosen auswirkten.



**Monitoringarten:** Als Moosarten wurde in erster Linie *Pleurozium schreberi* (108 Proben) verwendet sowie zusätzlich *Hylocomium splendens* (57), *Hypnum cupressiforme* (26), *Abietinella abietina* (22) und *Scleropodium purum* (7).

**Analysierte Elemente:** Die Proben wurden mit einem Perchlorsäure-Salpetersäure-Gemisch aufgeschlossen und anschließend die Gehalte an Aluminium, Antimon, Arsen, Cadmium, Blei, Vanadium, Zink, Eisen, Kupfer, Chrom, Nickel, Cobalt, Molybdän und Quecksilber mittels ICP-AES und AAS bestimmt. Neben den Schwermetallen wurden auch Stickstoff und Schwefel untersucht.

**Kartendarstellung:** Die Ergebnisse werden in Kartenform präsentiert. Als Darstellungsformen wurden flächenhafte, interpolierte Karten gewählt, in denen auch die gemessenen Werte in Punktform wiedergegeben sind. Die Darstellung der Untersuchungsergebnisse sowie die Interpolation der Punktdaten erfolgte anhand Geographischer Informationssysteme. In den Punktkarten werden Konzentrationen einzelnen Klassen zugeordnet, deren Größe den Perzentilstufen entspricht. Als Interpolationsmethode für die flächenhafte Darstellung wurde das Ordinary Krigging mit Standardeinstellungen gewählt. Die Karten wurden im Umweltbundesamt erstellt.

**regional erhöhte  
Schwermetallwerte**

Die einzelnen Raumeinheiten unterscheiden sich signifikant. Über alle Schwermetalle betrachtet konnten die höchsten Konzentrationen in den Regionen 2 (Nordosten/Pannonischer Raum) und 3 (südöstliches Alpenvorland) gefunden werden. Dies betrifft fast alle Metalle, außer Cadmium, Antimon und Zink. Dies ist primär auf durch den Wind remobilisierte Bodenteilchen zurückzuführen (durch großflächige periodisch freiliegende Ackerbaugelände) sowie auf Einflüsse aus der Schwerindustrie in den östlich angrenzenden Nachbarländern. Außerdem liegt der Ballungsraum Wien in diesem Gebiet. Außerhalb dieser Regionen finden sich allgemein erhöhte Konzentrationen im Rheintal, dem Unterinntal, in den obersteirischen Industriezonen, südlich von Graz sowie im Großraum Linz und Salzburg. Massiv erhöhte Konzentrationen einzelner Elemente (auch europaweit gesehen) finden sich um Treibach-Althofen. Primär handelt es sich in diesen Regionen um anthropogene Emissionen. Meist sind einzelne Emittenten oder Ballungsräume mit einer Vielzahl an Emissionsquellen (Verkehr, Hausbrand, Industrieansammlungen) die Verursacher. Im Bereich der Zentralalpen sind bei erhöhten Werten auch lokale und regionale Vererzungen zu berücksichtigen, welche wiederum über windverfrachteten Bodenstaub Sekundärkontaminationen bewirken.

**Anteil des  
Ferntransportes  
wurde geringer**

Die Verteilungsmuster der untersuchten Elemente sind im Vergleich mit jenen von 1995 oder 2000 ähnlich. Der Anteil anthropogen freigesetzter Metalle, welche über den Ferntransport verfrachtet werden, ist mit Ausnahme des Ostens von Österreich zurückgegangen.

## Ergebnisse – gegliedert nach Elementen

**Aluminium (Al):** Aluminium hat einen hohen Anteil im Boden und wird daher gemeinsam mit Chrom und Eisen als Indikator für sekundäre Verunreinigung durch Wind verfrachteten Bodenstaub verwendet. Der Osten und Südosten Österreichs weist aufgrund der ausgedehnten Acker- und Weinbauflächen, die nur periodisch von Vegetation bedeckt sind, und aufgrund der geringen Niederschläge deutlich erhöhte Al-Werte auf. Alle anderen Raumeinheiten sind relativ homogen und ähnlich. Dieses Verteilungsmuster ist vergleichbar mit jenem der Aufsammlung 2000. (Median 240 µg/g).

**Antimon (Sb):** Dieses Element wurde 2005 neu ins Programm aufgenommen, weil es sich in einer Reihe von Untersuchungen als besonders guter Indikator für Einflüsse aus dem Verkehr erwiesen hat. Besonders hohe Konzentrationen finden sich daher auch in den verkehrsreichen Gebieten wie im Unterinntal, dem Rheintalgebiet oder südlich von Wien. (Median 0,16 µg/g).

**Arsen (As):** Wie bereits in den Studien von 1995 und 2000 dargestellt, weist besonders der Nordosten Österreichs (Region 2) hohe As-Konzentrationen auf und unterscheidet sich signifikant vom übrigen Österreich. Ursachen für die erhöhten Werte dürften u. a. Bodenstaub mit arsenhaltigen Pestiziden (Kupferarsenitacetat), welche jahrelang vor allem im Weinbau eingesetzt wurden, sowie Zementwerke und der Ferntransport aus dem Osten sein. Punktuell erhöhte Werte gibt es auch in anderen Industrieregionen (z. B. Mur-Mürzfurche, Raum Leibnitz/Weiz, Bad Sauerbrunn). (Median 0,08 µg/g).

**Blei (Pb):** Die Pb-Werte zeigen punktuell stark erhöhte Werte in einer durchschnittlich niedrigen Konzentrationsmatrix. Blei ist vor allem im Inntal (Raum Brixlegg) auffällig erhöht. Die Pb-Belastung hat gegenüber 1995 und 2000 weiter deutlich abgenommen. (Median 3,7 µg/g).

**Cadmium (Cd):** Erstmals unterscheiden sich die Regionen nicht signifikant voneinander. In den nördlichen Kalkalpen sind die Konzentrationen aufgrund des Ferntransportes zwar noch immer leicht erhöht, aber generell zurückgegangen. Überdurchschnittliche Werte sind weiterhin im Unterinntal und an Punkten im oberösterreichischen Alpenvorland zu finden. Dies bestätigt die Ergebnisse der Untersuchung aus dem Jahr 2000. (Median 0,18 µg/g).

**Chrom (Cr):** Die Ostregion zeigt erhöhte Werte, was primär auf Bodenstaub (siehe Aluminium), auf durch Düngemittel bedingtes Chrom sowie Ferntransport aus der slowakischen Schwerindustrie zurückzuführen ist. Weiters gibt es im Mittelburgenland auch eine geogene Hintergrundbelastung. Punktuell höhere Konzentrationen finden sich wie in den früheren Aufsammlungen in Treibach-Althofen (Kärnten; Chemische Industrie). (Median 0,64 µg/g).

**Eisen (Fe):** Die Eisenkonzentrationen sind im Osten Österreichs erhöht, die Gründe sind ähnlich wie bei Chrom. Der oberösterreichische Zentralraum und die niederösterreichische Eisenwurzten zeichnen sich ebenfalls durch etwas erhöhte Werte aus. Eisen- und Stahlverarbeitende Industrie beeinflusst auch die obersteirischen Sammelpunkte. (Median 290 µg/g).

**Cobalt (Co):** Die Muster der Co-Deposition sind über weite Bereiche ähnlich denen von Chrom. Allgemein weist der Osten Österreichs etwas höhere Konzentrationen auf. Die erhöhten Werte in Region 4 (nördliches Alpenvorland) sind primär

auf hohe Konzentrationen im oberösterreichischen Zentralraum zurückzuführen. Die höchsten Werte sind im Bezirk Leibnitz, vor allem in der Gemeinde Wildon (1,60 µg/g) gefunden worden. (Median 0,23 µg/g).

**Kupfer (Cu):** Wie bereits in den Untersuchungen von 2000 und 1995 erweist sich auch in dieser Studie das untere Inntal als besonders auffällig. Alle Standorte dieses Raumes zeigen Werte, die deutlich über dem nationalen Durchschnitt liegen (> 8 µg/g). Allgemein sind Punkte an verkehrsreichen Straßen (Rheintal, Brennerautobahn) höher belastet. Auch Cu-haltige Pestizide im Weinbau führen mancherorts zu erhöhten Konzentrationen. (Median 5,1 µg/g).

**Molybdän (Mo):** Die auch im europäischen Vergleich höchsten Werte wurden in Treibach-Althofen (Kärnten) (20-fache des Mittelwertes) und nahe Reutte (Tirol) gefunden. In beiden Orten gibt es dafür verantwortliche Industriebetriebe. Im Großteil Österreichs waren die Konzentrationen sehr niedrig und lagen unter der Nachweisgrenze. (Median 0,13 µg/g).

**Nickel (Ni):** Die Verteilung der Ni-Konzentrationen zeichnet sich generell durch große Variabilität aus. Aus einer breiten, eher unterdurchschnittlichen Matrix ragen bundesweit einzelne Punkte mit sehr hohen Werten heraus (z. B. Treibach-Althofen, Raum Amstetten, Leoben, Wildon). Die Ursachen sind lokal bedingt und vielfältig. (Median 1,0 µg/g).

**Quecksilber (Hg):** Die Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten unterscheiden sich nicht signifikant. Lokal betrachtet gibt es vier Teilgebiete mit deutlich erhöhten Werten: Mur-Mürzfurche (Schwerindustrie), Brixlegg, Eferding und Murau (geogen bedingt). (Median 0,05 µg/g).

**Vanadium (V):** Die V-Konzentrationen sind vor allem in zwei Gebieten deutlich erhöht: im Raum Treibach-Althofen (lokaler Emittent) und im Wiener Raum (Verbrennungsprozesse, lokale Erdölförderungen, Raffinerie Bratislava). Darüber hinaus gibt es kaum erhöhte Werte. (Median 0,9 µg/g).

**Zink (Zn):** Die Verteilung der Zn-Konzentrationen ist von verschiedenen Einflüssen geprägt. Punktuell erhöhte Werte finden sich um Brixlegg sowie bei Leibnitz. Weiters sind im weiteren Raum um Linz und um Salzburg erhöhte Konzentrationen feststellbar. (Median 29,0 µg/g).

**Schwefel (S):** Die regionalen Unterschiede bei Schwefel sind zum Teil beträchtlich, wobei die Ostregion und das Alpenvorland die höchsten Werte aufweisen. Erhöhte Konzentrationen decken sich fast immer mit Zonen erhöhter Siedlungsdichte. (Median 970 µg/g).

**Stickstoff (N):** Stickstoff wurde entsprechend der zunehmend kritischen Einträge und Akkumulierung in den Ökosystemen und einer Empfehlung der ICP-Vegetation neu ins Programm aufgenommen. Vor allem in landwirtschaftlich intensiv genutzten Zonen (Marchfeld, Eferdinger Becken, Südoststeiermark) und Ballungsräumen (Emissionen aus dem Verkehr) waren die Konzentrationen deutlich erhöht. (Median bei 12.050 µg/g).



## Vergleich mit den Aufsammlungen von 1991, 1995 und 2000

Gegenüber den früheren Aufsammlungen ist fast ausschließlich eine Abnahme der Mittelwerte der Elementkonzentrationen zu beobachten. Diese Abnahmen der Konzentrationen der Aufsammlung 2005 gegenüber 2000 folgen einem bereits nach der Aufsammlung 2000 dokumentierten Trend. Die Abnahmen zwischen den einzelnen Aufsammlungsperioden (2005/2000, 2000/1995, 1995/1991) sind kontinuierlich und signifikant. Die einzelnen Elemente zeigen allerdings unterschiedlich starke Veränderungen. Das Element mit der deutlichsten Reduktion ist Blei. Es zeigt eine gleichmäßig starke Abnahme bis zum Jahr 2000. Die primäre Ursache ist die flächendeckende Einführung des bleifreien Benzins in ganz Mittel- und Westeuropa seit Beginn der 90er-Jahre. Seit der Aufsammlung 2000 ist der Rückgang verflacht. Offensichtlich ist die Umstellung weitestgehend erfolgt und Rückgänge basierend auf der Umstellung nehmen nicht mehr den gleichen Stellenwert ein. Veränderungen sind daher auch auf andere Quellen (Industrie) zurückzuführen.

Eine Zunahme der Konzentrationen ist nur bei einigen Elementen und auch dann nur in Teilen der Untersuchungsperiode feststellbar (z. B. erfolgte nach einem steigenden Trend von Kupfer zwischen 1991 und 2000 eine Abnahme unter das Niveau von 1991 in der Aufsammlung von 2005).

Die allgemeinen Abnahmen verschleiern allerdings die oft über viele Jahre kontinuierliche Zunahme der Schwermetalldepositionen an einzelnen Standorten. Solche „hot-spots“ (wie z. B. Treibach-Althofen, Unterinntal) lassen sich vielfach den Quellen zuordnen, an anderen Standorten sind aber die Verursacher nach wie vor unklar.

Die über alle Aufsammlungstermine relativ konstanten Veränderungen zeigen, dass in Summe gesehen die starken Niederschlagsereignisse in der Aufsammlungsperiode 2005 keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Konzentrationen in den Moosen gehabt haben. Für einzelne Standorte kann aber eine Veränderung nicht ausgeschlossen werden. Davon könnten besonders Standorte in Tirol betroffen sein, die tlw. niedrigere Konzentrationen zeigen als bei einer Aufsammlung vor den starken Regenfällen. Die im Vergleich zu anderen Bundesländern besonders hohen Gesamtabnahmen an Schwermetallkonzentrationen, die durch keine Maßnahme erklärbar sind, könnten ein Indiz dafür sein.

Veränderungen der Konzentrationen, bezogen auf 1995 und 2005: (1. Zahl bezieht sich auf 1995, 2. Zahl auf 2000): Al (– 13,7 %, nur 2000); As (– 7,3 %; – 4,5 %); Cd (– 17,2 %; + 0,6 %); Co (+ 6,1 %; – 13,2 %); Cr (– 20,7 %; – 6,2 %); Cu (– 8,7 %; – 17 %); Fe (– 16,2 %; – 15,3 %); Hg (– 4,9 %; – 2,8 %); Mo (– 48,6 %; – 19,4 %); Ni (– 17,1 %; – 12,5 %); Pb (– 55,7 %; – 34,5 %); S (– 13,9 %; – 10,9 %); V (– 31,7 %; – 18,2 %); Zn (– 4,2 %; – 6,4 %).

**Abnahme der Konzentrationen feststellbar ...**

**... vor allem bei Pb**

**hot-spots der Schwermetallbelastung**

**Einfluss der Starkregenereignisse 2005**

## Depositionsberechnungen

An 67 Standorten wurde flächenbezogen gesammelt und aufbereitet. Diese Daten waren Grundlage der Biomasseberechnungen der einzelnen Arten. Die durchschnittlichen Zuwächse waren: *Pleurozium schreberi*  $97 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ , *Hylocomium splendens*  $90 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ , *Hypnum cupressiforme* beträgt  $123 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  und *Abietinella abietina*  $116 \text{ g m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ . Die Biomasse der Moosarten unterschied sich nicht von jener der Aufsammlung von 2000, aber statistisch signifikant von jener der Aufsammlung 1995.

Die Depositionsdaten von As, Cd, Cr, Fe, Mo, V, Zn und N korrelieren hoch signifikant mit den Konzentrationsdaten (alle  $P < 0,001$ ), die Korrelation von Blei ist signifikant bei  $P < 0,05$ . Keine signifikanten Korrelationen gibt es bei Co, Cu und Ni.

Betrachtet man die Veränderungen in den bisherigen Untersuchungsjahren, decken sich die aus den Depositionsdaten gewonnenen Ergebnissen ebenfalls nicht genau mit denen aus den Konzentrationsdaten. Vor allem die nicht signifikanten Unterschiede in den Zeitreihen bei Cu und Ni sind bemerkenswert und relativieren so die zum Teil stark abnehmenden Trends, wie sie aus den Konzentrationsdaten allein abzulesen wären. Daraus können unterschiedliche Schlüsse gezogen werden:

1. Die Effizienzfaktoren sind ungenau oder
2. der Biomassezuwachs spielt bei diesen Elementen eine entscheidende Rolle. In letzterem Falle würde den Wachstumsbestimmungen und den daraus folgenden Biomasseberechnungen eine besonders wichtige Rolle zukommen, und die Konzentrationsdaten wären nur bedingt richtig. Aufgrund des Fehlens von entsprechender Literatur ist hier weiterer Forschungsbedarf gegeben.

## SUMMARY

### Introduction

Since the early 1970s atmospheric heavy metal depositions have been commonly estimated by the use of mosses in many European countries. Over time the method has been sufficiently developed and proven by many scientific studies. The method is regarded as a cheap and appropriate method for estimating recent atmospheric heavy metal depositions.

Since 1991 the method has been used in Austria. Following a pilot study in 1991 and area covering sampling in 1995 and 2000 this is the third replicate sampling for the total area of Austria and for some sites the fourth repetition.

This study was performed within the ICP-Vegetation and hereby within the UNECE. The programme is part of the activities of the Working Group on Effects under the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP) which covers the UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) region of Europe and North America. The ICP Vegetation is one of several ICPs and Task Forces investigating effects of pollutants on waters, materials, forests, ecosystems, health, and mapping their effects in the ECE region. International cooperation to control pollution is strengthened by the LRTAP Convention. Its Protocols commit countries to reducing pollutant emissions by specific target years. Results from the ICPs are used in both the development of these Protocols and in monitoring their success in reducing the impacts of air pollutants on health and the environment. 32 European countries as well as states from the Baltic region and former USSR take part in this programme.

### Methods

**Sampling:** the guidelines for sampling are based on an international protocol. 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 and bushes. 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 sub-samples were taken, the actual sampling area should not exceed 50 m 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.

**Sampling sites:** In Austria samples were taken from 220 sites. Sampling sites were mostly identically with those of 1995 and 2000. At 28 sampling sites samples also were taken in 1991. Sampling density was 2.5 sites per 1,000 sq. kilometres, which corresponds to the international standard.

Samples represent the atmospheric heavy metal depositions of the last two/three years. In order to determine growth and to calculate deposition rates at 67 sites moss samples were taken from specified unit areas and prepared correspondingly.

Sampling was carried out between August 8<sup>th</sup> and October 15<sup>th</sup> 2005.

**Moss species used for monitoring:** *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Hypnum cupressiforme*, *Abietinella abietina* and *Scleropodium purum*.

**Analysis:** After drying and milling the samples were treated with 5 + 1 parts of nitric acid and perchloric acid and then digested by means of a Kjeldatherm digesting unit. The contents of Al, Pb, V, S, Zn, Fe, Cu, Cr, Ni, Co and Mo were measured by means of inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES), As and Sb FIAS-Furnace, Hg, Cd and Pb (low contents) by AAS.

The analysis of Nitrogen was carried out by means of a CHN-Analyzer.

Digestion and analyses were carried out by the laboratory of the Federal Environment Agency Vienna.

Results are also presented as coloured maps. Both the coloured maps containing points representing measured values and the interpolated maps (ordinary krigging) were established at the Federal Environment Agency.

## Results

Regions differed significantly. Concentrations were highest in region 2 (Northeast and pannonic region) and region 3 (southeast). This goes for almost every metal except Cd, Sb and Zn. In these areas high concentrations can mainly be ascribed to wind blown soil particles which are frequently distributed according to large areas with bare soils in these areas dominated by intensive agriculture. Furthermore the capital of Vienna is in this area and there is a significant contribution of long range transport from bordering Slovakian industries.

Outside these areas higher concentrations were found in the Rhein valley, the lower Inn valley, in upper Styrian industrial regions (Mur-Mürzfurche), south of Graz and in the vicinity of the cities Linz and Salzburg. Extremely high concentrations of some elements were found in the area of Treibach-Althofen. Most of these concentrations can be dedicated to anthropogenic emissions. Most of the areas with high concentrations are within densely populated areas, rich in traffic, local burnings and local industries. Higher concentrations outside these areas can be attributed to metal rich soils according to geogenic origin. It must be assumed that the influence of long range transport has decreased within the investigated years.

Element distribution was comparable to the investigations of 1995 and 2000.

### Results according to the investigated elements

**Al (aluminium):** The share of soil derived Al is high, and showed therefore similar patterns as Cr and Fe. It is elevated in the east of Austria according to large agricultural areas with commonly open soils half of a year. (median 240 µg/g).

**As (arsenic):** The Northeast had significantly differing, highest concentrations, probably according the use of As containing pesticides in viniculture for many years and long range transport from the east. High concentrations can also be found in several industrial areas (z. B. Mur-Mürzfurche, Raum Leibnitz/Weiz, Bad Sauerbrunn). (median 0,08 µg/g).

**Cd (cadmium):** There were no significantly differing areas in Austria. A strong decline could be found in the Northern Calcareous Alps due to a strong reduction of long range transport deposition. Elevated values were found in the Lower Inn Valley, and at some sites in Upper Austria. Distribution patterns were comparable to those of the year 2000. (median 0,18 µg/g).

**Co (cobalt):** Co concentration patterns were comparable to those of Cr, with highest values in the eastern part of the country. High values were also found around the city of Linz. Highest values were found in the district of Leibnitz, (Wildon 1,60 µg/g). (median 0,23 µg/g).

**Cr (chromium):** Like for Al in the east concentration were highest. This is according to soil, fertilizers and long range transport from the Slovakian industries. Geogenic origin can be assumed in the Burgenland. Very high concentrations were in the surroundings of the TCW in Treibach. (median 0,64 µg/g).

**Cu (copper):** Comparable to the investigations in 1995 and 2000 elevated values could be found in the Lower Inn Valley. All sites in this area had values significantly above the average. In general high values were found in areas rich in traffic and in regions with intensive viticulture. (median 5,1 µg/g).

**Fe (iron):** For similar reasons as for Cr and Al the Fe concentrations were elevated in the east of the country. Local metal producing or processing industries lead to elevated concentrations around Linz and in the Lower Austrian Eisenwurzen, as well as in the Mur-Mürz Furche. (median 290 µg/g).

**Hg (mercury):** Concentrations were rather even all over the country. However, four are differed markedly: Mur-Mürzfurche (heavy industries), Brixlegg (local industry), Eferding und Murau (geogenic origin). (median 0,05 µg/g).

**Mo (molybdenum):** Even in an European context very high concentrations were found in Treibach Althofen (Carynthia) and close to Reutte (Tyrol). The local sources are well known. On the average the all Austrian values were extremely low. (median 0,13 µg/g).

**Ni (nickel):** Ni showed large variability. In a generally low matrix several hot spots could be found: Treibach-Althofen, around Amstetten, Leoben and Wildon. Sources and distribution were local and mostly known. (median 1,0 µg/g).

**Pb (lead):** Pb is markedly elevated in the Inn Valley, according to geogenic origin and local industries. Pb concentrations have declined strongly since 1995. (median 3,7 µg/g).

**Sb (antimony):** Sb was newly introduced to the programme as indicator for road traffic pollution. Therefore, concentrations were high in areas rich in traffic like the Rhein Valley, the Inn Valley or in the vicinity of Vienna. (median 0,16 µg/g).

**V (vanadium):** V concentrations were elevated around Treibach-Althofen for well known reasons and in the vicinity of the capital Vienna. (median 0,9 µg/g).

**Zn (zinc):** Highest concentrations were found around the towns of Brixlegg, Leibnitz, Linz and Salzburg. The origin was manifold (e.g. local industries, road traffic). (median 29,0 µg/g).

**N (nitrogen):** N was newly introduced to the programme according to the suggestions of the ICP-Vegetation. Concentrations of samples were elevated at heavily intensified agricultural areas (Marchfeld, Eferdinger Becken, Südoststeiermark) and in densely populated areas (road traffic emissions). (median 12050 µg/g).

**S (sulphur):** Regional differences were strong, with highest values in the east and in the area north of the alps. Mostly high concentrations were found in densely populated areas. (median 970 µg/g).

### Comparison of samplings in 1991, 1995 und 2000

In general the concentrations which were found in the year 2005 were lower than those to previous sampling campaigns. This follows a trend which could already be seen in 2000.

Changes in element concentrations: (compared to concentrations in 1995 and 2000): Al (-13,7 % – no data for 1995); As (-7,3 %; -4,5 %); Cd (-17,2 %; +0,5 %); Co (+6,1 %; -13,2 %); Cr (-20,7 %; -6,2 %); Cu (-8,7 %; -17 %); Fe (-16,2 %; -15,3 %); Hg (-4,9 %; -2,8 %); Mo (-48,6 %; -19,4 %); Ni (-17,1 %; -12,5 %); Pb (55,7 %; 34,5 %); S (-13,9 %; -10,9 %); V (-31,7 %; -18,2 %); Zn (-4,2 %; -6,4 %).

The strongest decline was found for Pb according the introduction of lead free petrol. The decline has diminished since 2000 as Pb free petrol has been successfully introduced in the previous period and deposition now mainly has to be attributed to local industries.

In contrast to the general trend concentrations had increased at several hot spots.

The data and data analysis showed that heavy rains falls during the sampling period had some influence at least in several areas at which decreases were markedly higher than in comparable others, less influenced by rain.

### Calculations of deposition

At 67 sites mosses were sampled aiming at the analysis of their increases in annual biomass. These data were taken for the calculation of deposition from concentrations. Biomass increases were as follows: *Pleurozium schreberi* 97 g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>, *Hypnum cupressiforme* 123 g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup> and *Abietinella abietina* 116 g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>. Biomass data did not differ significantly from those of 2000 but differed from those estimated in 1995.

Deposition data of As, Cd, Cr, Fe, Mo, Pb, V, Zn and N correlated significantly with concentration data. No correlations were found for Co, Cu und Ni. Almost the same goes for the evaluation of deposition changes within all investigated periods. No significant decreases were found for Cu and Ni which relativises the positive impression one gets from evaluating concentration data only.

Calculation of deposition raises two problems:

1. Its important to measure biomass data to get relevant estimates of deposition, and
2. more information on the uptake efficiency of several elements is needed.



# 1 EINLEITUNG

Die vorliegende Studie basiert auf einer internationalen Kooperation im Rahmen der „UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, Working Group on Effects (International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops)“. An der Aufsammlung 2005/2006 nahmen 32 europäische Länder teil.

**internationale  
Kooperation**

Die angewendete Methode wurde in Österreich im Zuge einer Pilotstudie zur Überprüfung der Validität dieses Verfahrens in Alpenländern 1991 getestet. Seit 1995 werden in 5-jährigem Rhythmus an 220 Punkten die Schwermetallkonzentrationen in Moosen untersucht. Dieses Monitoring stellt somit das umfassendste Programm zur Untersuchung der atmosphärischen Schwermetalldepositionen in Österreich dar.

**nationale Vorstudien**

Ziele der internationalen Studie sind (HARMENS 2005)

**Ziele der Studie**

- das Erkennen von zeitlichen und räumlichen Trends der Schwermetallbelastungen in Europa;
- die Identifizierung von lokalen Quellen und der räumlichen Ausdehnung der davon betroffenen Gebiete;
- ein Erkenntnisgewinn über Verfrachtungen durch den Ferntransport.

Zusätzlich zur Erfassung der Schwermetalldepositionen wurde im Februar 2005 ein Programm zur Erfassung der Stickstoff-Depositionen initiiert. Die Probenstandorte entsprechen dem Schwermetallprogramm und es kommt dieselbe Methode für Aufsammlung und Probenvorbereitung zum Einsatz.

**N-Depositionen neu**

Die zugrunde liegende „Moosmethode“ ist inzwischen aufgrund einer großen Anzahl an begleitenden wissenschaftlichen Arbeiten gut abgesichert (BURTON 1990, FRAHM 1998, ONIANWA 2001, ZECHMEISTER et al. 2003) und kann durchaus als die beste Biomonitoring-Methode zur Bestimmung aktueller atmosphärischer Schwermetalleinträge bezeichnet werden. Auch für die Erfassung von N-Depositionen liegen einige vielversprechende Studien vor, welche die Übernahme ins ICP-Programm begründen.

**„Moosmethode“ ist  
bestens geeignet**

Moose eignen sich aus folgenden Gründen als Biomonitore der genannten Elementgruppen:

Die Nährstoff- und Wasserversorgung erfolgt bei den verwendeten Monitoringarten ausschließlich über atmosphärische Einträge (nasse, trockene und okkulte Depositionen; BROWN & BATES 1990). Durch eine weitgehend fehlende Cuticula werden die Ionen ungehindert von den in den Zellwänden vorhandenen Austauschkapazitäten (Polyuronsäuremoleküle u. a.) aufgenommen. Die Aufnahme ist passiv und somit unabhängig von stoffwechselabhängigen Prozessen (BROWN 1984). Die Aufnahme 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 (GJENGE-DAHL & STEINNES 1990). Die Aufnahmeleistungen für die einzelnen Schwermetalle schwanken zum Teil stark. Die Aufnahmekapazitäten bei den unterschiedlichen Monitoringarten sind nach den bisherigen Erfahrungen aber durchaus vergleichbar. Die Auswaschung trocken deponierter Partikel beträgt nach TAYLOR & WHITESPOON (1972) deutlich weniger als 20 %.

**ökophysiologische  
Grundlagen**



**Wuchsformen** Aufgrund ihrer Wuchsform und 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.

**zeitliche Zuordnung der Depositionen** Die Abgrenzung der jährlichen Zuwächse ist bei den eingesetzten Monitoringarten möglich (UMWELTBUNDESAMT 1994, ZECHMEISTER 1995a, 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. Darüber hinaus ermöglicht die exakte zeitliche Zuordnung auch das Verfolgen von mittel- und längerfristigen Veränderungen der Schwermetalldepositionen an exakt denselben Orten und Regionen (z. B. BERG & STEINNES 1997, RÜHLING & STEINNES 1998, HERPIN et al. 2001, ZECHMEISTER et al. 2005a).

**Vorteile von Bioindikationsmethoden** 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 eine geringere Rolle spielen als dies oft bei der Analyse technisch gesammelter Einträge (z. B. mittels Bergerhoff) mit geringen Konzentrationen der Fall ist. Daneben gelten auch für die „Moosmethode“ die allgemeinen Vorteile von Biomonitoringmethoden – wie die Unabhängigkeit von Energieversorgung oder der Umstand, dass kein technischer Aufwand in der Errichtung und Betreuung von Messstationen notwendig ist. Diese Gründe münden allesamt in einen deutlich geringeren finanziellen Aufwand der Biomonitoringmethoden gegenüber technischen Überwachungsmethoden (z. B. MARKERT et al. 2003).



## 2 Methodik

### 2.1 Probenahme

Die Probenahme folgte entsprechend dem internationalen Manual, welches für die Aufsammlung 2005 unter Einbeziehung von Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen der Teilnehmerländer während der ICP-Vegetation Jahrestagung in Almeria/Spainien entwickelt wurde (HARMENS 2005).

Jeder Sammelpunkt hatte demnach folgende Bedingungen zu erfüllen:

- Die Aufsammlung sollte in für die einzelnen Regionen typischen Ökosystemen erfolgen. Waldökosysteme wurden dabei bevorzugt.
- Die Entfernung zum nächsten Baum oder Strauch war so groß wie möglich zu halten (3 m Mindestabstand von der Bodenprojektion der äußersten Äste). Der Entnahmepunkt musste in jedem Fall außerhalb des regelmäßigen, direkten oder indirekten Abfluss- oder Tropfbereiches diverser Gehölze liegen. Die Abschirmung durch Zwergsträucher oder andere höhere Pflanzen (z. B. Hochstauden, Gräser) wurde vermieden.
- Die Aufsammlungspunkte lagen in jedem Fall unterhalb der Baumgrenze.
- Der Mindestabstand von Hauptstraßen (Autobahnen, Hauptdurchzugsstraßen) und größeren Siedlungen betrug 300 m.
- Der Mindestabstand von kleineren Straßen und freistehenden Häusern betrug 100 m.
- Der Mindestabstand von Forstwegen (geschottert, verfestigt) betrug ca. 5 m.
- Die Flächengröße eines Sammelpunktes umfasste maximal 50 m x 50 m.
- Die Sammelmenge betrug nach Möglichkeit ca. 2 l der jeweiligen Moosart, bestehen aus 5–10 „subsamples“ innerhalb der vorgegebenen Fläche; die Moose wurden in Papiersäcken verpackt; die gesammelten Moosproben wurden am Standort von größeren Schmutz- und Streupartikeln gesäubert, außerdem wurden die zu verstauenden Moosteilproben 'top on top' eingelegt, um eine Kontamination der zu analysierenden Teile mit eventuell anhaftender Erde zu vermeiden.

Zusätzlich wurden folgende nationale Richtlinien zur Flächenauswahl herangezogen:

- In Österreich wurde ein Mindestabstand von Hochspannungsleitungen und -masten (300 m) eingehalten.
- Bevorzugt wurde die Aufsammlung an Lichtungen bzw. kleinen Schlagflächen innerhalb von Wäldern durchgeführt, im pannonischen Teil auf primären und sekundären Trockenrasen.
- Falls geeignete Waldgebiete nicht zur Verfügung standen, wurde auf offene Moorflächen, Zwergstrauchheiden oder Raine ausgewichen.
- An 67 Standorten wurde flächenbezogen gesammelt; dabei wurde ein PVC-Zylinder mit 10,5 cm Durchmesser als Bezugsfläche verwendet; an jedem dieser Standorte wurden mindestens fünf Teilproben gesammelt.

#### **Voraussetzungen für die Probenahme**

#### **internationale Vorgaben**

#### **nationale Ergänzungen der Richtlinien**



### 2.1.1 Die Probenahmepunkte

#### 220 Standorte in Österreich

In Österreich wurden an 220 Standorten Proben entnommen (siehe Karten 1a, 1b und 1c sowie Anhang 1). Die Probenahmepunkte sind größtenteils identisch mit jenen der Aufsammlung von 1995 (UMWELTBUNDESAMT 1997) und 2000 (UMWELTBUNDESAMT 2009). Sie inkludieren auch 28 Probenahmepunkte der Pilotstudie 1991/92 (UMWELTBUNDESAMT 1994).

#### Verlegung einzelner Punkte

Gegenüber der Aufsammlung 2000 mussten 21 Punkte verlegt werden (< 10 %). Diese Verlegungen waren notwendig weil

- an manchen Standorten nicht mehr den internationalen Aufsammlungsbedingungen entsprechend gesammelt werden konnte (z. B. Lichtungen waren zu gewachsen),
- entsprechende Moose nicht mehr in ausreichendem Maße vorhanden waren und
- die Unwetter des Sommers 2005, welche in die Aufsammlungskampagne fielen, Straßen längerfristig unpassierbar machten (vor allem in Vorarlberg und Tirol).

Betroffen waren folgende Punkte: 31-1, 33-1, 43-1, 52-1, 53-1, 60-2, 70-1, 72-1, 74-2, 75-1, 102-1, 104-1, 108-1, 111-1, 141-1, 144-1, 148-1, 169-1, 211-1, 212-1, 213-1. (Liste der Sammelpunkte siehe Anhang 1).

#### Probenahmedichte

In Übereinstimmung mit den wichtigsten Teilnehmerländern am internationalen Projekt wurde in Österreich eine Probedichte von ca. 2,5 Standorten pro 1.000 km<sup>2</sup> erzielt.

Tabelle 1: Übersicht über die Naturräumlichen Einheiten Österreichs (entsprechen der Raumgliederung von UMWELTBUNDESAMT 1990).

Name der Naturräumlichen Einheit	Bezeichnung der Region/Raumeinheit im Text	Nummer der Region/Raumeinheit
Nördliches Granit- und Gneishochland	Kristallines Mittelgebirge	1
Pannonische Flach- und Hügelländer	Nordosten/Pannonischer Raum	2
Südöstliches Alpenvorland	Südöstliches Alpenvorland	3
Nördliches Alpenvorland	Nördliches Alpenvorland	4
Nördliche Kalkalpen	Nördliche Flysch- und Kalkalpen	5
Zentralalpen	Kristalline Zentralalpen	6
Südalpen und Klagenfurter Becken	Südalpen inkl. Klagenfurter Becken	7

### 2.1.2 Moosarten

#### verwendete Moosarten

In der Aufsammlung wurden nur Moosarten verwendet, welche den internationalen Richtlinien entsprechen. Es wurden an den einzelnen Standorten nach Möglichkeit dieselben Arten wie in der Aufsammlung 2000 verwendet. An 22 Standorten musste die Moosart gewechselt werden (10 % aller Standorte). Entsprechend dem europäischen Gesamtrahmen war *Pleurozium schreberi* die am meisten gesammelte Art. Zusätzlich zu früheren Programmen kam in Österreich diesmal auch *Scleropodium purum* zum Einsatz, welche sich in anderen österreichischen Studien bewährt hatte (z. B. ZECHMEISTER et al. 2004). Im pannonischen Osten wurde fast ausschließlich die Indikatorart *Abietinella abietina* eingesetzt. Die Einsatzfähigkeit dieser Art für Monitoringzwecke wurde in der Studie 1995 ausführlich getestet



(UMWELTBUNDESAMT 1997, ZECHMEISTER 1998). Die Anzahl der geworbenen Proben pro Art sind in Tabelle 2 und in Karte 1b ersichtlich, ihr prozentueller Anteil an der Gesamtmenge aller Standorte sowie die durchschnittliche Biomasse der einzelnen Arten ebenfalls in Tabelle 2.

Tabelle 2: Anzahl, Prozent der Gesamtstandorte und durchschnittliche Biomasse der gesammelten Moosarten.

Moosart	Anzahl der Standorte	% der Gesamtstandorte	Durchschnittliche Biomasse in g m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup>
<i>Pleurozium schreberi</i>	108	50	96,9 ± 29,5
<i>Hylocomium splendens</i>	57	26	89,7 ± 35,6
<i>Scleropodium purum</i>	7	3,5	108,9
<i>Hypnum cupressiforme</i>	26	10,5	123,4 ± 63,2
<i>Abietinella abietina</i>	22	10	115,5 ± 20,2

### 2.1.3 Zeitpunkt der Aufsammlung

Die Aufsammlung erfolgte zwischen 8. August und 15. Oktober 2005. Die Vergleichbarkeit der Daten mit früheren Aufsammlungen bzw. mit denen anderer am Untersuchungsprogramm teilnehmender Länder ist gewährleistet. Die Aufsammlung war von schweren Unwettern in den Bundesländern Vorarlberg, Tirol und Steiermark beeinflusst.

## 2.2 Aufarbeitung der Proben

Nach Trocknung eines Teils der Proben im Trockenschrank bei 35 °C sowie Lufttrocknung vereinzelter Proben wurden diese von sichtbaren Erd- und Detrituspartikeln befreit. Anschließend wurden die einzelnen Moosstämmchen auf die letzten zwei bis drei Jahrestriebe gekürzt. Es wurden nur grüne bzw. gelbe Teile verwendet. Diese Arbeit basierte vorwiegend auf den Erfahrungen der Vorarbeiten von ZECHMEISTER (1995a, 1998, UMWELTBUNDESAMT 1994, 1997) und der langjährigen Erfahrung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern.

Die Mindestmenge der aufgearbeiteten Proben sollte 6 g Trockengewicht betragen, in wenigen Fällen wurde diese Menge unterschritten.

Die flächenbezogenen gesammelten Teilproben von 67 Standorten wurden zur Gänze (= flächenbezogen) aufbereitet und einzeln gewogen.

## 2.3 Aufschluss und Analytik

Die Moosproben wurden bei 40 °C im Trockenschrank nachgetrocknet und unter flüssigem Stickstoff in einer Porzellanschale vermahlen. Danach erfolgte nochmals eine Trocknung bei 40 °C im Trockenschrank, um etwaiges Kondenswasser auszutreiben.

### 2.3.1 Aufschluss

#### **Perchlorsäure- Aufschluss mittels Kjeldatherm**

Für den Perchlorsäure-Aufschluss der Moosproben wurde jeweils 1 g der Probe analytisch genau in einen Quarzaufschlusskolben eingewogen, mit 5 ml konzentrierter Salpetersäure (65 %, subboiled) versetzt und gut durchfeuchtet. Anschließend wurde 1 ml konzentrierte Perchlorsäure (70 %, suprapur) zugesetzt und die Proben wurden über Nacht stehen gelassen. Der Aufschluss erfolgte automatisch mittels Kjeldatherm-Aufschlussblock (mit Absorptionsaufsätzen; Aufschlussprogramm: 30 min 60 °C, 40 min 200 °C, 10 min Abkühlen). Nach dem Aufschluss wurden die Proben in 100 ml Quarzmesskolben übergeführt und mit Reinstwasser bis zur Marke aufgefüllt. Anschließend wurden die Lösungen über Faltenfilter filtriert.

### 2.3.2 Analytik

#### **Schwermetall- und Schwefelanalyse**

Die Bestimmung der Gehalte an Aluminium, Blei, Vanadium, Schwefel, Zink, Eisen, Kupfer, Chrom, Nickel, Cobalt und Molybdän erfolgte mittels ICP-AES-Gerät Optima 3000 DV, Fa. Perkin Elmer, in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 11885. Die Arsen- bzw. Antimonbestimmung wurde mittels FIAS-Furnace-Kopplung im Atomabsorptionsspektrometer Analyst 800 der Fa. Perkin Elmer in Anlehnung an ÖNORM EN ISO 11969 (As) bzw. VDI 2268, Bl.2 (Sb) durchgeführt. Die Quecksilberbestimmung erfolgte mit Hilfe der Kaltdampftechnik im Fließinjektions-Quecksilbersystem FIMS 400 CV-AAS der Fa. Perkin Elmer in Anlehnung an ÖNORM EN 1483 und die Bestimmung von Cadmium und Blei erfolgte mittels Graphitrohr-AAS im Atomabsorptionsspektrometer Analyst 800 der Fa. Perkin Elmer mittels GF-AAS Basisnorm ÖNORM EN ISO 5961, DIN 38406, 6 (Pb) (jeweils modifiziert).

#### **Stickstoffanalyse**

Die Stickstoffanalyse wurde mittels CHN-2000-Analyzer (Firma Leco Corporation) durchgeführt: Die Moosproben wurden bei < 40 °C getrocknet und mit flüssigem Stickstoff in einer Porzellanschale homogenisiert. Ein Aliquot von 90–140 mg homogenisierter Moosprobe gelangt über die Probeneinlassvorrichtung in das Verbrennungsrohr und wird im Sauerstoffstrom bei 950 °C verbrannt. Der Verbrennungsprozess wandelt den gebundenen Stickstoff in die Verbrennungsgase N<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> um. Das dem Aliquotdosierer entnommene Probengas (gleich bleibende Menge) wird vom Trägergasfluss zum Katalyseofen transportiert, wo das NO<sub>x</sub> im Probengas zu N<sub>2</sub> reduziert wird. Danach passiert das Gas zwei Chemikalienrohre: Lecosorb absorbiert das vorhandene CO<sub>2</sub>, während Anhydrone die im Gas vorhandene Feuchte absorbiert. Der so gereinigte N<sub>2</sub>/Heliumfluss wird in einer TC (Thermal Conductivity)-Zelle gemessen. Die Kalibration erfolgte mit einer Standardreihe aus EDTA.

## 2.4 Statistik

Für die statistischen Berechnungen wurden an Stelle jener Werte, welche unter der Nachweisgrenze lagen, die halben Nachweisgrenzwerte als numerischer Parameter eingesetzt (z. B.  $< 0,25 = 0,125$ ).

### Explorative Datenanalyse

In der beschreibenden Statistik wurden die gängigen Verfahren (Mittelwerte, Mediane, Minimum, Maximum und Standardabweichung) sowie die Darstellung der Ergebnisse mittels „Box & Whisker Plots“ gewählt.

Abbildung 1 zeigt ein Modell für die Darstellungsform eines „Box & Whisker Plots“. Durch diese Diagramme wird die Lage, Streuung und Schiefe einer Messwertreihe dargestellt. Während die „boxes“ den Hälftespielraum eingrenzen, geben die „whiskers“ Auskunft über die Variabilität. Extrem abweichende Werte sind als einzelne Kästchen mit Stern markiert. Der Abstand des ersten und dritten Quartils vom Median gibt Auskunft über die Verteilung (Schiefe) der Daten.

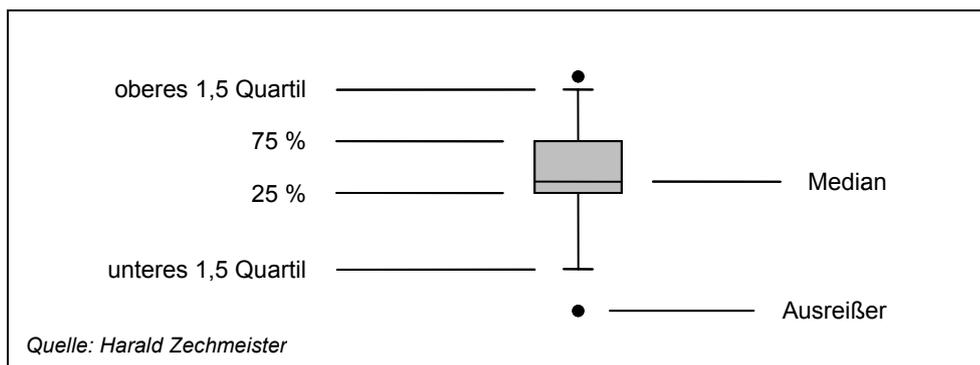


Abbildung 1: Modell eines „Notched Box & Whisker Plots“.

### Korrelationen

Der **Spearman's Rangkorrelationskoeffizient** ist ein Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient für ordinale Daten bzw. nicht normal verteilte Daten und wurde zur Ermittlung gegenseitiger Beziehungen verwendet (z. B. Korrelationen zwischen den einzelnen Schwermetallen). Nachdem in fast allen Fällen nicht normal verteilte Daten vorlagen, wurde dieser Test dem Pearson Korrelationstest vorgezogen.

**Partielle Korrelation:** Diese ist ein Maß der linearen Beziehung zwischen zwei Variablen, wenn die linearen Effekte der Kontrollvariable(n) entfernt wurden. Mit Hilfe der Partiiellen Korrelation kann besonders effektiv dargestellt werden, wie gut eine Variable eine andere vorhersagen kann.

## Testverfahren

Zur Signifikanzprüfung der Standardabweichungen bzw. Varianz wurden der F-Test bzw. ein **Multiple Range-Test** verwendet.

**Student's t-Statistik (t-Test)** wurde benutzt, um die Nullhypothese zu prüfen – dass zwei Mittelwerte gleich sind.

Der **Wilcoxon Matched Pairs-Test** ist eine nicht parametrische Prozedur für zwei verbundene Stichproben zum Test der Nullhypothese – dass die Verteilungen von zwei Variablen gleich sind. Es sind keine Annahmen über die Form der Verteilung der beiden Variablen nötig und der Test ist auch für sehr kleine Datenmengen zulässig.

**Friedman's Rangsummenanalyse** wurde verwendet, um die abhängigen Stichproben von Zeitreihen zu analysieren.

Mittels **Kolmogorov-Smirnov 2-Stichproben-Test** wurde geprüft, ob zwei Stichproben durch die gleiche Verteilung erzeugt wurden.

Zur Überprüfung, ob die einzelnen Gruppen aus Grundgesamtheiten mit gleicher Varianz stammen wurde ein **Cochran's C-Test** verwendet. Er basiert auf dem Verhältnis der größten Gruppenvarianz zur Summe aller Gruppenvarianzen. Für genügend große Stichproben gibt ein nicht signifikanter P-Wert an, dass nicht angenommen werden kann, dass sich die Varianzen unterscheiden.

## Varianzanalyse

Als Tests zur Überprüfung der inneren bzw. gegenseitigen Schwankungsbreite des Datenmaterials wurden Varianzanalysen (ANOVA) durchgeführt.

## Hauptkomponentenanalyse – HKA (principle component analysis; PCA)

Die Hauptkomponentenanalyse ermöglicht es, aus einer großen Anzahl von Variablen durch Reduktion der Datendimensionalität lineare Zusammenhänge zu finden, welche einen großen Teil der Variabilität des Datenmaterials erklären. Die einzelnen Komponenten werden entlang von Achsen aufgetragen. Die Gewichtung dieser Achsen (Eigenvalue) wird in Prozent angegeben. Die Nähe zweier Punkte zeigt demnach Gemeinsamkeiten in Bezug auf die den Achsen entsprechenden Faktoren auf.

Als Signifikanzniveau für alle Signifikanztests wurde – soweit nicht anders angegeben –  $P < 0,05$  festgelegt.



## 2.5 Erstellung der Punktkarten bzw. der interpolierten Karten

Die graphische Darstellung der Konzentrationsdaten in Kartenform erfolgte in Übereinstimmung mit Angaben in der Literatur (WOLTERBEEK et al. 1995, THÖNI et al. 1996, HALLERAKER et al. 1998, KOSTKA-RICK et al. 2001, REIMANN et al. 2001, SCHRÖDER & PESCH 2004) ohne Berücksichtigung der unterschiedlichen Arten. Die Aufnahmekapazitäten der in Österreich verwendeten Monitoringarten werden in der vorliegenden Arbeit grundsätzlich als gleich bzw. vergleichbar angenommen.

**keine  
Unterscheidung  
der Arten**

Als Darstellungsformen wurden einerseits Punktkarten, andererseits flächenhafte, interpolierte Karten gewählt. Die Punktdarstellung der Untersuchungsergebnisse sowie die Interpolation dieser Punktdaten in die Fläche erfolgte anhand Geographischer Informationssysteme. Zur Anwendung kam dabei das Produkt ArcGIS der Firma ESRI in der Version 8.2, wobei in ArcMap mit dem Geostatistical Analyst gearbeitet wurde.

**Punktkarten und  
interpolierte Karten**

In den Punktkarten wurden Konzentrationen entsprechend den Analysewerten einzelnen Klassen zugeordnet. Die Klassenbreite entspricht den Perzentilstufen.

Als Interpolationsmethode wurde das Ordinary Kriging gewählt, das gleichzeitig mit der Schätzung der Flächenwerte anhand der punktuellen Messungen auch eine Evaluation der Schätzergebnisse liefert. Die Anzahl der Punktmessungen liegt mit 220 für eine österreichweite Oberflächenberechnung an der unteren Grenze. Darüber hinaus weisen die Daten meist auch keine Normalverteilung auf. Diese wird für den Prozess des Kriging im Allgemeinen erwartet, stellt aber keine unabdingbare Voraussetzung dar. Von einer Datentransformation wurde daher abgesehen, um die Ergebnisse dahingehend nicht zu beeinflussen.

**Interpolations-  
methode Ordinary  
Kriging**

Um die Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit der Karten untereinander und mit jenen von 1995 zu gewährleisten, wurden für alle Krigings die vom Geostatistical Analyst vorgeschlagenen „Default-Einstellungen“ für die Berechnung herangezogen. Im Detailversuch zeigte sich überdies, dass eine Änderung dieser Einstellungen nur wenig Auswirkung auf das Endprodukt der Berechnung hatte und von der geographischen und thematischen Datenlage her nicht unbedingt zu rechtfertigen gewesen wäre. Im Einzelnen heißt dies, dass im Ordinary Kriging ohne Transformation, Trend Removal oder Anisotropy eine „Prediction Map“ mit dem Modell „Spherical“ erstellt wurde. Range, Nugget, Lag Size und Number of Lags sowie die Anzahl der in die Berechnung einzubeziehenden „Neighbours“ wurden so übernommen wie vom Programm vorgeschlagen. Die angegebenen Indices der Fehlerwahrscheinlichkeit der berechneten Flächen hielten sich im vorgegebenen Rahmen; die Flächenkarten können somit einen guten Eindruck über die räumlichen Konzentrationen der einzelnen Schwermetalle liefern, für Detailaussagen sind sie aber nur bedingt geeignet.

Die Darstellung der interpolierten Flächen erfolgte in bis zu zehn Farbklassen, die anhand der im Darstellungs-Tool von ArcMap zur Verfügung stehenden „Smart Quantiles“ berechnet wurden. Bei dieser Methode werden die Grenzen zwischen den Klassen dort gesetzt, wo relativ große Unterschiede in den Werten auftreten, d. h. die Klassifizierung basiert auf der „natürlichen“ Gruppierung der Datenwerte, wobei ähnliche Werte in einer Klasse zusammengefasst werden.

**Darstellung der  
interpolierten  
Flächen in bis zu  
zehn Farbklassen**

## 3 ERGEBNISSE

### 3.1 Allgemeines

In Anhang 2 sind die Ergebnisse aller gesammelten Proben aufgelistet. Insgesamt wurden Proben an 220 Standorten gesammelt.

Für die allgemeinen statistischen Berechnungen wurden bei Standorten mit mehreren Teilproben Mittelwerte verwendet. Bei Proben unter der Bestimmungsgrenze wurde als Berechnungsgrundlage der Wert der halben Bestimmungsgrenze herangezogen. Für die statistischen Berechnungen bzw. graphischen Darstellungen wurden die gemessenen Konzentrationen unabhängig von der Moosart verwendet.

Im Folgenden sind die Ergebnisse nach Themenschwerpunkten (z. B. Elemente, Raumeinheiten, Bundesländer) gegliedert. Die Angaben zu natürlichem Vorkommen, Verwendung, Hauptemissionsquellen und die Auswirkungen auf die Umwelt sind nur kurz gehalten. Für eine eingehende Behandlung dieser Themen wird auf die weiterführende Literatur verwiesen. Falls nicht weiter angegeben, beruhen die Angaben in den Kapiteln 'Allgemeines' auf folgender Literatur: CHRISTEN (1973), LEHNINGER (1977), ADRIANO (1986), PACYNA & OTTAR (1989), MERIAN (1991), MARKERT (1992), VERNET (1991), VERRY & VERMETTE (1992) und STREIT (1994).

#### 3.1.1 Multivariate Auswertung der Daten

Die Daten der einzelnen Standorte und Schwermetalle wurden mittels Hauptkomponentenanalyse (Principle Component Analysis – PCA; siehe Abbildung 2) analysiert (siehe auch Methodik).

Die ersten drei Variablen erklären 68,6 % der gesamten Variabilität, wobei auf Komponente eins 38,3 %, Komponente zwei 19,6 % und Komponente drei 10,7 % entfallen.

#### ***anthropogene Anreicherung***

Die Gruppe mit Cu, Sb, Hg, Zn und Cd umfasst jene Metalle, welche einen hohen anthropogenen Anreicherungsfaktor haben (z. B. MIGUEL DE et al. 1997, SUTHERLAND et al. 2000, TAKEDA et al. 2000). Diese Elemente haben u. a. im Verkehr eine gemeinsame Emissionsquelle (z. B. HARRISON et al. 2003, ZECHMEISTER et al. 2005b). Zusätzlich kommen die Elemente Blei und Schwefel vor. Die meisten dieser Elemente werden vorwiegend über Verbrennungsprozesse freigesetzt und gelangen als kleinste Teilchen in die Atmosphäre. An Aerosole gebunden werden sie oft über weite Strecken verfrachtet und häufig über Niederschläge deponiert. Die Stellung von Stickstoff in der PCA dürfte einen vergleichbaren Aufnahmemodus wie die erstgenannten Elemente widerspiegeln.

Die Elemente Al, Fe, Cr, Ni, Co, As und V haben einen hohen natürlichen Anteil im Boden und gelten auch als Bodenzeiger. Sie werden aber auch anthropogen, z. B. in der Eisen(verarbeitenden)-Industrie, freigesetzt.

Die Sonderstellung von Molybdän könnte mit seinem primären Vorkommen als Molybdat-Anion in Verbindung stehen. Der Aufnahmemechanismus von Anionen durch Moose ist weitgehend ungeklärt.

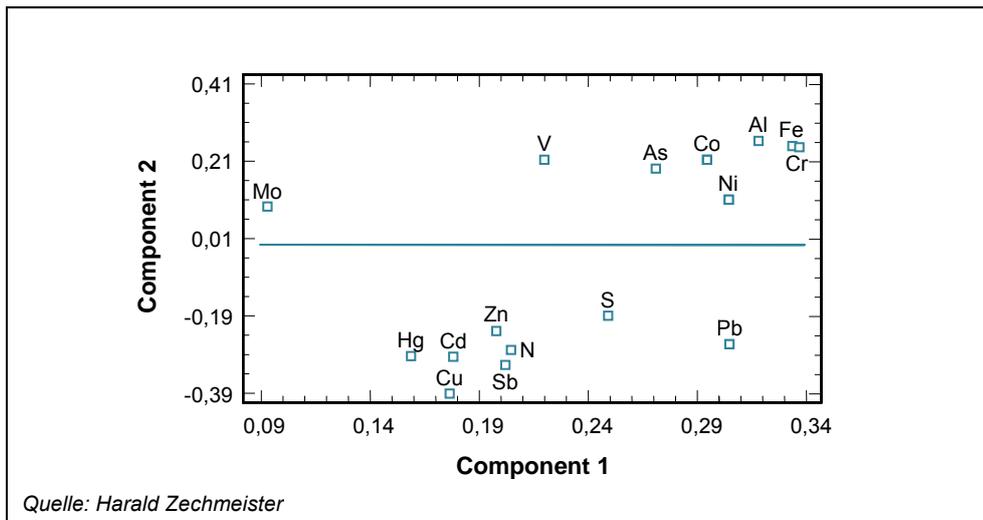


Abbildung 2: Plot der ersten beiden Komponenten der PCA (Principle Component Analysis).

### 3.2 Verteilung der Konzentrationsdaten

Die Verteilung der Konzentrationsdaten entspricht bei weitgehend allen Schwermetallen einer links-schiefen Verteilung. Diese Form der Verteilung von Konzentrationsdaten anthropogener Schadstoffe in biologischen Materialien ist bekannt (z. B. KOSTKA-RICK et al. 2001).

Es konnten in dieser Studie daher nur statistische Verfahren eingesetzt werden, welche nicht auf der Annahme einer Normalverteilung basieren (z. B. Spearman Rank-, Wilcoxon-Test) oder die gegen eine Verschiebung sehr robust sind (wie der t-Test; siehe BÄRLOCHER 1999).

**links-schiefe  
Verteilung der  
Konzentrationen**

### 3.3 Ergebnisse – gegliedert nach Elementen

Die einzelnen Regionen unterscheiden sich signifikant (Friedman-Test,  $P < 0,000$ ). Über alle Schwermetalle betrachtet konnten die höchsten Konzentrationen in den Regionen 2 (Nordosten/Pannonischer Raum) und 3 (südöstliches Alpenvorland) gefunden werden. Dies betrifft fast alle Metalle außer Cadmium, Antimon und Zink.



### 3.3.1 Aluminium (Al)

#### 3.3.1.1 Allgemeines

Aluminium (OZ<sup>1</sup> 13; A<sub>r</sub><sup>2</sup> 26,98) gilt nicht als essenzielles Element.

**Toxizität von Al** Freie Aluminium-Ionen sind für Pflanzen nicht essenziell, aber oft toxisch. Die Löslichkeit von Aluminium steigt unter einem pH-Wert von 5,5 stark an und ist z. B. in Mooren ein limitierender toxischer Faktor. Bei manchen Pflanzen (z. B. Farnen) scheint Aluminium aber wachstumsfördernd zu wirken. Al<sup>3+</sup> ist in sauren ungepufferten Gewässern toxisch für Fische. Die akute Toxizität für den Menschen ist gering, Schäden sind vor allem chronischer Natur z. B. durch das Einatmen von Al-Staub (Aluminose). Aluminium wird in Haaren und der Lunge angereichert.

**Verwendung von Al** Aluminium ist das wichtigste Leichtmetall, es wird durch Schmelzflusselektrolyse aus Bauxit gewonnen. Neben Emissionen bei der Herstellung erfolgt eine Beeinflussung der Umwelt durch industrielle Prozesse (Verpackungen, Schleifmittel, Glas, Porzellan, Ziegel oder Chemikalien) und Haushaltsabfälle.

**natürliche Vorkommen von Al** Der durchschnittliche Aluminiumgehalt der Erdkruste beträgt ca. 8 %, in ähnlichen Größenordnungen kommt Aluminium auch im Boden vor. Das Metall ist in Form von Aluminiumsilikat als dritthäufigstes Element am Aufbau der Erdkruste beteiligt. In dieser Untersuchung wird Aluminium daher vor allem als Zeiger für sekundäre Bodenkontamination verwendet. Dies steht im Einklang mit neueren Daten aus der Literatur (z. B. RAMADAN et al. 2000, TAKEDA et al. 2000).

#### 3.3.1.2 Österreich gesamt

Der Mittelwert aller Al-Konzentrationen liegt bei 331 µg/g, der Median bei 240 µg/g, der geringste Wert beträgt 56 µg/g, der größte Wert liegt bei 1.900 µg/g.

**Indikation für sekundäre Bodenkontamination** Aluminium korreliert in besonders hohem Maße mit Eisen, Chrom, Cobalt und Arsen, welche ebenfalls einen hohen Anteil im Boden haben. Treten diese Metalle gemeinsam in besonders hohem Maße auf, kann von einer sekundären Bodenkontamination durch z. B. windverblasene Teilchen ausgegangen werden.

#### 3.3.1.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten

Die Raumeinheiten 2 und 3 (Nordosten und südöstliches Alpenvorland) unterscheiden sich signifikant von allen anderen Regionen, deren Messwerte relativ homogen sind (siehe Abbildung 3, Karte 2). Dieses Ergebnis ist vergleichbar mit jenem der Aufsammlung 2000.

**erhöhte Werte im Osten Österreichs** Die erhöhten Al-Werte in Raumeinheit 2 haben vermutlich folgende Ursachen: Die Landschaften des Ostens werden von intensiv genutzter Acker- und Weinbau-Landwirtschaft dominiert. Weite, offene Flächen prägen große Teile des Landschaftsbildes. Bedingt durch die Bewirtschaftungsmethoden (rascher Umbruch nach der Ernte, extrem tiefes Pflügen) sind große Flächen im Jahreslauf immer wieder ohne Vegetationsbedeckung. In Zusammenhang mit geringen Niederschlägen werden dadurch vom Wind große Mengen an Bodenmaterial verblasen. Die aufgewirbelten

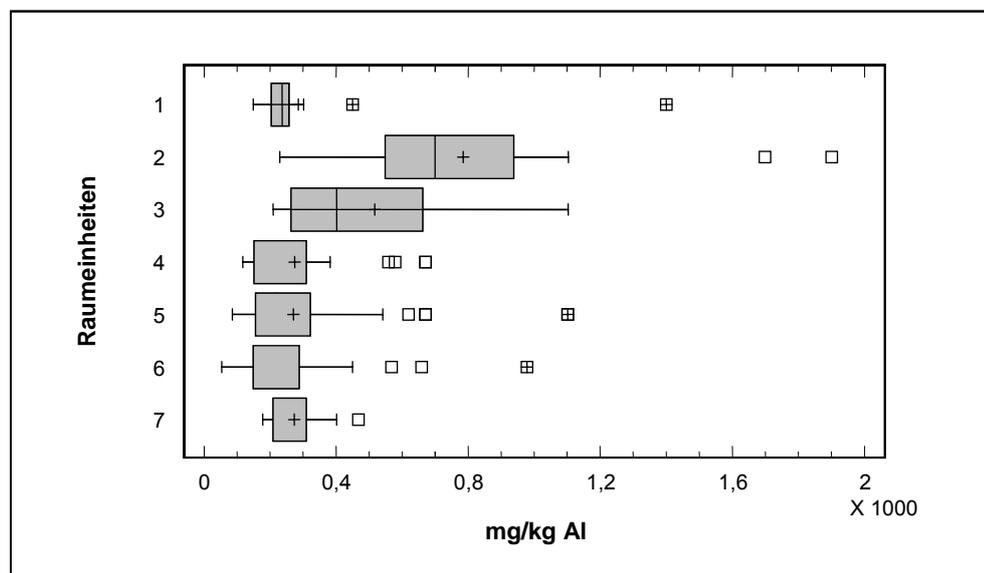
<sup>1</sup> Ordnungszahl

<sup>2</sup> Relative Atommasse

Staub- und Bodenteilchen werden auch auf den Moosen deponiert. Mit den Bodenteilchen werden auch Schwermetalle transportiert, deren ursprüngliche Ausbringung (z. B. über Pestizide, Düngemittel) Jahre zurückliegen kann. Trotzdem kann nur bedingt von Altlasten gesprochen werden, da die aktuell deponierten Teilchen auch rezent in Stoffwechsel und Nahrungsketten zu berücksichtigen sind. Dieses grundsätzliche Problem muss bei allen erhöhten Werten der Raumeinheit 2 in Betracht gezogen werden (siehe z. B. Arsen, Eisen)!

Aufgrund der erhöhten Werte bei Aluminium, aber auch bei Eisen und Chrom, könnten folgende Proben eine größere Kontamination mit Bodenstaub aufweisen (in abnehmender Reihenfolge der Stärke der Verunreinigung): Punkte 40-1, 41-1, 76-2, 79-1, 23-1, 43-, 141-1, 190-1 (Standorte siehe Anhang 1); nur die ersten beiden Standorte sind wirklich auffällig und weiterhin kritisch zu betrachten.

Erhöhte Al-Werte in den Zentralalpen sind primär auf geringere Vegetationsbedeckung über der Baumgrenze zurückzuführen.



Anmerkungen:

leere Kästchen..... Ausreißer mit 1,5–3-fachen des Interquartilabstand (milde Ausreißer)

Kästchen mit Stern.... Ausreißer liegen über dem 3-fachen Interquartilabstand (starke Ausreißer)

Abbildung 3: „Box & Whisker Plots“ der Aluminiumkonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Raumeinheiten.

### 3.3.1.4 Vergleich mit 2000

Ein Vergleich mit 1995 ist nicht möglich, da Aluminium erst seit 2000 analysiert wird. Insgesamt erfolgte eine statistisch signifikante Abnahme der Al-Konzentrationen um 13,7 %. Die Regionen 2 und 3 (Nordosten und südöstliches Alpenvorland) weisen aber eine Erhöhung der Al-Werte gegenüber 2000 auf (siehe auch Karte 19). In Tabelle 3 sind die Jahresvergleichswerte der Regionen zusammengefasst (siehe auch Kapitel 3.6).

**Al-Abnahme um  
13,7 % gegenüber  
2000**



### 3.3.2 Antimon (Sb)

#### 3.3.2.1 Allgemeines

Antimon (OZ 51; A<sub>r</sub> 121,7) ist kein essenzielles Element für alle Organismen. Die meisten Antimonverbindungen sind schwer löslich.

Antimon wird vor allem über die Nahrung aufgenommen. Es werden ca. 15 % vom Körper resorbiert. Die höchsten Konzentrationen in Menschen befinden sich in der Schilddrüse und den Nebennieren. Die Halbwertszeit im menschlichen Körper beträgt zwischen 38 und 100 Tagen, Antimon wird vor allem mit dem Urin ausgeschieden.

#### **Toxizität von Sb**

Die Toxizität hängt von der Verbindung und der Menge ab, 3-wertiges Antimon ist ca. zehnmal so toxisch als 5-wertiges. Geringe Sb-Konzentrationen wirken wachstumsfördernd, während höhere Sb-Konzentrationen sogar die Toxizität von z. B. Blei oder Arsen übertreffen. Erhöhte Sb-Konzentrationen führen zu Wachstumshemmung bei Säuglingen und Reproduktionsstörungen bei Frauen. Oxidverbindungen gelten als karzinogen.

#### **Verwendung von Sb**

Antimon ist Bestandteil von Legierungen und Farben und wird in der Halbleitertechnik eingesetzt. Antimon ist ein bedeutender Bestandteil der Emissionen aus dem Verkehr (Bremsabrieb) und gilt daher als einer der wichtigsten Indikatoren für Depositionen aus dem Straßenverkehr.

#### **natürliche Vorkommen von Sb**

Antimon kommt in höheren Konzentrationen vor allem in Basalten und manchen Graniten vor. Die meisten Sb-Verbindungen im Boden sind schwer löslich und daher kaum mobil.

#### 3.3.2.2 Österreich gesamt

Der Mittelwert aller Sb-Konzentrationen liegt bei 0,17 µg/g, der Median bei 0,16 µg/g, der geringste Wert beträgt 0,02 µg/g, der größte Wert 0,62 µg/g.

#### 3.3.2.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten

Die Konzentrationen der Regionen 3, 7 und 6 (südöstliches Alpenvorland, Südalpen und kristalline Zentralalpen) sind signifikant niedriger als jene der anderen Raumeinheiten (siehe Karte 3).

#### **Hauptemittent ist der Verkehr**

Besonders hohe Konzentrationen weisen die Gebiete südlich von Wien (Region 2), das Unterinntal (Region 4) und das Rheintal (Region 5) auf. Die mit Abstand höchsten Werte finden sich im Inntal (0,62 µg/g) und im Rheintal (um 0,3 µg/g). Die Ursache für die hohen Konzentrationen liegt im starken Verkehrsaufkommen in diesen Regionen. Selbiges muss auch für den Raum westliches Oberösterreich angenommen werden (Innkreis und Westautobahn, Region 4). Die Konzentrationen in Straßennähe (5–10 m Entfernung) liegen z. B. entlang von Autobahnen um 2 µg/g (ZECHMEISTER et al. 2005b). Direkter Einfluss einzelner Hauptverkehrswege auf die Proben kann weitgehend ausgeschlossen werden, da die Entfernung zu den Probenahmepunkten immer größer als 300 m war und die unmittelbare Einflussgrenze der stark befahrenen Straßen bei ca. 250 m liegt (siehe ZECHMEISTER et al. 2005b). Dennoch sind andere Quellen als jene des Verkehrs bei Antimon weitgehend zu vernachlässigen. Die hohen Konzentrationen in der weiteren Umgebung der Hauptverkehrswege zeigen vielmehr die weitreichenden, diffusen Depositionen der Emissionen aus dem Verkehr auf.

### 3.3.2.4 Vergleich mit 1995 und 2000

Da Antimon erstmals 2005 in einer flächendeckenden Aufsammlung analysiert wurde, können keine zeitlichen Vergleiche vorgenommen werden.

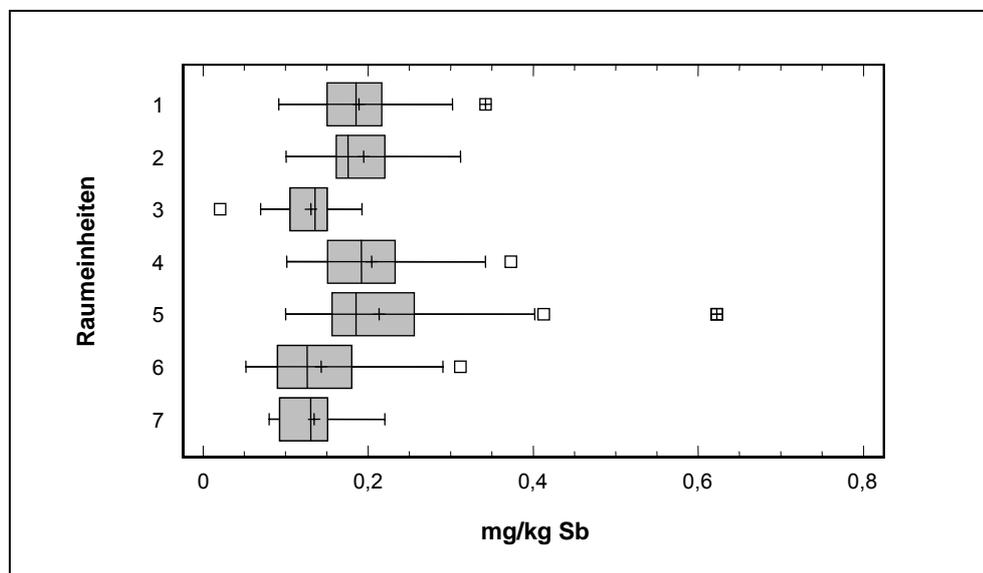


Abbildung 4: „Box & Whisker Plots“ der Antimonkonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Raumeinheiten.

### 3.3.3 Arsen (As)

#### 3.3.3.1 Allgemeines

Arsen (OZ 33; A<sub>r</sub> 74,9) ist ein Halbmetall und wird demnach nicht zu den eigentlichen Schwermetallen gerechnet. Arsen ist für Pflanzen nicht essenziell, bei Wirbeltieren dürfte ein Mangel negative Folgen auf Wachstum und Fortpflanzungsfähigkeit haben. Arsen gilt bei Säugetieren in höheren Konzentrationen als karzinogen.

Arsen steht an 52. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente der Erdkruste. Es kommt gediegen als Scherbcobalt vor; das wichtigste Arsenerz ist Arsen kies (FeAsS). Stein- und vor allem Braunkohle enthalten Konzentrationen bis zu 1.500 µg/g.

Die weltweite As-Emission basiert einerseits auf natürlichen vulkanischen Aktivitäten, andererseits vor allem auf anthropogen verursachten Verbrennungsprozessen (Flugasche von Kohlekraftwerken), Erzverarbeitung, industrielle Verarbeitung von As-Verbindungen und durch die direkte Verwendung von Arsen in der Landwirtschaft. Letztere ist weltweit gesehen für ca. 50 % des Gesamtverbrauchs an Arsen verantwortlich (ADRIANO 1986). Arsen wird vor allem als Kupferarsenitacetat für unterschiedlichste Pestizide (Herbizide, Insektizide, Fungizide, Rodentizide etc.) eingesetzt. Weiters findet es auch als Holzschutz- oder Desinfektionsmittel weite Verwendung.

#### **Toxizität von As**

#### **natürliche Vorkommen von As**

#### **Verwendung von As**



**Österreich:  
Hauptemittenten  
sind Holz- und  
Kohlefeuerungen**

In Österreich wird Arsen primär durch Holzheizungen und Kohlefeuerungen freigesetzt. Diese beiden Verbrennungsprozesse machen 50 % bzw. 25 % der Gesamtemission aus. In geringem Umfang scheinen Verhüttungsprozesse sowie die metallurgische Industrie an der Freisetzung ebenfalls beteiligt. Der Einsatz von Arsenverbindungen als Pestizid, der z. B. im Weinbau eine große Rolle gespielt hat, ist heute verboten. Arsen ist auch Bestandteil der Emissionen aus der Zementindustrie (UMWELTBUNDESAMT 1995a, HACKL & MAUSCHITZ 2001).

### 3.3.3.2 Österreich gesamt

Der Mittelwert aller As-Konzentrationen liegt bei 0,14 µg/g, der Median bei 0,08 µg/g, der geringste Wert liegt bei 0,02 µg/g, der größte Wert bei 2,3 µg/g.

### 3.3.3.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten

**erhöhte  
As-Konzentrationen  
im Nordosten**

Wie bereits in den Studien von 1995 und 2000 gezeigt, weist besonders der Nordosten Österreichs (Region 2) hohe As-Konzentrationen auf (siehe Abbildung 5, Karte 4). Diese Raumeinheit unterscheidet sich auch 2005 wieder statistisch signifikant von allen anderen Regionen, die sich ihrerseits im statistischen Sinne nicht von einander unterscheiden (Multiple Range-Test).

**Ursachen der  
erhöhten As-Werte**

Die erhöhten Werte der Ostregion haben mehrere Ursachen: Maßgeblichen Einfluss haben einerseits die Emissionen des Wiener Ballungsraumes; auch der Bodenaufwirbelung spielt eine wichtige Rolle (siehe Aluminium). Andererseits sind auch lokale Emissionsquellen nicht außer Acht zu lassen. Arsenhaltige Pestizide (Kupferarsenitacetat) wurden jahrelang vor allem im Weinbau eingesetzt. Da die meisten der sehr hohen As-Werte in Weinbaugegenden liegen, könnte die ehemalige Pestizidapplikation sowie Zementwerke eine weitere Ursache für die hohen Konzentrationen im pannonischen Raum sein.

**Ferntransport aus  
dem Osten**

Wie bereits vergangene Europa-Berichte (RÜHLING & STEINNES 1998, UNECE ICP VEGETATION 2003) gezeigt haben, passt sich das österreichische Depositionsmuster gut in das der östlichen (Slowakei) und nördlichen (Tschechien) Nachbarländer ein. Der Ferntransport aus den slowakischen und polnischen Industrieregionen sowie die in Bratislava ansässige Raffinerie gelten als nicht unbedeutende Emissionsquellen.

**hoch belastete  
Industriegebiete**

In den anderen Gebieten Österreichs gibt es Teilregionen und Einzelpunkte, die sich deutlich von einer relativ niedrigen Grundgesamtheit abheben: Dies sind vor allem die Industrieregionen Mur-Mürzfurche (Leoben/Trofaiach, Region 6), Südsteiermark (Leibnitz/Weiz Region 3), der Raum um die Landeshauptstadt Salzburg (Region 5) und das westliche Vorarlberg (Nenzing, Region 5). In Teilen der Mur-Mürzfurche sind sowohl geogene als auch anthropogene Einflüsse vorhanden (hohe Siedlungs- und Verkehrsdichte sowie metallergezeugende- und verarbeitende Industrien). Am Punkt 76-2 (Bad Sauerbrunn, Region 2; höchster gemessener Wert) gibt es zwar auch natürliche CuAs-Vererzungen (WEBER 1997), anthropogene Einflüsse sind in diesem industrialisierten Raum aber wahrscheinlich. Der über Jahre auffällige Punkt im Zillertal zeigte erstmals keine erhöhten Werte, wofür es keine Erklärung gibt.

Die regionale Verteilung von Sammelpunkten mit erhöhten Depositionen aus dem Jahr 2005 zeigt großteils Übereinstimmung mit jener der Aufsammlungen von 1995 und 2000.

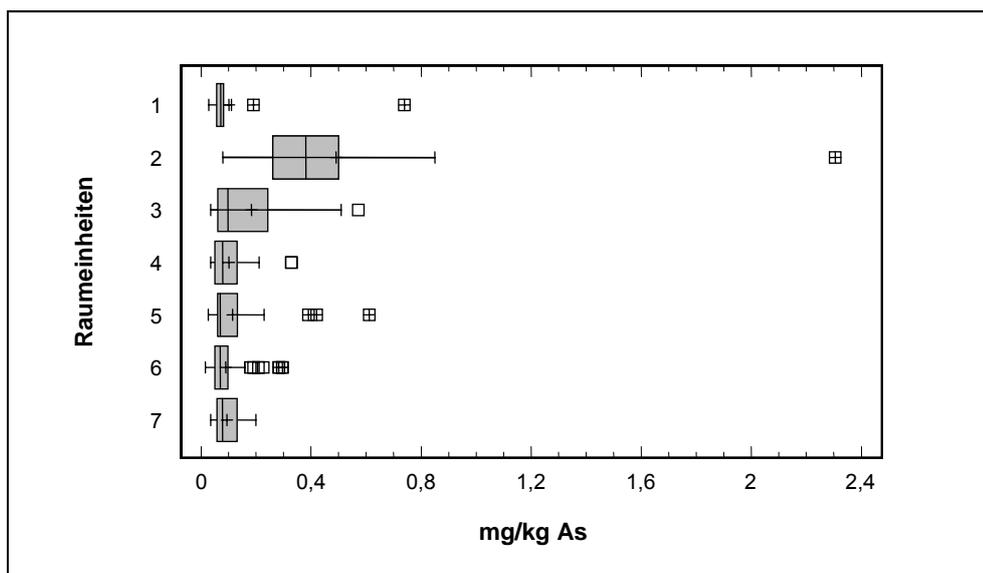


Abbildung 5: „Box & Whisker Plots“ der Arsenkonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Raumeinheiten.

### 3.3.3.4 Vergleich mit 1995 und 2000

Gegenüber 1995 erfolgte eine Abnahme um 7,3 %, gegenüber 2000 um 4,5 %. Der Vergleich mit 1995 ist aber schwierig, da zum damaligen Zeitpunkt die meisten Werte unter der Nachweisgrenze lagen.

Einer Erhöhung der Konzentrationen in Raumeinheit 3 (südöstliches Alpenvorland) gegen über 2000, steht eine Abnahme in den meisten anderen Raumeinheiten gegenüber, wengleich punktuell überall größere Zunahmen auftreten (siehe auch Karte 20a). Gegenüber 1991 erfolgte eine starke Abnahme (– 75,6 %), die aber in diesem Ausmaß aufgrund der geringen Stichprobenzahl von 1991 nicht vertrauenswürdig ist.

In Tabelle 3 sind die Jahresvergleichswerte der Regionen zusammengefasst (siehe auch Kapitel 3.6). Die Veränderungen zwischen den Aufsammlungen 2000 und 2005 finden sich in Karte 20a und jene zwischen 1995 und 2005 in Karte 20b.

**As-Abnahme um 4,5 % gegenüber 2000 ...**

**... jedoch punktuelle Zunahmen**

## 3.3.4 Blei (Pb)

### 3.3.4.1 Allgemeines

Blei (OZ 82; A<sub>r</sub> 207,2) ist sowohl für Pflanzen als auch für Tiere giftig. Seine toxische Wirkung begründet sich einerseits aus der Reaktion der Blei-Ionen mit den freien Schwefelwasserstoff-Gruppen von Proteinen (nicht kompetitive Hemmung), andererseits aus der Inhibition diverser Enzyme aufgrund der chemischen Ähnlichkeit von Blei mit essenziellen Metall-Ionen (z. B. Calcium). Dementsprechend wird es primär im Knochensystem abgelagert. Hohe Bleikonzentrationen finden sich, wie bei anderen Schwermetallen auch, in Leber und Niere. Akute Bleivergiftungen sind selten, es überwiegen chronische Schäden (Blutbildung, Nervensystem). Eine Kanzerogenität von Blei ist nicht nachgewiesen. Phytotoxische Erscheinungen treten nur bei sehr hohen Konzentrationen auf.

**Toxizität von Pb**



**natürliche  
Vorkommen von Pb**

Blei ist von den stärker toxischen Schwermetallen das in der Erdkruste am häufigsten vertretene Element (Nr. 36 in der Häufigkeitsliste der Erdkrustenelemente). Obwohl es mehr als 200 bleihaltige Mineralien gibt, sind nur wenige wirtschaftlich nutzbar. Den höchsten Bleigehalt (87 %) hat Bleiglanz (PbS). Das Schwermetall kommt oft mit anderen Mineralien in gemeinsamen Lagerstätten vor (vor allem mit Zink, Kupfer, Eisen).

**Hauptemittent von  
Pb ist der Verkehr**

Weltweit gesehen stammt der Hauptteil aller Bleiemissionen nach wie vor aus der Verbrennung von verbleitem Benzin (ca. 90 %).

**Verwendung von Pb**

Die organischen Bleiverbindungen Bleitetraethyl und Bleitetramethyl werden dem Kraftstoff als Antiklopffmittel für Benzinmotoren beigesetzt. Die Freisetzung erfolgt primär partikulär als Bleichlorid, -bromid oder -oxid, aber auch als organische Verbindung (5–10 %), welche aufgrund ihrer lipophilen Eigenschaften hoch toxisch sind. Seit Einführung des unverbleiten Benzins sind die Bleiemissionen zumindest in den Ländern, in denen dieses auch in entsprechendem Ausmaß verwendet wird, stark rückläufig. Die durch Verbrennungsprozesse freigesetzten Aerosole (Teilchengrößen  $< 1 \mu\text{m}$ ) haben eine lange Verweildauer in der Atmosphäre und unterliegen besonders weiten Verfrachtungen.

Weite Verwendung findet Blei auch in der Batterieherstellung, in geringerem Umfang als Legierungsbestandteil, für Rohre und Kabelummantelungen oder elementar (Bleischrote für die Jagd oder zum Tontaubenschießen). Neben der Freisetzung bei der Bearbeitung oder Herstellung bleihaltiger Materialien wird das Element auch noch bei der Verhüttung von Kupfer- und Zinkerzen und bei der Stahlproduktion freigesetzt. Die dabei emittierten Partikel ( $< 2,5 \mu\text{m}$ ) lagern sich überwiegend in unmittelbarer Umgebung der Emittenten ab.

Blei wird seit historischen Zeiten verwendet und ist das Schwermetall mit dem höchsten anthropogenen Anreicherungsfaktor. Die menschliche Freisetzung ist 28-mal höher als die natürliche und selbst nach Abzug des verbleiten Benzins bleibt noch ein Anreicherungsfaktor von 7 (VERRY & VERMETTE 1992).

Die Bleiemissionen sind in Österreich im Zeitraum 1985 bis 1999 um 90 % gesunken.

### 3.3.4.2 Österreich gesamt

Der Mittelwert aller in Österreich gemessenen Bleikonzentrationen in Moosproben liegt bei  $4,3 \mu\text{g/g}$ , der Median bei  $3,7 \mu\text{g/g}$ , das gemessene Minimum bei  $1,2 \mu\text{g/g}$  und das Maximum bei  $27,0 \mu\text{g/g}$ .

### 3.3.4.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten

Es gibt beträchtliche Unterschiede zwischen den einzelnen Raumeinheiten. Die Regionen 1, 3 und 7 (niedrige Werte) unterscheiden sich signifikant von den Raumeinheiten 2, 5, 6 und 7 (Regionen siehe Abbildung 6). Das nördliche Alpenvorland (Region 4) nimmt, wie auch geographisch, eine intermediäre Position ein (Multiple Range-Test). Die Regionen 2 und 4 weisen die höchsten Konzentrationen auf.

**hohe  
Pb-Konzentrationen  
im Inntal**

Eine auffällige Zone mit erhöhten Bleikonzentrationen ist wie bereits bei den Aufsammlungen 1995 und 2000 das untere Inntal zwischen Wörgl und Hall (Region 5). Hier tritt auch der mit deutlichem Abstand höchste Wert ( $27,0 \mu\text{g/g}$ ) auf. In dieser Region gibt es mehrere Emissionsquellen: vor allem die sekundäre Kupferhütte Brixlegg, aber auch generell hohe Industrie- und Siedlungsdichte sowie natürliche Blei-Vererzungen im Untergrund (siehe auch UMWELTBUNDESAMT 2009).

Die hohen Konzentrationswerte bei Bad Sauerbrunn (Punkt 76-2, Bad Sauerbrunn) korrelieren mit sehr hohen As- und Co-Werten, jene von Eferding (Punkt 31-1) mit Cadmium, die Verursacher sind in beiden Fällen unklar. Erhöhte Werte im Rheintal (Region 5) sind auf die hohe Siedlungs- und Industriedichte zurückzuführen.

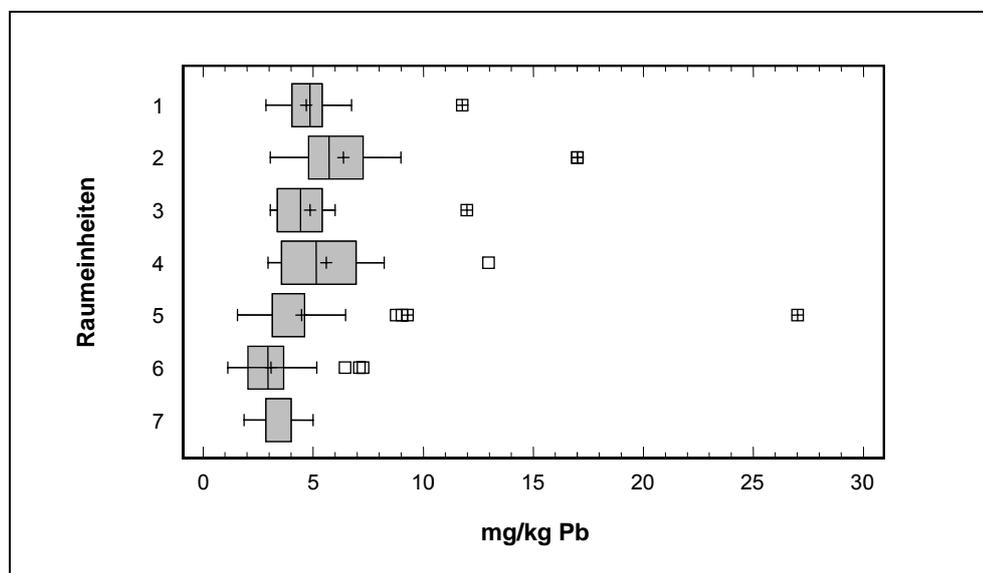


Abbildung 6: „Box & Whisker Plots“ der Bleikonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Raumeinheiten.

#### 3.3.4.4 Vergleich mit 1995 und 2000

Bezogen auf alle Proben gab es gegenüber der Aufsammlung 2000 eine signifikante Abnahme um 34,5 %, gegenüber 1995 sogar um 55,7 %. Der deutliche Trend wird durch die Abnahme gegenüber 1991 (– 69,8 %) bestätigt. Dieses Phänomen ist primär auf die Einführung des bleifreien Benzins in den EU-Staaten zurückzuführen.

**Pb-Abnahme um  
34,5 % gegenüber  
2000**

Im Vergleich zur Aufsammlung 1995 sind nur drei Punkte erhöht, einer in unmittelbarer Emittentenumgebung (Inntal, Region 5) allerdings stark (siehe Karte 21b). Gegenüber 2000 zeigen ebenfalls nur wenige Punkte erhöhte Werte, diese liegen vor allem im oberösterreichischen Voralpengebiet und dem Zentralraumland sowie in Kärnten (Umgebung der BBU<sup>3</sup>) und in der Steiermark (lokaler Emittent; siehe Karte 21a).

In Tabelle 3 sind die Jahresvergleichswerte der Regionen zusammengefasst (siehe auch Kapitel 3.6). Die Veränderungen zwischen den Aufsammlungen 2000 und 2005 finden sich in Karte 21a, und jene zwischen 1995 und 2005 in Karte 21b.

<sup>3</sup> BBU: Bleiberger Bergwerks Union



### 3.3.5 Cadmium (Cd)

#### 3.3.5.1 Allgemeines

**Toxizität von Cd** Cadmium (OZ 48; A<sub>r</sub> 112,4) ist ein für fast alle Lebewesen toxisches, höchstwahrscheinlich nicht essenzielles Schwermetall. Die Hauptaufnahmewege bei Menschen sind einerseits die Nahrung und andererseits die Inhalation (Staub, Rauchen usw.). Bei Säugetieren lagert sich Cadmium vor allem in Nieren und Leber ab.

**natürliche Vorkommen von Cd** Cadmium steht an 64. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente der Erdkruste. Es kommt zumeist mit Zinkmineralien vergesellschaftet vor (z. B. Zinkblende, ZnS), aus welchen es auch gewonnen wird. In karbonatfreien Böden ist Cadmium sehr viel mobiler, die Gehalte sind dementsprechend niedriger als in von Karbonat beeinflussten Böden. Remobilisierung und Vertragung durch den Wind ist daher in Kalkgebieten wahrscheinlicher.

**Hauptemittenten von Cd** Cadmium ist das Element mit dem weltweit zweithöchsten anthropogenen Anreicherungsfaktor (5,4) (nach VERRY & VERMETTE 1992). Hauptemittenten sind weltweit Buntmetallindustrie (Korrosionsschutz), Verbrennung fossiler Brennstoffe, Müllverbrennung, Schwerindustrie und die Landwirtschaft (aus den Phosphaten der Düngemittel).

**Verwendung von Cd** Verwendung findet Cadmium vor allem in der Autoindustrie (z. B. Rostschutz, Legierungen), der Batterieherstellung (Ni-Cd), bei der Kunststoffherzeugung (Polyvinyl), in der Photoindustrie und in der Landwirtschaft (Fungizide). Durch Verbrennungsprozesse freigesetztes Cadmium lagert sich an Aerosolpartikel (< 2 µm) an, welche eine relativ lange Verweildauer in der Atmosphäre haben (bis zu 10 Tagen) und in dieser Zeit über weite Strecken verfrachtet werden können (BARRIE & SCHEMENAUER 1989).

**Österreich: Hauptemittent ist der Hausbrand** In Österreich hat Hausbrand (35 %) den größten Anteil am Cadmium-Ausstoß. Als weitere Quelle treten Kraftwerke und Fernheizwerke bzw. die Industrie in Erscheinung (jeweils ca. 20 %; UMWELTBUNDESAMT 2001). Der Anteil des Verkehrs wird unterschiedlich geschätzt.

#### 3.3.5.2 Österreich gesamt

Der österreichische Mittelwert aller Cd-Konzentrationen beträgt 0,21 µg/g, der Median 0,18 µg/g, der niedrigste Wert liegt bei 0,06 µg/g, der Höchstwert beträgt 1,6 µg/g.

#### 3.3.5.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten

Die einzelnen Raumeinheiten unterscheiden sich erstmals nicht signifikant voneinander (Multiple Range-Test). Erwartungsgemäß gibt es aber erhöhte Mittelwerte in der Region 5 (nördliche Flysch- und Kalkalpen) durch Ferntransport und Bodenabtrag. Die Cd-Verteilung ist einerseits abhängig von lokalen Emittenten, andererseits wird sie durch die Niederschlagsmenge beeinflusst. Die höheren Werte in den Nordstaulagen sind u. a. mit den dort höheren Niederschlagswerten in Verbindung zu setzen (siehe auch Karte 6). Wie bereits an Höhenprofilen gezeigt wurde (UMWELTBUNDESAMT 1994, ZECHMEISTER 1995b), besteht bei Cd-Depositionen ein hoher Zusammenhang zwischen Niederschlagsmenge und Schwermetallkonzentration in Moosen. Abgesehen von Gebieten mit lokalen Emittenten liegen die meisten Punkte mit erhöhten Werten in Zonen mit überdurchschnittlich hohen Niederschlägen. Die Mobilität von Cadmium in Kalkgebieten muss ebenfalls berücksichtigt werden.

Manche Gebiete mit erhöhten Konzentrationen lassen aber lokale Emittenten vermuten (siehe auch Karte 6): Es sind dies vor allem die Punkte im Unterinntal um Brixlegg (Region 5; siehe auch UMWELTBUNDESAMT 2009) und im oberösterreichischen Alpenvorland (Region 4), hier mehrfach im Raum um Vöcklabruck. Dabei handelt es sich um Punkte, die bereits in der Aufsammlung 2000 besonders auffällig waren. Die räumlichen Depositionsmuster der Aufsammlungen von 2000 und 1995 haben sich in dieser Untersuchung weitgehend bestätigt.

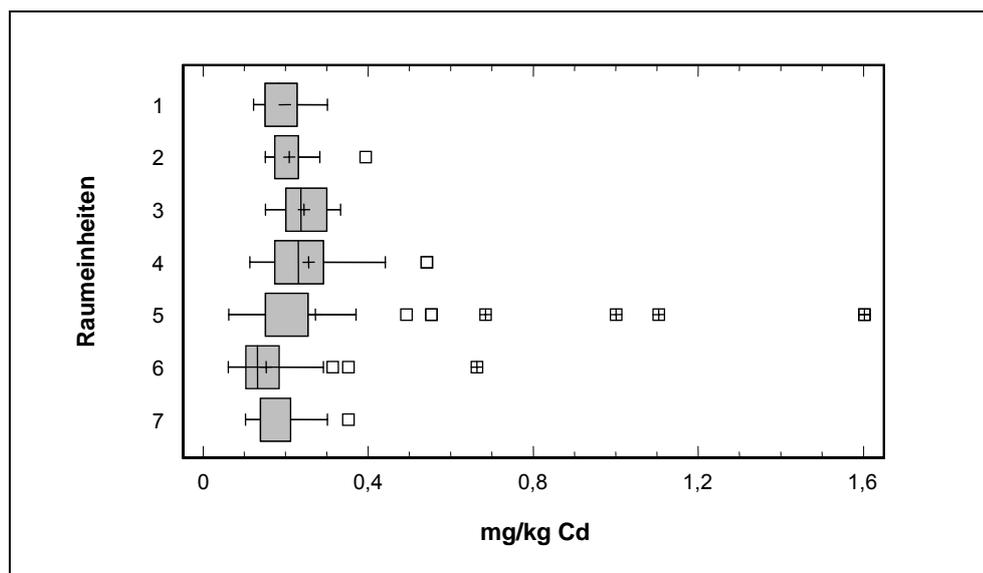


Abbildung 7: „Box & Whisker Plots“ der Cadmiumkonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Raumeinheiten.

#### 3.3.5.4 Vergleich mit 1995 und 2000

Gegenüber der Aufsammlung 2000 gab es, bezogen auf alle Proben, eine geringe Zunahme der Cd-Konzentrationen (+ 0,6 %), diese Zunahme der Cd-Konzentrationen ist aber statistisch nicht signifikant. Gegenüber 1995 ist hingegen eine statistisch signifikante Abnahme (– 17,2 %) zu verzeichnen. Die Steigerung gegenüber 2000 ist vor allem auf Zunahmen in den Regionen 2 und 3 (Nordosten und südöstliches Alpenvorland) zurückzuführen.

Die Veränderungen an den meisten einzelnen Punkten sind aber, abgesehen von wenigen Ausnahmefällen, gering und betreffen das gesamte Bundesgebiet gleichmäßig. Die Punkte mit Zunahmen sind aber meist relativ deutlich (siehe Karten 22a und 22b).

In Tabelle 3 sind die Jahresvergleichswerte der Regionen zusammengefasst (siehe auch Kapitel 3.6). Die Veränderungen zwischen den Aufsammlungen 2000 und 2005 finden sich in Karte 22a und jene zwischen 1995 und 2005 in Karte 22b.

**Zunahme der Cd-Konzentrationen um + 0,6 % gegenüber 2000**



### 3.3.6 Chrom (Cr)

#### 3.3.6.1 Allgemeines

**Toxizität von Cr** Chrom (OZ 24; A<sub>r</sub> 51,9) ist für Tiere, aber nicht für Pflanzen essenziell. Es spielt bei Tieren im Kohlenhydratstoffwechsel eine wichtige Rolle. Die Toxizität dieses Metalls hängt von seiner Oxidationsstufe ab, wobei Cr(VI) am weitaus stärksten toxisch wirkt (> 1.000-fache Toxizität von Cr(III)).

**natürliche Vorkommen von Cr** Chrom ist ein weitverbreitetes Element und steht an 21. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente der Erdkruste (durchschnittlich 100 µg/g). In der Natur kommt es überwiegend als Chromit (FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) und Rotbleierz (PbCrO<sub>4</sub>) vor. In Böden steht der Chromgehalt in einem engen Verhältnis zum Untergrund, die Mobilität von Chrom steigt mit zunehmendem pH-Wert (ADRIANO 1986).

**Verwendung von Cr** Chrom findet vor allem in der Metallindustrie als Legierungsbestandteil oder Korrosionsschutz Verwendung. Die Metallindustrie ist auch weltweit der größte anthropogene Chromemittent. Weitere Anwendungsgebiete sind die Leder- und Textilindustrie (z. B. Gerbstoffe), die Pigmentherstellung, die Papier- und Druckindustrie und die Petrochemie. Größere Mengen an Chrom werden auch durch Kohleverbrennung freigesetzt.

#### 3.3.6.2 Österreich gesamt

Der Mittelwert für Chrom liegt bei 0,81 µg/g, der Median bei 0,64 µg/g, das Minimum liegt bei 0,14 µg/g und der Höchstwert bei 4,20 µg/g.

#### 3.3.6.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten

**erhöhte Werte in Ostösterreich** Wie auch aus Abbildung 8 und Karte 7 ersichtlich, unterscheidet sich die Raumeinheit 2 (Nordosten) signifikant von allen anderen Regionen. Zwischen den anderen Raumeinheiten gibt es relativ starke Streuungen mit ebenfalls statistisch signifikanten Unterschieden (Multiple Range-Test). Die Regionen 5, 6 und 7 sind niedriger belastet, die Werte in den Regionen 3 und 4 sind hingegen erhöht, es gibt aber teilweise fließende Übergänge (Regionen siehe Abbildung 8). In Raumeinheit 2 (Nordosten), welche als Wein- und Ackerbaugebiet durch periodisch großflächig vegetationsfreie Flächen gekennzeichnet ist, spielt der Eintrag über Bodenaufwirbelung eine größere Rolle (siehe auch Aluminium). Auf diesem Weg kann auch über Düngemittel eingebrachtes Chrom remobilisiert werden.

**Ferntransport aus dem Osten** Wie die Daten aus früheren Untersuchungen zeigen (UMWELTBUNDESAMT 1997, RÜHLING & STEINNES 1998, UMWELTBUNDESAMT 2009) ist dieses Gebiet auch durch den Ferntransport aus der Slowakei sowie der tschechischen (Ostrava) und polnischen Schwerindustrie (Krakau-Oberschlesien) geprägt. Österreich weist nicht zuletzt deshalb einen sehr auffälligen Ost-West-Gradienten auf (siehe auch Karte 7). Der Punkt 138-2 (Rechnitz) ist wahrscheinlich auch geogen bedingt erhöht (Serpentinvorkommen). Höchstwerte (≥ 3 µg/g Cr) außerhalb der Ostregion gibt es nur in der unmittelbaren Nähe von Treibach-Althofen. Als mutmaßlicher Verursacher kommen hier die TCW<sup>4</sup> in Frage (siehe auch ZECHMEISTER et al. 2004).

<sup>4</sup> TCW: Treibacher Chemische Werke

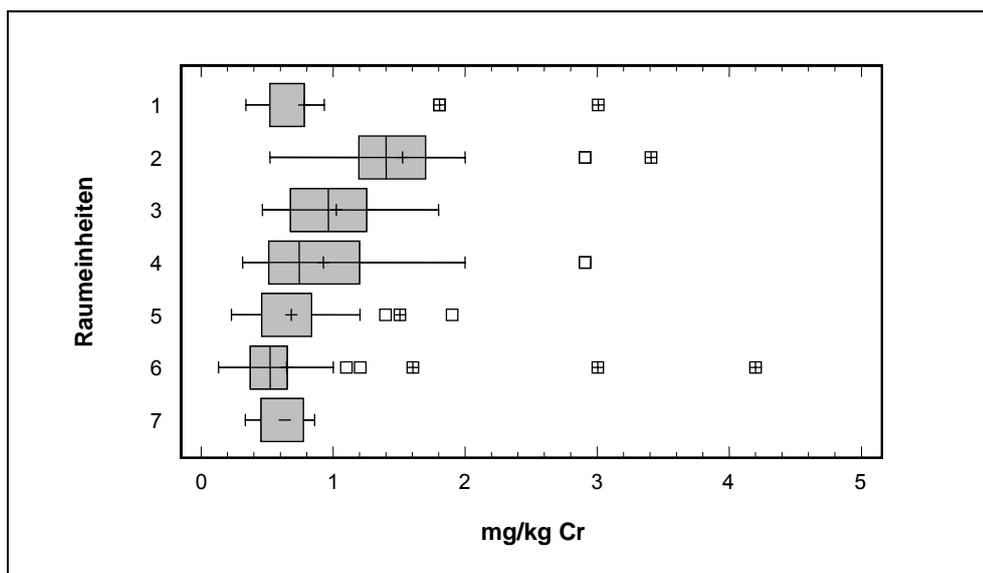


Abbildung 8: „Box & Whisker Plots“ der Chromkonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Raumeinheiten.

### 3.3.6.4 Vergleich mit 1995 und 2000

Bezogen auf die gesamtösterreichischen Daten sind die Abnahmen gegenüber den Aufsammlungen 2000 (– 6,2 %) und 1995 (– 20,7 %) statistisch signifikant gesunken.

Die Veränderungen sind uneinheitlich in den einzelnen Regionen, im Osten und Südosten liegen aber überdurchschnittlich viele Punkte mit größeren Zunahmen, die Veränderungen im Norden und in Oberösterreich sind schwankend, wobei den stärkeren Abnahmen bis 2000 deutliche Zunahmen seit 2000 gegenüberstehen (siehe auch Karten 23a und 23b).

In Tabelle 3 sind die Jahresvergleichswerte der Regionen zusammengefasst (siehe auch Kapitel 3.6). Die Veränderungen zwischen den Aufsammlungen 2000 und 2005 finden sich in Karte 23a und jene zwischen 1995 und 2005 in Karte 23b.

**Abnahme der Cr-Konzentrationen um 6,2 % gegenüber 2000 ...**

**... und deutliche punktuelle Zunahmen**

## 3.3.7 Cobalt (Co)

### 3.3.7.1 Allgemeines

Cobalt (OZ 27, A<sub>r</sub> 58,9) ist ein, zumindest für tierische Lebewesen, essenzielles Schwermetall (u. a. als Teil des Vitamin B12-Komplexes). In hohen Konzentrationen wird Cobalt karzinogene Wirkung nachgesagt. Die Hauptresorption erfolgt beim Menschen im Dünndarm. Da Cobalt für die N<sub>2</sub>-Fixierung symbiontischer Bakterien notwendig ist, kann es durchaus auch für manche Höhere Pflanzen als essenziell angesehen werden.

Die Erdkruste zeigt einen durchschnittlichen Cobaltgehalt von 20 ppm. Das Metall zeigt hohe Bindung an nickel- und kupferhaltige Mineralien. Industriell wird Cobalt primär aus Kupfererzen gewonnen. Böden zeigen eine schwache, aber kontinuierliche Zunahme des Co-Gehaltes mit der Tiefe. Böden über Basalten und Ultrabasiten weisen besonders hohe Konzentrationen an Cobalt auf (mehr als das Hundertfache von solchen über Kalkgestein und mehr als das Dreißigfache über Graniten).

**Toxizität von Co**

**natürliche Vorkommen von Co**



**Verwendung von Co** Cobalt findet vor allem in der Edelmetall- und Stahlerzeugung (für harte Legierungen) Verwendung. Weiters wird es zur Pigmentherstellung benötigt (besonders für blaue und grüne Glasuren). Eine zusätzliche Ursache für Cobalt-Staubniederschläge könnten Flugaschen von Kohlekraftwerken sein (STREIT 1994).

### 3.3.7.2 Österreich gesamt

Der Mittelwert aller Cobaltkonzentrationen liegt bei 0,30 µg/g, der Median liegt bei 0,23 µg/g, der niedrigste Wert beträgt 0,12 µg/g, der Höchstwert 1,60 µg/g.

### 3.3.7.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten

Raumeinheit 3 (südöstliches Alpenvorland) zeigt signifikant höhere Werte als alle anderen Raumeinheiten, gefolgt von den Regionen 2 und 4 (Nordosten und nördliches Alpenvorland), welche sich gleichfalls durch erhöhte Werte signifikant von den restlichen Regionen unterscheiden (Multiple Range-Test; siehe Abbildung 9, Karte 8).

Die generell höheren Werte im Osten stehen vermutlich mit leichten Bodenkontaminationen im Zusammenhang (siehe auch Al). Ein zusätzlicher Ferntransport über die böhmisch mährische Pforte sowie geogene Ursachen im Mittelburgenland (Punkt 138-1) sind zu vermuten. Die Muster der Co-Deposition sind über weite Bereiche ähnlich denen von Chrom. Die erhöhten Werte in Region 4 sind primär auf hohe Konzentrationen im oberösterreichischen Zentralraum zurückzuführen (siehe Karte 8).

Die höchsten Werte sind im Bezirk Leibnitz, vor allem in der Gemeinde Wildon (Punkt 190-1; 1,60 µg/g) gefunden worden. Die Gründe sind nicht bekannt, ein lokaler Emittent ist jedoch aufgrund der erhöhten Werte bei mehreren Proben nicht auszuschließen.

### 3.3.7.4 Vergleich mit 1995 und 2000

**Abnahme der  
Co-Konzentrationen  
um 13,2 %  
gegenüber 2000**

Vergleicht man die Gesamtdatensätze der vorliegenden Jahre, so liegt gegenüber der Aufsammlung 2000 eine signifikante Abnahme von 13,2 % vor. Gegenüber der Aufsammlung von 1995 ist hingegen eine signifikante Zunahme von 6,1 % (siehe Karten 24a und 24b) festzustellen.

Die Zunahme der Werte ist aber nicht auf einen tatsächlichen Anstieg der Emissionen im Untersuchungszeitraum zurückzuführen, sondern auf die verbesserte chemische Analytik in den Untersuchungen 2005 und 2000 gegenüber jener von 1995. Mehr als die Hälfte alle Co-Werte der Studie von 1995 lagen unter der Bestimmungsgrenze. Für die statistischen Berechnungen von 1995 wurde für Werte unter der Bestimmungsgrenze der Wert der halben Bestimmungsgrenze angenommen. Diese Annahme war aber offensichtlich zu niedrig. Vergleicht man nur die Standorte mit Werten, die auch 1995 über der Nachweisgrenze lagen, so sind die Werte gesunken. Die Vergleichskarte der Veränderungen gegenüber 1995 (siehe Karte 24b) ist deshalb kritisch zu betrachten. Die Veränderungen gegenüber 2000 sind aber aufgrund analoger Qualität in den beiden Untersuchungen vergleichbar.

Deutlichen Zunahmen im Südosten des Bundesgebietes und im Süden von Oberösterreich steht eine Vielzahl an kleineren Veränderungen im übrigen Bundesgebiet gegenüber, was letztlich die Abnahme von 13 % bewirkt, aber nicht über die größeren Zunahmen in den genannten Gebieten hinwegtäuschen soll.

In Tabelle 3 sind die Jahresvergleichswerte der Regionen zusammengefasst (siehe auch Kapitel 3.6). Die Veränderungen zwischen den Aufsammlungen 2000 und 2005 finden sich in Karte 24a und jene zwischen 1995 und 2005 in Karte 24b.

**Erhöhung im Südosten und in OÖ**

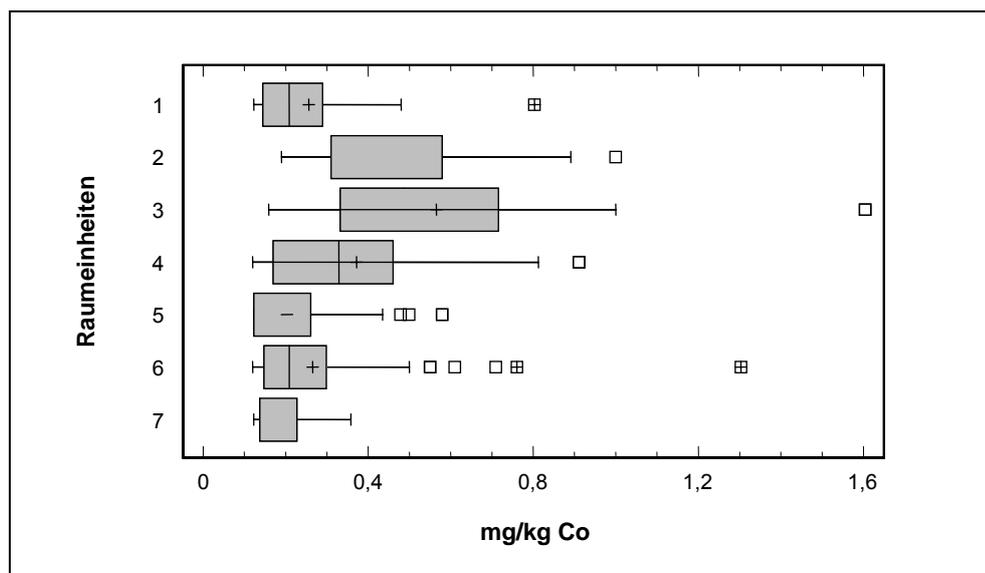


Abbildung 9: „Box & Whisker Plots“ der Cobaltkonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Raumeinheiten.

### 3.3.8 Eisen (Fe)

#### 3.3.8.1 Allgemeines

Eisen (OZ 26; A<sub>r</sub> 55,9) ist ein essenzielles Element für alle Lebewesen und ein funktioneller Bestandteil zahlreicher lebenswichtiger Bausteine (z. B. Cytochrome). Normalerweise enthalten Pflanzen 20 bis 300 mg Fe/g Trockenmasse. Eisen ist kaum toxisch, nur bestimmte Eisenverbindungen wie FeCl<sub>2</sub> oder Eisenchelate können gesundheitsschädigend sein.

Eisen ist eines der häufigsten Elemente der Erdkruste (Nr. 4 der Häufigkeitsliste). Die eisenreichsten Erze (> 20 % Fe) sind Rot-, Braun- und Magneteisenstein und Pyrit (FeS<sub>2</sub>). Kohle kann bis zu 10.000 µg Eisen pro kg Kohle enthalten. Aufgrund des relativ hohen Eisengehaltes in Böden (durchschnittlich 40.000 µg/g) kann dieses Metall auch als guter Indikator für Bodenverunreinigungen herangezogen werden.

Eisen wird in erster Linie als Roheisen und in den verschiedensten Legierungen eingesetzt. In selteneren Fällen findet es als Pigment bzw. als Fällmittel in Kläranlagen Verwendung.

Anthropogene Hauptemissionen stammen aus der Eisen- und Stahlindustrie sowie aus der Verbrennung von Kohle (Heizungen, Kraftwerke).

**Toxizität von Fe**

**natürliche Vorkommen von Fe**

**Verwendung von Fe**

**Hauptemittenten sind Eisen- und Stahlindustrie**

### 3.3.8.2 Österreich gesamt

Der durchschnittliche Eisengehalt aller Moosproben liegt bei 420 µg/g, der Median bei 290 µg/g, der niedrigste gemessene Wert beträgt 65 µg/g und der Höchstwert 2.200 µg/g.

### 3.3.8.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten

Auffallend erhöht sind die Fe-Konzentrationen in der Raumeinheit 2, dem Nordosten Österreichs. Der Unterschied zu allen anderen Regionen ist signifikant. Die Werte in Region 3 (südöstliches Alpenvorland) sind gleichfalls signifikant erhöht (siehe Abbildung 10, Karte 9).

Die Gründe für die abweichenden Fe-Werte in den Raumeinheiten 2 und 3 sind ähnlich wie jene bei Chrom: Eintrag über Bodenstaub durch periodisch großflächig vegetationsfreie Flächen, der Ferntransport aus dem Osten und Norden und Emissionen aus dem Großraum Wien. Eine Trennung der einzelnen Faktoren ist schwierig.

Der oberösterreichische Zentralraum und die niederösterreichische Eisenwurzen zeichnen sich ebenfalls durch etwas erhöhte Konzentrationen aus (siehe Karte 9). Vor allem Emissionen aus dem Raum Linz haben Einfluss auf die erhöhten Werte in den unmittelbar östlich anschließenden Sammelpunkten (z. B. Punkt 33-1, Altenberg), auch in der Eisenwurzen sind kleinere lokale Quellen als Verursacher zu vermuten. Eisen- und Stahlverarbeitende Industrie beeinflusst auch die obersteirischen Sammelpunkte (Punkte 132-1, Trofaiach; 133-1, Niklasdorf).

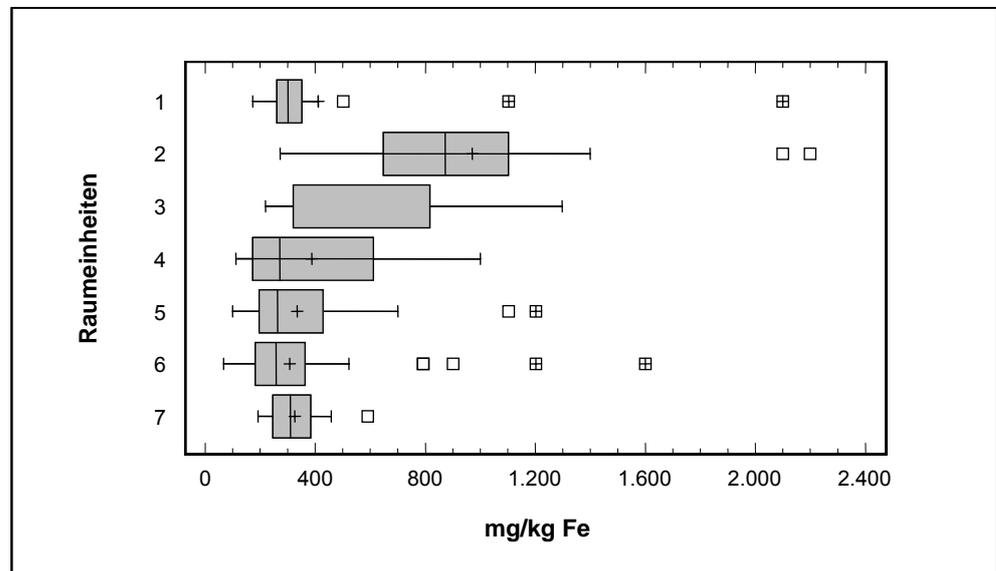


Abbildung 10: „Box & Whisker Plots“ der Eisenkonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Raumeinheiten.

### 3.3.8.4 Vergleich mit 1995 und 2000

Bezogen auf die gesamtösterreichischen Daten sind zwischen der Aufsammlung von 2005 und jenen von 2000 (– 15,3 %) und 1995 (– 16,2 %) statistisch signifikante Unterschiede (Abnahmen) zu verzeichnen.

Die Veränderungen sind sehr inhomogen; auffällige Zunahmen gibt es im gesamten Südosten des Bundesgebietes sowie in Teilen von Oberösterreich und Vorarlberg (siehe Karten 25a und 25b). Die Trends an diesen Punkten sind über den gesamten Untersuchungszeitraum konstant und widersprechen dem österreichweiten Trend.

In Tabelle 3 sind die Jahresvergleichswerte der Regionen zusammengefasst (siehe auch Kapitel 3.6). Die Veränderungen zwischen den Aufsammlungen 2000 und 2005 finden sich in Karte 25a und jene zwischen 1995 und 2005 in Karte 25b.

**Abnahme der Fe-Konzentrationen um 15,3 % gegenüber 2000 ...**

**... und punktuell deutliche Zunahmen**

### 3.3.9 Kupfer (Cu)

#### 3.3.9.1 Allgemeines

Kupfer (OZ 29; A<sub>r</sub> 36,6) ist ein sowohl für Pflanzen als auch Tiere essenzielles Element. Es kommt u. a. als prosthetische Gruppe diverser Enzyme vor und spielt im Kohlenstoff- und Stickstoffmetabolismus eine wichtige Rolle. In Pflanzen hat das Metall eine relativ geringe Toleranzbreite: Unter 4 ppm treten Mangelercheinungen auf, über 20 ppm wirkt Kupfer bereits in den meisten Fällen toxisch.

**Toxizität von Cu**

Kupfer gehört neben Gold und Silber zu den am längsten bekannten Metallen, nicht zuletzt deshalb, weil es in der Natur auch elementar vorkommt. Kupfer rangiert an 26. Stelle in der Elementhäufigkeit der Erdkruste und tritt in Lagerstätten auf. Die wichtigsten Kupfererze sind vor allem Sulfide (wie Kupferkies (CuFeS<sub>2</sub>) und Kupferglanz (CuS)) und Oxide wie Cuprit (Cu<sub>2</sub>O).

**natürliche Vorkommen von Cu**

Kupfer wird vor allem bei der Kupfererzeugung und von anderen Metallindustrien freigesetzt. Ein Hauptanwender (50 %) ist die Elektroindustrie (Kabelherstellung). Aber auch als Legierungsbestandteil (z. B. Rohre) sowie in Düngemitteln und Pestiziden wird Kupfer eingesetzt. Letztere finden vor allem im Weinbau und in der Hopfenzucht breite Verwendung. In landwirtschaftlich intensiv genutzten Böden können bis zu 50 % des Kupferanteils aus der Bewirtschaftung stammen (SALZBURGER BODENZUSTANDSINVENTUR 1993).

**Verwendung von Cu**

#### 3.3.9.2 Österreich gesamt

Der Mittelwert für die Cu-Konzentrationen in Moosen beträgt 5,4 µg/g, der Median 5,1 µg/g, der niedrigste gemessene Wert betrug 2,9 µg/g, der Höchstwert 35 µg/g.

#### 3.3.9.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten

Die einzelnen Raumeinheiten unterscheiden sich nicht signifikant voneinander

Wie bereits in den Untersuchungen von 2000 und 1995 ist auch in dieser Studie das Inntal (Region 5) besonders auffällig. Alle Standorte des Unterinntales zeigen Werte, die deutlich über dem nationalen Durchschnitt liegen (> 8 µg/g; siehe Abbildung 11, Karte 10). Die Gründe sind vielfältig: In diesem Raum liegt eine Reihe alter Abbaustätten (PbZn-Vererzungen, Kupfer- und Silberbergbau etc.). Auch heute

**erhöhte Werte im Inntal**

ist noch eine metallverarbeitende Industrie aktiv, wie z. B. die Sekundär-Kupferhütte Brixlegg. Die Emissionen aus diesem Betrieb sind trotz emissionshemmender Maßnahmen nach wie vor hoch (ZECHMEISTER et al. 2004). Eine weitere Ursache für die im Inntal vorgefundene Situation bildet das erhöhte Verkehrsaufkommen. Zusätzlich verschärfen die in diesem Gebiet häufigen Inversionswetterlagen die Immissionssituation.

Die Anwendung von Cu-haltigen Pestiziden spiegelt sich in erhöhten Werten in manchen Weinbaugenden wider (KROMMER et al. 2007).

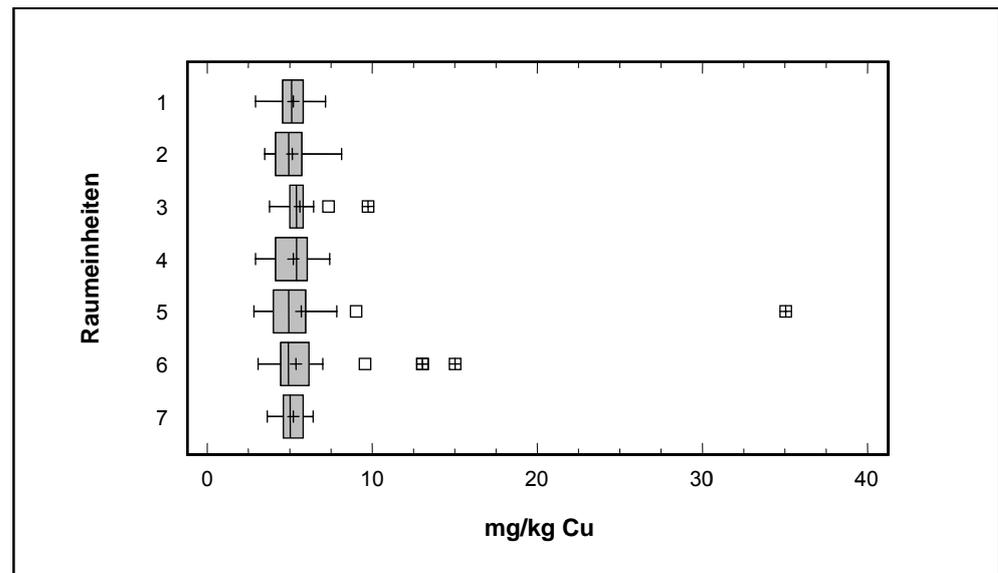


Abbildung 11: „Box & Whisker Plots“ der Kupferkonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Raumeinheiten.

### 3.3.9.4 Vergleich mit 1995 und 2000

#### **Abnahme der Cu-Konzentrationen um 17 % gegenüber 2000**

Bezogen auf die gesamtösterreichischen Daten sind die Abnahmen gegenüber 2000 (– 17 %) und 1995 (– 8,7 %) statistisch signifikant. Der kurzfristige Anstieg, welcher im Jahr 2000 gegenüber 1995 beobachtet wurde, ist somit gestoppt (daher auch die geringeren Abnahmen gegenüber 1995).

Die Veränderungen gegenüber 1995 sind eher gering; Oberösterreich weist stärkere Abnahmen, Tirol hingegen größere Zunahmen auf (siehe Karte 26b). Bei den Veränderungen gegenüber 2000 steht einer größeren Anzahl an kleineren Zunahmen eine kleine Gruppe an großen Abnahmen gegenüber. Die Mehrheit der Punkte zeigt aber gegenüber 2000 keine Veränderungen (siehe Karte 26a).

In Tabelle 3 sind die Jahresvergleichswerte der Regionen zusammengefasst (siehe auch Kapitel 3.6). Die Veränderungen zwischen den Aufsammlungen 2000 und 2005 finden sich in Karte 26a und jene zwischen 1995 und 2005 in Karte 26b.

### 3.3.10 Molybdän (Mo)

#### 3.3.10.1 Allgemeines

Molybdän (OZ 42; A<sub>r</sub> 95,9) ist als Bestandteil der Aldehydoxidase ein essenzielles Element für fast alle Organismenarten. Es ist vor allem für den Phosphat-Metabolismus und die Stickstofffixierung von Bedeutung. Toxisch ist Molybdän nur in höheren Konzentrationen für Tier und Mensch. Die Gefahr einer Molybdänvergiftung ist vor allem für Wiederkäuer besonders groß.

Molybdän steht an 53. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente der Erdkruste. In sauren Gesteinen sind die Konzentrationen höher als in basischen, in Kohle und Erdöl können sie bisweilen stark ansteigen. Böden haben einen durchschnittlichen Anteil von 1–2 ppm Mo. Die industriell am meisten genutzten Mo-Mineralen sind Molybdenit (MoS<sub>2</sub>) und Ferrimolybdit (Fe<sub>2</sub>(MoO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>). Molybdän wird meist als Nebenprodukt bei der Kupferverhüttung gewonnen.

Die Hauptverwendung von Molybdän liegt in der Erzeugung von Stahl (u. a. für spezielle Legierungen), als Korrosionsschutz, für Katalysatoren und in der Pigmentherstellung. Molybdän gelangt vor allem durch die Erzverhüttung, durch die Metallherstellung, über phosphathaltige Dünge- und Waschmittel sowie über Verbrennungsprozesse in die Natur.

#### **Toxizität von Mo**

#### **natürliche Vorkommen von Mo**

#### **Verwendung von Mo**

#### 3.3.10.2 Österreich gesamt

Der Mittelwert aller in Österreich gefundenen Moosproben liegt bei 0,24 µg/g, der Median aller Werte bei 0,13 µg/g. Fast die Hälfte aller Werte (106 Proben) liegt unter der Nachweisgrenze, was auch den großen Unterschied zwischen Mittelwert und Median erklärt. Der Höchstwert liegt bei 5,6 µg/g.

#### 3.3.10.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten

Auf Raumeinheiten bezogen ist die Verteilung der Depositionen sehr konstant. Es gibt keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Regionen (siehe Abbildung 12). Dies lässt sich aber auch mit den vielen Proben unter der Nachweisgrenze erklären.

Der Höchstwert (5,6 µg/g) stammt vom Standort Treibach-Althofen (Punkt 186-1, Pöckstein, siehe Karte 11). Die dort gefundene Mo-Konzentration beträgt mehr als das 20-fache des österreichischen Mittelwertes und bedeutet eine weitere Steigerung gegenüber der Aufsammlung 2000. Bereits in den Untersuchungen von 1995 und 2000 zeigte dieser Standort die mit Abstand höchsten Mo-Konzentrationen in ganz Österreich. Der Sammelpunkt liegt nordwestlich der Treibacher Chemischen Werke, einem schwermetallverarbeitenden Industriebetrieb, welcher als wahrscheinlichste Emissionsquelle gilt (siehe auch ZECHMEISTER et al. 2004, UMWELTBUNDESAMT 2009). Aufgrund der Methodik dieser Untersuchung muss weiterhin von aktuellen Emissionen ausgegangen werden.

#### **Mo-Höchstwerte in Treibach-Althofen und ...**

Der dem Planseewerk in Reutte nächstgelegene Hintergrundstandort weist in dieser Untersuchung 1,6 µg/g Mo auf, was einer deutlichen Zunahme gegenüber 1995 entspricht. Die Mo-Emissionen des Werkes sind seit langem bekannt (siehe auch ZECHMEISTER et al. 2004, UMWELTBUNDESAMT 2009). Weiterhin etwas erhöht sind auch die Konzentrationen in der Umgebung des Stahlwerkes von Leoben/Donawitz. Die Ursache für die deutlich erhöhten Werte bei den benachbarten Punkten Schratzenbach (Bez. Neunkirchen; Punkt 75-2) und Spital/Semmering (Punkt 104-1) ist unklar.

#### **... in Reutte**

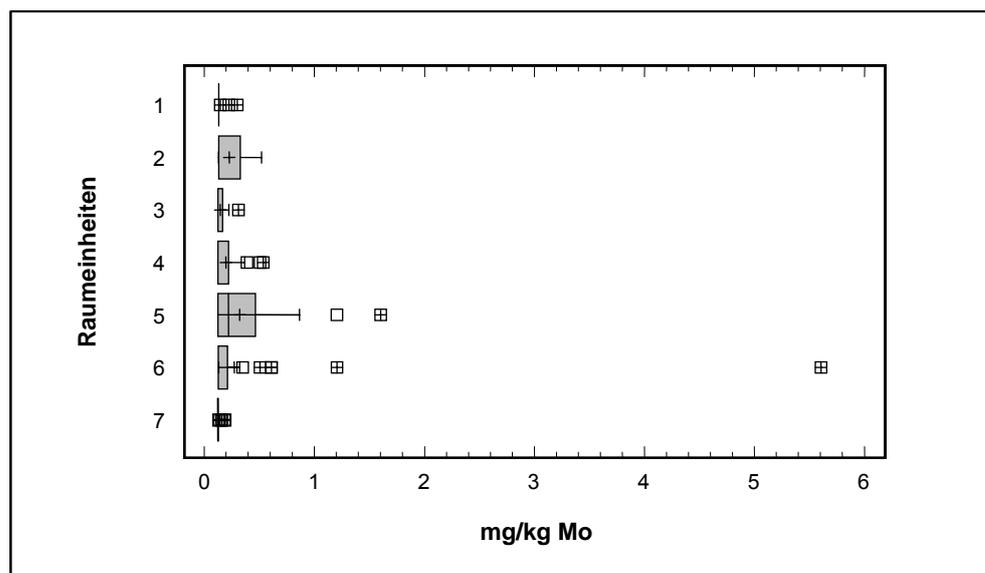


Abbildung 12: „Box & Whisker Plots“ der Molybdänkonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Raumeinheiten.

### 3.3.10.4 Vergleich mit 1995 und 2000

**Abnahme der Mo-Konzentrationen um 19,4 % gegenüber 2000**

Bezogen auf die gesamtösterreichischen Daten besteht zwischen den Konzentrationen der Aufsammlung von 2005 und jenen von 2000 (– 19,4) und 1995 (– 48,6) ein statistisch signifikanter Unterschied. Vor allem die Veränderungen gegenüber 1995 sind kritisch zu betrachten (siehe Karte 27b), da damals bei Auswertung der Daten ein methodischen Fehler oder eine Sekundärkontamination vorgelegen sein dürfte. Im Vergleich zu 2000 steht wenigen starken Zunahmen (vor allem im Inntal und der Obersteiermark) eine Vielzahl an kleineren Abnahmen gegenüber (siehe Karte 27a).

In Tabelle 3 sind die Jahresvergleichswerte der Regionen zusammengefasst (siehe auch Kapitel 3.6). Die Veränderungen zwischen den Aufsammlungen 2000 und 2005 finden sich in Karte 27a und jene zwischen 1995 und 2005 in Karte 27b.

### 3.3.11 Nickel (Ni)

#### 3.3.11.1 Allgemeines

**Toxizität von Ni**

Nickel (OZ 28;  $A_r$  58,7) ist für tierische Lebewesen essenziell, nicht aber für die meisten Pflanzen. Nickel spielt als Aktivator bei der Eisenresorption eine Rolle. Nickelstaub und einige Nickelverbindungen wie Nickelacetat ( $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ) oder Nickelsubdisulfid ( $\text{Ni}_3\text{S}_2$ ) zeigen karzinogene Wirkung. Einige Nickelverbindungen sind auch bekannte Allergene.

**natürliche Vorkommen von Ni**

Nickel steht an der 23. Stelle der Häufigkeitsliste der Elemente der Erdkruste. Nickel ist ein bestimmender Bestandteil von über hundert Mineralien, das wohl wichtigste Nickelerz ist Pentlandit ( $(\text{NiFe})_9\text{S}_8$ ). Besonders hohe Ni-Werte finden sich in Serpentin.



Nickel wird vor allem in vielen korrosions- und hitzebeständigen Legierungen verwendet (z. B. Münzen, Turbinen), außerdem in der Galvanik und der Elektroindustrie (Batterien, Tonbänder).

### **Verwendung von Ni**

Die wichtigsten anthropogenen Emissionsquellen sind einerseits Bergbau, Verhüttung und Metallverarbeitung, andererseits die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Öle, Diesel, Kohle).

### **Hauptemittenten von Ni**

#### **3.3.11.2 Österreich gesamt**

Der Mittelwert aller in Österreich gemessenen Nickelkonzentrationen in Moosen beträgt 1,32 µg/g, der Median 1,0 µg/g, der kleinste gemessene Wert liegt bei 0,39 µg/g, der höchste bei 8,8 µg/g.

#### **3.3.11.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten**

Die Raumeinheiten 3, 4 und 2 (südöstliches und nördliches Alpenvorland, Nordosten) weisen statistisch signifikant höhere Werte auf als die anderen Regionen, auch wenn die Schwankungen teilweise sehr groß sind (siehe Abbildung 13).

Die Verteilung der Ni-Depositionen zeichnet sich generell durch große Variabilität aus. Aus einer breiten, eher unterdurchschnittlichen Matrix ragen bundesweit einzelne Punkte mit sehr hohen Werten heraus (siehe Karte 12). An diesen Punkten korreliert Nickel fast immer mit anderen erhöhten Konzentrationen einzelner Metalle, meist sind dies Cobalt, Cadmium und Eisen.

Die erhöhten Werte in Raumeinheit 2 (Nordosten) sind einerseits auf die Emissionen aus Verbrennungsprozessen aller Art (Wärme Kraftwerke, Kleinf Feuerungsanlagen, industrielle Verbrennung, Verkehr) des Großraumes Wien zurückzuführen. In den am stärksten betroffenen Punkten (41-1, Schleimbach; 40-1, Stranzendorf) hat vermutlich auch die Erdölförderung einen Beitrag an den deutlich erhöhten Werten. Auch der Ferntransport aus dem Nordosten (siehe Arsen oder Eisen) spielt in diesem Gebiet eine wesentliche Rolle.

### **erhöhte Werte an zahlreichen Stellen Österreichs**

Eine Konzentration von Punkten mit deutlich erhöhten Werten (einschließlich des Höchstwertes von 8,8 µg/g) findet sich im Südosten Oberösterreichs sowie im westlichen Niederösterreich, Raum Amstetten. Auch in Treibach-Althofen liegen überdurchschnittliche Werte vor (4,6 µg/g TG), sie sind höher als in der Aufsammlung von 2000, aber niedriger als bei der Aufsammlung von 1995. Als Verursacher müssen (wie auch bei Molybdän und Vanadium) die Treibacher Chemischen Werke in Betracht gezogen werden.

Erhöhte Werte im mittleren Burgenland könnten wieder auf den Serpentin im Untergrund zurückzuführen sein.

Relativ hohe Grundgehalte an Nickel weisen die Böden des Standortes 89-1 (Thiersee, unteres Inntal) auf, die Messwerte sind hier – wie auch in den vorangegangenen Untersuchungen – erhöht. Lokale Emissionen sind hier zusätzlich in Betracht zu ziehen.

Im Raum Leoben zeigen gleichfalls mehrere Punkte erhöhte Werte. Von einer Beeinflussung durch Emissionen aus dem ansässigen Stahlwerk kann ausgegangen werden.

In der Südsteiermark ist wie auch bei Cobalt, Chrom, Blei und Eisen der Messpunkt bei Wildon auffällig. In der Region ist eine Reihe von Industrieansiedlungen (z. B. Elektroindustrie) und Wärmekraftwerke angesiedelt, die als Verursacher in Frage kommen.

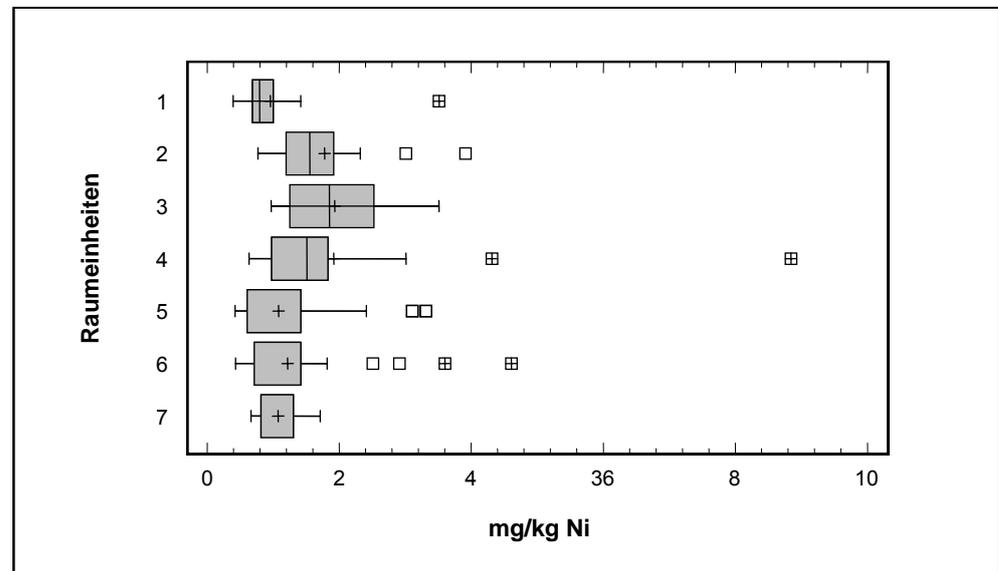


Abbildung 13: „Box & Whisker Plots“ der Nickelkonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Raumeinheiten.

### 3.3.11.4 Vergleich mit 1995 und 2000

**Abnahme der Ni-Konzentrationen um 12,5 % gegenüber 2000**

Bezogen auf die gesamtösterreichischen Daten gibt es signifikante Abnahmen der Ni-Konzentrationen seit 2000 (– 12,5 %) und 1995 (– 17,1 %). Nur in Raumeinheit 3 (südöstliches Alpenvorland) ist eine Steigerung seit 2000 zu vermerken (siehe Karte 28a).

Punktbezogen ist gegenüber 1995 und auch 2000 eine kontinuierliche Erhöhung der Konzentrationen an den oben beschriebenen Messstellen im Raum Steyr/Amstetten, der Süd- und Obersteiermark sowie im mittleren Burgenland zu verzeichnen. Dem gegenüber steht eine kontinuierliche Verbesserung im Großraum Wien (siehe Karten 28a und 28b).

In Tabelle 3 sind die Jahresvergleichswerte der Regionen zusammengefasst (siehe auch Kapitel 3.6). Die Veränderungen zwischen den Aufsammlungen 2000 und 2005 finden sich in Karte 28a und jene zwischen 1995 und 2005 in Karte 28b.



### 3.3.12 Quecksilber (Hg)

#### 3.3.12.1 Allgemeines

Quecksilber (OZ 80; A<sub>r</sub> 200,6) hat sowohl für Tier und Mensch eine relativ hohe Toxizität. Diese beruht auf der Reaktion von Quecksilber mit essenziellen Schwefelwasserstoff-Gruppen von Proteinen und Nukleinsäuren. Die für Organismen bedenklichsten Quecksilberverbindungen sind neben elementarem Quecksilber, Hg-Salze und organische Hg-Verbindungen. Quecksilber wird primär über die Atemwege aufgenommen, die Resorption über den Darm ist äußerst gering (Ausnahme: organische Hg-Verbindungen).

#### *Toxizität von Hg*

Quecksilber steht an 64. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente der Erdkruste. Es ist das einzige Metall, welches bei Atmosphärendruck erst unter –39 °C fest wird. Die häufigste natürliche, bergbaumäßig genutzte Hg-Verbindung ist Zinnober (HgS). In sauren Böden ist Quecksilber hochmobil, in stark basischen weniger. Durch Mikroorganismen kann es einerseits zu einer Umwandlung von organischen Hg-Verbindungen zu anorganischen Verbindungen kommen, andererseits aber auch zu einer Reduktion zu volatillem Quecksilber und dadurch zu einer Freisetzung in größerem Ausmaß.

#### *natürliche Vorkommen von Hg*

Verwendung findet Quecksilber in der Elektroindustrie (Schalter, Batterien), bei der Chlor-Alkali-Elektrolyse oder als Amalgam (Zahnmedizin). Bedenklich ist und war die Verwendung als Fungizid und als Saatbeizmittel, wodurch regional große Mengen an Quecksilber in Böden und Grundwasser gelangten. Die Quecksilberfreisetzung ist nicht zuletzt aufgrund des Verbotes der Saatgutbeizung mit Quecksilber, sowie aufgrund steigender Recyclierung rückläufig. CHIARADIA & CUPELIN (2000) sehen einen Zusammenhang von Quecksilber und Verkehr.

#### *Verwendung von Hg*

#### 3.3.12.2 Österreich gesamt

Die durchschnittliche Hg-Konzentration liegt bei 0,06 µg/g, für den Median bei 0,05 µg. Der niedrigste gemessene Wert lag bei 0,03 µg/g, der Höchstwert bei 0,26 µg/g.

#### 3.3.12.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten

Die Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten unterscheiden sich nicht signifikant (siehe Abbildung 14). Räumlich gesehen gibt es allerdings große Unterschiede. Lokal gesehen gibt es vier Teilgebiete mit deutlich erhöhten Werten (siehe Karte 13).

Die höchsten Werte finden sich – wie auch in vergangenen Jahren – im Inntal in der weiteren Umgebung von Brixlegg, der österreichische Höchstwert liegt bei Breitenbach am Inn (Kufstein, Punkt 120-1). Die Emissionen aus der sekundären Kupferhütte Brixlegg liegen als Verursacher nahe (siehe auch ZECHMEISTER et al. 2004).

#### *höchste Werte um Brixlegg*

Auffällig sind die erhöhten Werte im oberösterreichischen Zentralraum, vor allem östlich von Linz (nahe Eferding, Punkt 31-1, Hinzenbach).

Im südlichen Niederösterreich bzw. in der nordöstlichen Steiermark wurden gleichfalls erhöhte Werte (z. B. Bezirk Neunkirchen) gemessen, ebenso wie in der Mur-Mürzfurche, u. a. in der Umgebung von Donawitz.

Geogen bedingt dürften wie in den vergangenen Jahren die hohen Hg-Konzentrationen im Raum Murau und bei Lienz (Strassen, Punkt 178-2) sein. Die Ursachen für die erhöhten Werte bei Globasnitz (Bezirk Völkermarkt, Punkt 204-2) und Pfons (Bezirk Innsbruck, Punkt 148-1) sind unbekannt.

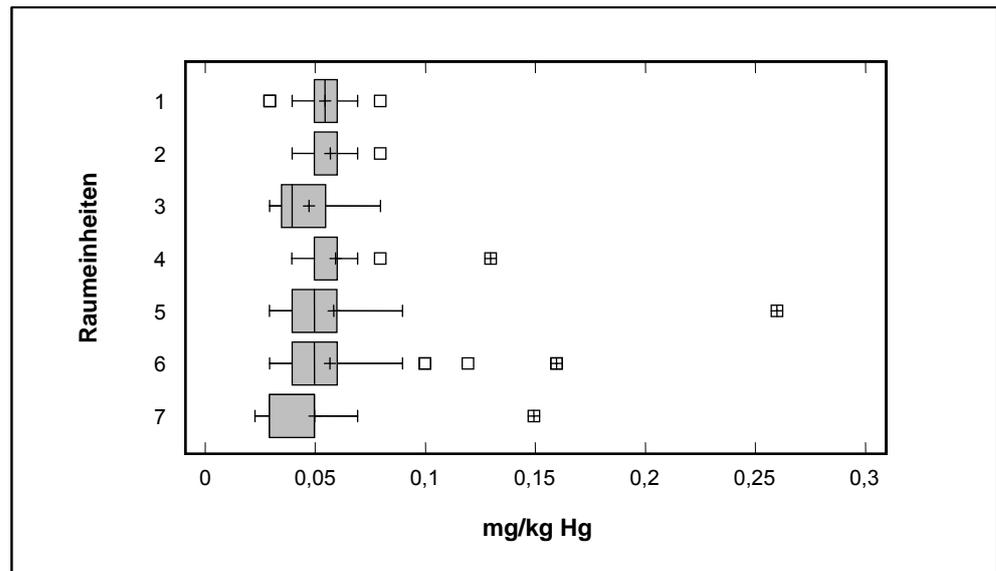


Abbildung 14: „Box & Whisker Plots“ der Quecksilberkonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Raumeinheiten.

### 3.3.12.4 Vergleich mit 1995 und 2000

#### **Abnahme der Hg-Konzentrationen um 2,8 % gegenüber 2000**

Bezogen auf die gesamtösterreichischen Daten ist eine nicht signifikante Abnahme der Hg-Konzentrationen seit 2000 (– 2,8 %) feststellbar. In Raumeinheit 4 (nördliches Alpenvorland) ist eine leichte Steigerung gegenüber der Aufsammlung 2000 zu vermerken. Gegenüber 1995 gibt es hingegen eine signifikante Abnahme (– 4,9 %) der Hg-Konzentrationen. Die Veränderungen über einen längeren Zeitraum hinweg gesehen sind geringfügig – so gab es auch zwischen 1995 und 2000 keine signifikanten Unterschiede.

Die Veränderungen gegenüber 1995 zeigen keine regionalspezifischen Trends, jene gegenüber 2000 lassen sich aber räumlich eindeutig zuordnen. Die größten Zunahmen gab es vor allem in Tirol, im Mittelburgenland bzw. der Obersteiermark.

In Tabelle 3 sind die Jahresvergleichswerte der Regionen zusammengefasst (siehe auch Kapitel 3.6). Die Veränderungen zwischen den Aufsammlungen 2000 und 2005 finden sich in Karte 29a und jene zwischen 1995 und 2005 in Karte 29b.

### 3.3.13 Schwefel (S)

#### 3.3.13.1 Allgemeines

#### **Toxizität von S**

Schwefel ist kein Schwermetall, es wird aber in dieser Studie als zusätzlicher Indikator für anthropogenen Schadstoffeinfluss untersucht. Schwefel (OZ 16; A<sub>r</sub> 32,1) ist ein essenzielles Element für alle Lebewesen und als Bestandteil der Aminosäuren Cystin, Cystein und Methionin in den meisten Proteinen enthalten. Es ist ein Makronährelement und kommt als solches in größeren Mengen in jedem Organismus vor. Die Schadwirkungen des Schwefels bzw. einzelner Schwefelverbindungen (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> usw.) sind u. a. auf die osmotische Wirkung und Radikalbildung zurückzuführen. Bei Pflanzen kommt es z. B. zur Störung physiologischer Prozesse, zu Nekrosenbildung und zum Absterben der Blätter, bei Menschen vor allem

zur Schädigung der Atemwege und der Lunge. Moose haben einen durchschnittlichen Grundgehalt von 700 ppm S, welcher bei einer allfälligen Depositionsberechnung zum Abzug gebracht werden muss.

Schwefel steht an 16. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente der Erdkruste. Es wird zum Teil elementar gewonnen, größere Mengen befinden sich u. a. auch in Pyrit ( $\text{FeS}_2$ ), aber auch in Erdöl oder Kohle.

Schwefel wird als Grundstoff in der chemischen Industrie eingesetzt. Der Hauptteil wird für die Schwefelsäureproduktion verwendet, aber auch zum Vulkanisieren sowie zur Erzeugung von Düngemitteln, Pharmazeutika, Pestiziden, Pigmenten und vielem mehr. Der größte Teil anthropogen freigesetzten Schwefels stammt aus der Verbrennung fossiler Energieträger und wird überwiegend als Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) freigesetzt.

**natürliche  
Vorkommen von S**

**Verwendung von S**

### 3.3.13.2 Österreich gesamt

Der Mittelwert aller in Österreich gemessenen Schwefelkonzentrationen in Moosproben liegen bei 965  $\mu\text{g/g}$ , der Median bei 970  $\mu\text{g/g}$ , das gemessene Minimum bei 590  $\mu\text{g/g}$  und das Maximum bei 1.500  $\mu\text{g/g}$ .

### 3.3.13.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten

Die regionalen Unterschiede sind zum Teil beträchtlich (siehe Abbildung 15). Die Raumeinheiten 2 (Nordosten) und 4 (nördliches Alpenvorland) zeigen die höchsten Konzentrationen, der Unterschied ist mit Ausnahme von Raumeinheit 3 (südöstliches Alpenvorland) zu allen anderen signifikant. Die Regionen 6 und 7 (kristalline Zentralalpen und Südalpen) haben signifikant niedrigere Werte als alle anderen Raumeinheiten (siehe Karte 14).

**Höchstwerte in den  
Regionen 2 und 4**

Zonen mit hohen Durchschnittskonzentrationen sind in vielen Fällen Gebiete mit erhöhter Siedlungsdichte (Hausbrand) bzw. verstärktem Industrievorkommen (Rheintal, Inntal, Grazer Becken, Stadt Salzburg, Großraum Wien; siehe Karte 14). Besonders auffällig sind die deutlich erhöhten Werte im Osten, wofür unter anderem mit großer Wahrscheinlichkeit die Raffinerie Bratislava verantwortlich zeichnet. Dazu kommen in der weiteren Umgebung Wiens z. B. der Flughafen und die Erdgas- und Ölförderanlagen im nördlichen Weinviertel (Matzen).

### 3.3.13.4 Vergleich mit 1995 und 2000

Seit der ersten Aufsammlung 1991 haben die S-Konzentrationen kontinuierlich abgenommen. Dies folgt dem allgemeinen Trend abnehmender S-Emissionen. Bezogen auf die gesamtösterreichischen Moosdaten ist zwischen der Aufsammlung 2005 und jenen von 1995 und 2000 ein statistisch signifikanter Unterschied erkennbar. Die Abnahmen betragen gegenüber 1995 13,9 % und gegenüber 2000 10,9 %.

**Abnahme der  
S-Konzentrationen  
um 10,9 %  
gegenüber 2000**

Die Veränderungen sind – sowohl auf 1995 als auch 2000 bezogen – allgemein sehr gering (< 20 %), gegenüber 2000 sind sie extrem inhomogen. Abnahmen, aber auch Zunahmen der Konzentrationen gegenüber 2000 betreffen alle Regionen und Bundesländer (siehe Karte 30a, Karte 30b).

In Tabelle 3 sind die Jahresvergleichswerte der Regionen zusammengefasst (siehe auch Kapitel 3.6). Die Veränderungen zwischen den Aufsammlungen 2000 und 2005 finden sich in Karte 30a und jene zwischen 1995 und 2005 in Karte 30b.

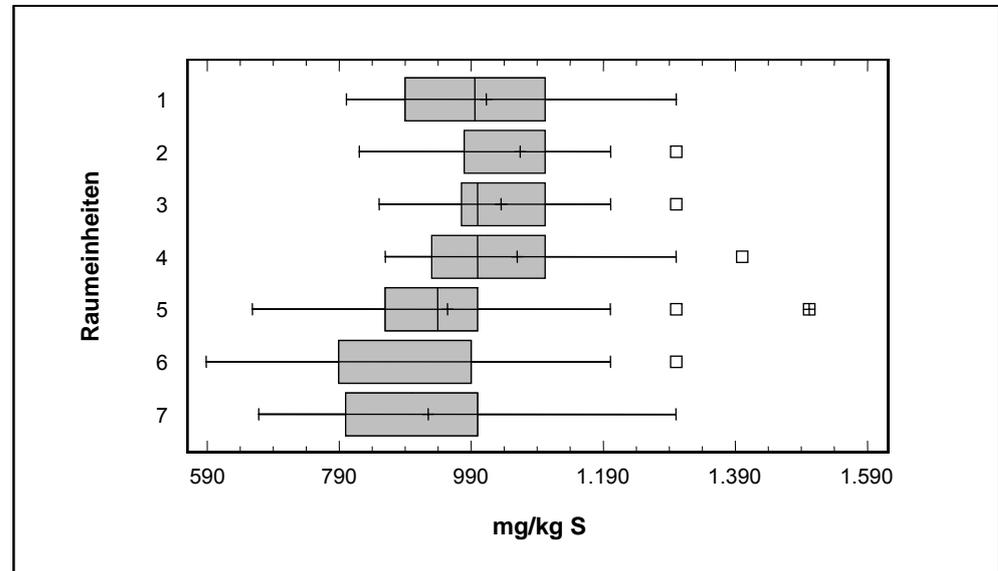


Abbildung 15: „Box & Whisker Plots“ der Schwefelkonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Raumeinheiten.

### 3.3.14 Stickstoff (N)

#### 3.3.14.1 Allgemeines

##### **Bedeutung und Toxizität**

Stickstoff ist wie Schwefel kein Schwermetall, hat aber eine Vielzahl an negativen Einflüssen auf die Umwelt (siehe unten) und wird auf Beschluss der UN/ECE ICP-Vegetation erstmals flächendeckend in Österreich mit der Moosmethode untersucht.

Stickstoff (OZ 7; A<sub>r</sub> 14) ist ein Hauptnährelement und als Komponente aller Proteine, Enzyme und Nucleinsäuren ein wichtiger Bestandteil aller Lebewesen. Stickstoff ist für Pflanzen ein Hauptnährelement und gelangt durch mikrobielle Aktivität, z. B. durch die Zersetzung organischen Materials bzw. durch Luftstickstofffixierung, in den Boden.

##### **Versauerung und Eutrophierung durch N**

In den letzten Jahren konnte weltweit eine starke Zunahme der Stickstoffdepositionen festgestellt werden. Diese wurden u. a. als eine der Hauptursachen für die Gefährdung der Biodiversität angesprochen. Dabei spielt einerseits die versauernde Wirkung von N-Depositionen als auch der Eutrophierungseffekt eine Rolle. Für die Versauerung sind neben Schwefel-Verbindungen auch die Stickstoff-Verbindungen NH<sub>3</sub> und NO<sub>x</sub> verantwortlich. Die Zunahme der atmosphärischen Düngung hat in vielen Gebieten bereits zur deutlichen Gefährdung von ursprünglich nährstoffarmen Habitattypen geführt (z. B. Hochmoore oder Trockenrasen). Aber auch andere Systeme sind durch Eutrophierung gefährdet.

In Österreich sind ca. 65 % aller Ökosysteme durch die Überschreitung der „critical loads“ gefährdet (UMWELTBUNDESAMT 2001). Die atmosphärischen Stickstoffdepositionen durch trockenen Eintrag und Niederschläge betragen in Österreich derzeit zwischen 4 und 40 kg/ha/a.

**65 % aller Ökosysteme durch Eutrophierung gefährdet**

In Österreich werden seit dem Jahr 2005 erstmals auch die N-Depositionen mittels Moosen flächendeckend erfasst.

### 3.3.14.2 Österreich gesamt

Der Mittelwert aller in Österreich gemessenen N-Konzentrationen in Moosproben liegt bei 12.116 µg/g, der Median bei 12.050 µg/g, das gemessene Minimum bei 7.000 µg/g und das Maximum bei 21.500 µg/g.

### 3.3.14.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten

Die Konzentrationen in den Regionen 2, 3 und 4 (Nordosten, südöstliches und nördliches Alpenvorland) sind signifikant höher als jene der anderen Raumeinheiten. Dies ist einerseits auf die erhöhte Siedlungs- und somit Verkehrsdichte zurückzuführen, andererseits liegen gerade in diesen Regionen die wichtigsten Anbaugelände (z. B. Marchfeld, Eferdinger Becken, Südoststeiermark). Die Streuung ist – bedingt durch die stark unterschiedlichen Emissionsquellen (Verkehr/Landwirtschaft) in den einzelnen Teilen der Regionen – zumeist sehr hoch (siehe Abbildung 16). Während z. B. der Westrand von Region 1 besonders hohe Konzentrationen aufweist, sind sie in der Osthälfte eher gering. Die hohe Verkehrs- und Siedlungsdichte kommt besonders im Unterinntal und im Rheintal- und Bodenseegebiet zum Tragen (siehe Karte 15). Messpunkte wie im oberösterreichischen Sauwald (Punkt 13-1, Viechtenstein), bei Eugendorf (Punkt 64-1) oder Hippach im Zillertal (Punkt 150-1; höchster gemessener Wert) sind primär durch Viehhaltung beeinflusst, unterliegen aber vermutlich auch Depositionen aus dem Ferntransport.

**Höchstkonzentrationen in den Regionen 2, 3 und 4**

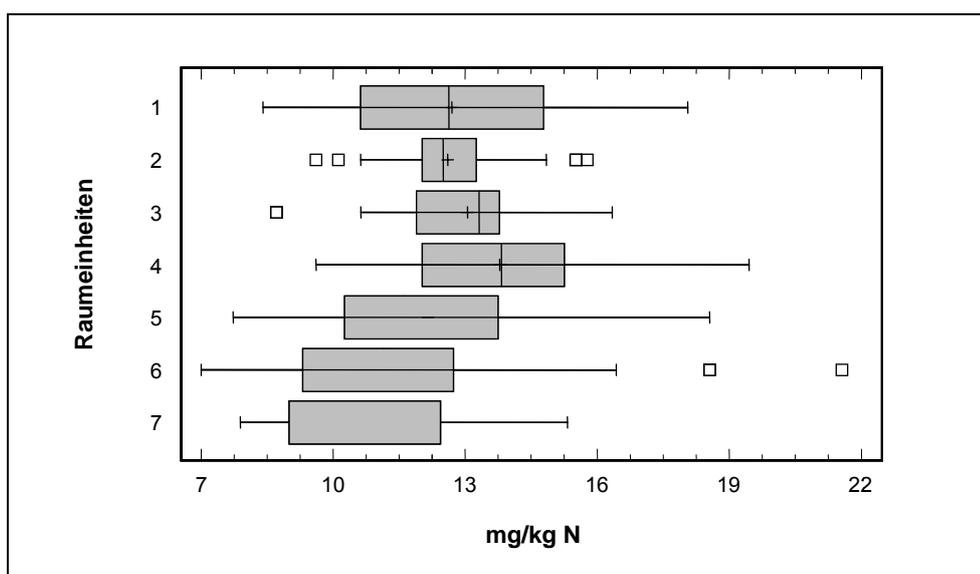


Abbildung 16: „Box & Whisker Plots“ der Stickstoffkonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Raumeinheiten.

### 3.3.14.4 Vergleich mit 1995 und 2000

Da Stickstoff gemäß den Richtlinien der UNECE ICP Vegetation (UNECE 2003) in der Aufsammlung 2005 zum ersten Mal analysiert wurde, ist ein Vergleich nicht möglich. Die Analyse der Proben von 2005 hat aber die Validität der Moose erneut untermauert. Da Stickstoff in den kommenden Jahren als besonders bedeutsamer Problemstoff angesehen werden muss, sollten weitere Beobachtungen folgen.

### 3.3.15 Vanadium (V)

#### 3.3.15.1 Allgemeines

##### **Toxizität von V**

Vanadium (OZ 23; A<sub>r</sub> 50,9) ist nur für bestimmte Organismen essenziell. In größeren Konzentrationen kommt es z. B. in den Vanadozyten im Blut von Seescheiden (Ascidien) vor. Es wird auch für die N<sub>2</sub>-Fixierung durch Bakterien benötigt und ist essenziell für Hühner und Ratten, möglicherweise auch für den Menschen. Die genaue Funktion von Vanadium ist Fall unklar, vermutlich spielt es aber im Energiehaushalt eine Rolle (STREIT 1994). In größeren Konzentrationen ist Vanadium aber sowohl hochtoxisch für Tiere als auch akkumulativ und karzinogen. Der natürliche Gehalt in Pflanzen liegt zwischen 0,5 und 4 ppm.

##### **natürliche Vorkommen von V**

Vanadium steht an 20. Stelle in der Häufigkeitsliste der Elemente der Erdkruste. Es kommt in zahlreichen Erzen vor, in größeren Mengen aber im Vanadinit {Pb<sub>5</sub>[Cl(VO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]}, bzw. in Titan-Eisenerzen. Je nach Herkunftsland können größere Mengen Vanadium auch in Erdöl und Kohle enthalten sein (bis zu 1.400 µg/g; HERPIN et al. 1994).

##### **Verwendung von V**

Über 80 % des gewonnenen Vanadiums werden als Zusatz zu Eisen- oder Stahllegierungen verwendet, vor allem für den Einsatzbereich von Geräten mit besonderer Belastung (Hochgeschwindigkeitsfahrzeuge, besonders widerstandsfähige Werkzeuge, Rostschutz). Vanadium wird auch als Katalysator in der chemischen Industrie eingesetzt (Kunststoffherzeugung). Häufigste Emissionsquellen sind die Metallproduktion, Flugaschen aus Öl- und Kohleverbrennung sowie Zementwerke und Ölraffinerien.

#### 3.3.15.2 Österreich gesamt

Der Mittelwert aller in Österreich gemessenen Vanadiumkonzentrationen in Moosproben liegt bei 1,2 µg/g, der Median bei 0,9 µg/g, das gemessene Minimum bei 0,2 µg/g und das Maximum bei 16,0 µg/g.

#### 3.3.15.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten

Raumeinheit 2 hat signifikant höhere Werte als alle anderen (Ausnahme Raumeinheit 3 – südöstliches Alpenvorland siehe Karte 16). Ansonst gibt es keine im statistischen Sinne signifikanten Unterschiede (siehe Abbildung 17).

Vanadium zeigt eine hohe Korrelation mit der Verbreitung von Chrom. Die V-Werte sind allgemein recht konstant und betragen meist unter 2 µg/g. Sind Werte erhöht, dann liegen diese oft deutlich darüber.

##### **Höchstwert in Treibach/Althofen**

Der höchste gemessene V-Wert (16 µg/g, mehr als das 10-fache des Medians!) stammt wie auch in den letzten Jahren aus Treibach/Althofen (Punkt 186-1, Pöckstein; siehe Karte 16). In den Treibacher Chemischen Werken ist nicht nur eine

Vanadinanlage in Betrieb, sondern es wird auch eine Vielzahl anderer schwermetallhaltiger Legierungen hergestellt bzw. verarbeitet (siehe ZECHMEISTER et al. 2004). Die in Moosen gemessenen Konzentrationen spiegeln die Immissionen der Jahre 2003–2005 wider.

Die erhöhten Konzentrationen in der Umgebung Wiens (siehe Karte 16) sind vermutlich auf die Emissionen aus Verbrennungsprozessen in diesem Raum und deren Verfrachtung zurückzuführen. Die Punkte um die Ölförderanlagen im östlichen Weinviertel zeigen die zweithöchsten Konzentrationen. Die Förderanlagen beeinflussen vermutlich auch andere Punkte in der Umgebung. Zusätzlich muss auch die Raffinerie bei Bratislava als bedeutender Emittent eingestuft werden. In der gesamten Raumeinheit 2 (Nordosten) sind der Ferntransport aus den tschechischen und polnischen Industriegebieten und mäßige Verunreinigung mit Bodenteilchen wirksam.

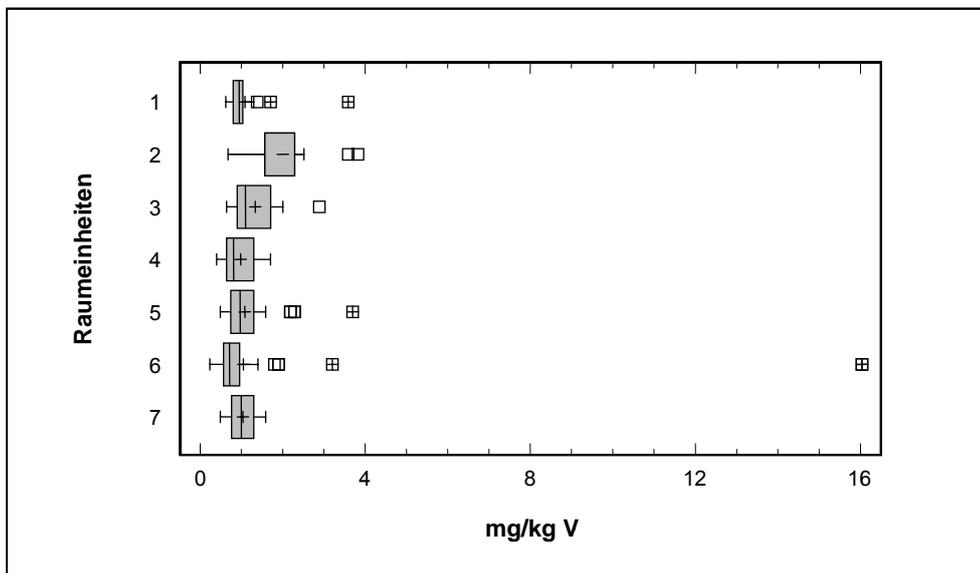


Abbildung 17: „Box & Whisker Plots“ der Vanadiumkonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Raumeinheiten.

#### 3.3.15.4 Vergleich mit 1995 und 2000

Bezogen auf die gesamtösterreichischen Moosdaten ist zwischen der Aufsammlung 2005 und jenen von 1995 und 2000 ein statistisch signifikanter Unterschied erkennbar. Die Abnahmen betragen gegenüber 1995 31,7 % und gegenüber 2000 18,2 %.

In der punktbezogenen Auswertung der Veränderungen zu 1995 stehen einer Vielzahl deutlicher Abnahmen einige größere Zunahmen (zerstreut im Gebiet) gegenüber. Gegenüber 2000 gab es deutliche Erhöhungen vor allem nördlich von Wien und im Südosten, aber punktuell auch im gesamten Gebiet. Eine weitere deutliche Erhöhung wurde – trotz bereits bei der Aufsammlung 2000 stark erhöhter Werte – in Treibach/Althofen (Punkt 186-1, Pöckstein) festgestellt.

In Tabelle 3 sind die Jahresvergleichswerte der Regionen zusammengefasst (siehe auch Kapitel 3.6). Die Veränderungen zwischen den Aufsammlungen 2000 und 2005 finden sich in Karte 31a, und jene zwischen 1995 und 2005 in Karte 31b.

**Abnahme der V-Konzentrationen um 18,2 % gegenüber 2000**

**punktuell erhöhte Werte in ganz Österreich**

### 3.3.16 Zink (Zn)

#### 3.3.16.1 Allgemeines

##### **Toxizität von Zn**

Zink (OZ 30; A<sub>r</sub> 65,4) ist als Bestandteil vieler Enzyme ein für Pflanzen und Tiere essenzielles Element. Es ist nur in sehr hohen Konzentrationen toxisch und reichert sich im menschlichen Körper nicht an. Akute Zinkvergiftungen äußern sich bei Pflanzen im Vergilben der jungen Blätter und dem Absterben des Vegetationspunktes, bei Tieren in Infertilität und Hautveränderungen. Zinkmangelerscheinungen treten häufiger auf als Überdosen und sind dementsprechend bedenklicher. Moose dürften einen relativ hohen Eigengehalt an Zink haben (ca. 20 µg/g), welcher unabhängig von den Emissionen ist und bei Depositionsberechnungen zum Abzug zu bringen ist (ZECHMEISTER et al. 2003).

##### **natürliche Vorkommen von Zn**

Zink steht an 24. Stelle in der Häufigkeitsliste der Erdkruste. Es kommt in sehr vielen Mineralien vor, zumeist vergesellschaftet mit Eisen oder Magnesium, wie in Pyroxenen [(Mg,Fe)2Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>] oder Amphibolen [Ca<sub>2</sub>(Mg,Fe)5Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>(OH)<sub>2</sub>]. Industriell wird Zink unter anderem aus Zinkblende (ZnS) oder Zinkspat (ZnCO<sub>3</sub>) gewonnen.

##### **Verwendung von Zn**

Zink wird in erster Linie als Rostschutz von Eisen- und Stahlprodukten verwendet. Sowohl anorganische als auch organische Zinkverbindungen finden eine äußerst breite Anwendung. Zinkoxid (ZnO) wird z. B. in Salben, Düngemitteln, Pigmenten oder Autoreifen verwendet. Einige dieser Verbindungen sind toxisch (z. B. Zinkvitriol) oder karzinogen (Zinkchromat). Hauptemittenten von Zink sind Zn-verarbeitende Industrien, die Buntmetallindustrie, aber auch Kohlekraftwerke und die Verbrennung von Kraftstoffen durch Fahrzeuge. Zink wird vermutlich auch durch Reifenabrieb von Kfz freigesetzt. Zink besitzt nach Blei und Cadmium den dritthöchsten anthropogenen Anreicherungsfaktor (Faktor 3) (ZECHMEISTER et al. 2005b).

#### 3.3.16.2 Österreich gesamt

Der Mittelwert aller in Österreich gemessenen Zinkkonzentrationen in Moosproben liegt bei 31,4 µg/g, der Median bei 29,0 µg/g, das gemessene Minimum bei 16 µg/g und das Maximum bei 120 µg/g.

#### 3.3.16.3 Konzentrationen in den einzelnen Raumeinheiten

Die Verteilung von Zink in den einzelnen Raumeinheiten ist relativ einheitlich (siehe Abbildung 18). Die Regionen 3 und 4 (südöstliches und nördliches Alpenvorland) weisen signifikant höhere Werte auf als alle anderen Raumeinheiten (Multiple Range-Test).

##### **Höchstwerte bei Leibnitz ...**

Der Höchstwert findet sich bei Leibnitz (Punkt 190-1; siehe Karte 17), die Ursachen sind unbekannt. Der Punkt zeigt auch bei Chrom, Nickel und Vanadium erhöhte Werte. Von einem lokalen Emittenten kann ausgegangen werden.

##### **... und bei Brixlegg**

In der Umgebung von Brixlegg sind gleichfalls sehr hohen Konzentrationen (bis 76 µg/g) zu finden (siehe Karte 17) und vermutlich auf die dort ansässige sekundäre Kupferhütte zurückzuführen. Von allen in diesem Betrieb emittierten Schwermetallen hat Zink den höchsten Emissionsfaktor (UMWELTBUNDESAMT 1995b; ZECHMEISTER et al. 2004). Zusätzlich dürften im unteren Inntal die von anderen Schwermetallen schon bekannten Einflussgrößen wie hohe Verkehrs- und Siedlungsdichte, Hausbrand und vermehrte Inversionswetterlagen ausschlaggebend sein.

Zonen mit mehreren deutlich erhöhten Werten liegen westlich der Landeshauptstadt Salzburg bzw. im Großraum Linz und den daran westlich anschließenden Gebieten (siehe Karte 17).

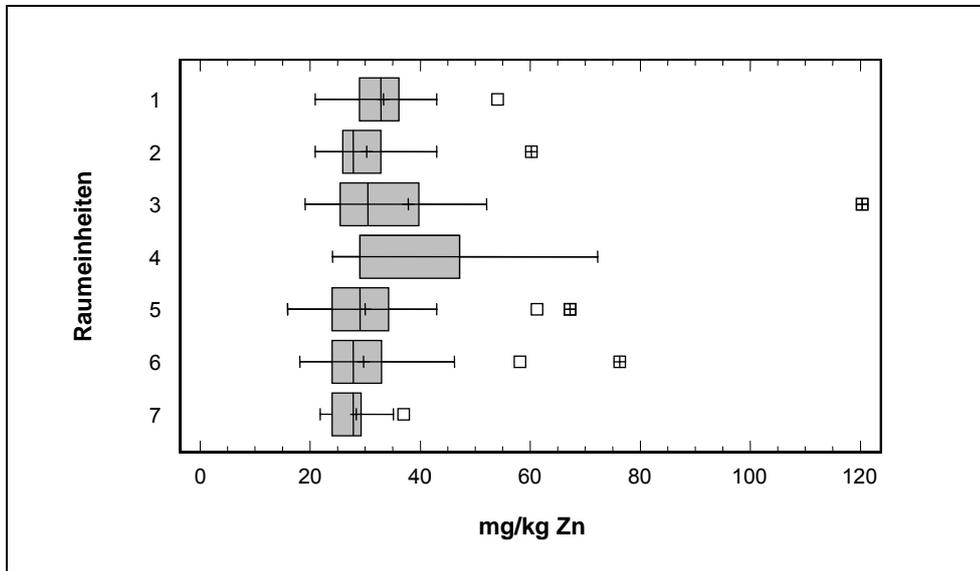


Abbildung 18: „Box & Whisker Plots“ der Zinkkonzentrationen (mg/kg TG Moos) in den einzelnen Regionen.

### 3.3.16.4 Vergleich mit 1995 und 2000

Bezogen auf die gesamtösterreichischen Moosdaten ist zwischen der Aufsammlung 2005 und jenen von 1995 und 2000 ein statistisch signifikanter Unterschied erkennbar. Die Abnahmen betragen gegenüber 1995 4,2 % und gegenüber 2000 6,4 %.

Die Veränderungen sind in den einzelnen Raumeinheiten sehr unterschiedlich. Eine Zunahme gegenüber 2000 gab es in den Raumeinheiten 3, 4 und 7 (südöstliches und nördliches Alpenvorland, Südalpen). Deutliche Abnahmen gab es in Region 5 (nördliche Flysch- und Kalkalpen). Auffallend sind die kontinuierlichen Zunahmen in der südöstlichen Steiermark (siehe Karten 32a, 32b).

In Tabelle 3 sind die Jahresvergleichswerte der Regionen zusammengefasst (siehe auch Kapitel 3.6). Die Veränderungen zwischen den Aufsammlungen 2000 und 2005 finden sich in Karte 32a und jene zwischen 1995 und 2005 in Karte 32b.

**Abnahme der Zn-Konzentrationen um 6,4 % gegenüber 2000**

**kontinuierliche Zunahme im SO der Steiermark**

Tabelle 3: Übersichtstabelle der Schwermetall- und Schwefelkonzentrationen in Moosen, gegliedert nach Raumeinheiten (RE) in den bisherigen Untersuchungsjahren; Konzentrationen in µg/g Trockengewicht Moos; Mw = Mittelwert; Std = Standardabweichung; Md = Median; (Regionen siehe Tabelle 1).

	RE	Pb				V				S				Zn			
		2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991
Mw	1	4,7	5,8	9,4	11,0	1,1	1,3	1,9	2,0	1.011	1.040	1.235	1.058	33,2	36,0	36,0	31,0
Std	1	1,0	2,0	2,3	4,2	0,6	0,4	0,7	0,9	139	174	169	125	6,9	8,3	9,1	3,1
Md	1	4,9	5,1	9,2	9,6	1,0	1,2	2,0	1,5	995	1.036	1.225	1.020	33,0	34,1	33,0	29,2
Mw	2	6,4	7,5	11,4	14,4	2,0	2,2	3,4	3,0	1.064	1.230	1.277	1.170	30,0	31,7	33,0	42,5
Std	2	2,8	3,1	4,2		0,7	0,9	1,6	1,0	129	181	134	279	8,7	8,0	7,5	1,1
Md	2	5,8	6,9	9,6	14,4	1,9	2,0	3,0	3,0	1.100	1.244	1.260	1.170	28,0	31,3	32,5	42,5
Mw	3	4,9	5,8	9,1	18,8	1,3	1,2	1,4	2,6	1.033	1.124	1.039	994	37,8	30,7	27,4	30,7
Std	3	2,2	1,6	3,1		0,6	0,3	0,4		119	158	120		23,7	8,9	4,9	
Md	3	4,5	5,5	8,8	18,8	1,1	1,1	1,3	2,6	1.000	1.167	1.035	994	30,5	30,1	27,0	30,7
Mw	4	5,6	6,4	9,8		1,0	1,2	1,6		1.059	1.179	1.386		39,0	34,6	41,1	
Std	4	2,5	3,2	5,4		0,4	0,6	1,1		166	212	198		12,3	10,4	12,5	
Md	4	5,2	5,7	8,9		0,8	1,0	1,3		1.000	1.170	1.330		35,0	31,3	39,0	
Mw	5	4,5	8,1	11,7	16,2	1,1	1,5	1,7	2,2	954	1.176	1.141	1.118	29,7	40,0	35,1	41,1
Std	5	3,6	3,9	4,8	7,6	0,5	0,6	1,1	0,6	159	166	190	247	8,9	11,0	10,3	11,3
Md	5	3,5	7,1	10,7	15,8	1,0	1,4	1,5	2,1	940	1.188	1.130	1.196	29,0	39,6	32,0	37,7
Mw	6	3,1	5,8	8,0	14,1	1,0	1,3	1,3	1,7	890	947	978	1.023	29,6	31,1	29,3	41,7
Std	6	1,4	2,8	3,6	4,9	1,9	1,2	1,7	1,1	142	155	139	160	9,1	14,1	8,6	31,9
Md	6	3,0	5,1	7,4	15,5	0,7	1,1	1,1	1,3	865	930	980	1.014	28,0	27,5	28,0	32,3
Mw	7	3,6	6,7	10,7	11,6	1,0	1,5	1,5	1,4	925	1.075	1.027	973	28,1	23,8	30,5	44,4
Std	7	0,9	3,1	5,8	1,9	0,3	0,5	0,5	0,2	173	136	189	88	4,3	7,2	5,8	3,9
Md	7	3,6	6,3	9,0	11,6	1,0	1,3	1,5	1,4	900	1.085	1.090	973	28,0	21,0	29,0	44,4



	RE	Fe				Cu				Al		Cr				Ni			
		2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991	2005	2000	2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991
Mw	1	411	414	546	396	5,2	5,9	6,2	4,6	288	313	0,8	0,8	1,4	1,7	1,0	1,4	1,5	3,1
Std	1	400	188	331	258	1,0	0,9	1,7	1,0	244	122	0,5	0,5	1,1	0,6	0,6	1,4	0,6	1,6
Md	1	300	386	500	272	5,2	5,7	5,5	4,9	240	293	0,7	0,6	1,0	1,5	0,8	1,0	1,3	2,4
Mw	2	968	893	1.298	1.298	5,2	5,8	6,1	5,6	782	708	1,5	1,4	2,2	3,4	1,8	1,9	2,7	4,8
Std	2	477	334	853	236	1,1	0,9	1,1	1,6	401	280	0,6	0,5	1,2	0,0	0,8	0,6	1,3	1,9
Md	2	875	873	1.035	1.298	5,0	5,8	5,9	5,6	700	667	1,4	1,5	1,9	3,4	1,6	1,9	2,4	4,8
Mw	3	605	397	392	1.038	5,7	6,5	4,9	5,6	518	328	1,0	0,7	0,8	3,1	1,9	1,6	1,6	3,6
Std	3	357	132	154		1,4	1,7	0,9		281	104	0,4	0,2	0,2		0,8	0,5	0,7	
Md	3	465	381	350	1.038	5,5	6,5	4,8	5,6	400	323	1,0	0,7	0,8	3,1	1,9	1,5	1,5	3,6
Mw	4	385	541	574		5,2	5,8	7,6		273	383	0,9	0,9	1,4		1,9	1,8	1,9	
Std	4	260	432	622		1,3	1,4	1,8		157	258	0,6	0,7	1,3		1,8	0,9	1,1	
Md	4	270	419	380		5,5	5,8	6,9		220	289	0,7	0,7	0,7		1,5	1,8	1,3	
Mw	5	335	464	390	745	5,7	7,7	6,4	6,4	269	388	0,7	0,9	0,8	2,3	1,1	1,4	1,4	2,5
Std	5	222	215	258	522	4,4	5,1	2,6	2,4	181	188	0,3	0,4	0,5	1,2	0,7	1,1	1,0	1,2
Md	5	260	384	295	540	5,0	7,2	6,2	5,7	220	326	0,6	0,8	0,7	2,1	0,8	1,0	1,0	2,5
Mw	6	304	462	369	718	5,4	6,4	5,3	5,8	238	334	0,6	0,7	0,7	2,3	1,2	1,5	1,5	2,5
Std	6	246	430	216	724	1,9	2,5	1,6	1,3	152	140	0,6	0,4	0,4	1,6	0,8	0,8	1,4	1,7
Md	6	255	381	320	470	5,0	5,9	4,9	6,0	205	317	0,5	0,6	0,6	2,0	1,0	1,3	1,2	1,9
Mw	7	322	386	375	341	5,2	6,2	5,8	6,3	271	325	0,6	0,7	0,7	1,1	1,1	1,3	1,2	1,4
Std	7	108	118	301	47	0,8	1,3	1,7	0,6	81	99	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,4	0,5	0,2
Md	7	310	394	310	341	5,1	6,3	5,3	6,3	260	320	0,6	0,8	0,7	1,1	1,0	1,3	1,2	1,4



	RE	Cd				Mo			Co				Hg				As			
		2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991
Mw	1	0,19	0,19	0,25	0,30	0,14	0,16	0,25	0,26	0,33	0,27	0,20	0,06	0,05	0,05	0,06	0,10	0,09	0,12	0,6
Std	1	0,05	0,04	0,10	0,00	0,04	0,04	0,11	0,16	0,19	0,17	0,10	0,01	0,01	0,02	0,01	0,14	0,04	0,11	0,3
Md	1	0,19	0,20	0,22	0,30	0,13	0,15	0,27	0,21	0,29	0,13	0,20	0,06	0,06	0,05	0,07	0,07	0,08	0,07	0,5
Mw	2	0,21	0,20	0,23	0,35	0,22	0,31	0,28	0,47	0,51	0,51	0,70	0,06	0,06	0,07	0,10	0,49	0,38	0,52	1,6
Std	2	0,05	0,07	0,07	0,07	0,12	0,13	0,12	0,22	0,18	0,35	0,14	0,01	0,01	0,01	0,00	0,46	0,20	0,41	0,3
Md	2	0,20	0,17	0,21	0,35	0,13	0,30	0,30	0,41	0,45	0,41	0,70	0,06	0,05	0,06	0,10	0,38	0,36	0,40	1,6
Mw	3	0,24	0,22	0,25	0,30	0,15	0,25	0,74	0,57	0,38	0,34	0,90	0,05	0,05	0,04	0,02	0,18	0,10	0,11	0,7
Std	3	0,06	0,04	0,05		0,05	0,08	0,38	0,37	0,14	0,18		0,02	0,01	0,01		0,17	0,03	0,07	
Md	3	0,24	0,22	0,24	0,30	0,13	0,23	0,86	0,49	0,35	0,33	0,90	0,04	0,05	0,04	0,02	0,10	0,10	0,07	0,7
Mw	4	0,25	0,31	0,31		0,20	0,29	0,31	0,37	0,43	0,36		0,06	0,05	0,08		0,10	0,13	0,18	
Std	4	0,11	0,27	0,12		0,14	0,23	0,17	0,23	0,29	0,33		0,02	0,01	0,02		0,08	0,11	0,22	
Md	4	0,23	0,23	0,26		0,13	0,22	0,31	0,33	0,31	0,13		0,06	0,05	0,07		0,08	0,09	0,07	
Mw	5	0,27	0,24	0,30	0,44	0,32	0,41	0,34	0,20	0,27	0,18	0,43	0,06	0,06	0,07	0,05	0,11	0,13	0,11	0,5
Std	5	0,27	0,11	0,13	0,26	0,28	0,20	0,17	0,11	0,13	0,13	0,30	0,03	0,03	0,02	0,02	0,11	0,08	0,08	0,3
Md	5	0,20	0,21	0,26	0,40	0,23	0,40	0,32	0,15	0,24	0,13	0,30	0,05	0,06	0,06	0,05	0,07	0,10	0,07	0,5
Mw	6	0,15	0,16	0,20	0,33	0,27	0,28	0,60	0,26	0,32	0,26	0,65	0,06	0,06	0,05	0,04	0,09	0,14	0,11	0,5
Std	6	0,09	0,07	0,09	0,10	0,66	0,37	0,97	0,19	0,25	0,20	0,55	0,02	0,04	0,02	0,01	0,06	0,18	0,07	0,3
Md	6	0,13	0,15	0,18	0,30	0,14	0,20	0,27	0,21	0,26	0,13	0,50	0,05	0,05	0,05	0,04	0,07	0,11	0,07	0,4
Mw	7	0,19	0,20	0,23	0,35	0,13	0,27	0,83	0,19	0,28	0,29	0,30	0,05	0,05	0,04	0,03	0,09	0,11	0,13	0,7
Std	7	0,07	0,10	0,07	0,07	0,02	0,07	0,26	0,06	0,06	0,19	0,00	0,03	0,01	0,01	0,01	0,05	0,04	0,11	0,5
Md	7	0,18	0,17	0,21	0,35	0,13	0,30	0,82	0,18	0,31	0,26	0,30	0,05	0,05	0,05	0,03	0,08	0,11	0,07	0,5





### 3.4 Ergebnisse gegliedert nach Bundesländern

In diesem Kapitel werden die aktuelle Situation und der Vergleich mit den Aufsammlungen 1995 und 2000 getrennt nach den einzelnen Bundesländern besprochen. Da meist mehrere Raumeinheiten in einem Bundesland vorzufinden sind, sind die Depositionen in den einzelnen Teilen eines Bundeslandes oft unterschiedlich. Daher sind neben den in diesem Kapitel angeführten allgemeinen Betrachtungen auch die Trends der jeweiligen Raumeinheiten zu berücksichtigen (siehe Kapitel 3.3). Die Nummern der Standorte entsprechen den Bezeichnungen der Karte 1a, weitere Angaben zu den Standorten sind im Anhang ersichtlich.

#### 3.4.1 Burgenland

Im Burgenland wurden, dem Flächenanteil entsprechend, Moose an 12 Sammelpunkten gesammelt. Das Burgenland hat Anteil an den Raumeinheiten Nordosten/Pannonischer Raum (Region 2; 7 Punkte), südöstliches Alpenvorland (Region 3; 4 Punkte) und den kristallinen Zentralalpen (Region 6; 1 Punkt).

##### Aktuelle Situation

Die durchschnittlichen Schwermetalldepositionen im Burgenland liegen meist deutlich über dem österreichischen Durchschnitt. Alle untersuchten Elemente gemeinsam betrachtet (Friedman rank sum-Test) weist das Burgenland von allen Bundesländern die höchsten Konzentrationen auf. Die Mittelwerte der Al-, As-, Co-, Cr-, Fe-, Ni-, Pb- und V- Konzentrationen sind im Burgenland am höchsten (siehe Tabelle 4). Vor allem Co und Fe sind besonders erhöht (siehe Abbildung 20 und Abbildung 21).

Diese überdurchschnittlichen Konzentrationen haben mehrere Gründe:

Einerseits sind viele Standorte des Burgenlandes aktuellen Emissionen aus dem Großraum Wien ausgesetzt. Die mit den vorherrschenden Westwinden verfrachteten Luftverunreinigungen sind vermutlich dafür in erster Linie verantwortlich. Dafür spricht, dass im Nordburgenland zumeist höhere Werte zu finden sind als in den südlichen Landesteilen. Dies ist vor allem bei den vorwiegend anthropogen verursachten Schwermetallen Hg, V, Sb und Pb besonders auffällig.

Da praktisch alle an Österreich östlich angrenzenden Länder im europäischen Rahmen gesehen überdurchschnittlich hohe Depositionswerte haben, ist auch der grenzüberschreitende Ferntransport von Bedeutung.

Weiters gibt es im Burgenland selbst eine Reihe von lokalen Emissionsquellen, die für zum Teil deutlich erhöhte Werte sorgen (z. B. in Bad Sauerbrunn (Punkt 76-2) bei As, Pb, Cd und Zn).

Andererseits kann aufgrund der Elementverteilung von einer überdurchschnittlichen sekundären Verunreinigung der Proben mit Bodenstaub ausgegangen werden. Dies erklärt sich aus den großflächig offenen Weinbau- und Ackerlandschaften des Bundeslandes und den durch den Wind vertragenen Boden. Dadurch werden im Boden abgelagerte Schwermetalle auf den Pflanzen (unter ihnen die Moose) deponiert.

**letzter Platz im Ranking der Bundesländer**

**Ferntransport aus Wien und dem Osten**

**lokale Emittenten**



**geogene Grundbelastung** Standorte des mittleren Burgenlandes sind zusätzlich noch durch erhöhte geogene Werte gekennzeichnet. Besonders auffallend sind dabei die Werte von Co, Cr und Ni (Serpentin); dies betrifft z. B. den Punkt bei Oberwart/Rechnitz (138-2).

### Veränderungen gegenüber früheren Aufsammlungen

**zum Teil beträchtliche Zunahmen gegenüber 2000**

Betrachtet man die Mittelwerte von 1995 und 2000, so kam es bei mehr als der Hälfte aller Elemente zu einer Zunahme (siehe Tabelle 4 und Tabelle 5). Die Rückgänge bei den Schwermetallen Pb (– 15,4 %), Cu (– 16,4 %), Mo (– 17,6 %) und S (– 16,9 %) sind beträchtlich (siehe Tabelle 5). Bei Verwendung der Mediane sind die Veränderungen ähnlich. Die Rückgänge bei Blei (bleifreier Treibstoff) und Schwefel (Heizöl leicht) sind auf legislative Bestimmungen und ihre Umsetzung seitens der Industrie zurückzuführen.

### 3.4.2 Kärnten

In Kärnten wurden Moose an 26 Standorten gesammelt. Kärnten hat Anteil an den Raumeinheiten Südalpen, inkl. Klagenfurter Becken (Region 7; 14 Punkte) und den kristallinen Zentralalpen (Region 6; 12 Punkte).

#### Aktuelle Situation

**Mittelplatz im Ranking der Bundesländer**

Gesamt gesehen liegt Kärnten im österreichischen Mittelfeld. Die Mittelwerte der meisten Schwermetalle in Moosen liegen in Kärnten unter dem österreichweiten Durchschnitt (siehe Tabelle 4). Die mittleren Konzentrationen bei Vanadium und Quecksilber liegen allerdings in Kärnten über dem Durchschnitt.

**lokaler Emittent verursacht europäische Spitzenwerte**

Im Raum Treibach-Althofen finden sich die absoluten Höchstwerte einzelner Metalle (V, Mo, Cr, Ni) sowohl in Bezug auf Kärnten als auch auf ganz Österreich. Die gefundenen Konzentrationen sind oft mehr als zehnmals so hoch wie der österreichische Durchschnitt. Die Umgebung der Treibacher Chemischen Werke gehört zu den Regionen mit den höchsten Schwermetalleinträgen in Österreich und Europa (siehe auch Kapitel 3.3.15). Der Einfluss der TCW reicht in den Hauptwindrichtungen bis in eine Entfernung von mindestens 20 km (ZECHMEISTER et al. 2004).

**niedrige Durchschnittswerte in vielen Regionen**

Sieht man von der Umgebung der Industriestandorte ab, liegen die meisten Probestandorte zum Teil weit unter dem Durchschnitt, obwohl das Klagenfurter Becken mit relativ hoher Siedlungsdichte und den damit verbundenen Problemen (Hausbrand, Verkehr) und der Beckenlagen mit Inversion höhere Werte erwarten hätte lassen. Die Standorte entlang der Karawanken und Karnischen Alpen zeigen meist etwas höhere Konzentrationen als jene der anderen Landesteile (z. B. Globasnitz, Punkt 204-2). Hier ist auch der geogene Hintergrund als Einflussfaktor zu betrachten. Der Standort Arnoldstein ist im Vergleich mit früheren Jahren nur noch bei Blei etwas auffallend, die Konzentrationen sind aber deutlich niedriger als bei früheren Untersuchungen.

### Veränderungen gegenüber früheren Aufsammlungen

**meist Abnahmen der Konzentrationen, Zunahme bei Zn**

Obwohl Kärnten im Allgemeinen relativ niedrige Werte aufweist, ist doch bei Zink (+ 12,4 %) eine Zunahme gegenüber der Aufsammlung von 2000 zu beobachten (siehe Tabelle 4 und Tabelle 5). Dem steht allerdings im Vergleich zu 1995 eine

Gesamtabnahme von 4,4 % gegenüber. Viele Metalle wurden stark reduziert. Blei (Abnahme gegenüber 2000 um 47,2 %, gegenüber 1995 um 65,9 %, siehe Tabelle 5) liegt dabei im internationalen Trend. Erstaunlich auch die hohen Abnahmen bei Cobalt und Arsen, die in Kärnten nicht mit den Starkniederschlägen während der Sammelperiode in Zusammenhang gebracht werden können, da die Aufsammlung davor erfolgte. Bei Vanadium, Molybdän und Chrom sind teilweise starke Abnahmen im Median zu beobachten, dem steht eine geringe Abnahme beim Mittelwert gegenüber, was auf die Zunahmen in Treibach/Althofen zurückzuführen ist (siehe Tabelle 5).

### 3.4.3 Niederösterreich

In Niederösterreich wurden der Größe des Bundeslandes entsprechend die meisten Proben gesammelt (45 Standorte). Niederösterreich hat Anteil an den meisten Raumeinheiten: kristallines Mittelgebirge (Region 1; 12 Punkte), Nordosten/Pannonischer Raum (Region 2; 17 Punkte), nördliches Alpenvorland (Region 3; 3 Punkte), nördliche Flysch- und Kalkalpen (Region 5; 10 Punkte) und den kristallinen Zentralalpen (Region 6; 3 Punkte).

#### Aktuelle Situation

Die Durchschnittswerte der einzelnen Metalle liegen mit Ausnahme von Ni und Mo über jenem des österreichischen Mittelwertes, und jeweils im oberen Drittel (siehe Tabelle 4, Tabelle 5, Abbildung 21 und Abbildung 22). Betrachtet man die Summe aller untersuchten Elemente sind die Konzentrationen in Niederösterreich am dritthöchsten (siehe Karte 18). Al, As, Cr, Fe und S liegen signifikant über den Werten der meisten anderen Bundesländer.

Mit einigen punktuellen Ausnahmen liegen die Werte der nordöstlichen und östlichen Landesteile meist deutlich über den anderen Landesteilen. Dies hat seine Ursachen einerseits in den Emissionen des Ballungsraumes Wien, wobei aber Standorte wie die Raffinerie Schwechat oder der Flughafen Schwechat auf niederösterreichischem Gebiet liegen. Eine Reihe lokaler Quellen außerhalb von Wien, wie die Ölförderanlagen um Matzen, sind ebenfalls zu berücksichtigen. Grenzüberschreitender Schadstofftransport aus den östlichen Nachbarländern (Slowakei, Polen) ist eine zusätzliche Quelle. Die Auswirkungen der Raffinerien dies- und jenseits der Grenze sind z. B. besonders bei Vanadium und Nickel zu sehen.

Der vergleichsweise erhöhte Aluminium-Anteil (siehe Abbildung 19) mancher Proben (Punkte 23-1, Wullersdorf; 40-1, Stranzendorf; 41-1, Schleibach) deutet zum Teil auf Sekundärkontamination mit Bodenteilchen hin. Aktuelle Depositionen können dadurch nicht deutlich von jenen der letzten Jahre unterschieden werden. Insgesamt sind die Werte an den drei genannten Punkten bei vielen Elementen (z. B. V, Cu, As, Fe) aber sehr hoch.

Der Punkt bei Pöchlarn (54-1) ist bei einer Reihe von Elementen auffällig (Zn, Cr, Cd, Mo) die auf den Einfluss von Emissionen schließen lassen. Alle genannten Elemente haben einen deutlichen Bezug zu den Emissionen aus dem Kfz-Verkehr (ZECHMEISTER et al. 2005b).

Der Punkt bei Fischamend (60-2), welcher neu in das Programm aufgenommen wurde, dürfte massiv von Emissionen aus dem Flugverkehr bzw. der Raffinerie Schwechat beeinflusst sein. Er zeigt deutlich erhöhte Werte bei Pb, V, Zn, Cu, Mo und As – durchwegs Elemente, die primär anthropogen freigesetzt werden. Sekundärkontamination mit Bodenteilchen dürfte an diesem Standort ausscheiden.

**Konzentrationen  
deutlich über dem  
Durchschnitt**

**lokale Quellen,  
Ferntransport,  
Bodenstaub**



### Veränderungen gegenüber früheren Aufsammlungen

#### **Rückgang mit Ausnahme der Bodenzeiger**

Mit Ausnahme der Bodenzeiger Al (+ 0,6 %), As (+ 11,4 %) und Cr (+ 1,8 %) ist bei allen Metallen ein meist deutlicher Rückgang zu verzeichnen (siehe Tabelle 4 und Tabelle 5). Die Prozentsätze der Abnahmen sind zum Teil bedeutend und liegen gegenüber der Aufsammlung aus dem Jahr 2000 meist zwischen – 10 % und – 15 %, gegenüber 1995 oft über – 20 %. Die Abnahme bei Blei beträgt gegenüber 2000 bereits – 26,2 %.

### 3.4.4 Oberösterreich

In Oberösterreich wurden Proben an 32 Standorten gesammelt. Oberösterreich hat Anteil an den Raumeinheiten kristallines Mittelgebirge (Region 1; 12 Punkte), nördliches Alpenvorland (Region 4; 13 Punkte) und den nördlichen Flysch- und Kalkalpen (Region 5; 7 Punkte).

#### Aktuelle Situation

#### **Konzentrationen im Mittelfeld**

Betrachtet man die Summe aller untersuchten Elemente, liegen die Konzentrationen in diesem Bundesland im Mittelfeld (siehe Karte 18). Oberösterreich zeigt mit Ausnahme von Pb, Cd, Zn, S und N Konzentrationen unter den österreichischen Mittelwerten (siehe Tabelle 4). Diese Elemente haben alle einen sehr hohen anthropogenen Anreicherungsfaktor und stammen aus aktuellen Emissionen.

Generell sind die Cd-Werte entlang des nördlichen Teils der Kalkvorralpen erhöht. Eine Verfrachtung aus dem Zentralraum oder dem Ausland, bzw. die erhöhte Cd-Mobilität in Karbonatböden sind dafür verantwortlich. Das westliche Oberösterreich und der Zentralraum zeigen vor allem erhöhte Werte bei Sb, Co, Hg, Zn, S und N (siehe entsprechende Karten im Anhang). Bei Stickstoff spielt die intensive Landwirtschaft in diesem Raum eine maßgebliche Rolle.

#### **deutlicher Einfluss lokaler Emittenten**

Die Cr-, Ni- und Fe-Konzentrationen sind im südwestlichen Oberösterreich auffällig erhöht und entsprechen den Emissionen der Eisen- und Stahlproduktion. Sie können sowohl aus lokalen Quellen aus der Eisenwurz als auch aus einer Fernverfrachtung aus dem Linzer Raum stammen.

Auffällig sind die Punkte bei Altenberg/Linz und Hinzenbach/Eferding. Beide Messstellen zeigen bei Fe, Cr, V, Mo und Hg erhöhte Werte, was auf einen eindeutigen Einfluss aus der Eisen- und Stahlproduktion schließen lässt. Im Alpenvorland ist der Punkt bei Tiefgraben/Vöcklabruck (65-1) auffällig. Er zeigt bei Pb, Cd und Zink erhöhte Werte. Diese Metalle werden primär anthropogen emittiert, ein Emittent ist jedoch nicht bekannt. In Pattigham/Ried (Punkt 47-1) sind die Konzentrationen von Cd, Ni und V deutlich erhöht. Ein lokaler Emittent ist zu vermuten.

### Veränderungen gegenüber früheren Aufsammlungen

#### **generelle Abnahme und deutliche Zunahmen in einzelnen Gebieten**

Generell sind die Konzentrationen in den letzten Jahren gesunken. Gegenüber 1995 sind bei allen Metallen (außer Co) Rückgänge in den durchschnittlichen Konzentrationen zu verzeichnen. Bei Zn, Cr, Co und Hg ist gegenüber der Aufsammlung 2000 allerdings eine Erhöhung der Konzentrationen aufgetreten (siehe Tabelle 4 und Tabelle 5). Diese Elemente zeigen einen starken Bezug zur Metall erzeugenden und bearbeitenden Industrie.



Die Veränderungen sind uneinheitlich. Während der Zentralraum stärkere Abnahmen verzeichnet, haben im Westen des Bundeslandes (Innviertel) bzw. im Nordwestlichen Mühlviertel die Konzentrationen in den letzten 15 Jahren bisweilen sogar deutlich zugenommen (siehe auch Karten mit den Abbildungen der Veränderungen im Anhang). Die durchschnittliche Abnahme bei Blei ist z. B. deutlich schwächer als in anderen Bundesländern und ist in einer deutlichen Zunahme einzelner Standorte begründet (siehe auch Karten 21a und 21b).

### 3.4.5 Salzburg

Im Bundesland Salzburg wurden 18 Standorte besammelt. Salzburg hat Anteil an den Raumeinheiten nördliches Alpenvorland (Region 4; 1 Punkt), nördliche Flysch- und Kalkalpen (Region 5; 4 Punkte) und den kristallinen Zentralalpen (Region 6; 13 Punkte).

#### Aktuelle Situation

Bezogen auf die Summe aller Metalle finden sich im Bundesland Salzburg die niedrigsten Konzentrationen (siehe Karte 18). Salzburg weist im Vergleich mit den anderen Bundesländern bei nahezu allen Schwermetallen die im Durchschnitt niedrigsten Konzentrationen in Moosen auf (siehe Tabelle 4).

**geringste  
Schwermetall-  
konzentrationen**

Der durchschnittliche Al-Gehalt der Proben ist sehr niedrig, was auf geringe sekundäre Kontamination mit Bodenstaub hinweist. Die gemessenen Werte entsprechen daher weitgehend den Depositionen der Jahre 1998–2000.

Die Standorte im Flachgau weisen im Vergleich mit dem Salzburger Durchschnitt höhere Werte als jene der anderen Teile des Landes auf. Vor allem der Standort Eugendorf (64-1) zeigt auch im österreichweiten Vergleich deutlich erhöhte Werte bei Pb, Cu und Cd. Alle drei Metalle werden vor allem bei Verbrennungsprozessen emittiert.

Die beiden Punkte in der unmittelbaren Umgebung der Landeshauptstadt – Anthering und Eugendorf (63-1, 64-1) – sowie der Punkt bei Unken (92-1) und jener bei St. Kolomann (94-1) zeigen bei allen Metallen die mit Abstand höchsten Werte im Bundesland. Bei allen diesen Punkten kommen lokale Quellen (erhöhte Siedlungsdichte, Verkehr, lokale Industrie) als Verursacher in Frage. Alle anderen Punkte zeigen extrem niedrige Werte.

**nur wenige Punkte  
im Norden des  
Landes mit erhöhten  
Werten**

#### Veränderungen gegenüber früheren Aufsammlungen

Gegenüber der Aufsammlung von 2000 sind bei allen Elementen mit Ausnahme von Zink Rückgänge zu verzeichnen. Die Zn-Konzentrationen sind allerdings an den meisten Standorten bereits so niedrig, dass sie weitgehend dem natürlichen Anteil in Moosen (ca. 20 µg/g) entsprechen. Veränderungen in diesem Bereich sind daher nicht relevant. Mit Ausnahme von Schwefel und Arsen liegen die Rückgänge über 10 %. Sie sind besonders hoch bei Pb, Al, Cr und Fe. Dies deutet neben der allgemeinen Abnahme der Pb-Emissionen und daher der Pb-Konzentrationen auf eine geringere Verunreinigung der Proben mit Bodenstaub hin, was durch die Niederschläge in der Aufsammlungsperiode bedingt sein könnte. Andererseits sind die Abnahmen seit Beginn der Untersuchungen (1991) kontinuierlich, was die Ein-

**deutlicher Rückgang  
der Konzentrationen**



wirkungen der Niederschläge relativiert. Die deutlichen Rückgänge der Konzentrationen müssen dennoch mit Vorsicht interpretiert werden und bedeuten in ihrer Größenordnung nicht unbedingt eine ebensolche Reduktion der Emissionen im Land.

An den einzelnen Punkten sind die Veränderungen gering (siehe auch Karten 19–32).

### 3.4.6 Steiermark

In der Steiermark wurde an 40 Standorten Proben gesammelt. Die Steiermark hat Anteil an den Raumeinheiten südöstliches Alpenvorland (Region 3; 9 Punkte), nördliche Flysch- und Kalkalpen (Region 5; 7 Punkte) und den kristallinen Zentralalpen (Region 6; 24 Punkte).

#### Aktuelle Situation

##### ***Mittelplatz im Ranking der Bundesländer***

Gesamt gesehen liegt die Steiermark im österreichischen Mittelfeld. Die Mittelwerte der meisten analysierten Elemente liegen in der Steiermark unter dem österreichweiten Durchschnitt (siehe Tabelle 4).

Es zeigen sich zwei Schwerpunktregionen, die zum Teil deutlich erhöhte Konzentrationen aufweisen: Die Mur-Mürz-Furche und die Südsteiermark einschließlich des Grazer Beckens.

##### ***Belastungen in der Obersteiermark***

In der Obersteiermark sind vor allem die Metalle As, Cr, Co, Fe, Mo, Ni und Hg deutlich erhöht (siehe Karten im Anhang). In dieser Region ist zweifelsfrei die ansässige Industrie als Ursache zu nennen. Die genannten Metalle zeigen vor allem einen starken Zusammenhang zur Eisen produzierenden und verarbeitenden Industrie. Die Hg-Problematik in diesem Raum ist bekannt (siehe auch ZECHMEISTER et al. 2004).

##### ***Belastungen in der Südsteiermark und im Grazer Becken***

Die Südsteiermark weist vor allem bei den Elementen Pb, Cd, Fe, Cu, Ni, S, N, V und Zink zum Teil sehr hohe Werte auf. Die meisten Punkte in dieser Region zeigen deutlich erhöhte Konzentrationen. Alle genannten Elemente stammen aus unterschiedlichen anthropogenen Prozessen. Die Industrialisierung im Raum um und südlich von Graz nimmt ständig zu, ebenso der Verkehr in dieser Region. Beide Emittenten sind als Quellen der genannten Elemente zu nennen.

Die Punkte bei St. Ruprecht/Raab (165-1) und Wildon (190-1) zeigen u. a. auch hohe Konzentrationen an Aluminium und Eisen, was auf eine Bodenkontamination schließen lässt. Die zum Teil extrem hohen Werte beinhalten daher auch Depositionen aus früheren Zeiträumen.

##### ***erhöhte Cd-Werte in den nördlichen Kalkalpen***

Außerhalb der beiden genannten Regionen sind die beiden Punkte bei Altaussee (96-1) und Wildalpen (101-1) bezüglich Cadmium extrem auffällig. Dies ist einerseits auf den durch Niederschlag bedingten Ferntransport als auch auf die erhöhte Cd-Mobilität in Kalkböden zurückzuführen.

Die Stickstoff-Konzentrationen der Südoststeiermark sind beträchtlich und stammen primär von Depositionen aus der Landwirtschaft in dieser Gegend.



### Veränderungen gegenüber früheren Aufsammlungen

Die Hälfte der Elemente zeigt gegenüber der Aufsammlung 2000 eine Abnahme (siehe Tabelle 4 und Tabelle 5). Bei Zn, Cd, Fe, Al, Cr, Co und As gibt es allerdings (zum Teil deutliche) Steigerungen bezüglich des Mittelwertes. Betrachtet man den Median gibt es bei keinem Element einen Zuwachs gegenüber 2000. Dies ist durch die extrem starke Zunahme mehrerer Elemente einzelner Punkte zu erklären (132-1, Trofaiach; 190-1, Wildon; 165-1, St. Ruprecht a.d.R.; 166-1, Ebersdorf); bei den Punkten 96-1 (Altaussee) und 101-1 (Wildalpen) die Zunahme bei Cadmium.

Der Trend der Veränderungen gegenüber der Aufsammlung von 1995 ist ähnlich. Die Zunahme an den erwähnten Punkten ist eine über viele Jahre hinweg kontinuierliche und sollte kritisch betrachtet werden. Der Einfluss der Starkniederschläge in der Steiermark im Sommer 2005 ist zu vernachlässigen, da ein Großteil der Proben vor diesen Ereignissen gesammelt wurde.

### *Ab- und Zunahmen ausgeglichen*

### 3.4.7 Tirol

In Tirol wurde an 37 Standorten gesammelt. Tirol hat Anteil an den Raumeinheiten nördliche Flysch- und Kalkalpen (Region 5; 16 Punkte), kristalline Zentralalpen (Region 6; 20 Punkte) und den Südalpen (Region 7; 1 Punkt).

#### Aktuelle Situation

Die Konzentrationen in Tirol sind bei Cu, Mo und Hg über dem österreichischen Mittelwert, bei den übrigen Elementen liegen sie darunter. Besonders hoch sind die Werte bei Kupfer und Quecksilber, viele Sammelpunkte weisen auch erheblich erhöhte Sb-Werte auf (siehe Abbildung 23).

Neben einer größeren Anzahl an wenig belasteten Hintergrundstandorten gibt es einige ganz auffällig erhöhte Punkte bzw. Regionen. Die Situation ist vor allem im Unterinntal zwischen Kufstein und Telfs besonders auffällig. Die hier gelegenen Punkte zeigen vor allem deutlich erhöhte Cd-, Pb-, Cu-, Ni-, Hg-, Zn-, S- und N-Werte. Stickstoff dürfte in diesem Fall aus dem Verkehr stammen. Am Punkt Breitenbach am Inn (120-1) wurden die österreichischen Höchstwerte für Pb, Cu, Cd und Hg gefunden. Diese hohen Konzentrationen stehen im Vergleich mit den meisten übrigen Landesteilen im Widerspruch. Die Ursachen für die deutlich erhöhten Werte sind zweifelsfrei eine Summe aus lokalen aktuellen Industrieemissionen (z. B. Montanwerke Brixlegg), der relativ hohen Siedlungsdichte und dem hohen Verkehrsaufkommen. Die häufigen Inversionswetterlagen verstärken diese Effekte (siehe dazu auch ZECHMEISTER et al. 2004).

### *Höchstwerte im Unterinntal*

Auffällige Punkte außerhalb des Inntales gibt es in Tirol nur wenige:

- Die erhöhten Mo-Werte im Raum Reutte (Punkt 85-1, Musau) sind bekannt und Folge der Produktionsprozesse in den Planseewerken (siehe ZECHMEISTER et al. 2004).
- Bei Hippach im Zillertal (Punkt 150-1) finden sich sehr hohe Depositionen von Kupfer und Schwefel, die Ursache ist nicht bekannt.
- Im Drautal östlich von Lienz (Punkt 178-2, Strassen) wurden sehr hohe As- und Hg-Werte gemessen, was primär geogene Ursachen haben könnte.



### Veränderungen gegenüber früheren Aufsammlungen

**Veränderungen  
durch  
Starkniederschläge  
(Auswaschung)  
beeinflusst**

Bei Cd (+ 8,7 %) und Hg (+ 18,2 %) sind gegenüber der Aufsammlung von 2000 Zunahmen zu verzeichnen, bei allen anderen Elementen sind die Konzentrationen der Aufsammlung 2005 geringer. Die Differenz ist beträchtlich. Besonders große Abnahmen sind bei Al, Fe, Pb, As und Co festzustellen (über – 40 %). Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die unmittelbar vor und während der Aufsammlung auftretenden Starkniederschläge zurückzuführen. Dabei wurden nicht nur die Bodenkontaminationen sondern auch andere Elemente mit ausgewaschen. Die Abnahmen der Konzentrationen im Bundesland Tirol sind daher mit Vorsicht zu betrachten und sind in diesem Ausmaß sicher nicht auf verringerte Emissionen und die daraus folgenden reduzierten Depositionen zurückzuführen.

Die kritische Situation im Unterinntal wurde bereits in allen vorangegangenen Untersuchungen aufgezeigt, langfristig gesehen hat sich die Deposition sogar noch erhöht (siehe Karten der Veränderungen 1995–2005 im Anhang). Dies entspricht nicht dem landesweiten Trend.

#### 3.4.8 Vorarlberg

In Vorarlberg wurde an 10 Standorten gesammelt. Vorarlberg hat Anteil an den Raumeinheiten nördliche Flysch- und Kalkalpen (Region 5; 8 Punkte) und den kristallinen Zentralalpen (Region 6; 2 Punkte).

#### Aktuelle Situation

**erhöhte Werte bei  
fast allen Elementen**

Die mittleren Konzentrationen von Schwermetallen in Moosen in Vorarlberg liegen bei As, Ni und Co jeweils knapp unter den österreichischen Durchschnittswerten, ansonst oft deutlich darüber (siehe Tabelle 4; Abbildung 19, Abbildung 20 und Abbildung 22). Bei Schwefel, Zink und Cadmium weist Vorarlberg die höchsten Mittelwerte auf. Diese Elemente sind wohl auf aktuelle Emissionen aus dem dichten Siedlungsraum mit Hausbrand, Industrie und dem intensiven Verkehr im Rheintal und Bodenseegebiet zurückzuführen. Im Gegensatz zu vielen anderen Bundesländern sind es nicht einzelne Punkte mit erhöhten Werten, die aus einer niedrigen Matrix herausragen, vielmehr sind fast alle Punkte etwas erhöht.

**erhöhte Werte an  
fast allen Punkten**

Durch Untersuchungen früherer Jahre (z. B. ZECHMEISTER 1995b) kann auch davon ausgegangen werden, dass die sehr hohen Niederschläge im Flysch- und Kalkalpenbereich (Region 5) Verunreinigungen deponieren, die aus dem Ferntransport stammen. Dies betrifft z. B. die erhöhten Pb- und Cu-Werte am Nordabhang des Hochhädrich (Punkt 112-1, Riefensberg), lokale Quellen können hier aber nicht ganz ausgeschlossen werden. Der Punkt zeigt seit mehreren Aufsammlungen hohe Werte.

Der Sammelpunkt bei Nenzing (Punkt 141-1) könnte vom Hochwasser (Überschwemmung?) beeinflusst gewesen sein, in jedem Fall zeigt er erhöhte Sekundärkontamination und wurde von einer Beurteilung ausgenommen.

### Veränderungen gegenüber früheren Aufsammlungen

Mit Ausnahme von Cd (+ 18,8 %) gibt es gegenüber der Aufsammlung von 2000 nur Abnahmen der Konzentrationen. Diese sind zum Teil beträchtlich und liegen meist zwischen 10 % und 20 %. Besonders auffällig ist die Abnahme bei Blei (– 44,9 %), diese ist auch im europaweiten Vergleich beachtlich. Die Zunahmen bei Cadmium sind allerdings ebenfalls bedeutend und bedürfen einer regionalen Überprüfung (lokale Emittenten?). Die besonders starke Abnahme von Cadmium in den Aufsammlungen von 1995 auf 2000 ist hier aber gleichfalls zu berücksichtigen. Betrachtet man die Veränderung gegenüber 1995 (– 17,8 %) ist der Trend weniger auffallend.

**starke Abnahme der Konzentrationen mit Ausnahme von Cd (+ 18,8 %)**

Die punktweise Betrachtung zeigt Zu- und Abnahmen (siehe Karten 19–32), die kein klares Muster ergeben, Abnahmen bzw. geringfügige Veränderungen dominieren in Summe.

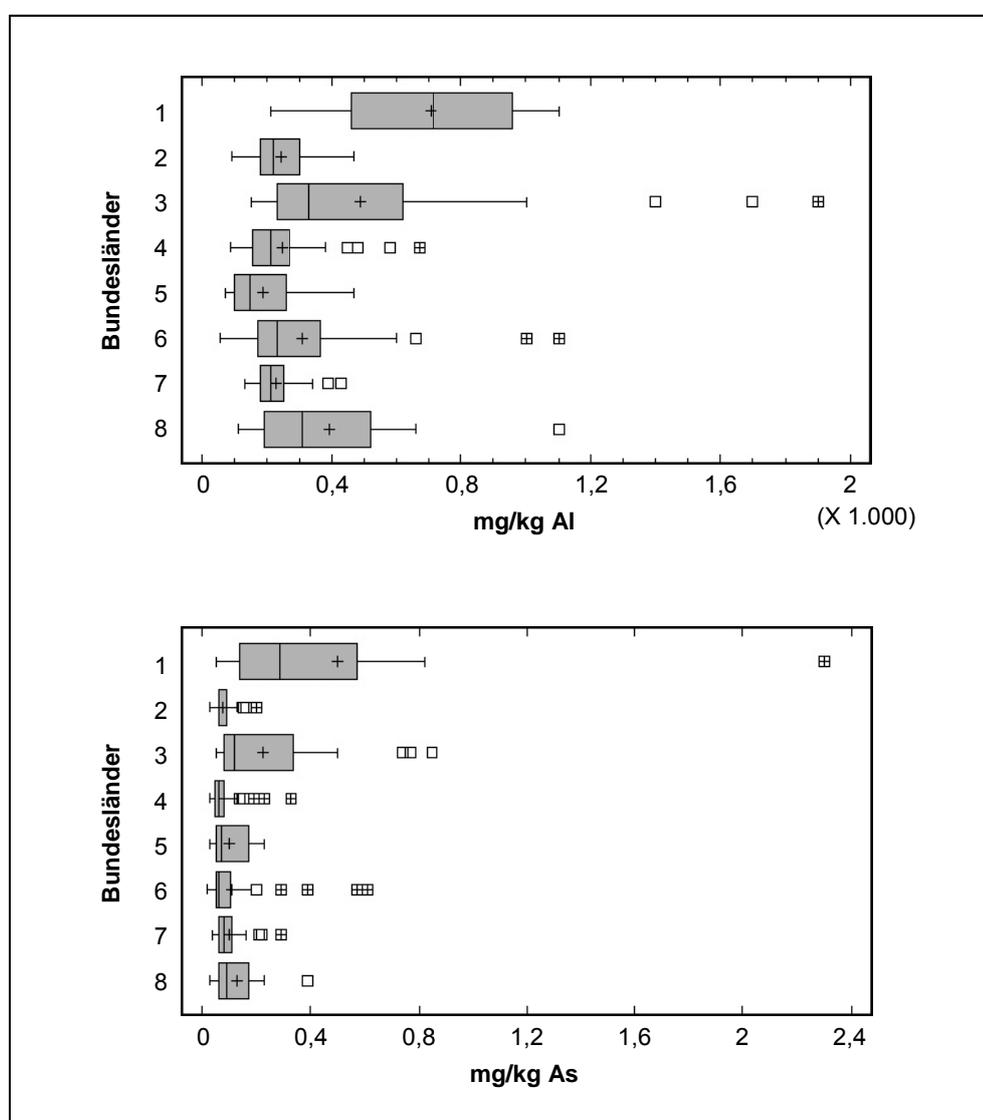


Abbildung 19: Konzentrationen der Metalle Al und As in den Bundesländern;  
1-Burgenland, 2-Kärnten, 3-Oberösterreich, 4-Niederösterreich, 5-Salzburg,  
6-Steiermark, 7-Tirol, 8-Vorarlberg.

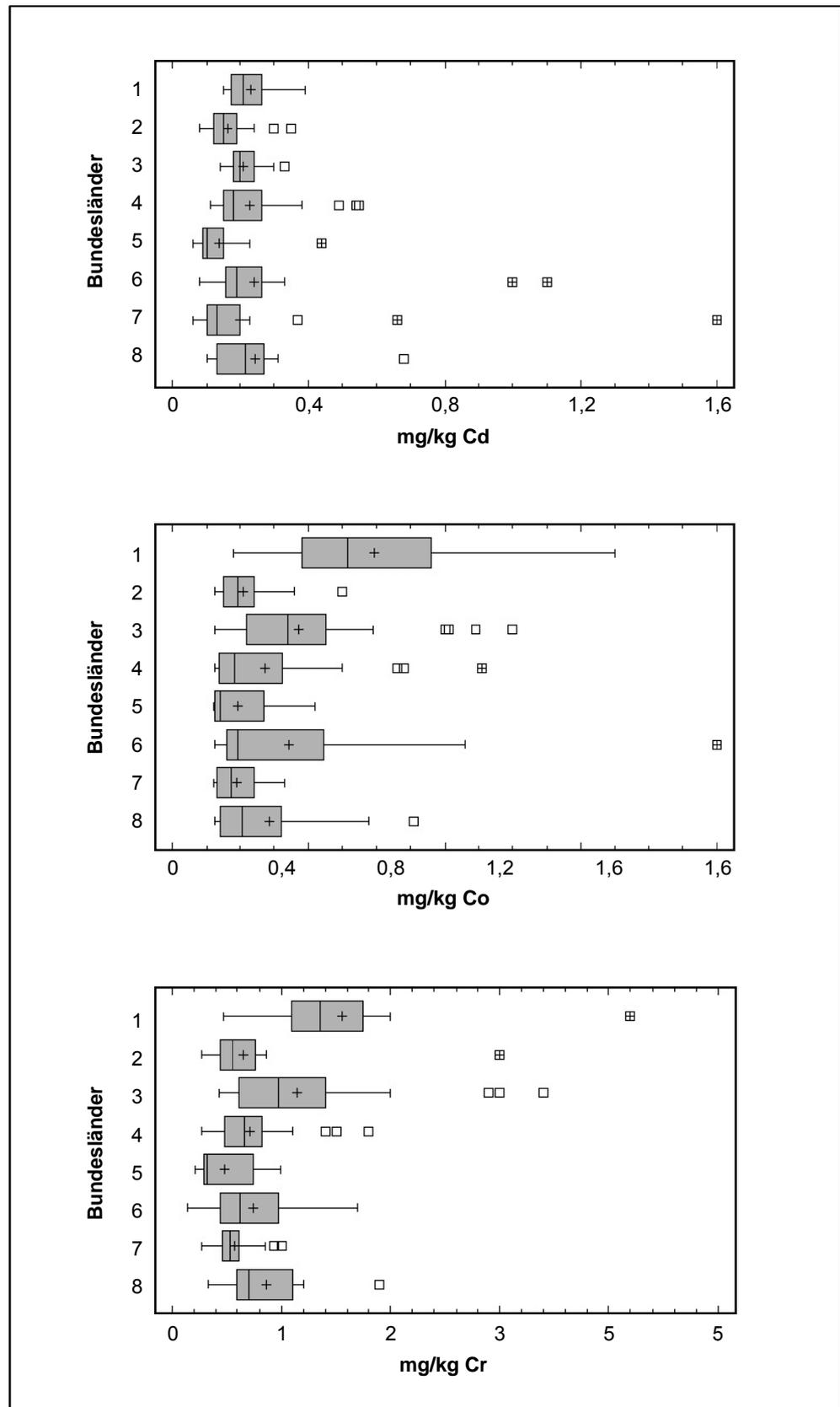


Abbildung 20: Konzentrationen der Metalle Cd, Co und Cr in den Bundesländern;  
 1-Burgenland, 2-Kärnten, 3-Oberösterreich, 4-Niederösterreich, 5-Salzburg,  
 6-Steiermark, 7-Tirol, 8-Vorarlberg.

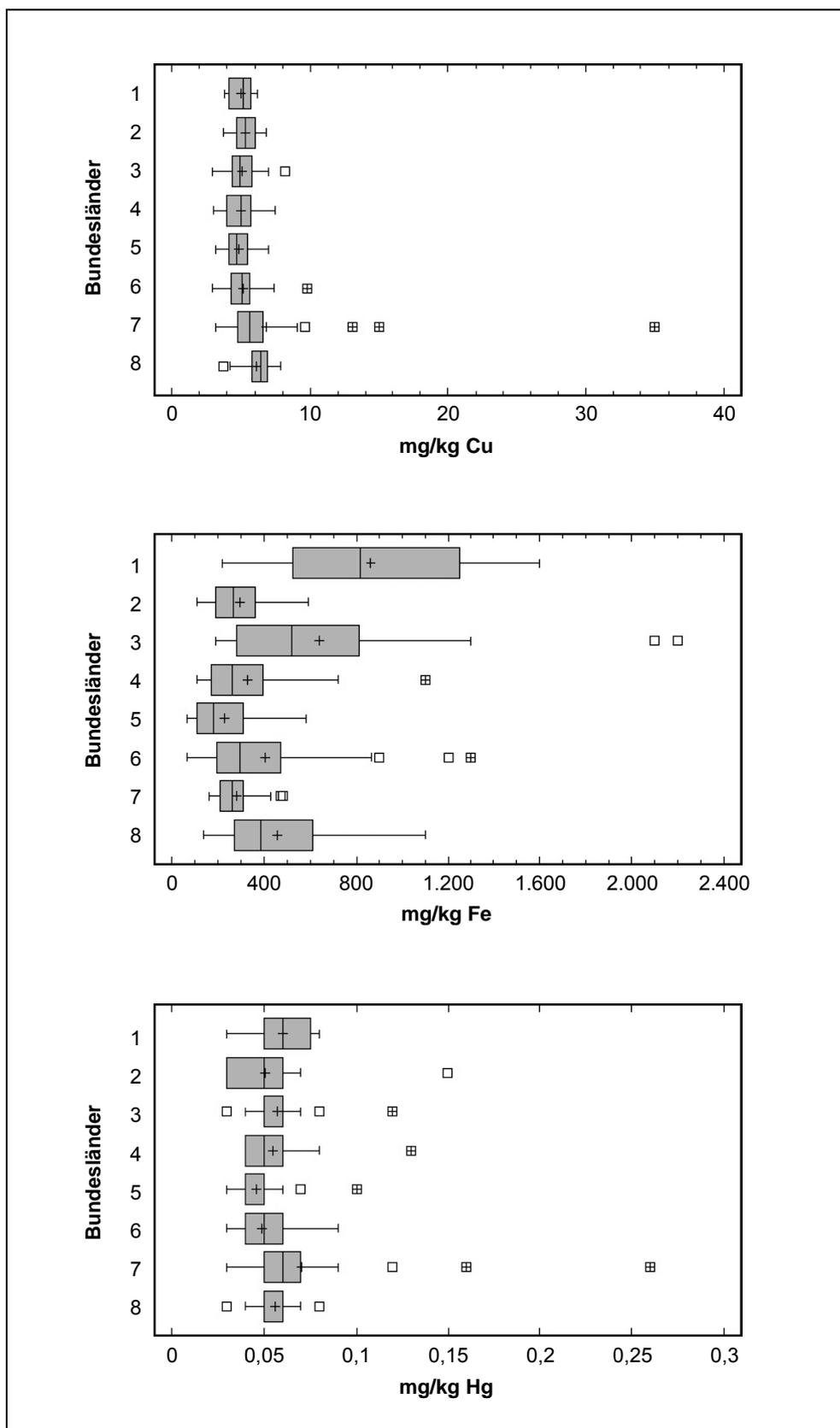


Abbildung 21: Konzentrationen der Metalle Cu, Fe und Hg in den Bundesländern;  
 1-Burgenland, 2-Kärnten, 3-Oberösterreich, 4-Niederösterreich, 5-Salzburg,  
 6-Steiermark, 7-Tirol, 8-Vorarlberg.

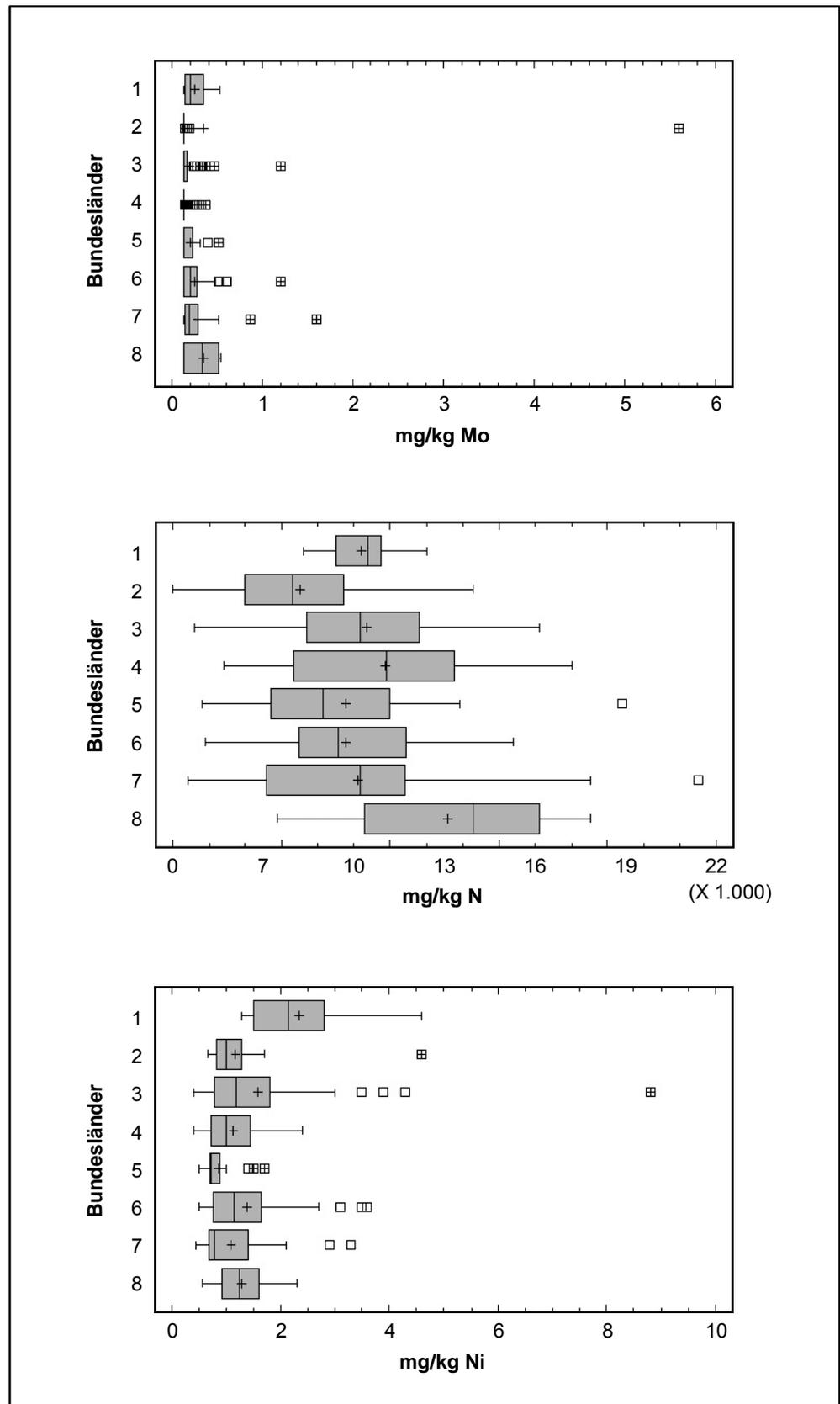


Abbildung 22: Konzentrationen der Elemente Mo, N und Ni in den Bundesländern;  
 1-Burgenland, 2-Kärnten, 3-Oberösterreich, 4-Niederösterreich, 5-Salzburg,  
 6-Steiermark, 7-Tirol, 8-Vorarlberg.

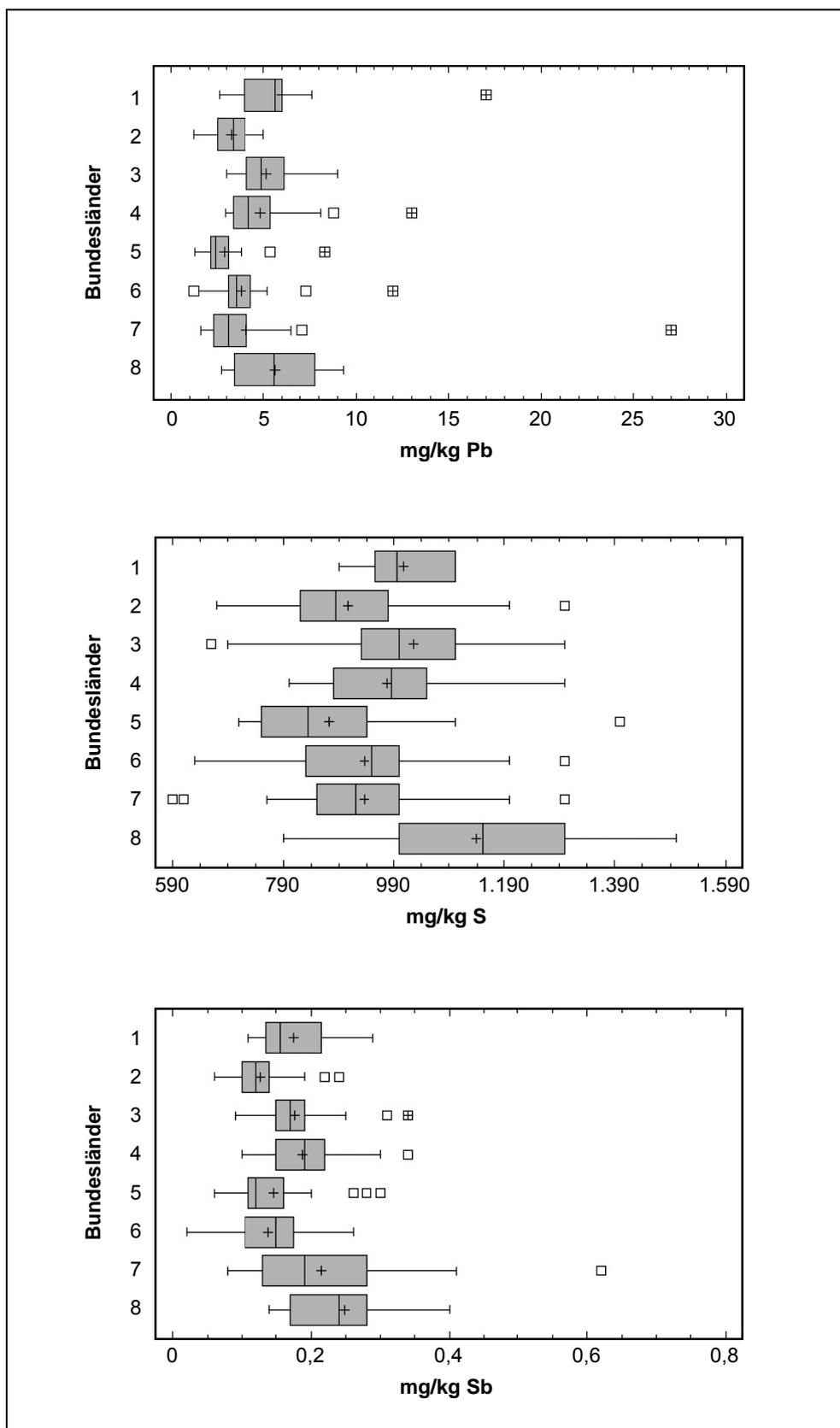


Abbildung 23: Konzentrationen der Elemente Pb, S und Sb in den Bundesländern;  
 1-Burgenland, 2-Kärnten, 3-Oberösterreich, 4-Niederösterreich, 5-Salzburg,  
 6-Steiermark, 7-Tirol, 8-Vorarlberg.

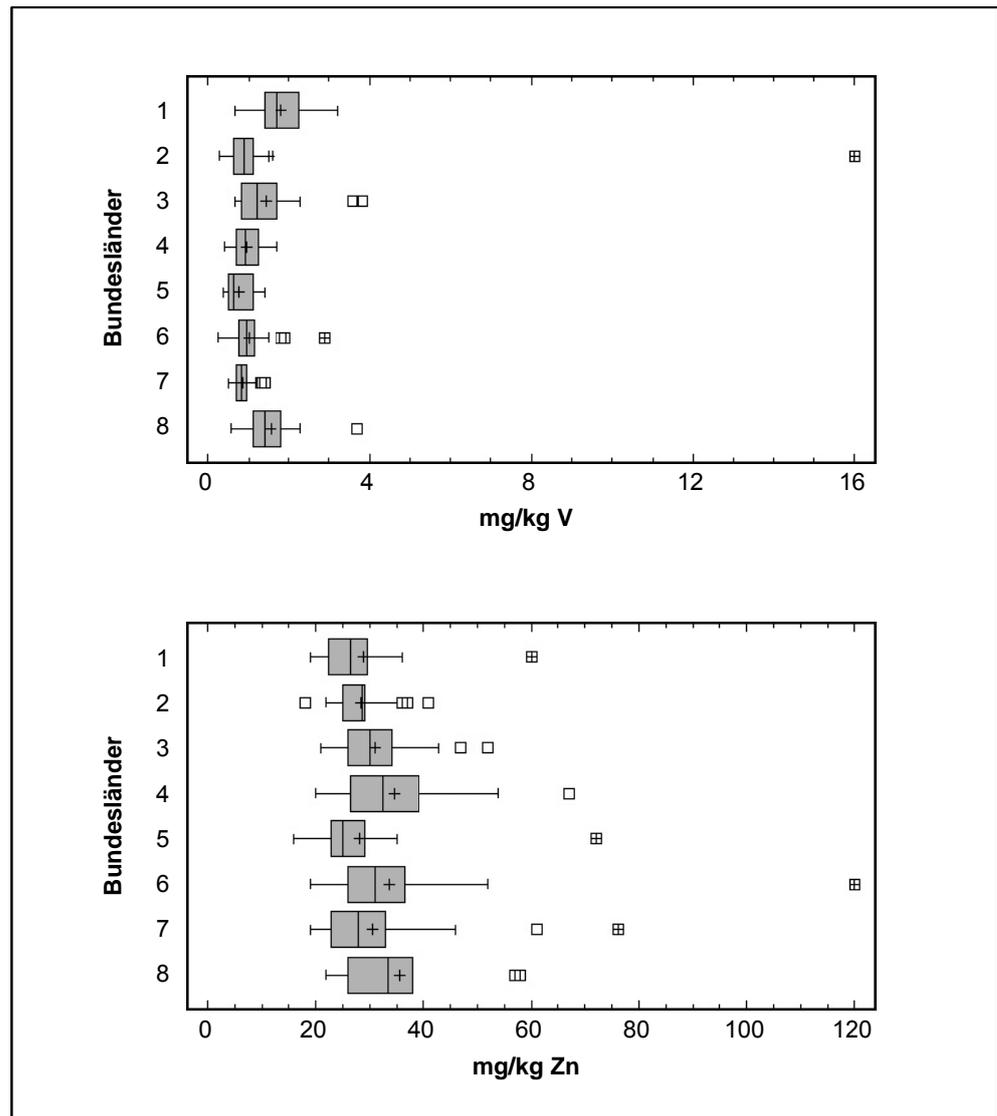


Abbildung 24: Konzentrationen von V und Zn in den Bundesländern;  
 1-Burgenland, 2-Kärnten, 3-Oberösterreich, 4-Niederösterreich, 5-Salzburg,  
 6-Steiermark, 7-Tirol, 8-Vorarlberg.

Tabelle 4: Übersichtstabelle der Konzentrationen aller analysierten Elemente in Moosen gegliedert nach Bundesländern (Bdl.) in den bisherigen Untersuchungsjahren; Konzentrationen in µg/g Trockengewicht Moos; Mw = Mittelwert; Std = Standardabweichung; Md = Median; B = Burgenland, K = Kärnten; NÖ = Niederösterreich; O = Oberösterreich; S = Salzburg, St = Steiermark, T = Tirol, V = Vorarlberg. Für die Trendberechnung wurden extreme Ausreißer eliminiert.

	Bdl.	Pb				V				S				Zn			
		2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991
Mw	B	6,0	7,1	9,9	16,9	1,8	1,8	2,0	4,1	1.008	1.213	1.109	1.227	28,8	31,4	28,2	89,7
Std	B	3,7	3,8	4,8	3,5	0,7	0,6	0,9	0,6	75	150	139	199	10,8	11,4	4,8	65,6
Md	B	5,7	5,9	8,4	16,9	1,7	1,6	1,8	4,1	995	1.229	1.160	1.227	26,5	27,4	26,5	89,7
Mw	K	3,2	6,2	9,3	13,2	1,5	1,7	1,8	1,2	907	1.035	1.027	936	28,3	25,0	28,7	39,3
Std	K	1,0	2,5	4,9	3,1	3,0	1,8	2,7	0,3	145	141	162	88	5,1	6,2	5,5	9,2
Md	K	3,4	5,7	8,0	12,9	0,9	1,3	1,3	1,2	885	1.040	1.015	910	28,5	26,2	27,5	41,6
Mw	N	5,2	7,0	11,5	15,7	1,4	1,7	2,5	2,7	1.025	1.158	1.256	964	31,0	35,7	34,2	38,1
Std	N	1,4	2,2	4,3		0,8	0,8	1,4	0,5	157	199	205	11	6,7	9,2	7,5	5,1
Md	N	4,9	6,6	10,7	15,7	1,2	1,4	2,3	2,7	1.000	1.175	1.280	964	30,0	34,1	33,0	38,1
Mw	O	4,8	5,8	8,9	7,2	1,0	1,2	1,7	1,6	978	1.095	1.283	1.089	34,7	33,8	39,4	29,9
Std	O	2,1	2,4	3,7	2,7	0,4	0,7	1,4	0,3	114	182	210	95	10,4	9,7	14,3	1,2
Md	O	4,2	5,0	8,3	7,7	0,9	1,0	1,3	1,5	985	1.102	1.235	1.049	32,5	31,7	36,0	29,2
Mw	S	2,9	4,3	8,0	11,6	0,8	0,9	1,2	2,1	872	933	987	1210	28,2	28,1	28,8	36,5
Std	S	1,6	2,7	4,9	9,1	0,3	0,3	0,9	0,9	172	210	165	276	12,0	11,2	6,0	5,0
Md	S	2,4	3,3	6,8	11,6	0,6	0,9	1,0	2,1	835	876	955	1.210	25,0	24,7	29,0	36,5
Mw	St	3,8	6,5	9,4	16,4	1,0	1,2	1,3	1,9	936	1.024	1.035	994	33,5	32,7	29,7	34,7
Std	St	1,7	2,9	3,9	2,7	0,5	0,3	0,5	0,6	143	163	124	130	15,8	9,7	6,1	6,8
Md	St	3,5	5,6	8,5	17,2	0,9	1,1	1,3	2,1	950	1.019	1.030	994	31,0	34,0	29,0	35,3
Mw	T	4,0	7,3	9,1	11,9	0,8	1,4	1,3	1,2	935	1.066	1.008	1.029	30,4	39,0	32,5	30,9
Std	T	4,1	3,9	4,0	3,6	0,2	0,5	0,4	0,6	159	207	189	254	11,3	17,3	11,1	4,8
Md	T	3,1	6,6	8,5	11,4	0,8	1,3	1,2	1,2	920	1.109	1.030	1.125	28,0	35,3	31,0	31,3
Mw	V	5,6	10,2	13,7	25,1	1,6	1,9	1,9	2,8	1.138	1.244	1.258	1.276	35,6	42,0	43,6	55,1
Std	V	2,5	4,7	4,0	3,3	0,9	0,5	0,7	0,4	244	178	149	113	12,5	11,2	8,0	12,5
Md	V	5,6	10,0	13,1	25,1	1,4	1,8	1,6	2,8	1.150	1.277	1.245	1.276	33,5	43,8	42,0	55,1



	Bdl.	Fe				Cu				Al		Cr				Ni			
		2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991	2005	2000	2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991
Mw	B	866	714	706	2.128	5,0	6,0	5,0	7,3	709	585	1,55	1,23	1,23	4,60	2,34	1,95	2,12	4,70
Std	B	448	359	380	938	0,9	0,9	0,7	0,8	305	317	0,94	0,54	0,60	1,70	1,04	0,43	0,82	1,84
Md	B	815	632	660	2.128	5,2	6,2	5,0	7,3	715	488	1,35	1,15	1,10	4,60	2,15	1,87	2,00	4,70
Mw	K	293	396	385	346	5,3	6,3	5,4	5,5	242	320	0,66	0,79	0,75	1,13	1,18	1,42	1,60	1,33
Std	K	119	128	280	34	0,8	1,2	1,5	1,5	93	97	0,51	0,38	0,42	0,12	0,75	0,68	2,05	0,15
Md	K	265	400	315	356	5,3	6,2	4,9	5,9	220	316	0,56	0,74	0,70	1,20	1,00	1,31	1,20	1,30
Mw	N	639	649	906	912	5,1	6,0	6,0	4,0	490	488	1,14	1,12	1,64	2,90	1,60	1,80	2,32	4,25
Std	N	492	381	724	310	1,1	1,2	1,7	0,6	388	273	0,73	0,67	1,08	0,71	1,41	1,25	1,29	2,62
Md	N	520	513	670	912	4,9	5,8	6,1	4,0	330	372	0,97	0,90	1,30	2,90	1,20	1,41	2,00	4,25
Mw	O	327	379	383	509	5,0	5,8	6,6	5,3	248	297	0,72	0,70	1,22	1,60	1,13	1,37	1,34	3,73
Std	O	217	229	395	454	1,2	1,2	2,1	0,4	134	140	0,35	0,39	1,29	0,46	0,50	1,21	0,74	1,55
Md	O	260	341	295	272	5,0	5,6	6,5	5,4	210	276	0,67	0,64	0,70	1,50	1,00	1,01	1,05	4,20
Mw	S	228	316	363	790	4,8	5,9	5,5	6,6	186	257	0,47	0,62	0,78	2,90	0,86	1,01	1,26	3,75
Std	S	155	157	392	354	0,9	1,4	1,5	3,0	107	112	0,25	0,28	0,68	2,26	0,34	0,41	0,79	1,77
Md	S	180	284	280	790	4,7	5,5	5,4	6,6	145	234	0,32	0,49	0,55	2,90	0,72	0,90	1,05	3,75
Mw	St	406	396	318	782	5,2	6,1	5,2	5,9	311	307	0,74	0,73	0,70	2,33	1,38	1,39	1,28	2,59
Std	St	335	176	141	470	1,2	1,6	1,1	0,6	229	93	0,41	0,34	0,26	0,80	0,81	0,60	0,58	1,01
Md	St	295	356	325	649	5,1	6,0	5,2	6,0	230	296	0,63	0,66	0,70	2,40	1,15	1,33	1,20	2,30
Mw	T	279	596	406	304	6,8	8,6	6,6	5,0	226	438	0,57	0,82	0,70	1,28	1,08	1,56	1,22	1,30
Std	T	89	556	249	91	5,3	6,4	3,1	1,4	72	203	0,18	0,34	0,37	0,67	0,69	0,99	0,71	0,35
Md	T	260	456	315	338	5,6	7,2	5,9	4,4	210	375	0,53	0,72	0,60	1,20	0,78	1,08	1,00	1,40
Mw	V	456	549	525	698	6,1	7,9	7,2	8,9	395	462	0,86	1,01	1,05	3,60	1,28	1,55	1,71	2,65
Std	V	302	133	351	265	1,3	1,7	1,5	0,8	300	119	0,46	0,27	0,73	1,13	0,53	0,37	0,80	1,63
Md	V	385	526	375	698	6,4	8,1	7,0	8,9	310	434	0,71	1,03	0,75	3,60	1,25	1,43	1,45	2,65



	Bdl.	Cd				Mo			Co				Hg				As			
		2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991
Mw	B	0,23	0,22	0,24	0,45	0,25	0,30	0,42	0,60	0,48	0,37	0,85	0,06	0,05	0,05	0,07	0,50	0,31	0,28	1,58
Std	B	0,08	0,07	0,06	0,07	0,12	0,16	0,36	0,32	0,16	0,20	0,35	0,02	0,02	0,02	0,04	0,61	0,27	0,25	0,37
Md	B	0,21	0,21	0,24	0,45	0,21	0,27	0,30	0,52	0,47	0,39	0,85	0,06	0,05	0,06	0,07	0,29	0,16	0,20	1,58
Mw	K	0,16	0,18	0,21	0,30	0,34	0,38	1,13	0,21	0,30	0,33	0,47	0,05	0,05	0,05	0,02	0,08	0,11	0,12	0,23
Std	K	0,06	0,08	0,06	0,10	1,07	0,58	1,36	0,09	0,08	0,18	0,29	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04	0,04	0,10	0,04
Md	K	0,15	0,15	0,21	0,30	0,13	0,30	0,82	0,20	0,31	0,30	0,30	0,05	0,05	0,04	0,02	0,06	0,11	0,07	0,25
Mw	N	0,21	0,25	0,27	0,30	0,19	0,28	0,29	0,37	0,45	0,39	0,55	0,06	0,06	0,07	0,09	0,22	0,20	0,29	1,16
Std	N	0,04	0,18	0,10	0,00	0,18	0,17	0,13	0,21	0,25	0,30	0,35	0,01	0,01	0,02	0,02	0,20	0,14	0,33	0,35
Md	N	0,20	0,21	0,25	0,30	0,13	0,30	0,31	0,34	0,37	0,35	0,55	0,06	0,06	0,06	0,09	0,12	0,15	0,17	1,16
Mw	O	0,23	0,23	0,29	0,33	0,14	0,21	0,27	0,27	0,27	0,22	0,40	0,05	0,05	0,06	0,05	0,08	0,09	0,12	0,52
Std	O	0,12	0,12	0,13	0,06	0,05	0,10	0,13	0,19	0,15	0,23	0,44	0,02	0,01	0,02	0,02	0,06	0,07	0,15	0,10
Md	O	0,18	0,20	0,26	0,30	0,13	0,16	0,27	0,19	0,23	0,13	0,20	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,08	0,07	0,53
Mw	S	0,14	0,16	0,21	0,25	0,21	0,23	0,23	0,19	0,24	0,18	1,20	0,05	0,05	0,06	0,04	0,10	0,10	0,13	0,56
Std	S	0,09	0,15	0,13	0,07	0,13	0,13	0,23	0,10	0,11	0,20	1,27	0,02	0,02	0,02	0,03	0,07	0,04	0,13	0,01
Md	S	0,10	0,12	0,19	0,25	0,14	0,17	0,13	0,14	0,21	0,13	1,20	0,04	0,05	0,05	0,04	0,07	0,10	0,07	0,56
Mw	St	0,24	0,20	0,25	0,31	0,25	0,28	0,54	0,34	0,28	0,24	0,54	0,05	0,07	0,06	0,04	0,11	0,10	0,09	0,58
Std	St	0,20	0,06	0,11	0,09	0,20	0,15	0,42	0,29	0,13	0,17	0,21	0,01	0,04	0,02	0,02	0,13	0,05	0,05	0,21
Md	St	0,19	0,19	0,21	0,30	0,20	0,28	0,42	0,20	0,25	0,13	0,50	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06	0,09	0,07	0,65
Mw	T	0,20	0,18	0,24	0,36	0,29	0,36	0,39	0,19	0,38	0,21	0,24	0,07	0,06	0,06	0,05	0,10	0,20	0,12	0,32
Std	T	0,26	0,10	0,13	0,09	0,27	0,24	0,32	0,06	0,32	0,16	0,11	0,04	0,04	0,03	0,01	0,05	0,24	0,09	0,15
Md	T	0,13	0,16	0,21	0,30	0,19	0,30	0,27	0,17	0,27	0,13	0,20	0,06	0,05	0,05	0,05	0,08	0,12	0,07	0,31
Mw	V	0,25	0,21	0,30	0,70	0,34	0,40	0,57	0,29	0,33	0,37	0,40	0,06	0,08	0,07	0,05	0,13	0,14	0,12	0,42
Std	V	0,17	0,10	0,06	0,42	0,17	0,16	0,37	0,20	0,14	0,33	0,28	0,01	0,04	0,02	0,00	0,11	0,05	0,09	0,11
Md	V	0,22	0,18	0,33	0,70	0,34	0,45	0,45	0,21	0,29	0,23	0,40	0,06	0,07	0,06	0,05	0,09	0,13	0,07	0,42



Tabelle 5: Tabelle der prozentuellen Veränderungen der Konzentrationen aller analysierten Elemente gegenüber der Aufsammlung 2005 (= 100 %) bezogen auf den jeweiligen Mittelwert (oberer Wert) und Median (2. Wert) in den einzelnen Bundesländern.

Bdl.	Pb			V			S			Zn			Fe		
	2000	1995	1991	2000	1995	1991	2000	1995	1991	2000	1995	1991	2000	1995	1991
B	-15,4	-39,1	-64,2	2,9	-8,6	-55,8	-16,9	-9,1	-17,8	-8,1	2,4	-67,9	21,2	22,7	-59,3
B	-4,2	-32,7	-66,5	4,3	-5,6	-58,5	-19,0	-14,2	-18,9	-3,2	0,0	-70,5	29,0	23,5	-61,7
K	-47,2	-65,9	-75,1	-9,9	-19,7	26,6	-13,8	-13,0	-3,2	12,4	-4,4	-28,5	-24,7	-23,2	-15,1
K	-41,7	-57,5	-73,6	-31,5	-37,9	-27,5	-16,8	-14,7	-4,4	3,7	-3,4	-32,7	-35,8	-16,1	-27,0
N	-26,2	-55,0	-67,0	-16,1	-43,8	-46,1	-11,5	-18,4	6,3	-13,1	-9,1	-18,5	-1,6	-29,4	-29,9
N	-25,7	-54,2	-68,8	-14,3	-47,8	-54,7	-14,9	-21,9	3,7	-12,0	-9,1	-21,3	1,4	-22,4	-43,0
O	-17,1	-45,7	-32,6	-19,5	-41,6	-40,9	-10,7	-23,8	-10,2	2,5	-11,9	16,1	-13,8	-14,8	-35,8
O	-16,7	-49,1	-45,5	-8,0	-29,6	-39,0	-10,6	-20,2	-6,1	2,5	-9,7	11,3	-23,8	-11,9	-4,4
S	-32,4	-64,0	-75,0	-14,8	-37,5	-62,5	-6,6	-11,7	-27,9	0,4	-1,9	-22,6	-27,9	-37,2	-71,1
S	-26,7	-64,4	-79,2	-24,7	-36,0	-68,8	-4,7	-12,6	-31,0	1,4	-13,8	-31,4	-36,6	-35,7	-77,2
St	-41,8	-59,8	-76,9	-14,1	-20,0	-46,4	-8,6	-9,6	-5,8	2,5	12,8	-3,3	2,4	27,6	-48,1
St	-37,2	-58,8	-79,7	-16,1	-24,8	-55,2	-6,7	-7,8	-4,4	-8,7	6,9	-12,2	-17,1	-9,2	-54,5
T	-44,2	-55,5	-66,1	-39,9	-33,4	-31,8	-12,2	-7,2	-9,1	-22,0	-6,5	-1,5	-53,1	-31,1	-8,0
T	-53,2	-63,3	-72,8	-37,7	-32,5	-32,5	-17,0	-10,7	-18,2	-20,7	-9,7	-10,5	-43,0	-17,5	-23,1
V	-44,9	-58,8	-77,5	-15,4	-15,1	-43,9	-8,5	-9,5	-10,8	-15,1	-18,3	-35,3	-17,0	-13,1	-34,6
V	-43,9	-57,3	-77,7	-23,9	-12,5	-50,0	-9,9	-7,6	-9,9	-23,5	-20,2	-39,1	-26,8	2,7	-44,8

Bdl.	Cu			Al	Cr			Ni			Cd			Mo	
	2000	1995	1991	2000	2000	1995	1991	2000	1995	1991	2000	1995	1991	2000	1995
B	-16,4	-0,3	-30,9	21,2	26,1	26,5	-66,3	20,2	10,6	-50,2	8,5	-1,1	-48,1	-17,6	-41,2
B	-17,2	4,0	-29,0	46,7	17,9	22,7	-70,7	15,0	7,5	-54,3	2,4	-10,6	-53,3	-24,1	-31,7
K	-16,2	-3,8	-3,0	-23,5	-6,2	-5,5	-40,6	-15,5	-29,3	-11,7	-11,0	-24,4	-45,8	-5,5	-67,6
K	-16,8	6,1	-11,9	-31,3	-21,9	-18,6	-52,5	-22,0	-17,5	-23,8	0,0	-28,6	-50,0	-58,3	-84,6
N	-15,0	-16,0	28,6	0,6	1,8	-30,1	-60,5	-11,2	-31,2	-62,5	-15,2	-20,9	-30,0	-32,1	-34,6
N	-15,4	-19,7	24,1	-11,3	8,4	-25,4	-66,6	-14,6	-40,0	-71,8	-4,8	-20,0	-33,3	-58,3	-59,7
O	-13,9	-24,9	-6,9	-16,6	2,6	-41,1	-55,1	-17,6	-16,2	-69,8	-1,7	-22,0	-31,2	-30,2	-47,4



Bdl.	Cu			Al	Cr			Ni			Cd			Mo	
	2000	1995	1991	2000	2000	1995	1991	2000	1995	1991	2000	1995	1991	2000	1995
O	-10,9	-22,5	-7,4	-23,8	4,7	-5,0	-55,7	-1,0	-4,8	-76,2	-7,7	-30,8	-40,0	-21,9	-53,7
S	-18,0	-11,6	-26,1	-27,6	-23,3	-39,4	-83,6	-15,1	-31,9	-77,1	-15,6	-35,0	-45,2	-12,6	-10,4
S	-13,9	-12,1	-28,2	-38,0	-34,7	-41,8	-89,0	-19,6	-31,4	-80,8	-13,0	-47,4	-60,0	-20,6	3,8
St	-15,1	-1,4	-12,3	1,2	1,6	5,5	-68,2	-0,6	8,2	-46,6	22,6	-1,1	-22,8	-10,8	-54,0
St	-16,1	-1,9	-15,8	-22,3	-4,5	-10,0	-73,8	-13,2	-4,2	-50,0	0,0	-9,5	-36,7	-27,3	-52,4
T	-21,1	3,3	36,9	-48,4	-30,5	-18,6	-55,3	-30,8	-11,5	-16,8	8,7	-17,4	-44,8	-20,2	-26,3
T	-22,1	-5,1	27,3	-44,0	-26,4	-11,7	-55,8	-27,8	-22,0	-44,3	-18,8	-38,1	-56,7	-36,7	-29,6
V	-22,8	-15,4	-31,3	-14,6	-14,7	-18,1	-76,1	-17,3	-25,0	-51,6	18,8	-17,8	-64,9	-13,7	-39,7
V	-21,2	-8,6	-28,1	-28,5	-31,2	-6,0	-80,4	-12,6	-13,8	-52,8	19,4	-33,8	-69,3	-25,6	-25,6

Bdl.	Co			Hg			As		
	2000	1995	1991	2000	1995	1991	2000	1995	1991
B	25,3	60,4	-30,0	19,0	13,2	-16,4	59,4	79,4	-68,3
B	9,6	33,8	-39,4	17,0	6,4	-16,4	83,9	46,2	-81,9
K	-31,4	-39,1	-57,7	-2,7	8,2	151,7	-24,1	-33,1	-65,5
K	-34,5	-36,7	-36,7	-4,0	20,0	140,0	-44,5	-12,9	-75,6
N	-17,1	-5,4	-32,3	0,0	-15,0	-34,0	11,4	-22,9	-80,8
N	-6,8	-2,9	-38,2	1,8	-6,7	-34,1	-17,2	-29,4	-89,6
O	1,6	26,2	-31,8	10,4	-10,9	9,7	-10,7	-29,8	-84,5
O	-17,8	42,3	-7,5	3,0	-14,2	3,0	-26,3	-15,7	-88,9
S	-18,1	10,6	-83,8	-10,4	-18,1	14,4	-4,5	-24,2	-82,5
S	-33,3	7,7	-88,3	-15,0	-15,0	6,3	-34,0	-5,7	-88,2
St	22,4	45,2	-36,6	-26,1	-15,2	14,7	14,3	29,2	-80,8
St	-20,4	50,0	-61,0	-5,0	-5,0	18,8	-30,6	-10,7	-90,4
T	-50,3	-9,3	-20,8	18,2	19,3	45,7	-52,4	-16,3	-69,2
T	-37,0	30,8	-15,0	22,0	22,0	22,0	-31,7	17,1	-73,5
V	-12,8	-22,7	-28,5	-29,2	-14,0	11,8	-3,5	7,7	-69,0
V	-28,1	-10,9	-48,8	-21,4	-8,3	10,0	-31,5	27,1	-78,8

### 3.5 Analyse der Biomassezuwächse der Monitoringarten

#### **Bestimmung der Biomasse an 67 Standorten**

Für die Berechnung der Depositionsdaten sind Daten zum jährlichen Biomassezuwachs der Monitoringarten notwendig (siehe Kapitel 3.6). Wie in der Literatur mehrfach erwähnt (UMWELTBUNDESAMT 1997, ZECHMEISTER, 1998, ZECHMEISTER et al. 2002) sind diese Berechnungen umso vertrauenswürdiger, je mehr entsprechende Daten vorliegen. Da dies aus Kostengründen nicht für jeden Standort möglich war, wurde zumindest an einem repräsentativen Teil der Probenahmeflächen (= 67 Standorte) eine Analyse der Biomassezuwächse durchgeführt. Das entspricht einer Steigerung um 10 % gegenüber früheren Untersuchungen.

Die Auswahl der Standorte erfolgte einerseits gemäß dem Vorkommen der einzelnen Moosarten, andererseits wurde auf eine über das gesamte Bundesgebiet gleichmäßige Verteilung Rücksicht genommen. Dadurch sollten möglichst alle klimatischen und geologischen Räume sowie die wichtigsten Habitattypen abgedeckt werden. Wenn möglich, wurde an den gleichen Stellen flächenbezogen gesammelt wie in der Aufsammlung 2000 (12 Standorte).

#### **je 5 Teilproben flächenbezogen gesammelt**

Pro Standort wurden zumeist fünf Teilproben mittels eines PVC-Rohres mit 10 cm Durchmesser gezogen. Aus diesen Teilproben wurde ein Mittelwert gewonnen, der auch in die Berechnungen Eingang fand. Die Mittelwerte sind für jede Art als „Box & Whisker Plots“ in Abbildung 25 graphisch dargestellt.

Die Biomassezuwächse zwischen den einzelnen Arten sind zwar teilweise beträchtlich, der Kruskal Wallis-Test zeigt jedoch keine signifikanten Unterschiede ( $P = 0,076$ ).

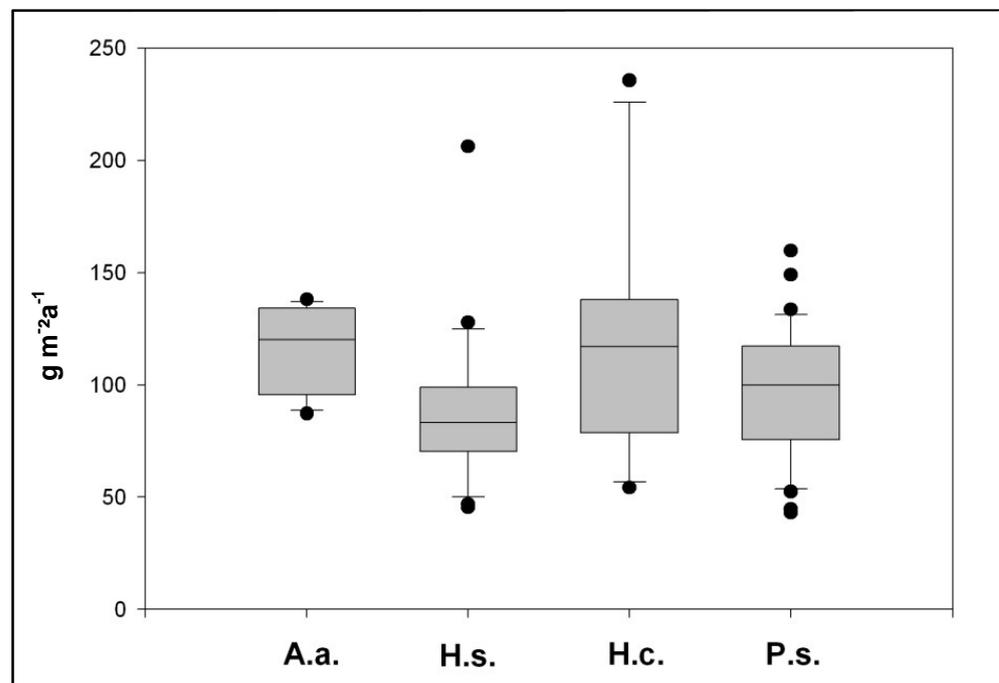


Abbildung 25: „Box & Whisker Plots“ der durchschnittlichen jährlichen Biomassezuwächse der verwendeten Moosarten.

A.a. ... *Abietinella abietina*; H.s. ... *Hylocomium splendens*;

H.c. ... *Hypnum cupressiforme*; P.s. ... *Pleurozium schreberi*



### 3.5.1 Pleurozium schreberi

*Pleurozium schreberi* ist die am meisten verwendete und daher auch die am öftesten flächenbezogen gesammelte Art. Die Biomasse wurde an 32 Standorten (160 Teilproben) ermittelt.

Die durchschnittliche Biomasse betrug 2005  $96,9 \pm 29,5 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ . Bedenkt man die relativ große Zahl an untersuchten Populationen ist die Variabilität – von einigen besonders starkwüchsigen Ausreißern abgesehen – relativ gering.

**durchschnittliche Biomasse**  
**ca.  $97 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$**

Die Variabilität zwischen den einzelnen Raumeinheiten ist interessanterweise deutlich geringer als innerhalb der Raumeinheiten (ANOVA; Multiple Range-Test). Dies zeigt einmal mehr, dass das Makroklima, welches zwischen den einzelnen Raumeinheiten durchaus unterschiedlich ist, einen geringeren Einfluss auf das Mooswachstum hat als das Mikroklima, das innerhalb einer Raumeinheit eine große Variationsbreite haben kann.

Die Zuwachsraten, ermittelt im Jahr 2005, sind weitgehend identisch mit jenen von 2000 ( $97,4 \pm 32,2 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ ). Dies ist aufgrund der deutlich divergierenden klimatischen Bedingungen in den beiden Aufsammlungsjahren besonders bemerkenswert. Die Zuwachsraten repräsentieren aber nicht nur jene des Aufsammlungsjahres, sondern auch den durchschnittlichen Zuwachs der letzten 2½ Jahre. Die Zuwachsraten sind aber signifikant niedriger als jene von 1995.

**Zuwachsraten mit dem Jahr 2000 vergleichbar**

### 3.5.2 Hylocomium splendens

An 20 Standorten (100 Teilproben) wurde das Wachstum von *Hylocomium splendens* untersucht.

Die durchschnittliche Biomasse betrug 2005  $89,7 \pm 35,6 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ .

Verglichen mit der Aufsammlung 2000 gibt es keine signifikanten Unterschiede im Biomassezuwachs. Im Vergleich mit der Aufsammlung 1995 (siehe Tabelle 6) unterscheiden sich die Mittelwerte signifikant.

**durchschnittliche Biomasse**  
**ca.  $90 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$**

### 3.5.3 Hypnum cupressiforme agg.

Entsprechend der Gesamtzahl an Standorten mit der Monitoringart *Hypnum* wurde das Wachstum an sieben Standorten (35 Teilproben) untersucht. Die durchschnittliche Biomasseproduktion betrug 2005  $123,4 \pm 63,2 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ .

Im Vergleich mit der Aufsammlung von 2000 gibt es keine signifikanten Unterschiede, sehr wohl aber mit jener von 1995 ( $P = 0,05$ , siehe Tabelle 6).

**durchschnittliche Biomasse**  
**ca.  $123 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$**

### 3.5.4 Abietinella abietina

*Abietinella abietina* wurde an acht Standorten (40 Teilproben) untersucht.

Das durchschnittliche jährliche Mooswachstums aller untersuchten Standorte mit *Abietinella abietina* betrug 2005  $115,5 \pm 20,2 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ .

Der Vergleich mit den Daten von 2000 zeigt keinerlei signifikante Unterschiede, sehr wohl aber der Vergleich 2005 mit 1995 (siehe Tabelle 6).

**durchschnittliche Biomasse**  
 **$116 \text{ g m}^{-2}\text{a}^{-1}$**

Für *Scleropodium purum* wurden aufgrund der geringen Anzahl an Probenahme-  
punkten keine Biomassezuwachsuntersuchungen vorgenommen.

Tabelle 6: Vergleich der annualen Biomassezuwächse der Aufsammlungen von 2005, 2000 und 1995 ( $g\ m^{-2}a^{-1}$ ).

	A.a.			H.s.			H.c.			P.s.		
	2005	2000	1995	2005	2000	1995	2005	2000	1995	2005	2000	1995
Mw	115,5	134,9	137,8	89,7	95,6	144,8	123,4	119,3	175,9	96,9	97,4	172,2
Std	20,2	28,8	43,9	35,6	21,1	73,9	63,2	55,5	56,3	29,5	32,2	48,4
min.	87	71,5	96,7	46,8	70,9	76	54,3	63,5	92,9	43,2	47,9	89
max.	138	179,5	213	206,2	142,3	260,1	235,6	174,4	243	159,7	180,1	254,2

A.a. .... *Abietinella abietina*

H.s. .... *Hylocomium splendens*

H.c. .... *Hypnum cupressiforme* agg.

P.s. .... *Pleurozium schreberi*

Mw ..... Mittelwert

Std ..... Standardabweichung

min. .... Minimaler Wert

max. .... Maximaler Wert.

### 3.6 Zeitliche Veränderungen der Schwermetallkonzentrationen in Moosen im Zeitraum zwischen 1989 bis 2005

#### Beobachtungs- zeitraum über 17 Jahre

Seit 1995 konnten drei Aufsammlungen an denselben 220 Standorten in Österreich nach derselben Methode durchgeführt werden. 28 dieser Standorte wurden bereits 1991 beprobt. Rechnet man jenen Akkumulationszeitraum mit ein, welcher ca. drei Jahre vor der Aufsammlung beträgt, ergibt dies für 28 Standorte eine Zeitreihe von ca. 17 Jahren, für 220 Standorte eine Zeitreihe von 13 Jahren.

#### umfassendste Studie über Schwermetall- depositionen in Österreich

Da die Studie zur Erfassung der atmosphärischen Schwermetalle mittels Moosen gleichzeitig die flächendeckend größte Studie in Österreich zur einschlägigen Problematik ist, liegt hier das umfassendste Raum-Zeit-Kontinuum für eine atmosphärisch deponierte Schadstoffgruppe (Schwermetalle) in Österreich vor.

Die Ergebnisse der vier Inventuren ermöglichen sowohl Vergleiche an einzelnen konkreten Standorten als auch gemittelt über das Gesamtgebiet, Regionen oder Bundesländer.

Der Vergleich der Veränderungen der Konzentrationen der einzelnen Metalle in den unterschiedlichen Regionen und an ausgewählten Punkten wurde bereits in Kapitel 3.3 und für die einzelnen Bundesländer in Kapitel 3.4 dargestellt und erläutert. An dieser Stelle folgen zusammenfassende Betrachtungen (siehe auch ZECHMEISTER et al. 2007).

Grundsätzlich zeigen alle vier Datensätze (1991, 1995, 2000, 2005) eine „links-schiefe“ Verteilung der Daten. Die Streuungen sind nicht signifikant verschieden, die Daten daher mit gängigen statistischen Methoden vergleichbar.

Die Gesamttrends (Summe der prozentuellen Veränderung aller Metalle) sind zwischen den einzelnen Aufsammlungsperioden konstant (Friedman-Test der prozentuellen Veränderungen), einzelne Elemente weichen aber davon ab. Dies hat zum Teil analytische Ursachen (z. B. Hg) oder entspricht einem grundsätzlich gegenläufigen Trend des jeweiligen Metalls (z. B. Cd).

In Tabelle 7 sind die Mittelwerte und Mediane der Elementkonzentrationen in Moosen aller bisherigen Aufsammlungen (2005, 2000, 1995, 1991) dargestellt. In Tabelle 8 sind die prozentuellen Veränderungen gegenüber der Aufsammlung 2005 aufgelistet. In Abbildung 27 bis Abbildung 32 sind diese Ergebnisse graphisch zusammengefasst.

Gegenüber den früheren Aufsammlungen ist bundesweit fast ausschließlich eine Abnahme der Elementkonzentrationen zu beobachten. Diese Abnahmen der Konzentrationen der Aufsammlung 2005 gegenüber 2000 folgen einem bereits nach der Aufsammlung 2000 dokumentierten Trend (UMWELTBUNDESAMT 2009). Die Abnahmen zwischen den einzelnen Aufsammlungsperioden (2005/2000, 2000/1995, 1995/1991) sind kontinuierlich und in der Gesamtheit aller Elemente gibt es keinen Unterschied in den Veränderungen zwischen den einzelnen Jahren (Friedman-Test). Die Abnahmen sind auch in Abbildung 27 bis Abbildung 32 ersichtlich. Die einzelnen Elemente zeigen naturgemäß unterschiedlich starke Veränderungen. Alle Rückgänge sind sowohl gegenüber 2000 als auch 1995 signifikant ( $P < 0,000$ ). Bei einigen Elementen (z. B. Pb, Ni, Co, Mo) ist aber ein Verflachen der Abnahmekurven zu beobachten (siehe Abbildung 27 bis Abbildung 29).

Der allgemeinen Abnahme der Metallkonzentrationen steht aber eine punktuelle Zunahme gegenüber. Eine Reihe von Standorten widerspricht dem allgemeinen Trend. Das führt auch österreichweit dazu, dass eine Zunahme der Konzentrationen nur bei einigen Elementen und dann nur in Teilen der Untersuchungsperiode feststellbar ist. Durch die allgemeinen Abnahmen werden diese Punkte oft leicht übersehen. Es gibt daher auch Unterschiede, je nachdem ob Mittelwerte oder Mediane betrachtet werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass einzelne „hot-spots“ (wie z. B. Treibach-Althofen, Brixlegg) mit extrem hohen Werten dem bundesweiten Trend widersprechen. Ausnahmen betreffen folgende Elemente und Zeiträume:

**Bezugsjahr Aufsammlung 2005:** Bezogen auf den Mittelwert: Cd gegenüber 2000 (Mw, nicht signifikant), Cr gegenüber 2000 (Md), Hg gegenüber 2000 (Md), Co gegenüber 1995 (Mw, Md; n. s.), As gegenüber 1995 (Md), Hg gegenüber 1991 (Mw, Md, n. s.).

**Bezugsjahr Aufsammlung 2000:** Cu gegenüber 1995 (Md, Mw), Zn gegenüber 1995 (Mw, Md), Co gegenüber 1995 (Md), Cu gegenüber 1991 (Md, Mw), Hg gegenüber 1991 (Mw, Md).

**Bezugsjahr Aufsammlung 1995** (gegenüber 1991): S (Mw, Md), Cu (Mw), Hg (Mw, Md).

Längerfristige Trends zeigen daher nur Kupfer und Quecksilber. Nach einem steigenden Trend von Kupfer zwischen 1991 und 2000 erfolgte allerdings eine Abnahme unter das Niveau von 1991 in der Aufsammlung von 2005 (Mittelwert und Median).

***bundesweite  
Abnahme der  
Konzentrationen  
fast aller Elemente***

***Zunahmen an  
einzelnen  
Standorten  
widersprechen den  
allgemeinen Trends***

**Folgen der starken Niederschlagsereignisse von 2005 großteils vernachlässigbar**

Die über alle Aufsammlungstermine relativ konstanten Veränderungen zeigen, dass in Summe gesehen die starken Niederschlagsereignisse in der Aufsammlungsperiode 2005 keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Konzentrationen in den Moosen gehabt haben. Für einzelne Punkte kann aber eine Veränderung nicht ausgeschlossen werden. Davon könnten besonders Standorte in Tirol betroffen sein, die gegebenenfalls niedrigere Konzentrationen zeigen als bei einer Aufsammlung vor den starken Regenfällen. Die im Vergleich zu anderen Bundesländern besonders hohen Gesamtabnahmen an Schwermetallkonzentrationen (ersichtlich in Tabelle 5), die durch keine Maßnahme erklärbar sind, könnten ein Indiz dafür sein.

**bleifreies Benzin reduziert Pb-Depositionen drastisch**

Das Element mit der deutlichsten Abnahme ist Blei. Es zeigt eine gleichmäßig starke Abnahme bis zum Jahr 2000. Die primäre Ursache ist die flächendeckende Einführung des bleifreien Benzins in ganz Mittel- und Westeuropa seit dem Beginn der 90er-Jahre. Seit der Aufsammlung 2000 ist der Rückgang verflacht (siehe Abbildung 26 und Abbildung 27). Offensichtlich ist die Umstellung weitestgehend erfolgt, und Rückgänge basierend auf der Umstellung nehmen nicht mehr den gleichen Stellenwert ein. Veränderungen sind daher auch auf andere Quellen (Industrie) zurückzuführen.

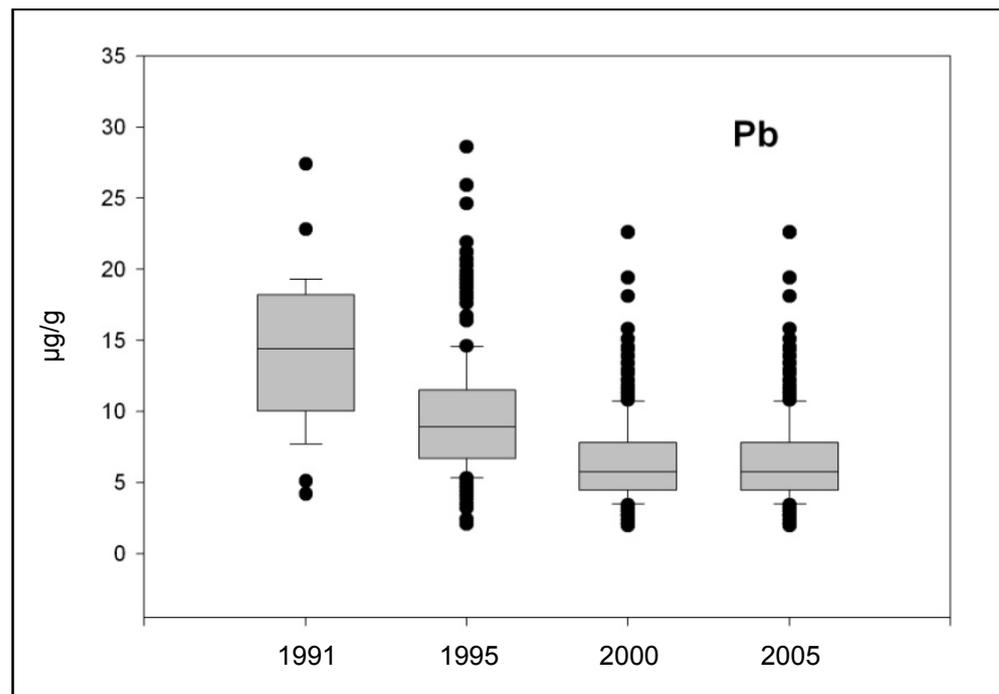


Abbildung 26: „Box & Whisker Plots“ der Pb-Konzentrationen (µg/g TG) zwischen den Aufsammlungen 1991 und 2005.

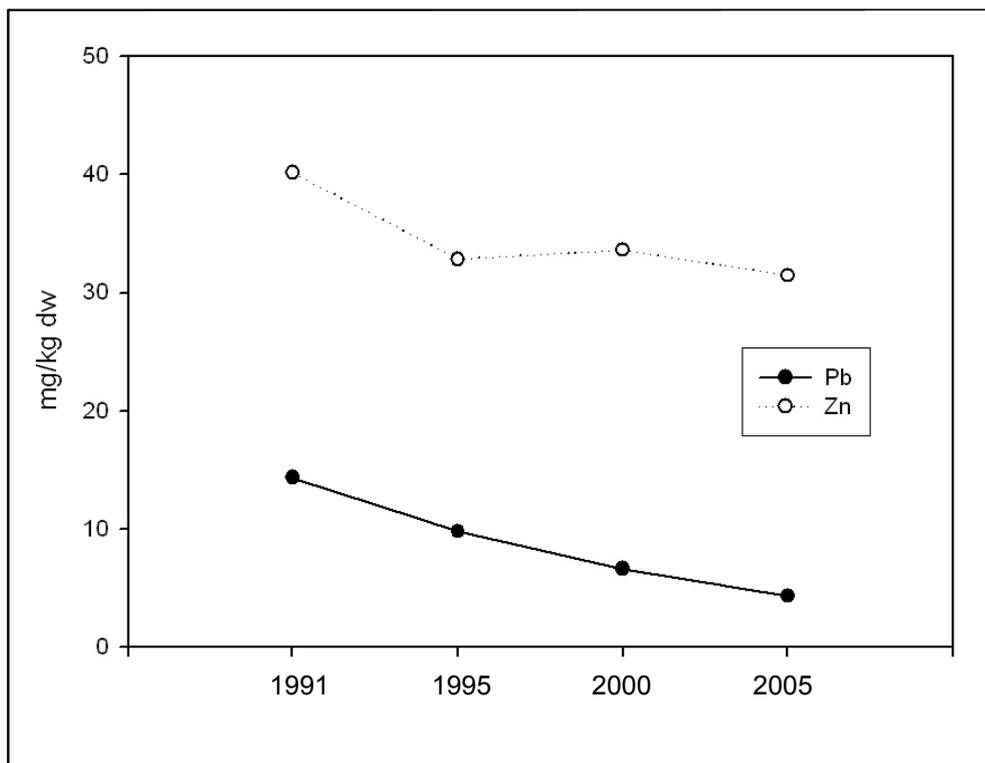


Abbildung 27: Veränderungen der durchschnittlichen Konzentrationen (Mittelwerte) der Elemente Pb und Zn in den Jahren 1991 bis 2005 (mg/kg).

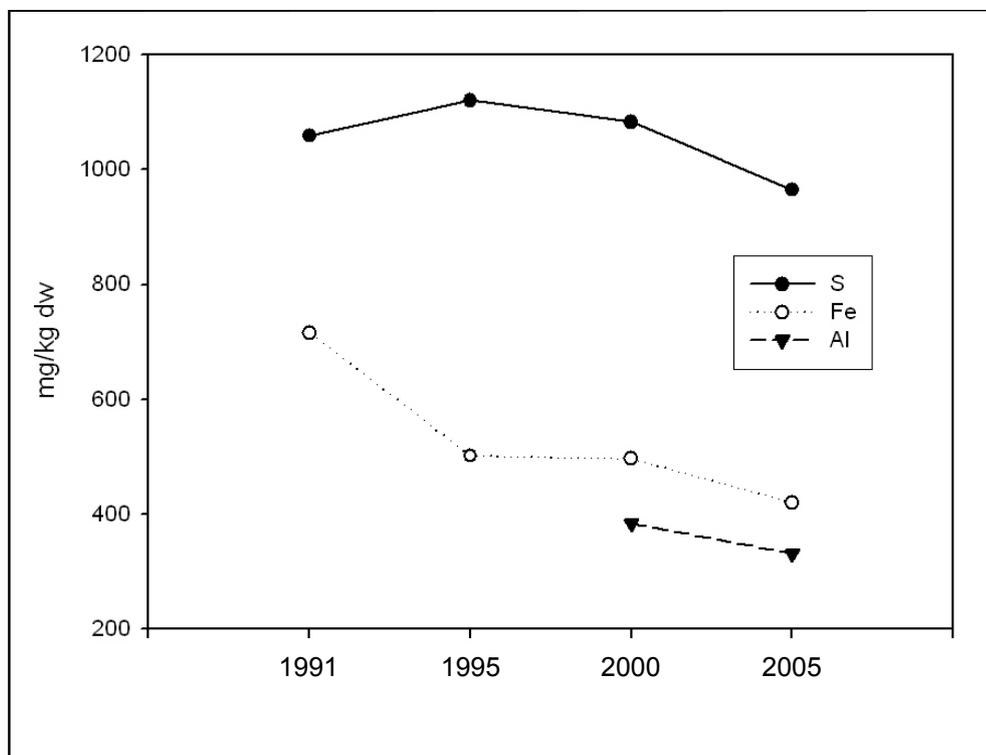


Abbildung 28: Veränderungen der durchschnittlichen Konzentrationen (Mittelwerte) der Elemente S, Fe und Al in den Jahren 1991 bis 2005 (mg/kg).

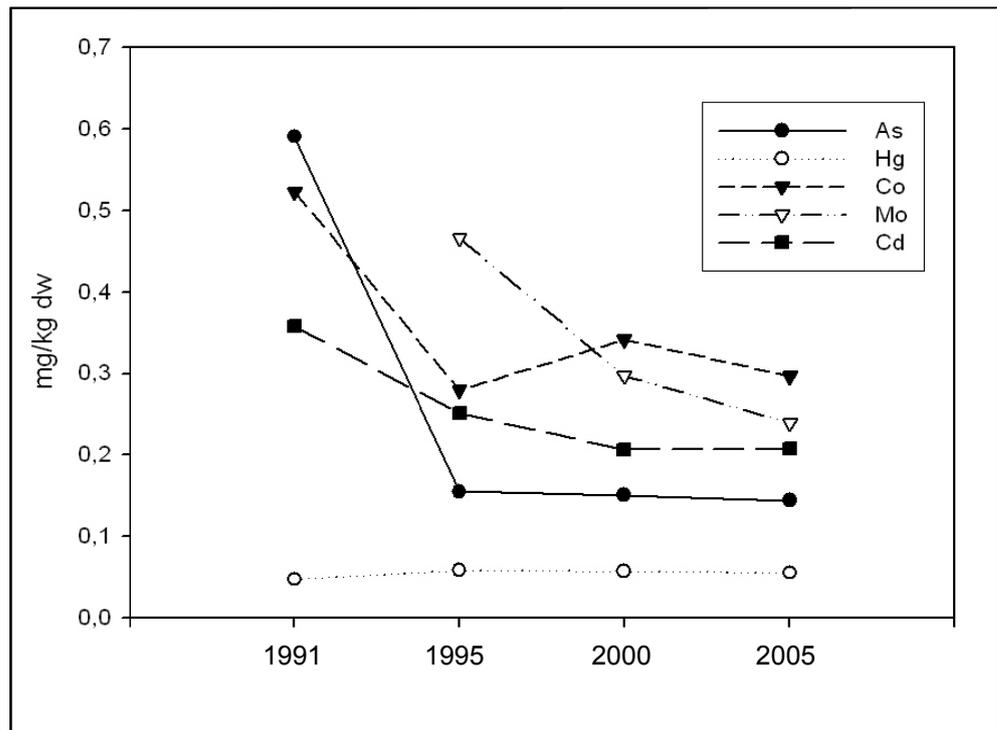


Abbildung 29: Veränderungen der durchschnittlichen Konzentrationen (Mittelwerte, mg/kg) der Elemente As, Hg, Co, Mo und Cd in den Jahren 1991, 1995, 2000 und 2005.

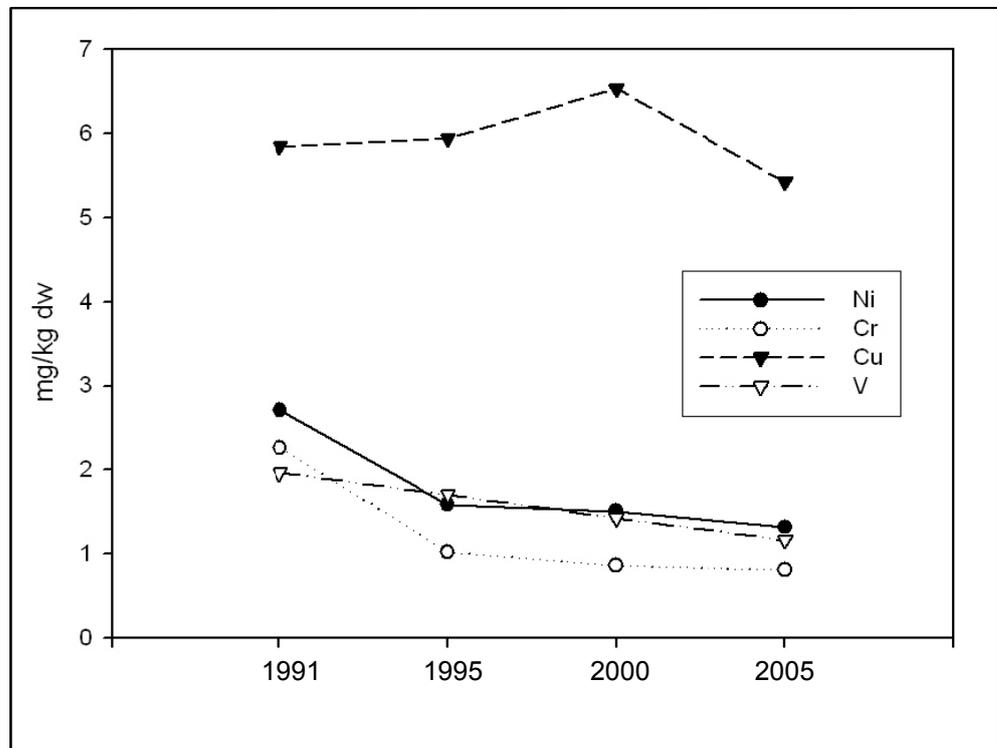


Abbildung 30: Veränderungen der durchschnittlichen Konzentrationen (Mittelwerte, mg/kg) der Elemente Ni, Cr, Cu und V in den Jahren 1991, 1995, 2000 und 2005.

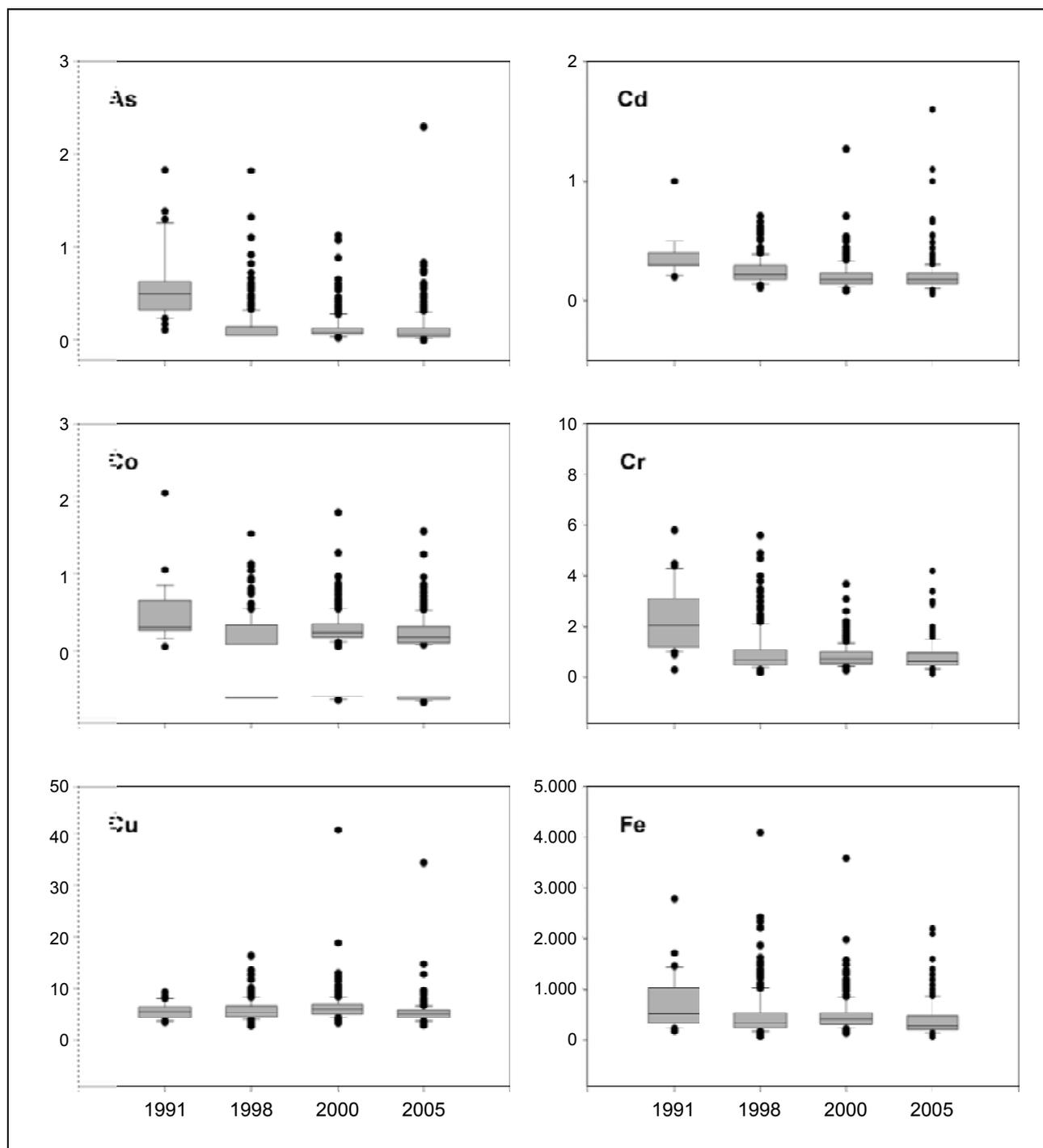


Abbildung 31: „Box & Whisker Plots“ der Konzentrationen ( $\mu\text{g/g}$ ) von As, Cd, Co, Cr, Cu und Fe an allen Standorten ( $n = 220$ ) in den einzelnen Untersuchungsjahren.

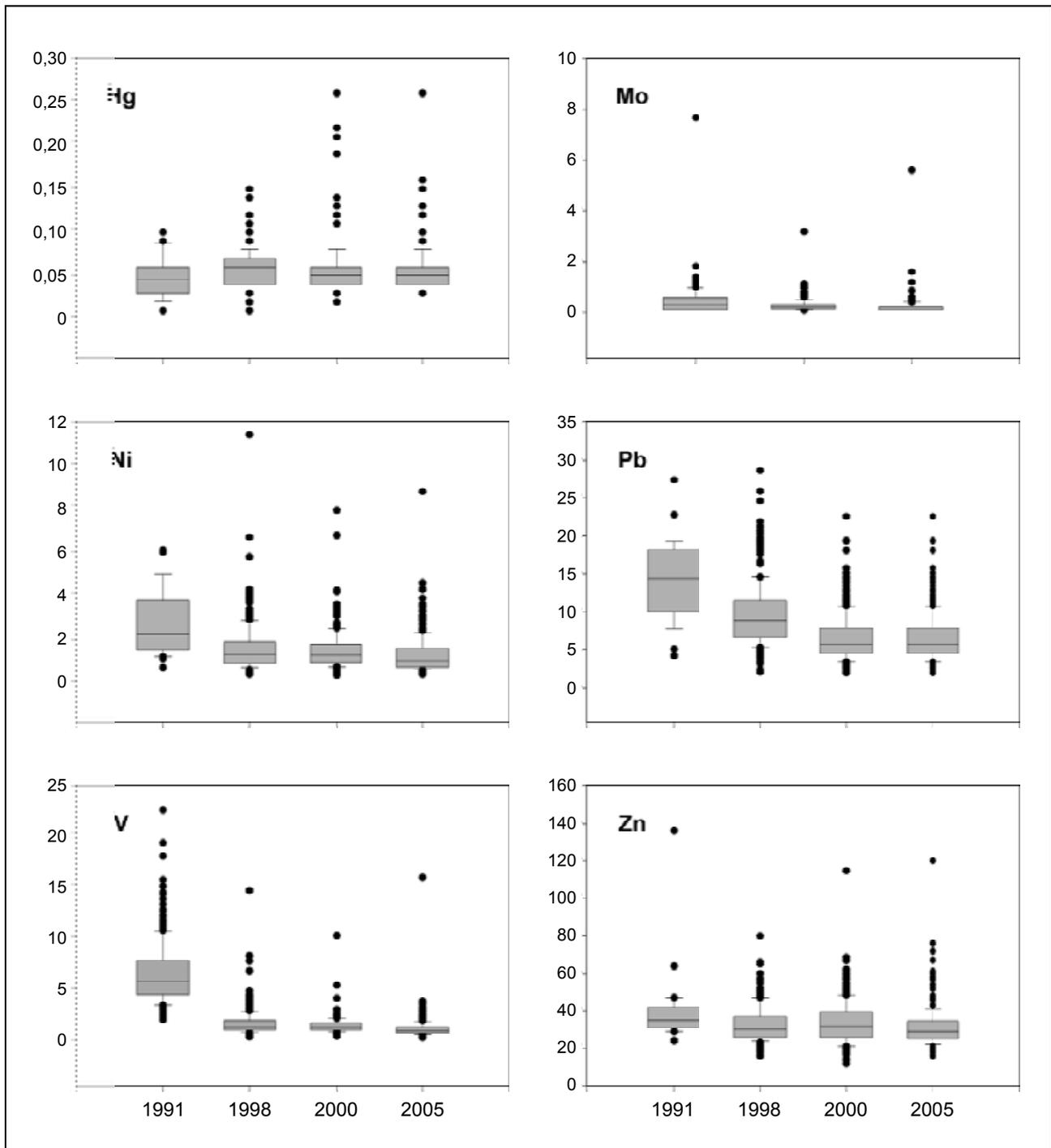


Abbildung 32: „Box & Whisker Plots“ der Konzentrationen ( $\mu\text{g/g}$ ) von Hg, Mo, Ni, Pb, V und Zn an allen Standorten ( $n = 220$ ) in den einzelnen Untersuchungsjahren.



Tabelle 7: Tabelle der Konzentrationen ( $\mu\text{g/g}$ ) in den bisherigen Untersuchungsjahren:  
Mittelwert (oberer Wert) und Median (unterer Wert).

Pb				V				S				Zn			
2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991
4,3	6,6	9,8	14,3	1,2	1,4	1,7	2,0	964,6	1.082,6	1.120,2	1.058,7	31,4	33,6	32,8	40,1
3,7	5,8	8,9	14,4	0,9	1,3	1,3	1,9	970,0	1.085,0	1.110,0	1.027,5	29,0	31,5	30,0	34,9

Fe				Cu				Al		Cr			
2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991	2005	2000	2005	2000	1995	1991
420,3	496,2	501,3	715,9	5,4	6,5	5,9	5,8	331,4	383,8	0,81	0,86	1,02	2,27
290,0	409,0	340,0	524,5	5,1	6,1	5,4	5,7	240,0	327,0	0,64	0,73	0,70	2,05

Ni				Cd				Mo			Co			
2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	2005	2000	1995	1991
1,32	1,51	1,59	2,71	0,21	0,21	0,25	0,36	0,24	0,30	0,47	0,30	0,34	0,28	0,52
1,00	1,26	1,30	2,25	0,18	0,18	0,22	0,30	0,13	0,25	0,32	0,23	0,28	0,13	0,35

Hg				As			
2005	2000	1995	1991	2005	2000	1995	1991
0,056	0,057	0,058	0,048	0,144	0,151	0,155	0,590
0,052	0,050	0,060	0,045	0,076	0,100	0,070	0,515

Tabelle 8: Tabelle der prozentuellen Veränderungen der Konzentrationen  
gegenüber der Aufsammlung 2005 (= 100 %) bezogen auf den jeweiligen Mittelwert.

Pb			V			S			Zn			Fe		
2000	1995	1991	2000	1995	1991	2000	1995	1991	2000	1995	1991	2000	1995	1991
-34,5	-55,7	-69,8	-18,2	-31,7	-40,7	-10,9	-13,9	-8,9	-6,4	-4,2	-21,6	-15,3	-16,2	-41,3

Cu			Al	Cr			Ni			Cd			Mo	
2000	1995	1991	2000	2000	1995	1991	2000	1995	1991	2000	1995	1991	2000	1995
-17,0	-8,7	-7,1	-13,7	-6,2	-20,7	-64,3	-12,5	-17,1	-51,4	+0,6	-17,2	-41,9	-19,4	-48,6

Co			Hg			As		
2000	1995	1991	2000	1995	1991	2000	1995	1991
-13,2	+6,1	-43,3	-2,8	-4,9	+16,6	-4,5	-7,3	-75,6

### 3.7 Abschätzung der Depositionsraten

#### 3.7.1 Allgemeines

Die flächenbezogene Quantifizierung der Einträge von Schwermetallen ist ein wichtiger Aspekt der Umweltkontrolle. Meist werden Depositionsdaten primär über technische Messgeräte (z. B. Bergerhoff-Messbecher) ermittelt. Die Genauigkeit dieser Daten ist jedoch umstritten (siehe z. B. THÖNI 1996, THÖNI et al. 1996), außerdem sind die technischen Messungen personell und kostenmäßig sehr aufwändig.

#### **Vorteil der „Moosmethode“**

Die über Biomonitoring gewonnenen Daten können bei den meisten Methoden nicht flächenbezogen ausgewertet werden. Hierin liegt ein großer Vorteil der „Moosmethode“ gegenüber anderen. Es gibt eine Vielzahl an Untersuchungen, in denen Daten aus der „Moosmethode“ mit jenen aus technischen Sammelgeräten verglichen und signifikante Zusammenhänge erkannt wurden (Literaturüberblick siehe ZECHMEISTER et al. 2003).

Aus groben Schätzungen in der Anfangsphase ergaben sich in letzter Zeit relativ stabile Umrechnungsfaktoren. Mittels der folgenden Formel kann die Flächendeposition annähernd gut ermittelt werden.

$$x = \frac{D}{C} \cdot A \cdot E$$

*D* ..... Deposition

*C* ..... Konzentration im Moos

*A* ..... Jährlicher Biomassezuwachs der Monitoringart pro Flächeneinheit

*E* ..... Effizienzfaktor für die Aufnahme des jeweiligen Schwermetalls

Die Daten für den jährlichen Biomassezuwachs der Monitoringarten sollten bei punktbezogenen Berechnungen aufgrund der teilweise hohen Variabilität stets neu ermittelt werden. In der vorliegenden Studie wurde daher, wie auch in den Jahren 1995 und 2000, an 67 Standorten flächenbezogen gesammelt.

Für regionale oder nationale Berechnungen wurden und werden auch immer wieder Durchschnittsdaten der Biomasse herangezogen. Die Gültigkeit dieser Berechnungen ist bedingt richtig (siehe UMWELTBUNDESAMT 2009), keinesfalls dürfen Mittelwerte für Punktberechnungen herangezogen werden.

#### **Aufnahmekapazität der Moose für Schwermetalle**

Die Aufnahmeeffizienzfaktoren beschreiben die durchschnittliche Aufnahmekapazität der Monitoringarten für die einzelnen Schwermetalle. Nur Pb wird annähernd zu 100 % aufgenommen, alle anderen Elemente haben geringere Bindungskapazität. Die Gründe dafür sind vielfältig: Sie liegen vor allem in der unterschiedlichen Affinität der einzelnen Schwermetalle zu den Ionenaustauschkapazitäten in den Zellwänden der Moose, der Bindungsform der Elemente (der Aufnahmemechanismus von Anionen ist z. B. ungeklärt) bzw. der Konkurrenz durch andere Ionen (z. B. Na<sup>+</sup>, Br<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> in küstennahen Gebieten). Auch Auswaschungseffekte spielen eine Rolle.

Als Effizienzfaktoren wurden in dieser Studie verwendet:

As (25 %), Cd (60 %), Co (60 %), Cr (65 %), Cu (35 %), Fe (70 %), Mo (60 %), Ni (50 %), Pb (100 %), V (60 %) und Zn (60 %). Aufgrund der Tatsache dass Stickstoff ein essenzielles Element ist wurde eine Effizienz von 100 % angenommen.



Für Antimon, Aluminium, Quecksilber und Schwefel liegen keine adäquaten Untersuchungen und somit Effizienzfaktoren vor. Von einer Berechnung der Depositionsraten wurde in diesen Fällen Abstand genommen. Die Werte wurden aus ZECHMEISTER et al. (2003) übernommen und sind das Resultat einer Vielzahl an Untersuchungen aus allen Teilen Europas (z. B. STEINNES 1985, ROSS 1990, GJENGE DAHL & STEINNES 1990, 1997, BERG et al. 1995, THÖNI et al. 1996, UMWELTBUNDESAMT 1997, ČEBURNIS & VALIULIS 1999).

Die Umrechnung von Konzentrations- zu Depositionsdaten hat sich bereits international etabliert und wird im Rahmen der europäischen Moosstudie in einigen Ländern praktiziert (z. B. SUCHAROVÁ & SUCHARA 1998, WAPPELHORST et al. 2000). Die Berechnung von Depositionsdaten aus den Konzentrationen in Moosen ist auch erklärtes Ziel im Rahmen des UNECE ICP Vegetation Projektes (UNECE 2003, REYNOLDS et al. 2000).

### ***Umrechnung von Konzentrations- zu Depositionsdaten***

#### **3.7.2 Berechnung der Depositionsdaten an konkreten Standorten**

An 67 Standorten wurde flächenbezogen gesammelt und aufbereitet. Die Ergebnisse der Biomassezuwächse sind für die einzelnen Arten in Kapitel 3.5 dargestellt.

Die daraus berechneten Depositionswerte für die einzelnen Standorte sind im Anhang 3 aufgelistet.

Die Depositionsdaten von As, Cd, Cr, Fe, Mo, V, Zn und N korrelieren hoch signifikant mit den Konzentrationsdaten (alle  $P < 0,001$ ), die Korrelation von Pb ist signifikant bei  $P < 0,05$ .

Keine signifikanten Korrelationen gibt es bei Co, Cu und Ni. Daraus können unterschiedliche Schlüsse gezogen werden:

1. Die Effizienzfaktoren sind ungenau, oder
2. der Biomassezuwachs spielt bei diesen Elementen eine entscheidende Rolle. In diesem Falle würde den Wachstumsbestimmungen und den daraus folgenden Biomasseberechnungen eine besonders wichtige Rolle zukommen, und die Konzentrationsdaten wären nur bedingt richtig. Aufgrund des Fehlens von entsprechender Fachliteratur bleibt eine Antwort spekulativ. Für Cu ist ein ähnliches Phänomen bereits 2000 beobachtet worden.

Es wurde ein Vergleich durchgeführt, bei dem einmal mit den konkreten Messergebnissen der Biomassezuwächse und das andere Mal mit den Mittelwerten von 2000 gerechnet wurde. Es ergab sich für die einzelnen Metalle insgesamt kein signifikanter Unterschied (Wilcoxon-Test) zwischen beiden Methoden. Diese Parallele erklärt sich aus der Tatsache, dass die Biomassezuwächse an den einzelnen Standorten auch die Grundlage zur Mittelwertberechnung waren. Die Schwankungen an den einzelnen Standorten waren also in Summe Null.

### 3.7.3 Berechnung von Depositionsdaten auf regionaler und nationaler Ebene

Es wurden sowohl für die einzelnen Raumeinheiten als auch für das gesamte Bundesgebiet Depositionswerte berechnet (siehe Tabelle 9).

Dabei wurden alle Standorte verwendet, unter Einbeziehung der Mittelwerte der Biomassezuwächse der verschiedenen Monitoringarten.

Tabelle 9: Depositionen in den einzelnen Regionen und Österreich gesamt; Depositionen in  $\mu\text{g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ ; Mw = Mittelwert; Md = Median; Std = Standardabweichung; A = Österreich gesamt (Regionen siehe Tabelle 1).

Region		Pb	V	Zn	Fe	Cu	Cr	Ni	Cd	Mo	Co	As	N
A	Mw	437	197	5.243	61.525	1.535	127	267	35	40	50	59	1.211.900
	Std	267	198	2.046	56.719	660	98	198	25	66	39	87	317.385
	Md	374	152	4.736	41.529	1.440	94	196	30	24	36	30	1.178.925
1	Mw	466	182	5.464	60.414	1.467	123	194	32	23	43	41	1.248.048
	Md	475	154	5.330	41.529	1.467	97	154	30	20	34	25	1.232.310
2	Mw	680	364	5.349	151.294	1.601	256	384	38	40	86	212	1.374.293
	Md	687	344	5.450	140.250	1.642	235	358	38	25	78	169	1.414.875
3	Mw	503	228	6.467	89.404	1.663	164	399	42	26	97	76	1.348.744
	Md	431	211	5.236	80.939	1.523	156	376	39	24	88	48	1.332.375
4	Mw	609	177	7.052	59.815	1.595	153	418	46	36	68	44	1.484.654
	Md	543	146	7.198	42.309	1.606	112	321	42	26	62	31	1.424.430
5	Mw	443	177	4.873	47.306	1.563	104	211	44	52	34	45	1.190.312
	Md	345	165	4.415	35.956	1.385	93	159	30	34	25	31	1.118.010
6	Mw	296	166	4.706	41.585	1.477	95	232	24	44	42	33	1.077.493
	Md	286	116	4.441	34.622	1.332	75	184	21	23	33	26	1.056.210
7	Mw	360	176	4.677	46.644	1.500	99	217	31	22	32	38	1.090.141
	Md	388	162	4.684	42.913	1.412	95	194	31	20	31	34	1.065.900

### 3.7.4 Vergleich mit den Depositionsdaten von 2000

#### 3.7.4.1 Punktbezogener Vergleich

An 27 Standorten war ein Vergleich mit der flächenbezogenen Beprobung von 2000 möglich. Der direkte Vergleich punktbezogener Depositionsdaten ist daher auch nur an diesen Standorten zulässig. An zehn Standorten war sowohl ein Vergleich mit der Aufsammlung von 2000 als auch mit jener von 1995 möglich.

Die Depositionen sind signifikant unterschiedlich bei den Elementen Pb ( $P < 0,001$ ), V ( $P < 0,01$ ), Zn ( $P < 0,01$ ), Fe ( $P < 0,01$ ), Cr ( $P < 0,01$ ), Mo ( $P < 0,05$ ) und Co ( $P < 0,05$ ). Nicht signifikant sind die Unterschiede bei As, Cd, Cu und Ni. Bei den Elementen Cd, Co, Cr, Fe, Mo, Ni, Pb, V, traten die niedrigsten Depositionen 2005 auf, während bei Zink die niedrigsten Werte 2000 zu finden waren. Bei Kupfer wurden die signifikant niedrigsten Werte 1991 gemessen.

Die konkreten Depositionsdaten – bezogen auf die vergleichbaren Punkte – decken sich daher nicht genau mit den Ergebnissen, welche aus den Konzentrationsdaten gewonnen wurden. Vor allem die nicht signifikanten Unterschiede in den Zeitreihen bei As, Cd, Cu und Ni sind bemerkenswert und relativieren so die zum Teil stark abnehmenden Trends, wie sie aus den Konzentrationsdaten allein abzulesen wären. Allerdings sind dies zufällig ausgewählte Punkte, die auch aus diesem Grunde dem allgemeinen Trend widersprechen können. Betrachtet man die Gesamtdositionen für Österreich (siehe Tabelle 9) widerspricht dies der eben genannten Tatsache, allerdings wird bei den österreichischen Daten auch mit den unschärferen Mittelwerten gearbeitet (siehe nächstes Kapitel).

**Relativierung der abnehmenden Trends notwendig?**

### 3.7.4.2 Österreich-Vergleich bzw. Vergleich der Raumeinheiten

Vergleicht man die Mittelwerte der Depositionen der untersuchten Elemente aus ganz Österreich (gewonnen aus den Mittelwerten der Biomassezuwächse) finden sich signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren (Friedman's Test;  $P < 0,000$ ; siehe Tabelle 10). Die höchsten Werte wurden 1995 verzeichnet, was aber auch in einem Wechsel von Aufschluss und Analytik begründet ist (UMWELTBUNDESAMT 1997), gefolgt von jenen des Jahres 2000; 2005 waren die Depositionen am geringsten.

Bei der Entwicklung der Depositionen in den einzelnen Raumeinheiten als Gesamtes (Friedman's Test) so sind die Depositionen der jüngeren Aufsammlungen immer geringer als jene der älteren. Nur in Region 3 (südöstliches Alpenvorland) ist dieser Trend nicht signifikant. Die Trends der Depositionsdaten auf regionaler Ebene bestätigen somit weitgehend die Ergebnisse der Konzentrationsdaten.

Tabelle 10: Vergleich der Gesamt-Depositionsdaten für Österreich aus den Aufsammlungen von 1991 (nur Mw), 1995, 2000 und 2005; Depositionen in  $\mu\text{g m}^{-2}\text{a}^{-1}$ ; Mw = Mittelwert; Std = Standardabweichung; Md = Median.

		Pb	V	Zn	Fe	Cu	Cr	Ni	Cd	Mo	Co	As
2005	Mw	437	197	5.243	61.525	1.535	127	267	35	40	50	59
	Std.	267	198	2.046	56.719	660	98	198	25	66	39	87
	Md	374	152	4.736	41.529	1.440	94	196	30	24	36	30
2000	Mw	836	332	6.293	101.571	2.072	189	367	39	63	70	86
	Std.	385	236	2.327	88.209	683	151	253	16	42	56	80
	Md	890	286	6.038	69.580	1.954	143	255	33	52	46	48
1995	Mw	1.586	573	8.198	140.830	1.586	261	490	65	115	82	81
	Std.	517	363	2.963	133.863	535	194	274	27	70	61	90
	Md	1.620	455	7.305	91.200	1.448	208	465	62	107	65	44
1991	Mw	1.425	322	7.163	20.652	431	189	329	61		59	140



## 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

### ***Schwermetalldepositionen größtenteils rückläufig***

Die Schwermetallkonzentrationen in Moosen und die daraus abgeleiteten Depositionen sind in der Aufsammlung 2005 im Vergleich mit den früheren Untersuchungen größtenteils rückläufig. Bei zahlreichen Elementen ist jedoch ein Verflachen dieses Rückgangs zu beobachten. Dieses Ergebnis wird durch Untersuchungen in anderen europäischen Ländern bestätigt (UNECE ICP VEGETATION 2003). Dieser Rückgang ist auf Verbesserungen im Bereich der emissionsmindernden Maßnahmen, sowohl in der Gesetzgebung als auch bei der technischen Umsetzung, zurückzuführen. Verflachungen des Rückgangs in der letzten Aufsammlung gegenüber den vorherigen Beobachtungszeiträumen sind auf die machbare Obergrenze der Reduktion (z. B. durch bleifreies Benzin) bzw. auf die Zunahme der Emissionen einzelner Verursacher zurückzuführen.

### ***punktuell Höchstwerte erfordern weiteres Monitoring***

Trotz des generellen Rückganges sollte aber nicht übersehen werden, dass punktuell Standorte auch weiterhin extrem hohe Werte aufweisen, die auf meist, aber nicht immer bekannte, lokale Emittenten hinweisen. Diese Werte liegen oft im europäischen Spitzenfeld und lokale Gefährdungen von Mensch und Ökosystemen sind vielfach nicht auszuschließen. Um diese Problembereiche in Kontrolle zu halten bzw. neu auftretende rechtzeitig zu erkennen sollte das flächendeckende Monitoring der Schwermetalldepositionen auch weiterhin aufrechterhalten werden.

### ***Forschungsbedarf bei Depositions- berechnung***

Die Methodik des Moosmonitorings bedarf in Teilbereichen noch weiterer Forschung. Dies betrifft vor allem die Verbesserung der Depositionsberechnungen, so z. B. die Verbesserung des Wissensstandes um die Effizienzfaktoren oder einer gleichwertigen Grundlage zur Berechnung der Depositionen aus den gefundenen Konzentrationen.

Extremwetterereignisse, wie sie während der Aufsammlung immer wieder vorkommen können (z. B. Starkniederschläge während der Aufsammlungsperiode 2005), beeinflussen die Konzentration in den Moosen zweifelsfrei, können aber aufgrund der inzwischen langen Zeitreihen und Trends und unter Anwendung geeigneter statistischer Methoden erfasst und ausreichend quantifiziert werden.

### ***Aufnahme von Sb und N ins Programm hat sich bewährt***

Die neu ins Programm aufgenommenen Elemente Antimon und Stickstoff sind eine wesentliche Bereicherung. Antimon ermöglicht eine relativ sichere Quantifizierung des Einflusses aus den durch den Straßenverkehr bedingten Depositionen. Steigende Stickstoff-Akkumulationen in den Böden werden weltweit als Bedrohung für die Biodiversität und Funktionalität von Ökosystemen betrachtet. Moose sind ein geeignetes Mittel um die atmosphärische Deposition von Stickstoff zu erfassen (z. B. SOLGA et al. 2005). Die Aufnahme des Stickstoff-Monitorings ins Moosprogramm der UNECE ICP Vegetation (UNECE 2003) war ein wichtiger Schritt und wird künftig wohl eine Hauptstoßrichtung des Moosmonitorings sein.

### ***Neuaufnahme von Pt und ausgewählten PAHs wäre wünschenswert***

Die Aufnahme von Platin (Pt) und ggf. auch ausgewählter PAHs (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe, z. B. die von der US-EPA als gefährlich eingestuft PAHs) ins Programm wäre zu erwägen. Platingruppenelemente zeigen eine kontinuierliche Anreicherung in den Ökosystemen, erreichen auch straßenferne Punkte (ZECHMEISTER et al. 2006a) und die allgemeine Datenlage ist sehr schlecht. Die negative Auswirkung der meisten PAHs ist hinreichend diskutiert, die Analyse von PAHs in Moosen wurde erfolgreich praktiziert (z. B. ZECHMEISTER et al. 2006b) und könnte wertvolle Umweltinformationen über aktuelle PAH-Depositionen bringen.



Das Monitoring von Problemstoffen mittels Moosen sollte daher auch weiterhin ein wichtiges Ziel in der Umweltkontrolle in Österreich bleiben. Die Konsistenz der Kontrolle in Aufsammlung und Analytik gewährt vergleichbare Zeitreihen, welche in dieser Dichte (220 Vergleichsstandorte in ganz Österreich) in kaum einem anderen Programm vorliegen. Die Anwendbarkeit des Moosmonitorings in der Kontrolle von Depositionen aus dem Straßenverkehr oder in Innenräumen zeigt weitere mögliche Wege auf.

**weitere  
Möglichkeiten des  
Moosmonitorings**

## 5 LITERATURVERZEICHNIS

- ADRIANO, D. C. (1986): Trace elements in the terrestrial environment. Springer. N.Y.
- BARRIE, L. A. & SCHEMENAUER, R. S. (1989): Wet deposition of heavy metals. In: Pacyna, J.M. & Ottar, B. 1989 (eds.): Control and fate of atmospheric trace metals. Kluwer Academic Press. Dordrecht. pp. 203–231.
- BATES, J. & FARMER, A. (1992): Bryophytes and lichens in a changing environment. Clarendon Press, Oxford.
- BÄRLOCHER, F. (1999): Biostatistik. Thieme Verlag. Stuttgart.
- BERG, T. & STEINNES, E. (1997): Recent trends in atmospheric deposition of trace elements in Norway as evident from the 1995 moss survey. *Science of the Total Environment*, 208: 197–206.
- BERG, T.; RÓSET, 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. & Duckett, J. G. (eds.): The experimental biology of bryophytes. Academic Press. London. pp. 55–62.
- BROWN, D. H. & BATES, J. W. (1990): Bryophytes and nutrient cycling. *Botanical J. of the Linnean Society* 104: 129–147.
- BURTON, M. A. S. (1990): Terrestrial and aquatic bryophytes as monitors of environmental contaminants in urban and industrial areas. *Botanical Journal of the Linnean Society* 104: 267–280.
- ČEBURNIS, D. & VALIULIS, D. (1999): Investigation of absolute metal uptake efficiency from precipitation in moss. *The Science of the Total Environment* 226: 247–253.
- CHIARADIA, M. & CUPELIN, F. (2000): Gas-to-particle conversion of mercury, arsenic and selenium through reactions with traffic-related compounds (Geneva). Indications from lead isotopes. *Atmospheric Environment*, 34: 327–332.
- FRAHM, J.-P. (1998): Moose als Bioindikatoren. Quelle u. Mayer, Wiesbaden.
- GJENGEDAHN, E. & STEINNES, E. (1990): Uptake of metal ions in moss from artificial precipitation. *Environmental Monitoring and Assessment* 14: 77–87.
- HACKL, A. & MAUSCHITZ, G. (2001): Emissionen aus Anlagen der Österreichischen Zementindustrie III. Jahresreihe 1997–1999. Bericht. Weitra/Wien.
- HALLERAKER, J.H.; REIMANN, C.; DECARITAT, P.; FINNE, T.E.; KASHULINA, G.; NISKAAVAARA, H. & BOGATYREV, I. (1998): Reliability of moss (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberii*) as a bioindicator of atmospheric chemistry in the Barents region: Interspecies and field duplicate variability. *The Science of the Total Environment* 218: 123–139.
- HARMENS, H. (2005): Monitoring of atmospheric heavy metal deposition in Europe using bryophytes. *Monitoring Manual. Survey 2005/2006. UNECE ICP Vegetation*. Bangor.
- HARRISON, R.M.; TILLING, R.; CALLEN ROMERO, M.S.; HARRAD, S. & JARVIS, K. (2003): A study of trace metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in the roadside environment. *Atmospheric Environment* 37. pp. 2391–2402.

- HERPIN, U.; MARKERT, B.; SIEWERS, U. & LIETH, H. (1994): Monitoring der Schwermetallbelastung in der Bundesrepublik Deutschland mit Hilfe von Moosanalysen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Ökologie, Forschungsbericht 108 02 087.
- HERPIN, U.; SIEWERS, U.; KREIMES, K. & MARKERT, B. (2001): Biomonitoring – evaluation and assessment of heavy metal concentrations from two German moss monitoring surveys. In: Burga, C. A. & Kratochwil, A. (eds.): Biomonitoring: General and applied aspects on regional and global scales. Kluwer, Dordrecht. pp.73–95.
- KOSTKA-RICK, R.; LEFFLER, U.S.; MARKERT, B.; HERPIN, U.; LUSCHE, M. & LEHRKE, J. (2001): Biomonitoring zur wirkungsbezogenen Ermittlung der Schadstoffbelastung in terrestrischen Ökosystemen. Zeitschrift für Umweltchemie-Ökotoxikologie 12: 5–12.
- KROMMER, V.; ZECHMEISTER, H.G.; RODER, I. & HANUS-ILLNAR, A. (2007): Monitoring atmospheric pollutants in the Biosphere Reserve Wienerwald by a combined approach of biomonitoring methods and technical measurements. Chemosphere 67, 1956–1966.
- LEHNINGER, A. L. (1977): Biochemie. Verlag Chemie. Weinheim.
- MÄGDEFRAU, K. (1982): Life-forms of bryophytes. In: Smith, A. J. E., (ed.): Bryophyte ecology. Chapman and Hall, London. pp. 45–58.
- 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.
- MARKERT, B.; BREURE, T. & ZECHMEISTER, H. G. (2003): Definitions, strategies and principles for bio-indication/biomonitoring the environment. In: Breure, A.M.; Markert, B. & Zechmeister, H.G. (eds.): Bioindicators/Biomonitoring (principles, assessment, concepts). Elsevier. Amsterdam.
- MERIAN, E. (ed.) (1991): Metals and their compounds in the environment. VCH. Weinheim.
- MIGUEL DE, E.; LAMAS, J. F.; CHACON, E.; BERG, T.; LARSEN, S.; ROYSET, O. & VADSET, M. (1997): Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrols and urban lead. Atmospheric Environment 31: 2733–2740.
- ONIANWA, P.C. (2001): Monitoring atmospheric metal pollution: A review of the use of mosses as indicators. Environmental Monitoring and Assessment 71: 13–50.
- PACZYNA, J. M. & OTTAR, B. (eds.) (1989): Control and fate of atmospheric trace metals. Kluwer Academic Press. Dordrecht.
- RAMADAN, Z.; SONG, X. H. & HOPKE, P. K. (2000): Identification of sources of Phoenix aerosol by positive matrix factorization. Journal of the Air & Waste Management Association, 50: 1308–1320.
- REIMANN, C.; NISKAVAARA, H.; KASHULINA, G.; FILZMOSE, P.; BOYD, R.; VOLDEN, T.; TOMILINA, O. & BOGATYREV, I. (2001): Critical remarks on the use of terrestrial moss (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for monitoring of airborne pollution. Environmental Pollution 113: 41–57.
- REYNOLDS, B.; MILLS, G. & PUGH, B. (2000): Monitoring of atmospheric heavy-metal deposition in Europe using bryophytes. Experimental Protocol. 2000/2001 Survey. Bangor.
- 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. & STEINNES, E. (eds.) (1998): Atmospheric heavy metal deposition in Europe 1995–1996. Nord 1998: 15. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- SALZBURGER BODENZUSTANDSINVENTUR (1993): Amt der Salzburger Landesregierung. Salzburg.



- SCHRÖDER, W. & PESCH, R. (2004): Spatial and temporal trends of metal accumulation in mosses. *Journal of Atmospheric Chemistry* 49: 23–38.
- SOLGA, A.; BURKHARDT, J.; ZECHMEISTER, H.G. & FRAHM, J.-P. (2005): Nitrogen content,  $^{15}\text{N}$  natural abundance and biomass of the two pleurocarpous mosses *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. and *Scleropodium purum* (Hedw.) Limpr. in relation to atmospheric nitrogen deposition. *Environmental Pollution* 134: 465–473.
- STEINNES, E. (1985): Use of mosses in heavy metal deposition studies. EMEP/CCC Report 3/85: 161–170.
- STREIT, B. (1994): *Lexikon Ökotoxikologie*. VCH. Weinheim.
- SUCHAROVÁ, J. & SUCHARA, I. (1998): Biomonitoring of the atmospheric deposition of metals and sulphur compounds using moss analysis in the Czech Republic. Results of the international biomonitoring programme 1995. Research Institute of ornamental gardening Pruhonice. Report. Pruhonice.
- SUTHERLAND, R. A.; TOLOSA, C. A.; TACK, F. M. G. & VERLOO, M. G. (2000): Characterization of selected element concentrations and enrichment ratios in background and anthropogenically impacted roadside areas. *Archives of Environmental Contamination & Toxicology*, 38: 428–438.
- TAKEDA, K.; MARUMOTO, K.; MINAMIKAWA, T.; SAKUGAWA, H. & FUJIWARA, K. (2000): Three-year determination of trace metals and the lead isotope ratio in rain and snow depositions collected in Higashi-Hiroshima, Japan. *Atmospheric Environment*, 34: 4525–4535.
- 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.
- UMWELTBUNDESAMT (1990): Nowak, H.: Vereinfachte Landschaftsgliederung in Österreich. Interner Bericht, Bd. IB-228. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (1994): Zechmeister, H. G.: Biomonitoring der Schwermetalldepositionen mittels Moosen in Österreich. Monographien, Bd. M-042. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (1995a): Reiter, B. & Stroh, R.: Behandlung von Abfällen in der Zementindustrie. Monographien, Bd. M-072. Umweltbundesamt, Wien. S. 1–146.
- UMWELTBUNDESAMT (1995b): Winiwarter, W. & Schneider, M.: Abschätzung der Schwermetallemissionen in Österreich. Reports, Bd. R-0108. Umweltbundesamt. Wien. S. 95–108.
- UMWELTBUNDESAMT (1997): Zechmeister, H. G.: Schwermetalldepositionen in Österreich. Aufsammlung 1995. Monographien, Bd. M-094. Umweltbundesamt, Wien. S. 1–145.
- UMWELTBUNDESAMT (2001): Umweltsituation in Österreich. 6. Umweltkontrollbericht. Umweltbundesamt, Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (2009): Zechmeister, H. G. & Riss, A. Schwermetalldepositionen in Österreich. Aufsammlung 2000. Reports, Bd. REP-0200. Umweltbundesamt Wien. (im Druck).
- UNECE ICP VEGETATION (2003): Heavy metals in European mosses: 2000/2001 Survey. Centre for Ecology and Hydrology. Bangor.

- 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.
- WAPPELHORST, O.; KORHAMMER, S.; LEFFLER, U. S. & MARKERT, B. (2000): Ein Moosbiomonitoring zur Ermittlung atmosphärischer Elementeträge in der Euroregion Neiße (D, PL, CZ). Zeitschrift Umweltchemie Ökotoxikologie 12: 191–200.
- WEBER, L. (Hg.) (1997): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. Archiv für Lagerstättenforschung 19: 1–607 und Beilage.
- WOLTERBEEK, H.T.; KUIK, P.; VERBURG, T.G.; HERPIN, U.; MARKERT, B. & THÖNI, L. (1995): Moss interspecies comparison in trace element concentrations. Environmental Monitoring and Assessment 35: 263–286.
- ZECHMEISTER, H.G. (1995a): Growth rates of five pleurocarpous moss species under various climatic conditions. Journal of Bryology 18: 455–468.
- ZECHMEISTER, H.G. (1995b): Correlation between altitude and heavy metal deposition in the Alps. Environmental Pollution 89: 73–80.
- ZECHMEISTER, H.G. (1998): Annual growth of four pleurocarpous moss species and their applicability for biomonitoring heavy metals. Environmental Monitoring and Assessment 52: 441–451.
- ZECHMEISTER, H.G.; HOHENWALLNER, D.; RISS, A. & HANUS-ILLNAR, A. (2002): Variations in heavy metal concentrations in the moss species *Abietinella abietina* (Hedw.) Fleisch. according to sampling time, within site variability and increase in biomass. Science of the Total Environment 301: 55–65.
- ZECHMEISTER, H.G.; GRODZINSKA, K. & SZAREK-LUKASZEWSKA, G. (2003): Bryophytes. In: Markert, B. A.; Breure, A. M. & Zechmeister H. G. (eds.): Bioindicators/Biomonitoring (principles, assessment, concepts). Elsevier. Amsterdam.
- ZECHMEISTER, H.G.; RISS, A. & HANUS-ILLNAR, A. (2004): Biomonitoring of atmospheric heavy metal depositions by mosses in the vicinity of local emission sources. Journal of Atmospheric Chemistry 49: 461–477.
- ZECHMEISTER, H.G.; RISS, A.; HOHENWALLNER, D.; HANUS-ILLNAR, A. & RÖDER, I. (2005a): Variations in trace metal depositions in Austria between the years 1991 and 2000. Polish Botanical Studies 19: 27–34.
- ZECHMEISTER, H.G.; HOHENWALLNER, D.; RISS, A. & HANUS-ILLNAR, A. (2005b): Estimation of element deposition deriving from road traffic sources by mosses. Environmental Pollution 138: 238–249.
- ZECHMEISTER, H.G.; HAGENDORFER, H.; HOHENWALLNER, D.; RISS, A. & HANUS-ILLNAR, A. (2006a): Analysis of Platinum group elements in mosses as indicators of road traffic emissions in Austria. Atmospheric Environment 40: 7720–7732.
- ZECHMEISTER, H.G.; DULLINGER, S.; HOHENWALLNER, D.; RISS, A.; HANUS-ILLNAR, A. & SCHARF, S. (2006b): Pilot study on road traffic emissions (PAHs, heavy metals) measured by using mosses in a tunnel experiment in Vienna, Austria. Environmental Science and Pollution Research 13: 398–405.
- ZECHMEISTER, H.G.; HOHENWALLNER, D.; HANUS-ILLNAR, HAGENDORFER, H.; RÖDER, I. & RISS, A. (2008): Temporal patterns of metal deposition at various scales in Austria during the last two decades. Atmospheric Environment, 42, 1301–1309.



## ANHANG

### Anhang 1: Liste aller Sammelpunkte

- Nr. .... Nummer des Sammelpunktes (1. Zahl = ÖK 50; 2. Zahl: 1 = nördlicher oder einziger Sammelpunkt, 2 = südlicher Sammelpunkt auf dieser ÖK);
- ÖK..... Österreichkarte 1:50.000 (Österr. Bundesamt f. Eich- und Vermessungswesen)
- Bdl..... Bundesland
- RE..... Region nach UMWELTBUNDESAMT (1990)
- Bezirk ..... Politischer Bezirk
- Länge ..... Geographische Länge
- Breite ..... Geographische Breite
- Standort ..... physiognomische Zuordnung des Standortes
- Bestand..... Vegetationskundliche Zuordnung des Standortes
- TR..... Trockenrasen
- Art ..... Aa = *Abietinella abietina*, Hc = *Hypnum cupressiforme*,  
Hs = *Hylocomium splendens*, Ps = *Pleurozium schreberi*, Sp = *Scleropodium purum*.

### Anhang 2: Tabelle der Konzentrationen aller analysierten Elemente an allen Hintergrundstandorten

- Nr. .... Nummer des Sammelpunktes (1. Zahl = ÖK 50; 2. Zahl: 1 = nördlicher oder einziger Sammelpunkt, 2 = südlicher Sammelpunkt auf dieser ÖK)
- n. n. .... Wert unter der Nachweisgrenze
- Grau unterlegte Werte liegen ebenfalls unter der Nachweisgrenze und haben nur informativen Charakter.
- RSD gibt den Prozentanteil der Abweichung des Doppelaufschlusses an.
- Konzentrationen in  $\mu\text{g/g}$  Trockengewicht.

### Anhang 3: Flächendeposition an Standorten mit Daten zur jährlichen Biomasse der Monitoringarten

- Nr. .... Nummer des Sammelpunktes
- Zahlenangaben in  $\mu\text{g m}^{-2}\text{a}^{-1}$

## Anhang 1: Liste aller Sammelpunkte

Nr.	ÖK	Bdl.	RE	Bezirk	Gemeinde	Länge	Breite	Seehöhe (m)	Standort	Bestand	Art
5-1	5	N	1	Gmünd	Alt-Nagelberg	14°59'30"	48°52'10"	500	Lichtung	Fichtenwald	Ps
6-1	6	N	1	Waidhofen/Thaya	Kautzen	15°11'30"	48°56'40"	620	Lichtung	Fichten-Buchen-Tannen	Ps
7-1	7	N	1	Waidhofen/Thaya	Göpfritzschlag	15°20'10"	48°52'50"	580	Lichtung	Fichten-Tannen	Ps
8-1	8	N	1	Hollabrunn	Geras	15°38'10"	48°46'30"	540	Lichtung	Rotföhrenmischforst	Ps
9-1	9	N	2	Hollabrunn	Hardegg	15°51'40"	48°51'00"	420	Trockenrasen	Silikat-TR	Aa
11-1	11	N	2	Mistelbach	Drasenhofen	16°36'00"	48°45'50"	330	Trockenrasen	Kalk-TR	Aa
13-1	13	O	1	Schärding	Viechtenstein	13°38'00"	48°32'30"	700	Lichtung	Nadelwald	Ps
14-1	14	O	1	Rohrbach	Ulrichsberg	13°57'10"	48°42'30"	960	Lichtung	Fichtenwald	Ps
14-2	14	O	1	Rohrbach	Sarleinsbach	13°53'10"	48°33'40"	550	Waldrand	Fichten-Tannenwald	Ps
15-1	15	O	1	Rohrbach	Helfenberg	14°08'30"	48°33'20"	640	Lichtung	Eichen-Buchen	Ps
16-1	16	O	1	Urfahr-Umgebung	Waldburg	14°24'00"	48°31'00"	720	Lichtung	Rotföhrenwald	Ps
17-1	17	O	1	Freistadt	Sandl	14°41'25"	48°33'36"	870	Hochmoor	Rote Bultmoosgesellschaft	Ps
18-1	18	N	1	Weitra	Groß-Neusiedl	15°02'00"	48°43'00"	590	Rain	Reitgrasflur-Bestand	Ps
18-2	18	O	1	Freistadt	Kienau	14°51'30"	48°31'00"	950	Hochmoor	Rote Bultmoosgesellschaft	Ps
19-1	19	N	1	Zwettl	Jahrings	15°06'00"	48°35'00"	610	Lichtung	Fichtenwald	Ps
20-1	20	N	1	Zwettl	Göpfritz/Wild	15°21'10"	48°43'50"	570	Lichtung	Fichtenwald	Ps
20-2	20	N	1	Krems	Eisenberg	15°29'17"	48°34'41"	540	Lichtung	Rotföhren-Eichen	Ps
21-1	21	N	1	Krems	Langenlois	15°44'40"	48°32'55"	520	Lichtung	Fichten-Rotföhrenforst	Ps
22-1	22	N	2	Hollabrunn	Sitzendorf	15°57'20"	48°37'50"	320	Trockenrasen	Furchenschwingel-TR	Aa
23-1	23	N	1	Hollabrunn	Wullersdorf	16°10'05"	48°39'00"	310	Trockenrasen	Kalk-TR	Aa
24-1	24	N	2	Mistelbach	Hörersdorf	16°33'46"	48°38'52"	240	Lichtung	Eichenwald	Hc
24-2	24	N	2	Mistelbach	Ernstbrunn	16°21'10"	48°32'00"	350	Trockenrasen	Kalk-TR	Aa
25-1	25	N	2	Gänserndorf	Neusiedl/Zaya	16°45'10"	48°35'30"	280	Trockenrasen	Löß-TR	Aa
26-1	26	N	2	Mistelbach	Bernhardsthal	16°52'50"	48°42'50"	170	Lichtung	Rotföhren/Lärchenforst	Ps
28-1	28	O	4	Braunau/Inn	St. Peter am Hart	13°08'35"	48°15'20"	370	Lichtung	Mischwald	Ps
29-1	29	O	4	Ried i. I.	Mörschwang	13°23'00"	48°17'00"	420	Lichtung	Mischwald	Hc
30-1	30	O	1	Schärding	Kopfing	13°41'10"	48°27'00"	605	Lichtung	Fichten-Buchenwald	Ps



Nr.	ÖK	Bdl.	RE	Bezirk	Gemeinde	Länge	Breite	Seehöhe (m)	Standort	Bestand	Art
31-1	31	O	4	Eferding	Hinzenbach	13°58'10"	48°20'27"	410	Lichtung	Fichtenforst	Hc
32-1	32	O	1	Urfahr-Umgebung	Gramastetten	14°13'00"	48°24'00"	530	Lichtung	Fichtenwald	Ps
33-1	33	O	1	Urfahr-Umgebung	Altenberg	14°20'31"	48°19'24"	480	Waldrand/Wiese	Fettwiese	Aa
34-1	34	O	1	Perg	Tragwein	14°37'00"	48°19'00"	360	Waldrand	Rotföhren-Eichen	Ps
35-1	35	O	1	Perg	Linden	14°57'00"	48°23'40"	880	Waldrand	Fichtenwald	Ps
36-1	36	N	1	Zwettl	Aschelberg	15°12'30"	48°22'10"	860	Lichtungen	Fichtenforst	Ps
37-1	37	N	1	Krems	Weißsenkirchen	15°25'00"	48°24'50"	500	Lichtung	Rotföhren-Buchenwald	Ps
38-1	38	N	2	Tulln	Grafenwörth	15°46'00"	48°22'40"	185	Damm	Halbtrockenrasen	Aa
39-1	39	N	4	Tulln	Sieghartskirchen	16°00'52"	48°15'41"	260	Trockenrasen	Trespenwiese	Aa
40-1	40	N	2	Hollabrunn	Stranzendorf	16°07'00"	48°27'20"	260	Trockenrasen	Furchenschwingel-TR	Aa
41-1	41	N	2	Mistelbach	Schleinbach	16°30'05"	48°25'30"	260	Trockenrasen	Sand-TR	Aa
42-1	42	N	2	Gänserndorf	Raggendorf	16°41'30"	48°23'20"	200	Trockenrasen	Furchenschwingel-TR	Aa
43-1	43	N	2	Gänserndorf	Weiden/March	16°50'30"	48°18'14"	140	Trockenrasen	Alkali-Rasensteppe	Aa
44-1	44	O	4	Braunau	St. Radegund	12°48'46"	48°08'07"	420	Schlag	Mischwald	Ps
45-1	45	O	4	Braunau	Überackern	12°46'35"	48°12'05"	390	Lichtung	Fichtenforst	Ps
45-2	45	O	4	Braunau	Tarsdorf	12°52'25"	48°06'10"	460	Lichtung	Fichten-Föhrenforst	Ps
46-1	46	O	4	Braunau	Maria Schmolln	13°13'75"	48°08'55"	540	Lichtung	Fichten-Buchenwald	Ps
47-1	47	O	4	Ried/Innkreis	Pattigham	13°30'30"	48°9'30"	650	Lichtung	Mischwald	Ps
47-2	47	O	4	Vöcklabruck	Fornach	13°23'25"	48°03'10"	690	Lichtung	Buchenmischwald	Ps
48-1	48	O	4	Grieskirchen	Gaspoltshofen	13°43'30"	48°7'35"	500	Lichtung	Fichten-Buchenwald	Hc
49-1	49	O	4	Wels-Land	Lambach	13°54'30"	48°03'30"	340	Lichtung	Pappel-Auwald	Hc
50-1	50	O	4	Linz-Land	Kematen/Krems	14°15'10"	48°00'00"	375	Lichtung	Fichten-Buchenwald	Hc
51-1	51	N	4	Amstetten	Ernsthofen	14°29'40"	48°02'55"	360	Lichtung	Fichten-Föhrenforst	Hc
52-1	52	O	4	Perg	Saxen	14°46'24"	48°13'23"	235	Lichtung	Pappelauwald	Ps
53-1	53	N	4	Amstetten	St. Georgen/Ybbsfeld	14°55'57"	48°08'10"	320	Lichtung	Buchen-Fichtenforst	Hc
54-1	54	N	4	Melk	Pöchlarn	15°09'40"	48°11'25"	325	Lichtung	Fichten-Rotföhrenforst	Ps
55-1	55	N	5	St.Pölten-Land	Kirchberg/Pielach	15°29'15"	48°00'31"	680	Lichtung	Fichten-Buchenwald	Aa
56-1	56	N	4	St.Pölten	Phyra	15°40'24"	48°07'38"	390	Lichtung	Buchen-Fichtenwald	Sp
57-1	57	N	5	Mödling	Wienerwald	16°03'26"	48°06'58'	520	Lichtung	Buchenwald	Hc



Nr.	ÖK	Bdl.	RE	Bezirk	Gemeinde	Länge	Breite	Seehöhe (m)	Standort	Bestand	Art
57-2	57	N	5	Lilienfeld	Kaumberg	15°53'21"	48°02'54"	520	Lichtung	Buchenwald	Sp
59-1	59	N	2	Bruck/Leitha	Reisenberg	16°31'00"	48°00'10"	190	Trockenrasen	Fiederzwenken-TR	Aa
60-1	60	N	2	Gänserndorf	Franzensdorf	16°40'30"	48°11'50"	150	Trockenrasen	Ruderalisierter TR	Aa
60-2		N	2	Bruck/Leitha	Fischamend	16°36'58"	48°05'52"	156	Trockenrasen	Ruderalisierter TR	Aa
61-1	61	N	2	Bruck/Leitha	Wolfsthal	16°59'30"	48°07'50"	170	Trockenrasen	Fiederzwenken TR	Aa
63-1	63	S	4	Salzburg Umgebung	Anthering	12°59'29,1"	47°52'38,3"	397	Lichtung	Mischwald	Hc
64-1	64	S	4	Salzburg Umgebung	Eugendorf	13°08'17"	47°49'32"	640	Lichtung	Mischwald	Hc
65-1	65	O	5	Vöcklabruck	Tiefgraben	13°20'58"	47°52'54"	886	Lichtung	Mischwald	Hc
66-1	66	O	5	Vöcklabruck	Weyregg a. Attersee	13°35'43"	47°51'03"	530	Lichtung	Mischwald	Ps
67-1	67	O	5	Gmunden	Grünau/Almtal	13°58'44"	47°51'15"	600	Lichtung	Mischwald	Hc
68-1	68	O	5	Kirchdorf/Krems	Molln	14°19'47"	47°54'16"	1.055	Weide	Weide	Hs
69-1	69	O	5	Steyr-Land	Reichraming	14°26'41"	47°50'38"	850	Lichtung	Buchenmischwald	Hc
70-1	70	O	5	Steyr-Land	Weyer-Land	14°42'27"	47°52'00"	570	Weide	Weide	Sp
71-1	71	N	5	Amstetten	Ybbsitz	14°54'04"	47°58'14"	700	Lichtung	Buchenmischwald	Hc
72-1	72	St	5	Bruck/Mur	St.Sebastian	15°15'10"	47°47'03"	850	Lichtung	Fichten.Buchenwald	Hs
73-1	73	N	5	Lilienfeld	St.Ägyd	15°28'51"	47°48'49"	1.025	Lichtung	Buchenmischwald	Hs
74-1	74	N	5	Wr.Neustadt	Rohr im Gebirge	15°46'40"	47°54'13"	815	Lichtung	Fichten-Lärchenforst	Ps
74-2	74	N	5	Neunkirchen	Schwarzau/Gebirge	15°40'45"	47°45'02"	600	Lichtung	Fichten-Lärchenforst	Hs
75-1	75	N	5	Baden	Pottenstein	16°02'14"	47°57'07"	740	Waldrand	Kalkmagerrasen	Sp
75-2	75	N	5	Neunkirchen	Schrattenbach	15°57'15"	47°46'39"	900	Schlag	Fichten-Buchenforst	Aa
76-1	76	N	2	Baden	Blumau	16°18'15"	47°55'25"	240	Trockenrasen	Sekundärrasen	Aa
76-2	76	B	2	Mattersburg	Bad Sauerbrunn	16°19'22"	47°46'07"	385	Lichtung	Föhren-Eichenwald	Ps
77-1	77	B	2	Eisenstadt-U	Leithaprodersdorf	16°32'10"	47°55'00"	230	Trockenrasen	Kalk-TR	Aa
78-1	78	B	2	Eisenstadt-U	Oggau	16°39'55"	47°50'50"	150	Trockenrasen	Kalk-TR	Aa
79-1	79	B	2	Neusiedl	Nickelsdorf	17°00'50"	47°57'50"	130	Trockenrasen	Fiedergras-TR	Hc
82-1	82	V	4	Bregenz	Langen bei Bregenz	09°49'47"	47°30'17"	590	Hochmoorrest	Pfeifengraswiese	Ps
84-1	84	T	5	Reutte	Schattwald	10°28'06"	47°31'23"	1.215	Lichtung	Fichtenwald	Hs
85-1	85	T	5	Reutte	Musau	10°39'41"	47°31'59"	840	Hochmoor	Rote Bultmoosgesellschaft	Ps
88-1	88	T	5	Schwaz	Achenkirch	11°38'24"	47°34'42"	895	Lichtung	Buchenmischwald	Hs



Nr.	ÖK	Bdl.	RE	Bezirk	Gemeinde	Länge	Breite	Seehöhe (m)	Standort	Bestand	Art
89-1	89	T	5	Kufstein	Thiersee	12°02'02"	47°34'34"	950	Lichtung	Buchenmischwald	Hs
90-1	90	T	5	Kufstein	Ebbs	12°15'00"	47°37'38"	840	Lichtung	Buchenmischwald	Hs
91-1	91	T	5	Kitzbühel	Schwendt	12°22'56"	47°35'37"	685	Lichtung	Rotföhren- Buchenmischwald	Hs
92-1	92	S	6	Lofer	Unken	12°43'58,9"	47°39'34,5"	581	Lichtung	Mischwald	Hs
94-1	94	S	5	Hallein	St. Kolomann	13°13'42,4"	47°39'04,6"	1.117	Zwergstrauchheide	Zwergstrauchheide	Hs
95-1	95	S	6	Hallein	Rußbach	13°29'08,0"	47°35'09,1"	977	Lichtung	Mischwald	Hs
96-1	96	St	5	Liezen	Altaussee	13°45'20"	47°38'35"	860	Lichtung	Mischwald	Hc
97-1	97	St	5	Lienz	Bad Mitterndorf	13°51'58"	47°34'38"	1.100	Lichtung	Mischwald	Hs
98-1	98	O	5	Kirchdorf	Hinterstoder	14°09'15"	47°43'40"	1.150	Lichtung	Buchen-Tannenwald	Hs
99-1	99	St	5	Liezen	Hall	14°26'57"	47°37'36"	855	Schlag	Fichtenforst	Hs
100-1	100	St	5	Liezen	Johnsbach	14°35'32"	47°34'39"	630	Zwergstrauchheide	Alpenrosen-Gebüsch	Hs
101-1	101	St	5	Liezen	Wildalpen	14°55'34"	47°38'51"	880	Waldrand	Fichtenforst	Hs
102-1	102	St	5	Bruck/Mur	Gußwerk	15°18'23"	47°40'00"	1.270	Lichtung	Buchenmischwald	Hs
103-1	103	St	6	Mürzzuschlag	Veitsch	15°25'15"	47°35'03"	1.100	Lichtung	Fichtenforst	Ps
104-1	104	St	6	Mürzzuschlag	Spital/Semmering	15°39'34"	47°37'57"	1.000	Schlag	Buchenmischwald	Hs
105-1	105	N	6	Neunkirchen	Trattenbach	15°54'44"	47°36'22"	900	Lichtung	Fichtenforst	Ps
106-1	106	N	2	Neunkirchen	Scheiblingkirchen	16°08'10"	47°38'57"	565	Lichtung	Fichten-Föhrenforst	Hc
107-1	107	B	3	Oberpullendorf	Markt St.Martin	16°25'08"	47°32'26"	340	Rain	Reitgras-Bestand	Ps
108-1	108	B	3	Oberpullendorf	Deutschkreuz	16°36'09"	47°33'51"	220	Schlag	Eichenforst	Hc
109-1	109	B	2	Neusiedl	Apetlon	16°52'30"	47°44'30"	110	Trockenrasen	Sand-TR	Hc
111-1	111	V	5	Dornbirn	Dornbirn	09°46'40"	47°25'45"	820	Lichtung	Buchen-Tannenwald	Hc
111-2	111	V	5	Feldkirch	Laterns	09°48'41"	47°16'11"	1.500	Lichtung	Fichten-Lärchenwald	Ps
112-1	112	V	5	Bregenz	Riefensberg	09°59'40"	47°29'10"	1.340	Lichtung	Fichtenwald	Ps
112-2	112	V	5	Bregenz	Schopperrau	10°02'51"	47°17'04"	1.035	Schuttflur	Fichten-Latschenwald	Ps
113-1	113	V	5	Bregenz	Mittelberg	10°11'01"	47°22'07"	1.125	Lichtung	Fichtenwald	Ps
114-1	114	T	5	Reutte	Hinterhornbach	10°26'09"	47°20'55"	1.175	Lichtung	Fichtenwald	Hs
115-1	115	T	5	Reutte	Bichlbach	10°45'55"	47°25'47"	1.130	Lichtung	Fichtenwald	Hs
115-2	115	T	5	Imst	Imst	10°44'11"	47°15'26"	1.030	Lichtung	Rotföhrenwald	Hs



Nr.	ÖK	Bdl.	RE	Bezirk	Gemeinde	Länge	Breite	Seehöhe (m)	Standort	Bestand	Art
116-1	116	T	5	Reutte	Biberwier	10°54'28"	47°23'00"	1.040	Lichtung	Rotföhrenwald	Hs
117-1	117	T	5	Innsbruck (Land)	Zirl	11°12'20"	47°17'32"	1.050	Lichtung	Rotföhrenwald	Hs
118-1	118	T	5	Schwaz	Vomp	11°29'34"	47°26'54"	1.150	Lichtung	Mischwald	Hs
118-2	118	T	6	Innsbruck (Land)	Baumkirchen	11°33'15"	47°18'46"	870	Lichtung	Fichten-Tannenwald	Hs
119-1	119	T	6	Schwaz	Gallzein	11°45'43"	47°21'20"	1.115	Lichtung	Fichtenwald	Hs
120-1	120	T	5	Kufstein	Breitenbach am Inn	11°56'17"	47°28'11"	660	Lichtung	Fichtenwald	Hc
120-2	120	T	6	Schwaz	Bruck am Ziller	11°51'30"	47°23'24"	725	Lichtung	Fichtenwald	Hs
121-1	121	T	6	Kitzbühel	Brixen im Thale	12°13'02"	47°27'15"	1.275	Lichtung	Fichtenwald	Hs
122-1	122	T	6	Kitzbühel	Fieberbrunn	12°31'44"	47°28'33"	870	Lichtung	Fichtenwald	Hs
122-2	122	T	6	Kitzbühel	Jochberg	12°24'01"	47°19'54"	1.140	Lichtung	Fichtenwald	Hs
123-1	123	S	6	Zell am See	Saalbach	12°37'16"	47°23'02"	1.160	Lichtung	Nadelwald	Hs
124-1	124	S	6	Zell am See	Dienten a. Hochkönig	12°59'30"	47°23'00"	1.390	Lichtung	Mischwald	Ps
125-1	125	S	5	St. Johann i. Pongau	Werfenweng	13°15'37"	47°27'23"	1.088	Lichtung	Mischwald	Hs
125-2	125	S	6	St. Johann i. Pongau	Großarl	13°14'00"	47°17'30"	1.300	Lichtung	Nadelwald	Hs
126-1	126	S	5	Hallein	Annaberg	13°25'13"	47°29'08"	950	Lichtung	Nadelwald	Ps
126-2	126	S	6	St. Johann i. Pongau	Untertauern	13°29'54"	47°20'01"	1.090	Lichtung	Mischwald	Hs
127-1	127	St	6	Liezen	Pichl-Preunegg	13°36'11"	47°21'35"	1.570	Lichtung	Nadelwald	Ps
128-1	128	St	6	Lienz	St. Nikolai im Sölketal	14°00'30"	14°22'06"	1.080	Weide	Weide	Ps
129-1	129	St	6	Liezen	Donnersbach	14°08'20"	47°27'10"	810	Schlag	Zwergstrauchheide	Hs
130-1	130	St	6	Judenburg	Pusterwald	14°19'46"	46°20'57"	1.286	Lichtung	Nadelwald	Ps
131-1	131	St	6	Leoben	Wald/Schoberpass	14°39'49"	47°25'41"	1.340	Lichtung	Fichtenwald	Ps
132-1	132	St	5	Leoben	Trofaiach	15°02'09"	47°29'45"	1.080	Lichtung	Fichten-Lärchenforst	Hs
133-1	133	St	6	Leoben	Niklasdorf	15°10'10"	47°22'33"	960	Lichtung	Nadelwald	Ps
134-1	134	St	6	Weiz	Fladnitz	15°27'02"	47°21'12"	1.180	Lichtung	Bürstlingsrasen	Hs
135-1	135	St	6	Hartberg	Saifen-Boden	15°46'48"	47°19'38"	595	Waldrand	Nadelwald	Ps
136-1	136	St	6	Hartberg	Vornholz	15°51'31"	47°26'00"	860	Schlag	Fichtenforst	Ps
136-2	136	St	3	Hartberg	St. Johann i.d. Haide	16°02'35"	47°18'14"	420	Lichtung	Fichtenforst	Ps
137-1	137	N	6	Wiener Neustadt	Hochneukirchen-Gschaidt	16°13'36"	47°25'47"	720	Lichtung	Mischwald	Ps



Nr.	ÖK	Bdl.	RE	Bezirk	Gemeinde	Länge	Breite	Seehöhe (m)	Standort	Bestand	Art
138-1	138	B	3			16°33'33"	47°29'21"	282	Lichtung	Mischwald	Ps
138-2	138	B	6	Oberwart	Rechnitz	16°24'33"	47°17'59"	342	Lichtung	Mischwald	Aa
141-1	141	V	5	Bludenz	Nenzing	09°39'55"	47°11'07"	725	Waldrand	Trockene Magerwiese	Hs
142-1	142	V	5	Bludenz	St. Anton im Montafon	09°51'32"	47°07'14"	640	Lichtung	Rotföhrenwald	Hs
143-1	143	T	5	Reutte	Steeg	10°15'55"	47°14'49"	1.180	Lichtung	Fichtenwald	Ps
143-2	143	T	6	Landeck	St. Anton am Arlberg	10°12'51"	47°05'41"	1.570	Zwergstrauchheide	Fichtenwald	Hs
144-1	144	T	6	Landeck	Tobadill	10°30'04"	47°06'30"	1.430	Lichtung	Fichtenwald	Hs
145-1	145	T	6	Landeck	Kaunertal	10°44'36"	47°00'33"	1.505	Lichtung+J78	Fichten-Lärchenwald	Ps
146-1	146	T	6	Imst	Sautens	10°50'30"	47°13'35"	755	Lichtung	Rotföhrenwald	Ps
146-2	146	T	6	Imst	Umhausen	10°55'34"	47°07'08"	1.245	Lichtung	Fichtenwald	Ps
147-1	147	T	6	Innsbruck (Land)	St. Sigmund im Sellrain	11°08'02"	47°11'46"	1.625	Lichtung	Lärchenwald	Ps
147-2	147	T	6	Innsbruck (Land)	Neustift im Stubaital	11°19'22"	47°04'16"	1.660	Lichtung	Fichten-Lärchenwald	Ps
148-1	148	T	6	Innsbruck (Land)	Pfons	11°27'51"	47°07'33"	1.235	Zwergstrauchheide	Fichtenwald, Lärchwiese	Hs
150-1	150	T	6	Schwaz	Hippach	11°49'56"	47°11'54"	1.240	Lichtung	Fichtenwald	Hs
151-1	151	S	6	Zell am See	Krimml	12°11'10"	47°10'45"	1.670	Zwergstrauchheide	Alpenrosen	Ps
152-1	152	T	6	Lienz	Matrei	12°32'38"	47°00'33"	1.320	Lichtung	Nadelwald	Ps
153-1	153	S	6	Zell am See	Uttendorf	12°35'25"	47°12'45"	1.075	Waldrand	Bürstlingsrasen	Hs
154-1	154	S	6	St. Johann im Pongau	Bad Hofgastein	13°4'30"	47°10'00"	1.395	Lichtung	Nadelwald	Ps
155-1	155	S	6	St. Johann im Pongau	Badgastein	13°07'51"	47°05'39"	1.400	Lichtung	Nadelwald	Hs
156-1	156	S	6	Tamsweg	Muhr	13°29'54"	47°05'39"	1.230	Lichtung	Nadelwald	Hs
157-1	157	S	6	Tamsweg	Tamsweg	13°49'20"	47°09'40"	1.380	Lichtung	Nadelwald	Ps
157-2	157	S	6	Tamsweg	Mariapfarr	13°45'12"	47°09'11"	1.164	Lichtung	Nadelwald	Ps
158-1	158	St	6	Murau	Schöder	14°04'40"	47°14'14"	1.268	Waldrand	Waldrand	Hs
158-2	158	St	6	Murau	Stadl a. d. Mur	13°59'44"	47°02'56"	1.300	Lichtung	Nadelwald	Hs
159-1	159	St	6	Murau	Oberwölz	14°17'19"	47°11'02"	1.260	Waldrand	Waldrand	Ps
160-1	160	St	6	Judenburg	Oberkurzheim	14°31'23"	47°14'02"	1.150	Lichtung	Nadelwald	Ps
160-2	160	St	6	Murau	Mühlen	14°28'54,0"	47°01'59,8"	1.000	Lichtung	Mischwald	Ps
161-1	161	St	6	Judenburg	Obdach	14°43'30"	47°01'40"	930	Lichtung	Fichtenforst	Ps
162-1	162	St	6	Knittelfeld	St.Margareten	14°52'25"	47°13'37"	840	Lichtung	Fichtenwald	Ps



Nr.	ÖK	Bdl.	RE	Bezirk	Gemeinde	Länge	Breite	Seehöhe (m)	Standort	Bestand	Art
162-2	162	St	6	Voitsberg	Gößnitz	14°56'41"	47°04'31"	1.500	Subalpiner Rasen	Bürstlingsrasen	Ps
163-1	163	St	6	Voitsberg	Voitsberg	15°11'50"	47°02'48"	510	Lichtung	Buchen-Föhrenwald	Sp
164-1	164	St	6	Graz-Umgebung	St. Radegund bei Graz	15°30'01"	47°11'50"	880	Lichtung	Nadelwald	Ps
165-1	165	St	3	Weiz	St. Ruprecht a. d. Raab	15°37'58"	47°08'28"	468	Lichtung	Mischwald	Ps
166-1	166	St	3	Hartberg	Ebersdorf	15°57'59"	47°12'25"	365	Lichtung	Mischwald	Sp
167-1	167	B	3	Güssing	Rauenwarth/Olbendorf	16°13'13"	47°10'32"	334	Lichtung	Laubwald	Ps
168-1	168	B	3	Güssing	Eberau	16°26'38"	47°04'50"	226	Lichtung	Mischwald	Hc
169-1	169	V	6	Bludenz	St.Gallenkirch	09°56'45"	47°00'37"	1.265	Lichtung	Fichtenwald	Hs
169-2	169	V	6	Bludenz	Gaschurn	10°04'03"	46°56'40"	1.515	Zwergstrauchheide	Alpenrosengebüsch	Ps
171-1	171	T	6	Landeck	Pfunds	10°32'17"	46°57'40"	1.145	Lichtung	Fichtenwald	Hs
173-1	173	T	6	Imst	Sölden	11°02'22"	46°54'57"	1.845	Zwergstrauchheide	Fichten-Lärchenwald	Ps
178-1	178	T	6	Lienz	Bruggen	12°22'24"	46°54'39"	1.440	Lichtung	Nadelwald	Hs
178-2	178	T	6	Lienz	Strassen	12°27'32"	46°45'40"	1.600	Lichtung	Nadelwald	Ps
179-1	179	T	6	Lienz	Schlaiten	12°37'50"	46°53'20"	1.320	Waldrand	Waldrand	Ps
180-1	180	K	6	Spittal	Mörtschach	12°55'00"	46°55'33"	1.180	Lichtung	Nadelwald	Ps
180-2	180	T	6	Lienz	Nikolsdorf	12°55'17"	46°47'33"	1.070	Lichtung	Nadelwald	Ps
181-1	181	K	6	Spittal	Obervellach	13°12'25"	46°56'20"	1.030	Lichtung	Nadelwald	Ps
181-2	181	K	6	Spittal	Greifenburg	13°10'16"	46°46'09"	1.180	Lichtung	Mischwald	Hs
182-1	182	K	6	Spittal	Eisentratten	13°33'51"	46°56'15"	1.420	Lichtung	Nadelwald	Ps
183-1	183	K	6	Spittal	Radenthein	13°43'39"	46°43'33"	1.100	Lichtung	Nadelwald	Ps
184-1	184	K	6	Feldkirchen	Patergassen	13°51'59"	46°49'28"	1.070	Lichtung	Mischwald	Ps
185-1	185	K	6	St. Veit	Weitensfeld	14°13'11"	46°50'18"	1.020	Lichtung	Nadelwald	Ps
186-1	186	K	6	St.Veit	Pöckstein	14°26'30"	46°53'20"	700	Waldrand	Fichtenforst	Ps
186-2	186	K	6	St.Veit	Pöckstein	14°25'40"	46°52'50"	700	Waldrand	Fichtenforst	Ps
187-1	187	K	6	Wolfsberg	Wolfsberg	14°41'25"	46°51'30"	1.420	Waldrand	Fichtenwald	Hs
188-1	188	K	6	Wolfsberg	Theißenegg	14°54'19"	46°54'18"	1.225	Lichtung	Nadelwald	Ps
189-1	189	St	6	Deutschlandsberg	Trahütten	15°07'41"	46°49'50"	993	Lichtung	Nadelwald	Ps
190-1	190	St	3	Leibnitz	Wildon	15°31'06"	46°52'28"	506	Lichtung	Nadelwald	Ps
190-2	190	St	3	Leibnitz	Kaindorf an der Suler	15°30'30"	46°47'17"	370	Lichtung	Laubwald	Hc



Nr.	ÖK	Bdl.	RE	Bezirk	Gemeinde	Länge	Breite	Seehöhe (m)	Standort	Bestand	Art
191-1	191	St	3	Feldbach	Kirchberg a. d. Raab	15°46'00"	46°58'20"	370	Lichtung	Nadelwald	Sp
192-1	192	St	3	Feldbach	Stainz bei Straden	15°55'06"	46°49'19"	234	Lichtung	Mischwald	Ps
193-1	193	B	3	Jennersdorf	St. Martin/Raab	16°05'23"	46°54'38"	340	Lichtung	Mischwald	Ps
196-1	196	T	7	Lienz	Obertilliach	12°33'46"	46°42'38"	1.550	Waldrand	Waldrand	Ps
197-1	197	K	7	Hermagor	St. Jakob im Lesachtal	12°55'00"	46°41'30"	970	Waldrand	Waldrand	Ps
197-2	197	K	7	Hermagor	Dellach im Gailtal	13°03'40"	46°38'50"	720	Waldrand	Waldrand	Ps
198-1	198	K	7	Hermagor	Gundershein	13°08'06"	46°37'40"	1.060	Lichtung	Mischwald	Hc
198-2	198	K	7	Hermagor	Tröpolach	13°16'43"	46°33'35"	1.360	Lichtung	Mischwald	Ps
199-1	199	K	7	Hermagor	Vorderberg	13°29'30"	46°35'40"	730	Lichtung	Mischwald	Hs
200-1	200	K	6	Villach Land	Fresach	13°40'18"	46°43'09"	740	Lichtung	Mischwald	Ps
200-2	200	K	7	Villach Land	Wertschach/Nötsch	13°34'55"	46°37'08"	1.076	Lichtung	Mischwald	Ps
201-1	201	K	7	Villach-Land	Velden	14°04'30"	46°38'00"	650	Lichtung	Fichten-Föhrenwald	Ps
202-1	202	K	7	Klagenfurt-Land	Klagenfurt	14°17'15"	46°41'10"	560	Lichtung	Fichtenforst	Ps
203-1	203	K	7	Völkermarkt	Sittersdorf	14°33'30"	46°32'30"	470	Lichtung	Rotföhrenwald	Ps
204-1	204	K	7	Völkermarkt	Völkermarkt	14°39' 00"	46°41'10"	540	Lichtung	Föhrenwald	Ps
204-2	204	K	7	Völkermarkt	Globasnitz	14°42'40"	46°32'10"	760	Lichtung	Fichten-Buchenwald	Ps
205-1	205	K	6	Wolfsberg	Lavamünd	14°59'57"	46°40'38"	1.342	Lichtung	Mischwald	Ps
206-1	206	St	3	Deutschlandsberg	Großradl	15°15'10"	46°39'06"	760	Waldrand	Waldrand	Ps
207-1	207	St	3	Leibnitz	Schloßberg	15°30'08"	46°37'33"	681	Weide	Weide	Ps
208-1	208	St	3	Radkersburg	Weinberg a. Saßbach	15°41'13"	46°44'37"	260	Lichtung	Mischwald	Ps
211-1	211	K	7	Klagenfurt-Land	Feistritz/Rosental	14°09'22"	46°28'05"	800	Wiese	Wiese	Hs
212-1	212	K	7	Klagenfurt-Land	Zell-Pfarre	14°28'19"	46°29'00"	1.060	Lichtung	Fichtenwald	Hs
213-1	213	K	7	Völkermarkt	Eisenkappel	14°35'51"	46°28'19"	700	Lichtung	Schlucht	Hc



## Anhang 2: Tabelle der Konzentrationen aller analysierten Elemente an allen Hintergrundstandorten

Nr.	Labornummer	Pb	V	S	Zn	Fe	Cu	Al	Cr	Ni	Cd	Mo	Co	Hg	Sb	As	N
<b>Bestimmungsgrenze</b>		<b>0,2</b>	<b>0,25</b>	<b>40</b>	<b>4</b>	<b>35</b>	<b>0,5</b>	<b>30</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,02</b>	<b>0,25</b>	<b>0,25</b>	<b>0,01</b>	<b>0,04</b>	<b>0,04</b>	<b>1.000</b>
5-1	V 0511 4146	4,1	0,86	1.000	33	270	6,1	250	0,57	0,68	0,22	n. n.	0,17	0,05	0,15	0,07	11.500
6-1	V 0511 4147	4,2	0,71	1.000	33	230	5,4	190	0,47	0,75	0,24	n. n.	0,14	0,06	0,12	0,07	12.400
7-1	V 0511 4148	5,2	0,97	970	35	350	4,1	280	0,70	0,96	0,23	n. n.	0,24	0,06	0,16	0,08	10.300
8-1	V 0511 4149 I	5,8	1,1	1.100	30	340	5,1	240	0,66	1,4	0,30	n. n.	0,42	0,05	0,19	0,08	13.200
8-1	V 0511 4149 II	5,6	0,99	1.100	30	320	5,1	230	0,64	1,4	0,31	n. n.	0,40	0,06	0,18	0,08	15.500
8-1	<b>MW V 0511 4149</b>	<b>5,7</b>	<b>1,0</b>	<b>1.100</b>	<b>30</b>	<b>330</b>	<b>5,1</b>	<b>240</b>	<b>0,65</b>	<b>1,4</b>	<b>0,30</b>	<b>n. n.</b>	<b>0,41</b>	<b>0,06</b>	<b>0,19</b>	<b>0,08</b>	11.700
	RSD %	1,6	6,6	0,1	0,6	4,5	0,3	4,7	1,7	0,2	2,1	–	3,0	8,8	3,6	4,0	17.700
9-1	V 0511 4150 I	7,2	1,6	1.300	37	870	4,8	670	1,2	1,1	0,20	n. n.	0,38	0,05	0,16	0,38	18.200
9-1	V 0511 4150 II	7,3	1,6	1.300	37	900	4,7	680	1,3	1,2	0,20	n. n.	0,41	0,05	0,18	0,41	<b>18.000</b>
9-1	<b>MW V 0511 4150</b>	<b>7,2</b>	<b>1,6</b>	<b>1.300</b>	<b>37</b>	<b>880</b>	<b>4,7</b>	<b>680</b>	<b>1,3</b>	<b>1,2</b>	<b>0,20</b>	<b>n. n.</b>	<b>0,40</b>	<b>0,05</b>	<b>0,17</b>	<b>0,39</b>	2,0
	RSD %	0,8	1,4	2,9	0,4	2,3	1,9	1,0	6,3	4,2	1,2	–	4,7	1,3	7,6	5,4	14.900
11-1	V 0511 4151	5,8	1,7	1.100	22	700	4,1	590	1,2	1,2	0,20	n. n.	0,28	0,04	0,16	0,20	16.900
13-1	V 0511 4152	5,8	1,3	1.300	39	400	5,9	280	0,81	1,2	0,16	0,15	0,24	0,08	0,34	0,08	14.400
14-1	V 0511 4153 I	5,3	0,98	1.100	36	270	6,7	220	0,46	1,0	0,18	n. n.	0,15	0,06	0,21	0,06	11.500
14-1	V 0511 4153 II	5,3	0,97	1.000	37	260	6,1	210	0,62	1,1	0,19	n. n.	0,17	0,08	0,24	0,07	12.800
14-1	<b>MW V 0511 4153</b>	<b>5,3</b>	<b>0,98</b>	<b>1.100</b>	<b>36</b>	<b>260</b>	<b>6,4</b>	<b>210</b>	<b>0,54</b>	<b>1,0</b>	<b>0,18</b>	<b>n. n.</b>	<b>0,16</b>	<b>0,07</b>	<b>0,22</b>	<b>0,06</b>	9.300
	RSD %	0,2	1,3	2,9	0,8	0,2	6,2	3,0	21	3,0	5,0	–	9,2	14	9,2	16	8.800
14-2	V 0511 4154	5,4	1,2	1.100	32	390	5,6	300	0,81	0,90	0,15	n. n.	0,17	0,06	0,30	0,06	10.100
15-1	V 0511 4155	4,1	0,99	1.100	32	260	5,1	210	0,65	0,69	0,14	n. n.	0,14	0,05	0,20	0,05	11.700
16-1	V 0511 4156	3,8	0,94	880	26	290	3,8	250	0,71	0,65	0,12	n. n.	0,13	0,05	0,19	0,05	13.800
17-1	V 0511 4157	3,5	0,95	990	34	280	5,8	190	0,84	0,66	0,14	n. n.	n. n.	0,05	0,19	0,05	14.600
18-1	V 0511 4158	3,0	0,80	840	21	350	3,1	250	0,52	0,39	0,18	n. n.	0,20	0,03	0,09	0,11	10.600
18-2	V 0511 4159	3,2	0,63	960	27	170	4,1	150	0,35	0,39	0,15	n. n.	n. n.	0,04	0,13	0,03	15.000
19-1	V 0511 4160 I	5,1	0,82	820	29	290	4,2	230	0,60	0,75	0,22	n. n.	0,20	0,05	0,17	0,06	15.700
19-1	V 0511 4160 II	4,6	0,82	820	29	280	4,3	220	0,57	0,74	0,22	n. n.	0,23	0,05	0,16	0,06	14.800
19-1	<b>MW V 0511 4160</b>	<b>4,8</b>	<b>0,82</b>	<b>820</b>	<b>29</b>	<b>280</b>	<b>4,3</b>	<b>230</b>	<b>0,59</b>	<b>0,75</b>	<b>0,22</b>	<b>n. n.</b>	<b>0,22</b>	<b>0,05</b>	<b>0,16</b>	<b>0,06</b>	13.100
	RSD %	5,9	0,3	0,2	1,8	2,7	1,2	2,2	4,5	0,7	2,3	–	7,2	0,9	4,5	5,1	13.200



Nr.	Labornummer	Pb	V	S	Zn	Fe	Cu	Al	Cr	Ni	Cd	Mo	Co	Hg	Sb	As	N
20-1	V 0511 4161	4,9	1,1	990	35	320	4,7	240	0,75	1,2	0,24	n. n.	0,48	0,08	0,18	0,07	9.600
20-2	V 0511 4162	4,1	0,83	1.100	29	300	4,7	220	0,51	0,74	0,22	n. n.	0,27	0,04	0,15	0,08	10.500
21-1	V 0511 4163	4,9	0,67	1.200	33	260	6,9	210	0,62	1,0	0,27	n. n.	0,31	0,05	0,15	0,07	15.100
22-1	V 0511 4164	4,1	1,5	980	26	820	4,7	600	1,2	1,3	0,16	n. n.	0,34	0,05	0,16	0,26	15.900
23-1	V 0511 4165	6,1	3,6	1.300	37	2.100	6,2	1.400	3,0	3,5	0,20	0,22	0,80	0,05	0,11	0,74	8.400
24-1	V 0511 4166	7,3	1,8	1.300	26	700	5,0	550	1,2	1,6	0,28	n. n.	0,37	0,08	0,17	0,23	10.600
24-2	V 0511 4167	5,8	1,3	1.200	32	500	4,2	430	0,86	0,98	0,23	n. n.	0,25	0,05	0,15	0,15	12.100
25-1	V 0511 4168	6,7	2,2	1.100	31	930	5,2	760	1,5	1,6	0,18	0,14	0,58	0,06	0,20	0,34	14.900
26-1	V 0511 4169	3,3	0,70	1.100	26	270	4,7	230	0,53	0,77	0,20	n. n.	0,19	0,04	0,10	0,08	10.600
28-1	V 0511 4170	3,3	0,66	880	24	170	4,4	220	0,40	1,0	0,11	n. n.	0,20	0,05	0,19	0,04	13.300
29-1	V 0511 4171	3,0	0,56	880	25	110	3,0	150	0,54	2,0	0,16	n. n.	0,46	0,04	0,15	0,05	9.600
30-1	V 0511 4172	5,1	0,93	990	36	250	7,2	190	0,48	0,76	0,19	n. n.	0,13	0,06	0,22	0,05	15.200
31-1	V 0511 4173	13	1,7	1.200	52	700	4,9	380	1,4	1,8	0,38	0,37	0,50	0,13	0,27	0,13	12.100
32-1	V 0511 4174	2,9	0,96	800	22	300	4,8	250	0,69	0,78	0,12	n. n.	0,26	0,04	0,15	0,04	12.700
33-1	V 0511 4175	5,5	1,7	860	41	1.100	4,7	450	1,8	1,3	0,13	0,30	0,46	0,04	0,26	0,19	13.500
34-1	V 0511 4176	6,8	1,4	900	54	500	5,2	260	0,93	0,81	0,21	n. n.	0,24	0,07	0,25	0,07	12.000
35-1	V 0511 4177 I	5,0	0,92	1.000	43	300	5,7	190	0,70	0,70	0,17	n. n.	0,14	0,06	0,18	0,05	13.800
35-1	V 0511 4177 II	5,3	1,0	1.000	43	320	5,7	210	0,77	0,70	0,17	n. n.	0,15	0,06	0,21	0,06	14.100
35-1	<b>MW V 0511 4177</b>	<b>5,1</b>	<b>0,97</b>	<b>1.000</b>	<b>43</b>	<b>310</b>	<b>5,7</b>	<b>200</b>	<b>0,73</b>	<b>0,70</b>	<b>0,17</b>	<b>n. n.</b>	<b>0,15</b>	<b>0,06</b>	<b>0,20</b>	<b>0,06</b>	10.000
	RSD %	3,5	6,6	0,2	0,5	4,4	0,5	5,0	6,2	0,6	1,0	–	5,8	1,0	8,4	8,4	13.500
36-1	V 0511 4178	4,3	0,84	860	28	250	4,7	200	0,52	0,88	0,18	n. n.	0,19	0,06	0,13	0,06	13.000
37-1	V 0511 4179	5,4	0,94	1.100	32	310	5,5	260	0,64	1,0	0,30	n. n.	0,41	0,06	0,21	0,07	17.700
38-1	V 0511 4180	4,8	1,2	840	27	560	5,0	360	0,97	1,0	0,18	0,31	0,31	0,06	0,18	0,14	9.900
39-1	V 0511 4181	3,7	1,6	1.300	37	1.000	6,0	670	2,0	1,8	0,22	0,23	0,45	0,06	0,14	0,21	12.700
40-1	V 0511 4182	5,2	3,6	1.100	33	2.200	5,8	1.900	2,9	3,0	0,16	n. n.	1,0	0,06	0,14	0,85	14.800
41-1	V 0511 4183	7,7	3,8	1.200	33	2.100	7,0	1.700	3,4	3,9	0,19	n. n.	0,89	0,07	0,17	0,77	10.300
42-1	V 0511 4184	3,1	1,6	1.100	21	620	8,2	450	1,2	1,5	0,15	n. n.	0,42	0,05	0,17	0,36	14.700
43-1	V 0511 4185	5,8	2,3	1.100	26	1.300	5,0	1.000	2,0	1,9	0,20	n. n.	0,59	0,06	0,18	0,49	12.000
44-1	V 0511 4186	3,1	0,61	930	29	150	7,5	120	0,32	0,66	0,17	n. n.	n. n.	0,05	0,15	0,04	17.100



Nr.	Labornummer	Pb	V	S	Zn	Fe	Cu	Al	Cr	Ni	Cd	Mo	Co	Hg	Sb	As	N
45-1	V 0511 4187	3,2	0,50	1.000	26	160	6,6	160	0,44	0,72	0,17	n. n.	0,13	0,06	0,16	0,05	13.100
45-2	V 0511 4188 I	3,1	0,71	860	28	170	3,8	130	0,59	0,66	0,18	n. n.	n. n.	0,04	0,20	0,04	15.200
45-2	V 0511 4188 II	3,1	0,76	860	30	170	3,7	140	0,45	0,62	0,19	n. n.	n. n.	0,05	0,20	0,04	15.700
45-2	<b>MW V 0511 4188</b>	<b>3,1</b>	<b>0,73</b>	<b>860</b>	<b>29</b>	<b>170</b>	<b>3,8</b>	<b>140</b>	<b>0,52</b>	<b>0,64</b>	<b>0,18</b>	<b>n. n.</b>	<b>n. n.</b>	<b>0,05</b>	<b>0,20</b>	<b>0,04</b>	9.400
	RSD %	0,8	4,0	0,0	4,2	0,1	1,1	3,7	18	4,2	1,4	–	–	3,0	0,2	5,3	10.100
46-1	V 0511 4189	4,6	0,82	920	32	170	5,5	140	0,48	0,80	0,17	n. n.	0,16	0,07	0,19	0,04	14.300
47-1	V 0511 4190	8,1	0,90	1.100	48	310	4,4	250	0,75	1,9	0,54	n. n.	0,66	0,06	0,23	0,07	12.200
47-2	V 0511 4191	7,2	1,4	1.100	35	720	6,6	580	1,5	1,6	0,14	n. n.	0,29	0,06	0,19	0,33	12.500
48-1	V 0511 4192	5,4	0,42	860	35	140	3,4	140	0,41	1,7	0,29	n. n.	0,68	0,04	0,14	0,04	19.400
49-1	V 0511 4193	4,3	0,71	1.100	39	220	4,2	220	0,89	1,5	0,35	n. n.	0,91	0,06	0,15	0,08	14.200
50-1	V 0511 4194	5,2	0,60	980	38	230	3,7	150	0,56	1,3	0,29	n. n.	0,17	0,06	0,18	0,05	12.700
51-1	V 0511 4195	4,4	0,81	930	27	240	4,0	190	0,74	3,0	0,20	n. n.	0,33	0,05	0,19	0,08	12.700
52-1	V 0511 4196	3,6	0,78	1.000	47	310	5,9	260	0,55	1,3	0,23	n. n.	0,25	0,04	0,10	0,08	10.100
53-1	V 0511 4197	7,0	1,4	1.000	35	730	4,7	560	1,3	4,3	0,25	n. n.	0,35	0,06	0,15	0,16	10.200
54-1	V 0511 4198 I	6,8	1,3	1.200	53	630	7,0	330	2,8	8,6	0,33	0,12	0,79	0,07	0,21	0,12	8.800
54-1	V 0511 4198 II	6,8	1,3	1.200	50	660	6,7	340	3,0	9,0	0,34	0,31	0,83	0,09	0,20	0,12	10.900
54-1	<b>MW V 0511 4198</b>	<b>6,8</b>	<b>1,3</b>	<b>1.200</b>	<b>52</b>	<b>650</b>	<b>6,9</b>	<b>330</b>	<b>2,9</b>	<b>8,8</b>	<b>0,33</b>	<b>0,22</b>	<b>0,81</b>	<b>0,08</b>	<b>0,20</b>	<b>0,12</b>	11.000
	RSD %	0,0	3,3	0,7	4,3	2,3	2,9	2,7	6,0	3,4	3,0	61	3,7	18	4,8	0,7	10.700
55-1	V 0511 4199	4,3	0,72	1.000	25	270	3,6	230	0,51	0,54	0,15	0,19	0,18	0,05	0,17	0,10	11.100
56-1	V 0511 4200	6,6	1,3	1.100	47	610	6,1	310	1,2	1,2	0,23	0,17	0,34	0,07	0,34	0,11	11.400
57-1	V 0511 4201	6,5	1,0	1.000	38	450	6,0	230	1,0	1,8	0,27	0,14	0,39	0,08	0,31	0,11	7.700
57-2	V 0511 4202	3,9	0,80	880	43	420	4,3	250	0,73	0,75	0,21	n. n.	0,22	0,04	0,18	0,07	14.800
60-1	V 0511 4203	4,3	2,0	820	22	1.000	4,1	820	1,6	1,9	0,16	n. n.	0,56	0,05	0,17	0,50	12.700
60-2	V 0511 4204	9,0	2,2	1.100	43	1.100	6,7	840	1,7	1,9	0,18	0,25	0,49	0,06	0,25	0,43	12.500
61-1	V 0511 4205	7,9	2,3	1.100	31	930	5,4	720	1,4	1,6	0,23	0,14	0,45	0,04	0,24	0,31	12.500
63-1	V 0511 4206	5,4	1,1	1.100	32	580	5,5	310	0,99	1,5	0,15	0,51	0,42	0,04	0,26	0,19	12.400
64-1	V 0511 4207	8,3	1,2	1.400	72	440	7,0	260	0,81	1,7	0,44	0,39	0,27	0,07	0,30	0,17	12.100
65-1	V 0511 4208	8,8	0,81	1.000	67	240	4,9	170	0,60	1,8	0,55	0,14	0,31	0,05	0,23	0,07	<b>12.300</b>
66-1	V 0511 4209	3,8	1,5	1.000	29	400	5,2	340	0,79	1,1	0,23	n. n.	0,32	0,04	0,13	0,15	1,7



Nr.	Labornummer	Pb	V	S	Zn	Fe	Cu	Al	Cr	Ni	Cd	Mo	Co	Hg	Sb	As	N
67-1	V 0511 4210	3,3	0,53	930	20	120	3,2	86	0,27	0,42	0,26	n. n.	n. n.	0,04	0,13	0,04	10.300
68-1	V 0511 4211	3,5	1,6	860	26	480	5,1	480	1,1	2,4	0,27	n. n.	0,33	0,05	0,12	0,14	10.900
69-1	V 0511 4212	4,7	0,85	880	31	240	3,3	170	0,46	0,85	0,49	0,16	0,15	0,05	0,17	0,07	<b>10.600</b>
70-1	V 0511 4213 I	3,2	1,3	820	31	690	3,3	660	1,0	1,3	0,25	n. n.	0,37	0,05	0,10	0,23	4,0
70-1	V 0511 4213 II	3,5	1,4	850	34	700	3,5	680	0,95	1,3	0,25	n. n.	0,37	0,03	0,10	0,23	17.100
70-1	<b>MW V 0511 4213</b>	<b>3,4</b>	<b>1,4</b>	<b>840</b>	<b>33</b>	<b>700</b>	<b>3,4</b>	<b>670</b>	<b>0,98</b>	<b>1,3</b>	<b>0,25</b>	<b>n. n.</b>	<b>0,37</b>	<b>0,04</b>	<b>0,10</b>	<b>0,23</b>	12.700
	RSD %	5,2	2,8	2,6	7,4	1,3	4,4	2,2	4,2	1,1	0,3	–	0,3	23	2,6	1,0	12.400
71-1	V 0511 4214	3,5	1,4	880	21	670	4,4	540	1,4	1,6	0,15	n. n.	0,48	0,05	0,19	0,22	<b>12.600</b>
72-1	V 0511 4215	3,3	0,75	900	31	190	5,2	160	0,38	0,58	0,17	n. n.	n. n.	0,04	0,16	0,05	1,7
73-1	V 0511 4216	4,8	0,85	860	34	190	4,9	150	0,43	0,51	0,24	n. n.	n. n.	0,04	0,17	0,06	10.300
74-1	V 0511 4217	3,4	0,66	930	27	190	4,8	150	0,46	0,47	0,14	0,14	n. n.	0,06	0,16	0,05	13.400
74-2	V 0511 4218	4,7	1,1	950	30	280	4,9	230	0,70	0,72	0,25	0,31	n. n.	0,06	0,21	0,08	13.200
75-1	V 0511 4219	3,5	1,2	660	23	290	2,9	280	0,67	0,60	0,17	0,47	0,16	0,04	0,12	0,12	12.000
75-2	V 0511 4220	5,8	2,2	1.200	29	700	4,7	620	1,2	1,3	0,15	1,2	0,31	0,06	0,23	0,42	14.800
76-1	V 0511 4221	6,1	2,0	990	34	810	6,0	660	1,5	1,5	0,24	0,33	0,36	0,06	0,31	0,37	14.900
76-2	V 0511 4222 I	18	2,2	1.100	60	1.500	6,0	1.000	1,6	3,9	0,39	0,36	0,91	0,07	0,32	2,7	13.000
76-2	V 0511 4222 II	17	2,1	1.100	60	1.400	5,9	1.100	1,6	3,8	0,39	0,36	0,87	0,07	0,11	2,0	9.600
76-2	<b>MW V 0511 4222</b>	<b>17</b>	<b>2,1</b>	<b>1.100</b>	<b>60</b>	<b>1.400</b>	<b>5,9</b>	<b>1.100</b>	<b>1,6</b>	<b>3,9</b>	<b>0,39</b>	<b>0,36</b>	<b>0,89</b>	<b>0,07</b>	<b>0,22</b>	<b>2,3</b>	8.600
	RSD %	3,2	2,7	2,2	0,1	5,8	0,9	4,0	0,1	1,1	0,2	0,3	2,8	8,5	68	21	13.500
77-1	V 0511 4223	7,6	2,4	1.100	31	1.000	5,2	940	1,7	1,8	0,25	0,33	0,49	0,08	0,29	0,63	14.600
78-1	V 0511 4224	4,3	1,7	930	22	650	5,5	580	1,2	1,3	0,17	0,28	0,31	0,05	0,19	0,47	10.700
79-1	V 0511 4225	5,7	2,5	970	27	1.400	4,0	1.100	2,0	2,3	0,17	0,36	0,61	0,06	0,21	0,82	11.100
82-1	V 0511 4226	7,8	1,5	1.400	57	270	5,8	190	0,60	0,92	0,27	0,54	0,17	0,05	0,37	0,06	<b>10.900</b>
84-1	V 0511 4227	3,5	1,3	980	21	360	5,4	320	0,68	1,4	0,18	0,34	0,15	0,06	0,19	0,14	2,6
85-1	V 0511 4228	3,7	1,2	910	37	290	3,6	230	0,62	0,67	0,20	1,6	0,17	0,07	0,21	0,06	10.800
88-1	V 0511 4229	6,0	1,1	1.300	31	280	6,6	230	0,62	0,60	0,18	0,46	0,13	0,07	0,31	0,08	11.200
89-1	V 0511 4230	3,6	1,4	1.000	22	470	7,0	430	0,93	2,1	0,15	0,13	0,27	0,09	0,24	0,14	<b>11.000</b>
90-1	V 0511 4231 I	4,3	0,83	930	25	190	5,9	140	0,49	0,58	0,22	0,29	n. n.	0,06	0,30	0,06	2,6
90-1	V 0511 4231 II	4,5	0,86	850	23	180	6,2	120	0,43	0,55	0,21	0,22	n. n.	0,08	0,30	0,05	9.500



Nr.	Labornummer	Pb	V	S	Zn	Fe	Cu	Al	Cr	Ni	Cd	Mo	Co	Hg	Sb	As	N
90-1	<b>MW V 0511 4231</b>	<b>4,4</b>	<b>0,84</b>	<b>890</b>	<b>24</b>	<b>190</b>	<b>6,1</b>	<b>130</b>	<b>0,46</b>	<b>0,57</b>	<b>0,21</b>	<b>0,25</b>	n. n.	<b>0,07</b>	<b>0,30</b>	<b>0,06</b>	10.900
	RSD %	2,6	2,6	5,8	4,6	5,0	3,3	13	9,3	4,1	0,4	20	–	23	0,9	8,3	8.100
91-1	V 0511 4232	4,4	1,1	1.000	34	210	7,2	130	0,46	0,56	0,20	0,23	n. n.	0,06	0,29	0,06	10.900
92-1	V 0511 4233	3,0	1,3	1.000	24	310	5,5	270	0,75	0,71	0,20	0,51	0,14	0,05	0,28	0,18	7.600
94-1	V 0511 4234	3,3	1,4	1.000	29	500	6,3	470	0,87	1,4	0,20	0,22	0,35	0,04	0,20	0,22	12.500
95-1	V 0511 4235	2,4	0,56	840	23	160	4,5	130	0,33	0,87	0,13	0,13	n. n.	0,04	0,12	0,06	11.400
96-1	V 0511 4236	3,9	0,71	750	22	190	2,9	140	0,45	0,92	1,0	0,22	0,18	0,04	0,18	0,05	12.100
97-1	V 0511 4237	3,4	0,99	1.000	27	200	5,7	150	0,46	0,68	0,19	0,29	n. n.	0,06	0,21	0,06	12.300
98-1	V 0511 4238 I	3,5	0,84	1.000	24	210	5,5	160	0,68	1,5	0,25	0,21	0,14	0,05	0,18	0,07	<b>12.200</b>
98-1	V 0511 4238 II	3,5	0,84	1.000	23	200	5,6	160	0,69	1,4	0,25	0,22	0,13	0,05	0,17	0,07	1,2
98-1	<b>MW V 0511 4238</b>	<b>3,5</b>	<b>0,84</b>	<b>1.000</b>	<b>23</b>	<b>200</b>	<b>5,6</b>	<b>160</b>	<b>0,68</b>	<b>1,4</b>	<b>0,25</b>	<b>0,22</b>	<b>0,14</b>	<b>0,05</b>	<b>0,18</b>	<b>0,07</b>	12.500
	RSD %	0,0	0,6	0,4	1,6	6,1	0,3	4,2	0,6	6,0	1,2	3,2	2,7	1,7	5,4	3,7	17.100
99-1	V 0511 4239	3,1	0,86	880	35	180	5,2	170	0,43	0,97	0,17	0,23	0,17	0,06	0,15	0,05	18.500
100-1	V 0511 4240	3,7	0,95	870	26	230	4,8	210	0,53	0,77	0,25	0,20	0,15	0,06	0,17	0,06	16.400
101-1	V 0511 4241	3,2	1,1	780	24	310	3,7	300	0,57	0,75	1,1	0,20	0,17	0,04	0,13	0,10	9.900
102-1	V 0511 4242	3,2	0,84	950	25	250	4,2	180	0,73	0,90	0,23	0,48	0,19	0,05	0,18	0,05	9.900
103-1	V 0511 4243	3,7	0,78	800	29	260	3,7	240	0,60	0,93	0,16	0,25	0,18	0,06	0,13	0,06	11.400
104-1	V 0511 4244 I	3,6	0,83	880	31	260	4,9	160	1,0	1,2	0,16	1,3	0,16	0,05	0,16	0,07	12.000
104-1	V 0511 4244 II	3,9	0,85	880	32	290	5,1	160	1,2	1,2	0,15	1,2	0,22	0,07	0,17	0,08	<b>11.700</b>
104-1	<b>MW V 0511 4244</b>	<b>3,7</b>	<b>0,84</b>	<b>880</b>	<b>32</b>	<b>280</b>	<b>5,0</b>	<b>160</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>0,16</b>	<b>1,2</b>	<b>0,19</b>	<b>0,06</b>	<b>0,17</b>	<b>0,07</b>	3,6
	RSD %	6,0	2,4	0,7	1,8	7,0	1,8	1,4	13	0,5	6,1	4,5	22	26	0,7	10	10.700
105-1	V 0511 4245	3,5	0,83	690	26	520	4,5	360	0,58	1,8	0,17	0,15	0,55	0,12	0,11	0,19	9.700
106-1	V 0511 4246	5,8	1,5	880	29	560	3,6	470	0,99	1,1	0,19	0,42	0,26	0,07	0,24	0,42	13.000
107-1	V 0511 4247	6,0	1,7	940	28	760	3,8	700	1,2	2,1	0,21	0,18	1,0	0,04	0,13	0,29	12.600
108-1	V 0511 4248	6,0	2,0	1.000	19	1.100	4,5	880	1,8	2,7	0,16	0,20	0,54	0,08	0,15	0,51	14.400
109-1	V 0511 4249	5,7	1,7	990	22	870	4,0	730	1,4	1,5	0,25	0,52	0,38	0,05	0,16	0,28	14.400
111-1	V 0511 4250	9,0	1,6	1.500	34	450	6,0	340	1,0	1,5	0,31	0,52	0,24	0,06	0,40	0,12	15.500
111-2	V 0511 4251	5,7	1,3	1.300	34	290	7,9	260	0,61	1,2	0,16	0,32	0,14	0,06	0,21	0,07	16.900
112-1	V 0511 4252	9,3	2,3	1.000	38	610	7,1	520	1,1	2,3	0,27	0,32	0,32	0,08	0,25	0,17	15.000

Nr.	Labornummer	Pb	V	S	Zn	Fe	Cu	Al	Cr	Ni	Cd	Mo	Co	Hg	Sb	As	N
112-2	V 0511 4253	3,0	0,75	790	22	140	4,2	130	0,45	0,73	0,13	0,13	n. n.	0,03	0,15	0,03	15.100
113-1	V 0511 4254	2,7	0,56	790	26	140	3,7	110	0,33	0,55	0,10	0,13	n. n.	0,04	0,14	0,05	14.600
114-1	V 0511 4255	3,4	1,0	1.100	30	260	5,6	230	0,74	0,73	0,13	0,40	n. n.	0,09	0,17	0,10	<b>14.900</b>
115-1	V 0511 4256	3,1	0,89	860	22	210	4,1	190	0,53	0,67	0,12	0,87	n. n.	0,07	0,23	0,07	2,4
115-2	V 0511 4257	2,6	0,84	890	23	250	5,4	210	0,55	0,99	0,09	0,51	n. n.	0,04	0,27	0,08	18.500
116-1	V 0511 4258	3,2	0,83	1.000	36	210	6,2	180	0,52	0,62	0,20	0,48	0,13	0,05	0,22	0,05	13.300
117-1	V 0511 4259 I	3,8	0,73	930	29	240	6,8	150	0,78	0,64	0,20	0,43	0,14	0,07	0,40	0,08	9.600
117-1	V 0511 4259 II	3,5	0,65	910	28	250	6,6	160	0,83	0,65	0,20	0,39	0,16	0,05	0,42	0,07	12.900
117-1	<b>MW V 0511 4259</b>	<b>3,7</b>	<b>0,69</b>	<b>920</b>	<b>29</b>	<b>250</b>	<b>6,7</b>	<b>160</b>	<b>0,81</b>	<b>0,64</b>	<b>0,20</b>	<b>0,41</b>	<b>0,15</b>	<b>0,06</b>	<b>0,41</b>	<b>0,07</b>	9.700
	RSD %	5,9	7,5	1,7	1,1	2,3	2,4	2,8	4,9	1,8	0,4	7,8	7,1	25	3,0	1,0	9.500
118-1	V 0511 4260	3,0	0,81	1.000	29	180	5,6	160	0,50	0,55	0,17	0,25	n. n.	0,05	0,18	0,05	10.400
118-2	V 0511 4261	5,9	0,75	980	34	260	9,1	180	0,70	0,87	0,37	0,29	0,17	0,08	0,33	0,11	11.500
119-1	V 0511 4262	4,1	0,52	1.000	33	160	9,6	130	0,37	1,1	0,20	0,21	0,17	0,08	0,24	0,08	13.900
120-1	V 0511 4263	27	1,2	1.300	61	480	35	320	0,85	3,3	1,6	0,47	0,26	0,26	0,62	0,22	8.500
120-2	V 0511 4264	6,5	0,62	1.000	76	220	15	190	0,41	1,0	0,66	0,27	0,22	0,07	0,31	0,15	13.400
121-1	V 0511 4265	4,8	0,88	1.100	25	430	6,6	210	0,41	2,9	0,19	0,19	0,21	0,07	0,28	0,16	12.600
122-1	V 0511 4266	3,0	0,66	1.200	28	190	7,1	140	0,27	0,75	0,10	0,15	0,12	0,06	0,14	0,04	8.500
122-2	V 0511 4267	5,2	0,94	970	33	270	6,6	240	0,54	1,6	0,12	0,22	0,25	0,05	0,23	0,10	11.500
123-1	V 0511 4268	2,1	0,52	740	22	110	5,0	90	0,21	0,71	0,10	n. n.	n. n.	0,03	0,11	0,03	7.900
124-1	V 0511 4269	3,1	0,94	940	25	210	5,9	150	0,31	0,70	0,10	n. n.	0,12	0,04	0,11	0,09	10.900
125-1	V 0511 4270	2,4	0,55	730	26	140	4,1	93	0,29	0,73	0,10	0,14	0,14	0,05	0,16	0,04	12.000
125-2	V 0511 4271	1,6	0,49	730	16	100	3,2	99	0,24	0,55	0,06	n. n.	n. n.	0,04	0,10	0,05	<b>11.500</b>
126-1	V 0511 4272	2,7	0,63	810	34	200	4,0	180	0,25	0,49	0,14	n. n.	n. n.	0,04	0,12	0,07	6,8
126-2	V 0511 4273	2,1	0,49	750	29	97	4,1	93	0,31	0,82	0,11	n. n.	0,14	0,04	0,12	0,03	12.000
127-1	V 0511 4274	3,0	0,55	1.000	31	140	4,6	170	0,38	0,73	0,13	0,13	n. n.	0,04	0,10	0,05	12.900
128-1	V 0511 4275	2,3	0,87	830	26	220	4,0	190	0,38	0,63	0,20	n. n.	0,16	0,06	0,11	0,06	12.200
129-1	V 0511 4276	4,2	1,0	990	28	380	5,0	300	0,66	1,6	0,14	0,15	0,35	0,06	0,19	0,09	<b>12.600</b>
130-1	V 0511 4277	2,1	1,1	1.100	31	330	4,7	250	0,53	1,5	0,21	n. n.	0,43	0,03	0,06	0,06	3,9
131-1	V 0511 4278	3,1	0,71	790	23	200	5,2	190	0,57	1,1	0,13	0,17	0,19	0,04	0,10	0,05	13.800



Nr.	Labornummer	Pb	V	S	Zn	Fe	Cu	Al	Cr	Ni	Cd	Mo	Co	Hg	Sb	As	N
132-1	V 0511 4279	4,6	1,3	990	32	1.200	4,9	470	1,5	3,1	0,12	0,59	0,50	0,08	0,26	0,61	12.100
133-1	V 0511 4280	5,1	1,4	860	40	1.200	4,1	570	1,6	2,5	0,20	0,61	0,61	0,05	0,15	0,29	13.500
134-1	V 0511 4281	3,3	0,93	880	26	360	3,6	210	0,64	0,90	0,16	0,51	0,18	0,09	0,15	0,13	14.000
135-1	V 0511 4282	4,7	1,9	740	33	900	4,7	660	1,2	1,8	0,23	0,21	0,76	0,05	0,19	0,18	13.900
136-1	V 0511 4283	4,9	1,3	1.000	32	490	5,2	370	0,96	1,6	0,19	0,27	0,36	0,05	0,17	0,09	12.300
136-2	V 0511 4284	4,5	1,1	1.100	28	350	5,1	300	0,93	1,6	0,19	0,22	0,54	0,06	0,17	0,06	11.300
137-1	V 0511 4285	3,9	0,71	950	29	220	5,6	240	0,69	1,4	0,19	0,14	0,22	0,05	0,12	0,08	9.500
138-1	V 0511 4286	5,6	1,7	1.100	26	660	5,6	630	1,3	2,9	0,21	0,16	0,63	0,07	0,15	0,19	12.200
138-2	V 0511 4287 I	2,9	3,2	1.100	37	1.600	5,8	980	4,0	4,6	0,34	0,21	1,3	0,05	0,22	0,27	10.900
138-2	V 0511 4287 II	2,4	3,3	1.100	36	1.700	6,2	980	4,3	4,7	0,35	0,20	1,3	0,06	0,21	0,28	8.600
138-2	<b>MW V 0511 4287</b>	<b>2,6</b>	<b>3,2</b>	<b>1.100</b>	<b>36</b>	<b>1.600</b>	<b>6,0</b>	<b>980</b>	<b>4,2</b>	<b>4,6</b>	<b>0,35</b>	<b>0,21</b>	<b>1,3</b>	<b>0,06</b>	<b>0,22</b>	<b>0,28</b>	7.400
	RSD %	12	1,6	2,5	0,8	7,1	4,2	0,1	5,9	2,8	2,9	3,7	1,7	17	3,9	0,6	7.700
141-1	V 0511 4288	5,5	3,7	1.000	26	1.100	6,6	1.100	1,9	1,8	0,68	0,49	0,58	0,05	0,28	0,39	9.300
142-1	V 0511 4289	3,5	1,1	1.200	28	360	6,7	280	0,73	0,93	0,15	0,51	0,17	0,06	0,28	0,10	12.200
143-1	V 0511 4290	2,8	1,1	790	31	430	4,5	390	0,85	1,6	0,17	0,18	0,26	0,04	0,12	0,13	21.500
143-2	V 0511 4291	2,3	0,75	770	20	220	4,2	250	0,43	0,76	0,07	0,18	0,16	0,06	0,13	0,06	11.300
144-1	V 0511 4292	2,0	0,61	920	29	200	5,2	190	0,37	0,78	0,09	0,23	0,16	0,12	0,11	0,05	12.700
145-1	V 0511 4293	2,0	0,70	760	28	200	4,2	180	0,46	0,78	0,09	0,15	0,32	0,05	0,11	0,06	14.200
146-1	V 0511 4294	3,1	0,76	820	38	290	5,2	190	0,54	0,60	0,12	0,29	0,14	0,05	0,29	0,10	10.300
146-2	V 0511 4295	2,0	0,70	610	22	260	3,2	220	0,45	0,44	0,09	0,13	0,13	0,04	0,16	0,09	10.300
147-1	V 0511 4296 I	2,8	0,75	580	21	250	3,7	190	0,47	0,66	0,12	0,14	0,19	0,04	0,18	0,06	13.600
147-1	V 0511 4296 II	3,2	0,84	600	28	260	4,0	190	0,49	0,64	0,12	0,14	0,18	0,05	0,18	0,06	14.000
147-1	<b>MW V 0511 4296</b>	<b>3,0</b>	<b>0,80</b>	<b>590</b>	<b>25</b>	<b>250</b>	<b>3,9</b>	<b>190</b>	<b>0,48</b>	<b>0,65</b>	<b>0,12</b>	<b>0,14</b>	<b>0,18</b>	<b>0,05</b>	<b>0,18</b>	<b>0,06</b>	<b>13.800</b>
	RSD %	8,1	7,5	2,7	21	2,4	4,4	0,7	2,8	2,0	2,5	2,1	2,1	6,1	1,0	2,1	2,0
147-2	V 0511 4297	2,7	0,83	770	41	280	3,6	250	0,48	0,79	0,18	0,14	0,24	0,04	0,15	0,21	7.800
148-1	V 0511 4298	3,6	0,89	850	29	470	6,6	330	1,0	2,9	0,15	0,17	0,24	0,16	0,28	0,14	11.000
150-1	V 0511 4299	7,1	0,68	1.200	46	250	13	180	0,54	1,4	0,23	0,18	0,24	0,08	0,25	0,11	11.600
151-1	V 0511 4300	3,8	1,2	850	35	390	4,6	320	0,74	1,0	0,23	0,31	0,30	0,06	0,16	0,08	10.500
152-1	V 0511 4301	4,0	1,1	960	25	390	6,2	340	1,0	1,4	0,13	0,19	0,33	0,06	0,19	0,10	9.300

Nr.	Labornummer	Pb	V	S	Zn	Fe	Cu	Al	Cr	Ni	Cd	Mo	Co	Hg	Sb	As	N
153-1	V 0511 4302 I	2,3	0,66	850	28	110	4,8	150	0,56	0,79	0,10	0,21	0,19	0,05	0,12	0,06	8.200
153-1	V 0511 4302 II	2,2	0,64	860	27	160	4,8	140	0,53	0,76	0,10	0,20	0,21	0,05	0,12	0,07	11.200
153-1	<b>MW V 0511 4302</b>	<b>2,3</b>	<b>0,65</b>	<b>850</b>	<b>28</b>	<b>140</b>	<b>4,8</b>	<b>140</b>	<b>0,55</b>	<b>0,78</b>	<b>0,10</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	<b>0,05</b>	<b>0,12</b>	<b>0,07</b>	10.500
	RSD %	2,7	2,6	0,3	2,0	24	0,5	4,3	4,5	3,4	1,6	3,4	7,2	1,2	0,8	7,6	16.400
154-1	V 0511 4303	1,3	0,38	710	20	65	4,8	73	0,25	0,58	0,06	n. n.	n. n.	0,03	0,06	0,06	11.900
155-1	V 0511 4304	1,5	0,37	830	24	73	4,5	100	0,29	0,65	0,08	0,14	n. n.	0,03	0,07	0,06	15.000
156-1	V 0511 4305	2,0	0,59	890	23	110	4,5	120	0,29	0,69	0,10	0,14	n. n.	0,04	0,09	0,04	13.000
157-1	V 0511 4306	2,2	0,69	750	21	240	5,0	220	0,54	0,86	0,09	n. n.	0,32	0,04	0,11	0,23	13.200
157-2	V 0511 4307	2,5	0,76	770	25	240	3,8	230	0,52	0,71	0,09	n. n.	0,23	0,10	0,15	0,10	16.300
158-1	V 0511 4308	2,4	0,59	920	33	83	4,7	110	0,31	0,60	0,15	0,19	0,15	0,05	0,07	n. n.	10.600
158-2	V 0511 4309	1,2	0,24	740	23	65	3,9	63	0,14	0,55	0,08	n. n.	n. n.	0,06	0,05	n. n.	13.000
159-1	V 0511 4310	3,0	0,79	750	19	190	3,8	170	0,39	0,71	0,12	0,17	0,16	0,04	0,12	0,05	15.400
160-1	V 0511 4311	1,5	0,27	630	20	80	4,3	56	0,21	0,50	0,14	0,14	0,13	0,04	0,05	n. n.	15.200
160-2	V 0511 4312	2,0	0,65	830	25	100	6,2	86	0,30	0,57	0,16	0,31	n. n.	0,04	0,07	0,04	9.600
161-1	V 0511 4313	3,7	0,96	810	29	300	4,2	220	0,65	1,5	0,15	0,20	0,28	0,06	0,18	0,07	8.200
162-1	V 0511 4314	3,9	0,73	1.100	39	270	6,8	190	0,96	3,6	0,20	0,32	0,46	0,05	0,14	0,06	8.900
162-2	V 0511 4315	3,6	1,2	1.000	32	360	6,1	330	0,74	1,5	0,16	0,20	0,41	0,05	0,23	0,11	8.500
163-1	V 0511 4316	3,8	1,0	990	43	450	6,3	360	1,1	1,8	0,29	0,28	0,30	0,05	0,15	0,08	<b>8.700</b>
164-1	V 0511 4317	7,3	1,4	1.100	39	500	6,8	450	0,98	1,7	0,31	0,20	0,47	0,06	0,18	0,09	3,6
165-1	V 0511 4318	3,4	1,8	1.200	38	1.300	5,5	1.000	1,7	2,2	0,21	n. n.	0,80	0,04	n. n.	0,57	12.300
166-1	V 0511 4319	3,3	1,4	1.000	41	750	5,5	580	1,2	2,3	0,28	n. n.	0,86	0,04	0,11	0,20	9.500
167-1	V 0511 4320	3,6	1,0	1.000	27	330	5,1	320	0,73	1,5	0,21	n. n.	0,43	0,05	0,14	0,09	11.700
168-1	V 0511 4321	5,2	1,1	890	25	400	4,3	340	0,99	2,2	0,28	n. n.	0,38	0,08	0,13	0,09	11.800
169-1	V 0511 4322	3,4	1,1	1.100	33	410	6,9	360	0,68	1,3	0,12	n. n.	0,28	0,07	0,17	0,08	10.200
169-2	V 0511 4323	6,5	1,8	1.300	58	790	6,2	660	1,2	1,6	0,27	0,35	0,71	0,06	0,23	0,23	11.700
171-1	V 0511 4324	2,1	0,68	860	19	290	4,9	230	0,59	0,71	0,08	n. n.	0,19	0,05	0,18	0,10	12.000
173-1	V 0511 4325 I	1,7	0,72	850	21	310	3,8	290	0,55	1,3	0,06	n. n.	0,31	0,05	0,10	0,08	<b>11.900</b>
173-1	V 0511 4325 II	1,4	0,74	850	21	310	3,7	270	0,57	1,4	0,07	0,20	0,29	0,07	0,10	0,07	1,8
173-1	<b>MW V 0511 4325</b>	<b>1,6</b>	<b>0,73</b>	<b>850</b>	<b>21</b>	<b>310</b>	<b>3,7</b>	<b>280</b>	<b>0,56</b>	<b>1,4</b>	<b>0,06</b>	<b>n. n.</b>	<b>0,30</b>	<b>0,06</b>	<b>0,10</b>	<b>0,07</b>	9.800



Nr.	Labornummer	Pb	V	S	Zn	Fe	Cu	Al	Cr	Ni	Cd	Mo	Co	Hg	Sb	As	N
	RSD %	13	2,2	0,1	0,5	0,3	1,7	4,5	3,2	2,6	5,5	86	4,5	14	0,3	5,8	10.900
178-1	V 0511 4326	2,4	0,73	790	28	260	4,8	230	0,53	1,0	0,07	n. n.	0,18	0,04	0,12	0,06	7.700
178-2	V 0511 4327	1,9	0,71	1.000	22	370	4,9	290	0,53	0,74	0,11	n. n.	0,25	0,12	0,10	0,29	8.200
179-1	V 0511 4328	2,2	0,89	920	27	330	4,8	270	0,56	1,0	0,13	n. n.	0,27	0,04	0,12	0,08	7.600
180-1	V 0511 4329	1,5	0,53	870	22	190	5,0	140	0,40	0,72	0,08	n. n.	0,29	0,06	0,10	0,06	8.100
180-2	V 0511 4330	2,0	0,55	950	23	180	6,0	160	0,48	0,76	0,10	n. n.	0,17	0,07	0,09	0,04	<b>7.900</b>
181-1	V 0511 4331	2,3	0,71	1.000	23	340	5,8	200	0,60	1,1	0,09	n. n.	0,23	0,06	0,12	0,07	4,3
181-2	V 0511 4332	3,7	1,0	920	29	330	6,2	290	0,54	1,3	0,12	n. n.	0,27	0,06	0,14	0,07	11.900
182-1	V 0511 4333	1,3	0,29	830	31	110	6,0	90	0,27	0,91	0,12	n. n.	0,15	0,03	0,06	0,03	10.300
183-1	V 0511 4334	3,2	1,2	990	29	430	4,7	400	0,83	1,3	0,19	n. n.	0,50	0,06	0,10	0,04	<b>11.100</b>
184-1	V 0511 4335	1,2	0,37	820	28	110	5,6	100	0,28	0,65	0,10	n. n.	0,13	0,03	0,07	0,03	10,0
185-1	V 0511 4336	2,2	0,60	960	26	190	5,2	180	0,39	0,97	0,11	n. n.	0,24	0,03	0,09	0,06	7.000
186-1	V 0511 4337	4,0	16	810	25	490	4,5	320	3,0	4,60	0,13	5,6	0,30	0,05	0,24	0,09	7.000
187-1	V 0511 4339	3,7	0,87	860	41	260	4,9	220	0,49	0,99	0,13	n. n.	0,17	0,05	0,14	0,06	<b>7.000</b>
188-1	V 0511 4340	2,6	0,59	700	18	170	3,9	160	0,39	0,66	0,09	n. n.	n. n.	0,07	0,10	0,06	0,1
189-1	V 0511 4341	2,6	0,35	950	30	110	6,4	100	0,30	0,88	0,14	n. n.	0,13	0,03	0,07	0,02	10.500
190-1	V 0511 4342	12	2,9	1.000	47	1.200	9,8	1.100	1,7	3,5	0,32	0,31	1,6	0,03	0,19	0,39	15.800
190-2	V 0511 4343 I	5,1	0,95	1.000	54	360	5,2	310	0,73	1,2	0,25	n. n.	0,62	0,04	0,14	0,07	13.700
190-2	V 0511 4343 II	5,3	0,96	990	50	370	5,2	310	0,82	1,2	0,26	n. n.	0,58	0,04	0,14	0,07	13.400
190-2	<b>MW V 0511 4343</b>	<b>5,2</b>	<b>0,95</b>	<b>1.000</b>	<b>52</b>	<b>360</b>	<b>5,2</b>	<b>310</b>	<b>0,77</b>	<b>1,2</b>	<b>0,26</b>	<b>n. n.</b>	<b>0,60</b>	<b>0,04</b>	<b>0,14</b>	<b>0,07</b>	8.700
	RSD %	1,9	0,8	0,9	5,5	2,1	0,7	0,4	8,0	3,2	2,9	-	4,2	9,0	2,0	3,7	11.600
191-1	V 0511 4344	3,2	0,87	1.000	38	530	6,5	450	0,78	1,4	0,33	n. n.	0,43	0,04	0,07	0,11	8.700
192-1	V 0511 4345	3,4	0,85	850	24	290	5,0	350	0,62	0,98	0,17	n. n.	0,29	0,03	0,12	0,06	13.500
193-1	V 0511 4346	3,1	0,65	980	23	220	6,2	210	0,47	1,3	0,15	n. n.	0,18	0,03	0,11	0,05	15.300
196-1	V 0511 4347	1,9	0,50	800	23	190	4,9	180	0,34	0,71	0,10	n. n.	n. n.	0,03	0,08	0,06	10.200
197-1	V 0511 4348	2,5	0,71	1.200	29	260	5,1	210	0,45	0,88	0,11	n. n.	0,14	0,03	0,09	0,06	9.400
197-2	V 0511 4349	2,5	0,98	1.300	22	590	5,7	470	0,76	1,4	0,18	n. n.	0,36	0,03	0,09	0,15	<b>9.800</b>
198-1	V 0511 4350	4,4	1,1	670	24	360	4,1	310	0,77	1,3	0,35	n. n.	0,24	0,03	0,10	0,10	5,5
198-2	V 0511 4351	5,0	1,1	1.100	37	410	6,1	310	0,57	1,5	0,30	n. n.	0,19	0,03	0,11	0,13	13.600
199-1	V 0511 4352	4,0	0,72	930	28	230	6,1	190	0,44	0,68	0,16	n. n.	n. n.	0,04	0,13	0,06	13.800



Nr.	Labornummer	Pb	V	S	Zn	Fe	Cu	Al	Cr	Ni	Cd	Mo	Co	Hg	Sb	As	N
200-1	V 0511 4353	2,9	0,64	970	36	210	6,6	170	0,45	0,79	0,15	n. n.	0,21	0,04	0,16	0,04	<b>13.700</b>
200-2	V 0511 4354	4,0	0,87	850	35	260	5,9	210	0,51	0,81	0,19	n. n.	0,20	0,05	0,15	0,06	1,0
201-1	V 0511 4355	3,4	0,92	750	29	310	5,0	280	0,63	1,2	0,15	n. n.	0,20	0,05	0,19	0,11	11.100
202-1	V 0511 4356	3,2	1,3	840	29	310	4,7	260	0,70	1,7	0,19	n. n.	0,25	0,05	0,14	0,09	10.900
203-1	V 0511 4357	2,9	0,80	850	27	190	5,1	190	0,46	0,78	0,14	n. n.	0,15	0,04	0,10	0,04	<b>11.000</b>
204-1	V 0511 4358 I	3,4	1,1	980	28	380	4,6	290	0,82	0,84	0,13	0,17	0,19	0,05	0,22	0,20	1,3
204-1	V 0511 4358 II	3,6	1,1	980	28	380	4,6	290	0,84	0,80	0,13	0,16	0,17	0,05	0,22	0,20	12.400
204-1	<b>MW V 0511 4358</b>	<b>3,5</b>	<b>1,1</b>	<b>980</b>	<b>28</b>	<b>380</b>	<b>4,6</b>	<b>290</b>	<b>0,83</b>	<b>0,82</b>	<b>0,13</b>	<b>0,17</b>	<b>0,18</b>	<b>0,05</b>	<b>0,22</b>	<b>0,20</b>	11.000
	RSD %	4,1	0,6	0,2	0,8	1,3	1,2	1,4	1,5	3,2	2,2	5,0	6,4	4,7	0,5	1,1	7.900
204-2	V 0511 4359 I	4,9	0,98	940	30	250	5,5	230	0,61	1,0	0,21	n. n.	0,19	0,19	0,15	0,06	9.000
204-2	V 0511 4359 II	4,8	1,0	860	28	250	5,2	210	0,66	1,0	0,22	0,18	0,17	0,11	0,13	0,06	9.700
204-2	<b>MW V 0511 4359</b>	<b>4,8</b>	<b>1,0</b>	<b>900</b>	<b>29</b>	<b>250</b>	<b>5,4</b>	<b>220</b>	<b>0,64</b>	<b>1,0</b>	<b>0,21</b>	<b>0,14</b>	<b>0,18</b>	<b>0,15</b>	<b>0,14</b>	<b>0,06</b>	9.800
	RSD %	1,8	2,6	6,3	5,3	0,8	4,8	6,0	6,2	0,6	3,0	36	11	34	13	7,3	10.400
205-1	V 0511 4360	3,3	0,59	780	29	160	6,8	140	0,36	1,2	0,16	n. n.	n. n.	0,05	0,09	0,03	10.100
206-1	V 0511 4361	4,1	0,77	1.200	35	250	7,4	220	0,52	1,2	0,27	0,14	0,16	0,03	0,12	0,04	14.400
207-1	V 0511 4362	4,7	1,5	1.300	120	870	5,5	600	1,1	2,7	0,31	n. n.	0,41	0,04	0,15	0,15	13.700
208-1	V 0511 4363	4,4	0,96	970	33	310	5,5	300	0,58	1,1	0,32	n. n.	0,20	0,05	0,17	0,06	13.100
211-1	V 0511 4364	4,0	1,4	1.000	25	360	6,4	300	0,85	1,1	0,19	0,19	0,15	0,05	0,19	0,08	12.400
212-1	V 0511 4365	4,0	1,4	960	32	270	5,7	250	0,66	0,93	0,24	n. n.	n. n.	0,05	0,14	0,06	11.700
213-1	V 0511 4366	3,6	1,6	740	24	460	3,7	400	0,86	1,3	0,16	0,13	0,23	0,07	0,12	0,16	9.000



### Anhang 3: Flächendeposition an Standorten mit Daten zur jährlichen Biomasse der Monitoringarten

Nr.	Pb	V	Zn	Fe	Cu	Cr	Ni	Cd	Mo	Co	As	N
6-1	561	158	7.343	43.865	2.060	97	200	53	28	31	35	1.655.434
7-1	831	258	9.317	79.859	1.871	172	307	61	33	64	51	1.645.098
11-1	800	391	5.060	138.007	1.617	255	331	46	29	64	110	1.614.678
14-1	405	125	4.580	28.354	1.396	63	153	23	16	20	19	1.137.418
16-1	379	156	4.324	41.338	1.083	109	130	20	21	22	21	1.147.477
21-1	505	115	5.666	38.262	2.031	98	206	46	21	53	30	1.504.007
22-1	404	246	4.268	115.371	1.323	182	256	26	21	56	102	1.043.964
25-1	584	320	4.505	115.841	1.295	201	279	26	20	84	119	1.142.222
34-1	711	244	9.417	74.736	1.555	150	170	37	22	42	29	1.266.035
36-1	535	174	5.810	44.462	1.672	100	219	37	26	39	27	1.319.644
38-1	443	185	4.158	73.912	1.320	138	185	28	48	48	52	886.938
43-1	779	515	5.821	249.478	1.919	413	510	45	28	132	263	1.612.011
45-2	302	119	4.709	23.659	1.058	78	125	29	20	20	16	974.213
46-1	542	161	6.282	28.608	1.851	87	188	33	25	31	18	1.590.253
54-1	794	253	10.116	108.382	2.301	521	2.054	64	60	158	56	1.995.889
60-1	518	401	4.414	171.976	1.410	296	457	32	25	112	241	1.215.873
63-1	562	191	5.550	86.216	1.635	158	312	26	88	73	79	1.300.670
64-1	451	109	6.513	34.118	1.086	68	185	40	35	24	37	1.053.008
65-1	477	73	6.048	18.570	758	50	195	50	13	28	15	769.119
67-1	326	87	3.295	16.947	904	41	83	43	21	21	16	1.255.480
69-1	512	154	5.629	37.352	1.027	77	185	89	29	27	31	1.111.214
73-1	506	149	5.977	28.630	1.477	70	108	42	22	22	25	1.128.614
74-1	701	227	9.278	55.964	2.828	146	194	48	48	43	37	2.288.625
76-1	795	434	7.382	150.740	2.233	301	391	52	72	78	193	1.654.417
76-2	2.277	469	13.396	267.929	2.258	330	1.045	87	80	199	1.232	1.674.558
78-1	593	391	5.060	128.149	2.169	255	359	39	64	71	259	1.697.482
82-1	596	191	7.262	29.485	1.267	71	141	34	69	22	19	1.307.166
84-1	210	130	2.104	30.910	927	63	168	18	34	15	34	757.300
89-1	168	109	1.716	31.421	936	67	197	12	10	21	26	617.726
90-1	288	92	2.614	17.740	1.139	46	75	23	32	14	14	784.299
101-1	374	214	4.675	51.758	1.236	102	175	214	39	33	44	1.110.290
104-1	551	209	7.948	59.610	2.129	252	358	40	298	47	42	1.624.363
107-1	472	223	3.669	85.363	854	145	330	28	24	131	91	896.307
109-1	1.343	668	8.638	292.808	2.692	507	707	98	204	149	264	2.944.913
111-1	388	115	2.446	27.744	740	66	129	22	37	17	21	737.999
111-2	299	114	2.973	21.738	1.184	49	126	14	28	12	14	970.694
116-1	278	120	5.206	26.030	1.537	69	108	29	69	19	16	1.127.983
118-1	249	112	4.014	21.357	1.329	64	91	24	35	17	15	1.195.986
120-2	496	79	9.664	23.979	3.270	48	153	84	34	28	46	1.144.470
122-2	334	101	3.535	24.790	1.212	53	206	13	24	27	26	854.796
125-2	162	83	2.707	14.503	928	37	112	9	21	21	20	964.425
126-1	266	104	5.587	28.168	1.127	38	97	23	21	21	26	1.025.328
126-2	257	100	5.904	16.926	1.431	58	200	22	25	29	16	1.404.659



Nr.	Pb	V	Zn	Fe	Cu	Cr	Ni	Cd	Mo	Co	As	N
128-1	187	118	3.521	25.539	929	48	102	27	17	22	20	690.716
131-1	396	151	4.896	36.494	1.898	112	281	28	36	40	27	1.085.691
133-1	621	284	8.123	208.866	1.427	300	609	41	124	124	141	962.525
136-1	522	231	5.679	74.535	1.582	157	341	34	48	64	40	1.341.633
138-1	670	339	5.185	112.807	1.914	239	694	42	32	126	91	1.615.198
141-1	251	281	1.974	71.582	859	133	164	52	37	44	71	633.178
143-2	173	94	2.508	23.644	903	50	114	9	23	20	17	714.705
146-1	278	114	5.679	37.145	1.332	74	108	18	43	21	35	771.088
146-2	177	103	3.243	32.847	809	61	78	14	19	19	31	654.405
148-1	245	101	3.286	45.648	1.282	105	394	17	19	27	38	829.439
150-1	819	131	8.842	41.190	4.284	96	323	44	35	46	51	2.479.655
159-1	277	122	2.923	25.052	1.002	55	131	18	26	25	19	858.362
161-1	197	85	2.569	22.783	638	53	159	13	18	25	16	558.186
169-2	543	251	8.072	94.239	1.479	154	267	38	49	99	77	1.269.240
173-1	120	91	2.619	33.141	791	64	210	8	16	37	22	613.651
178-1	238	120	4.620	36.773	1.358	81	198	11	21	30	23	861.332
180-2	260	119	4.986	33.447	2.230	96	198	22	27	37	22	1.534.839
197-1	112	53	2.161	16.603	651	31	79	8	9	10	11	603.452
198-2	400	147	4.930	46.823	1.393	70	240	40	17	25	42	1.095.194
200-1	290	107	5.998	29.990	1.885	69	158	25	21	35	14	1.239.570
203-1	372	171	5.769	34.795	1.868	91	200	30	27	32	22	1.243.446
204-1	294	154	3.916	45.557	1.103	107	138	18	23	25	67	822.420
205-1	221	66	3.242	15.331	1.303	37	161	18	14	14	9	677.455
207-1	464	247	19.754	122.755	1.552	167	533	51	21	67	59	1.353.131

## KARTEN

### Verzeichnis der Karten

Karte 1a: Lage der Probenahmepunkte .....	121
Karte 1b: Moosarten .....	122
Karte 1c: Naturräumliche Einheiten/Regionen.....	123
Karte 2: Aluminium in Moosen .....	124
Karte 3: Antimon in Moosen .....	125
Karte 4: Arsen in Moosen.....	126
Karte 5: Blei in Moosen .....	127
Karte 6: Cadmium in Moosen.....	128
Karte 7: Chrom in Moosen .....	129
Karte 8: Cobalt in Moosen.....	130
Karte 9: Eisen in Moosen .....	131
Karte 10: Kupfer in Moosen.....	132
Karte 11: Molybdän in Moosen.....	133
Karte 12: Nickel in Moosen .....	134
Karte 13: Quecksilber in Moosen .....	135
Karte 14: Schwefel in Moosen.....	136
Karte 15: Stickstoff in Moosen.....	137
Karte 16: Vanadium in Moosen .....	138
Karte 17: Zink in Moosen .....	139
Karte 18: Summe aller Schwermetalle .....	140
Karte 19: Veränderungen der Konzentrationen von Al zwischen den Aufsammlungsjahren 2000 und 2005.....	141
Karte 20a: Veränderungen der Konzentrationen von As zwischen den Aufsammlungsjahren 2000 und 2005.....	142
Karte 20b: Veränderungen der Konzentrationen von As zwischen den Aufsammlungsjahren 1995 und 2005.....	143
Karte 21a: Veränderungen der Konzentrationen von Pb zwischen den Aufsammlungsjahren 2000 und 2005.....	144
Karte 21b: Veränderungen der Konzentrationen von Pb zwischen den Aufsammlungsjahren 1995 und 2005.....	145
Karte 22a: Veränderungen der Konzentrationen von Cd zwischen den Aufsammlungsjahren 2000 und 2005.....	146
Karte 22b: Veränderungen der Konzentrationen von Cd zwischen den Aufsammlungsjahren 1995 und 2005.....	147

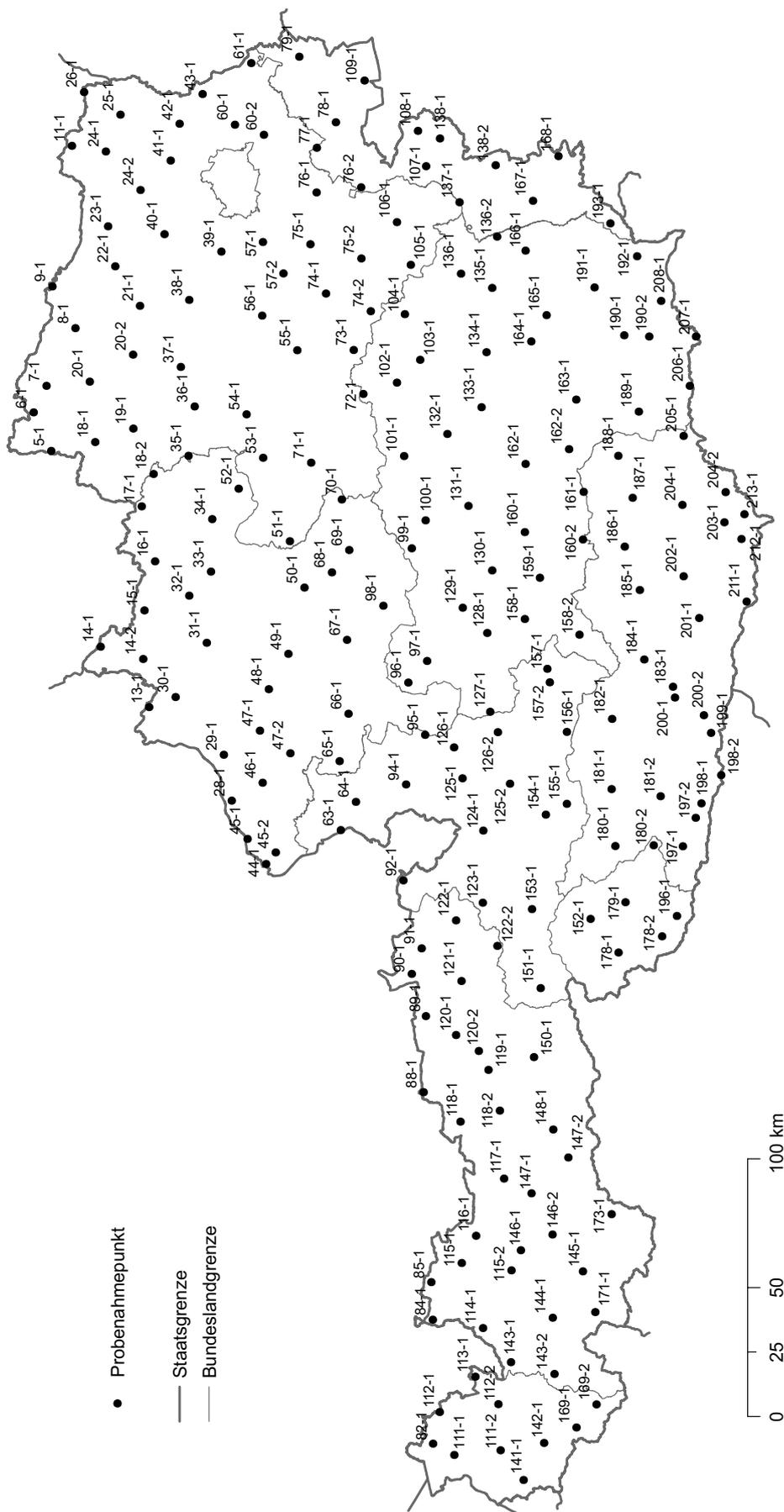


Karte 23a: Veränderungen der Konzentrationen von Cr zwischen den Aufsammlungsjahren 2000 und 2005.....	148
Karte 23b: Veränderungen der Konzentrationen von Cr zwischen den Aufsammlungsjahren 1995 und 2005.....	149
Karte 24a: Veränderungen der Konzentrationen von Co zwischen den Aufsammlungsjahren 2000 und 2005.....	150
Karte 24b: Veränderungen der Konzentrationen von Co zwischen den Aufsammlungsjahren 1995 und 2005.....	151
Karte 25a: Veränderungen der Konzentrationen von Fe zwischen den Aufsammlungsjahren 2000 und 2005.....	152
Karte 25b: Veränderungen der Konzentrationen von Fe zwischen den Aufsammlungsjahren 1995 und 2005.....	153
Karte 26a: Veränderungen der Konzentrationen von Cu zwischen den Aufsammlungsjahren 2000 und 2005.....	154
Karte 26b: Veränderungen der Konzentrationen von Cu zwischen den Aufsammlungsjahren 1995 und 2005.....	155
Karte 27a: Veränderungen der Konzentrationen von Mo zwischen den Aufsammlungsjahren 2000 und 2005.....	156
Karte 27b: Veränderungen der Konzentrationen von Mo zwischen den Aufsammlungsjahren 1995 und 2005.....	157
Karte 28a: Veränderungen der Konzentrationen von Ni zwischen den Aufsammlungsjahren 2000 und 2005.....	158
Karte 28b: Veränderungen der Konzentrationen von Ni zwischen den Aufsammlungsjahren 1995 und 2005.....	159
Karte 29a: Veränderungen der Konzentrationen von Hg zwischen den Aufsammlungsjahren 2000 und 2005.....	160
Karte 29b: Veränderungen der Konzentrationen von Hg zwischen den Aufsammlungsjahren 1995 und 2005.....	161
Karte 30a: Veränderungen der Konzentrationen von S zwischen den Aufsammlungsjahren 2000 und 2005.....	162
Karte 30b: Veränderungen der Konzentrationen von S zwischen den Aufsammlungsjahren 1995 und 2005.....	163
Karte 31a: Veränderungen der Konzentrationen von V zwischen den Aufsammlungsjahren 2000 und 2005.....	164
Karte 31b: Veränderungen der Konzentrationen von V zwischen den Aufsammlungsjahren 1995 und 2005.....	165
Karte 32a: Veränderungen der Konzentrationen von Zn zwischen den Aufsammlungsjahren 2000 und 2005.....	166
Karte 32b: Veränderungen der Konzentrationen von Zn zwischen den Aufsammlungsjahren 1995 und 2005.....	167



Lage der Probenahmepunkte (Aufsammlung 2005)

Karte 1a

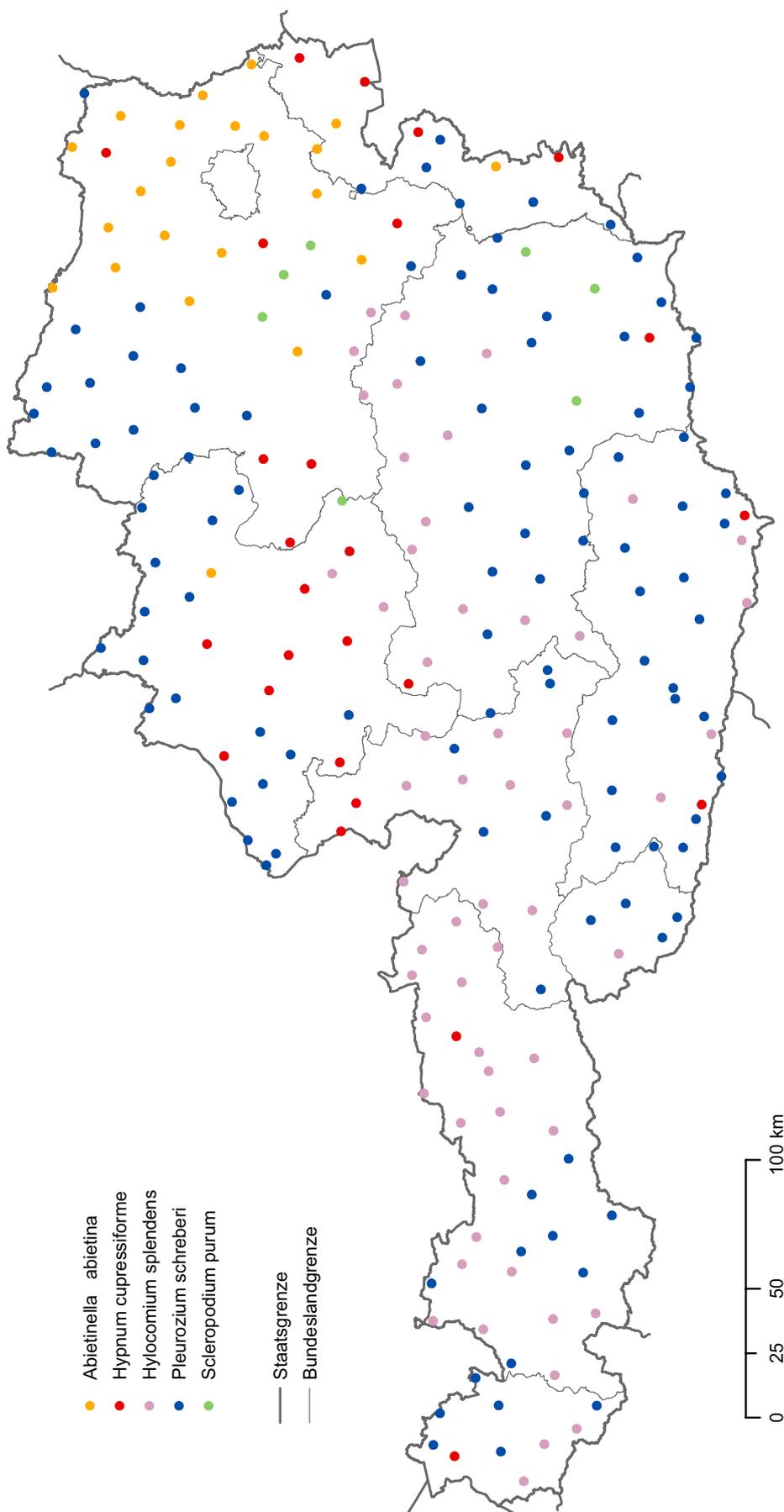


Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

umweltbundesamt

Karte 1b

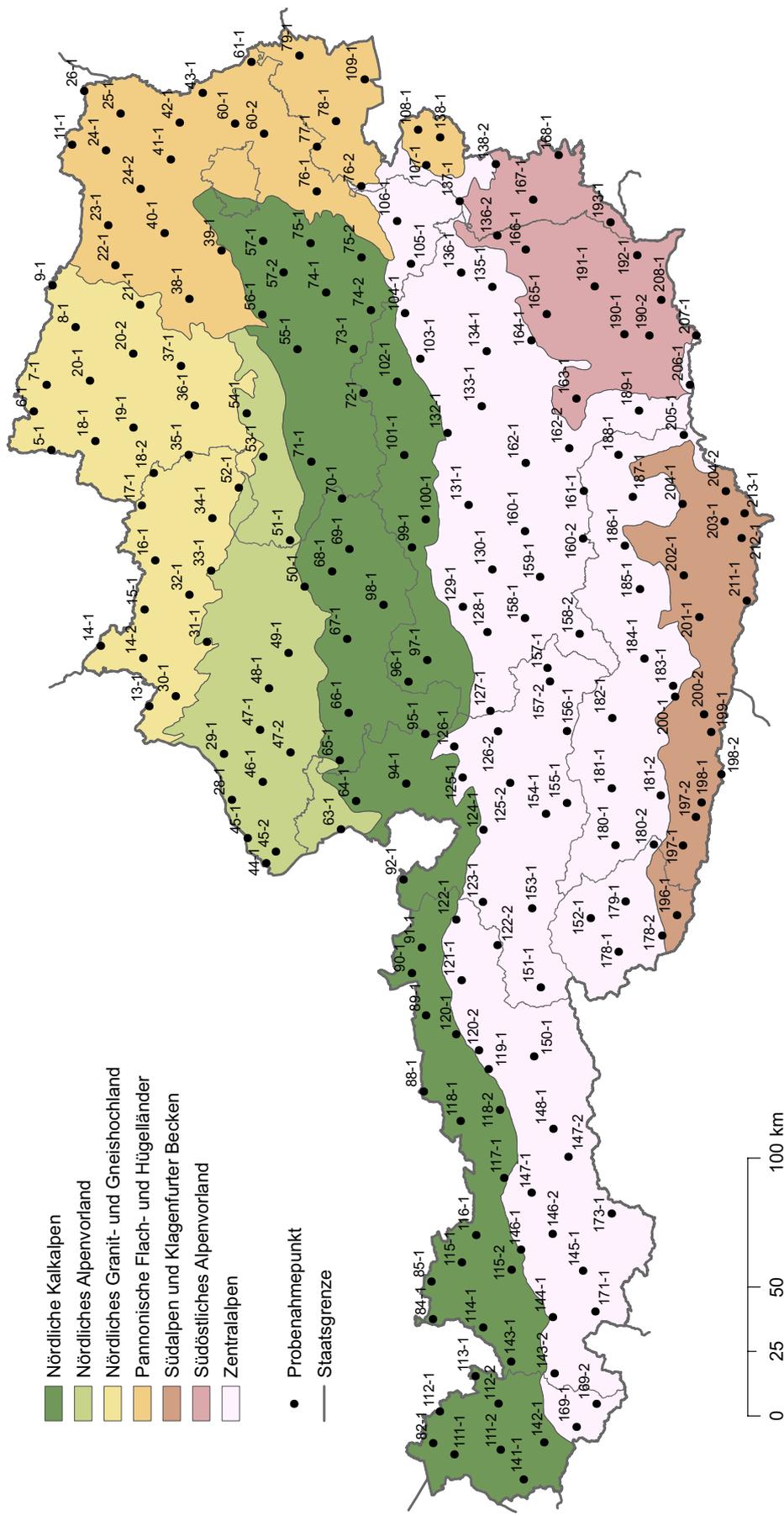
Moosarten (Aufsammlung 2005)





Karte 1c

Naturräumliche Einheiten

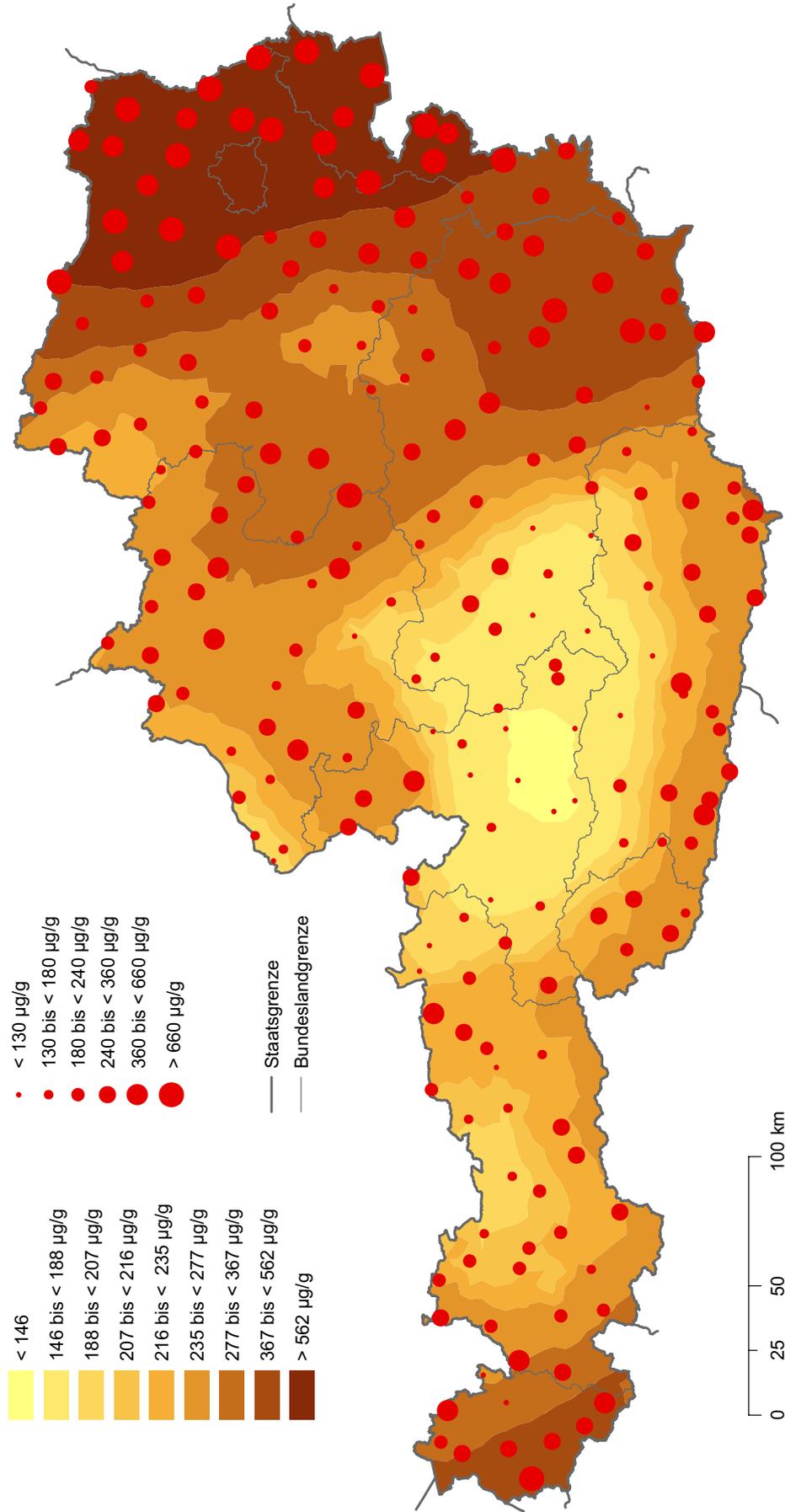


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 2

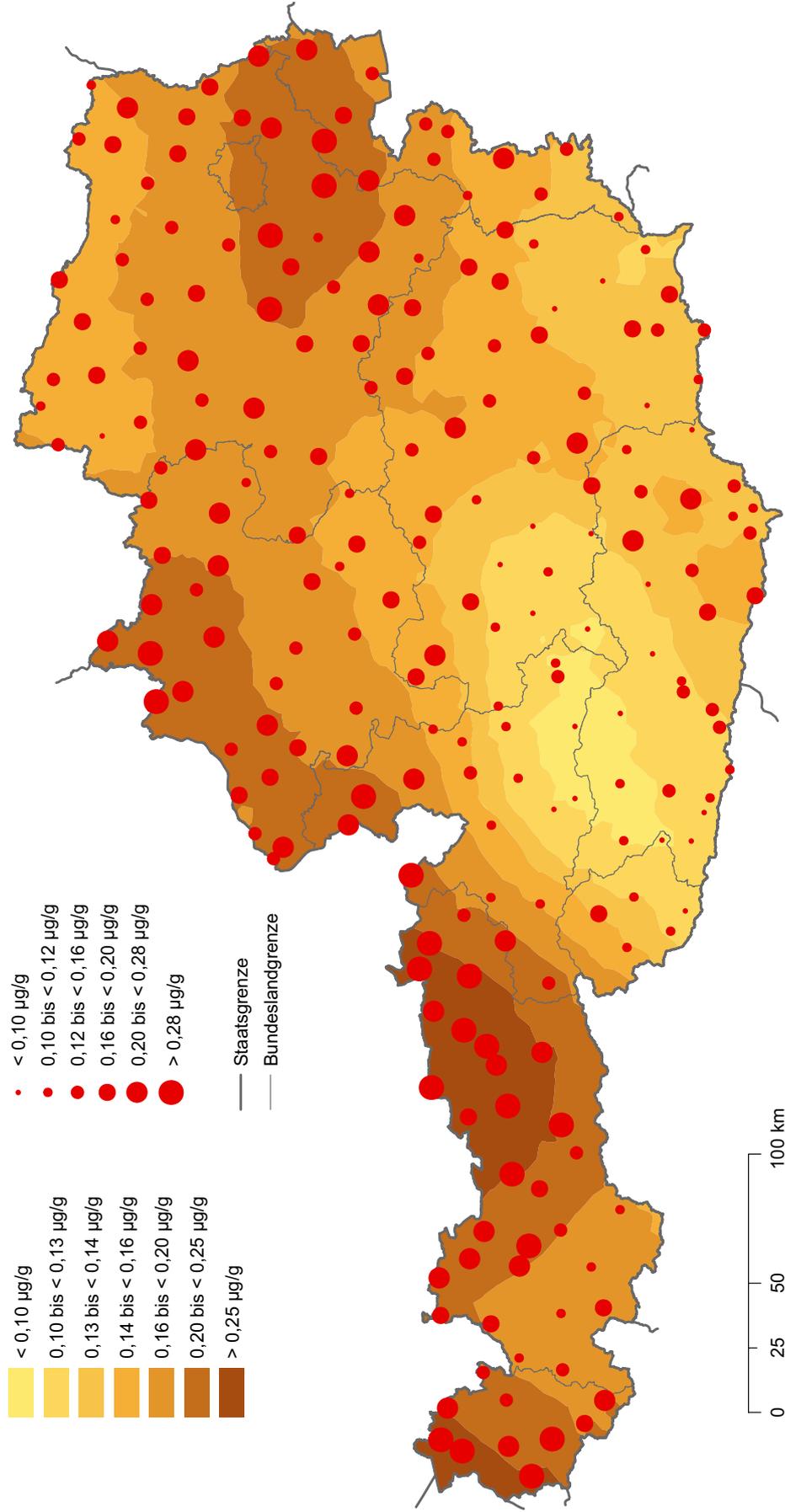
Aluminium in Moosen (Aufsammlung 2005) interpoliert





Karte 3

Antimon in Moosen (Aufsammlung 2005) interpoliert

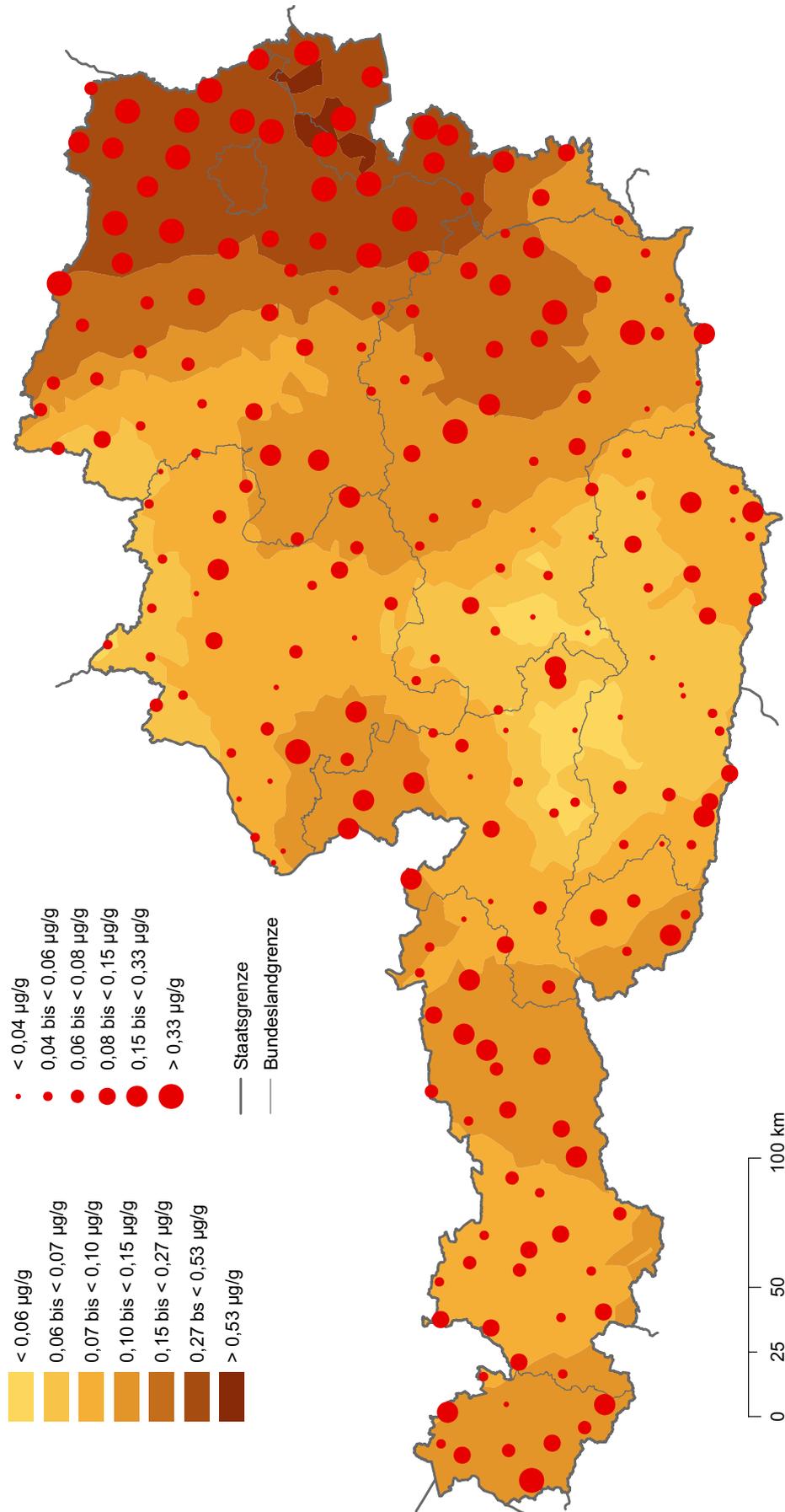


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 4

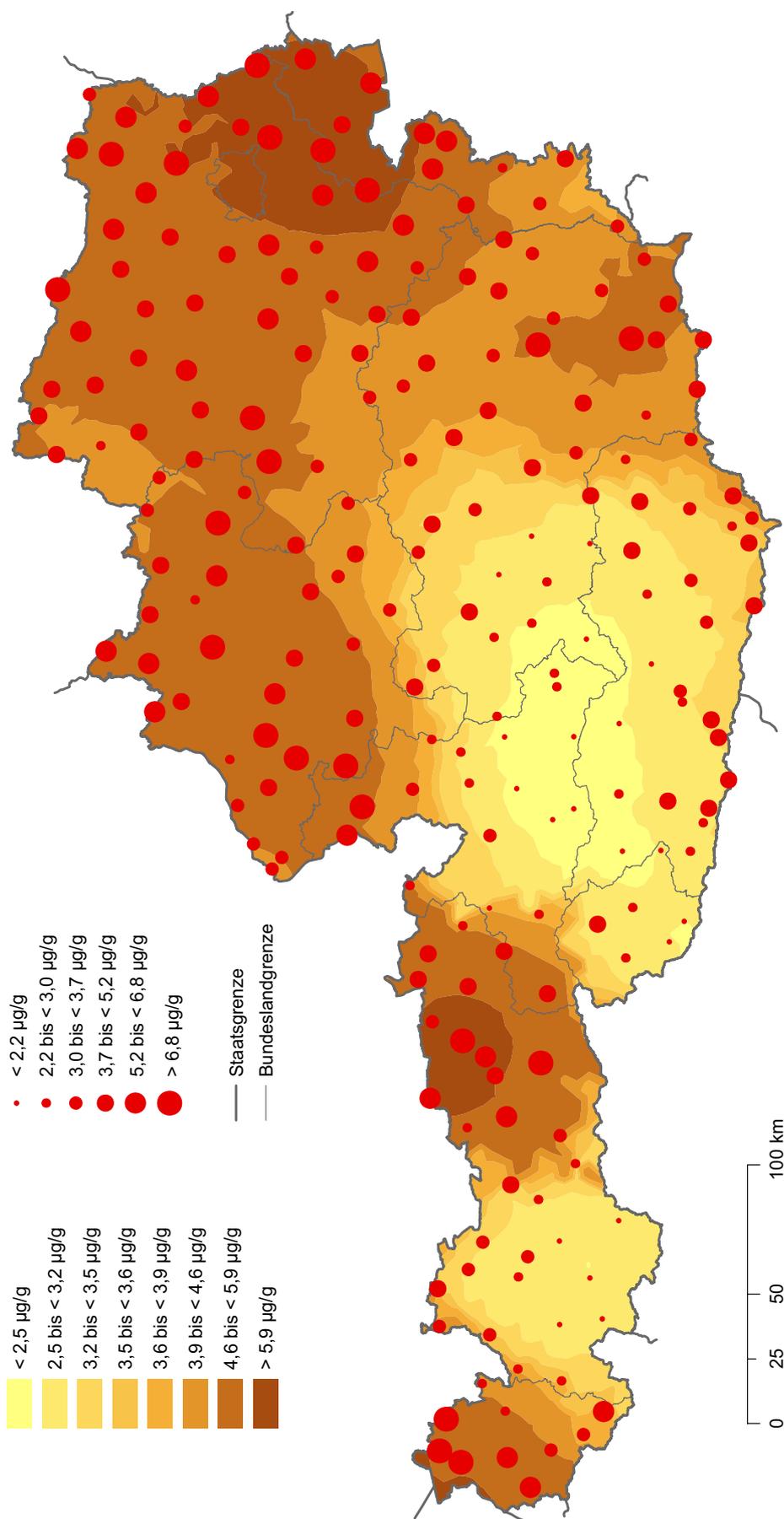
Arsen in Moosen (Aufsammlung 2005) interpoliert





**Blei in Moosen (Aufsammlung 2005) interpoliert**

**Karte 5**

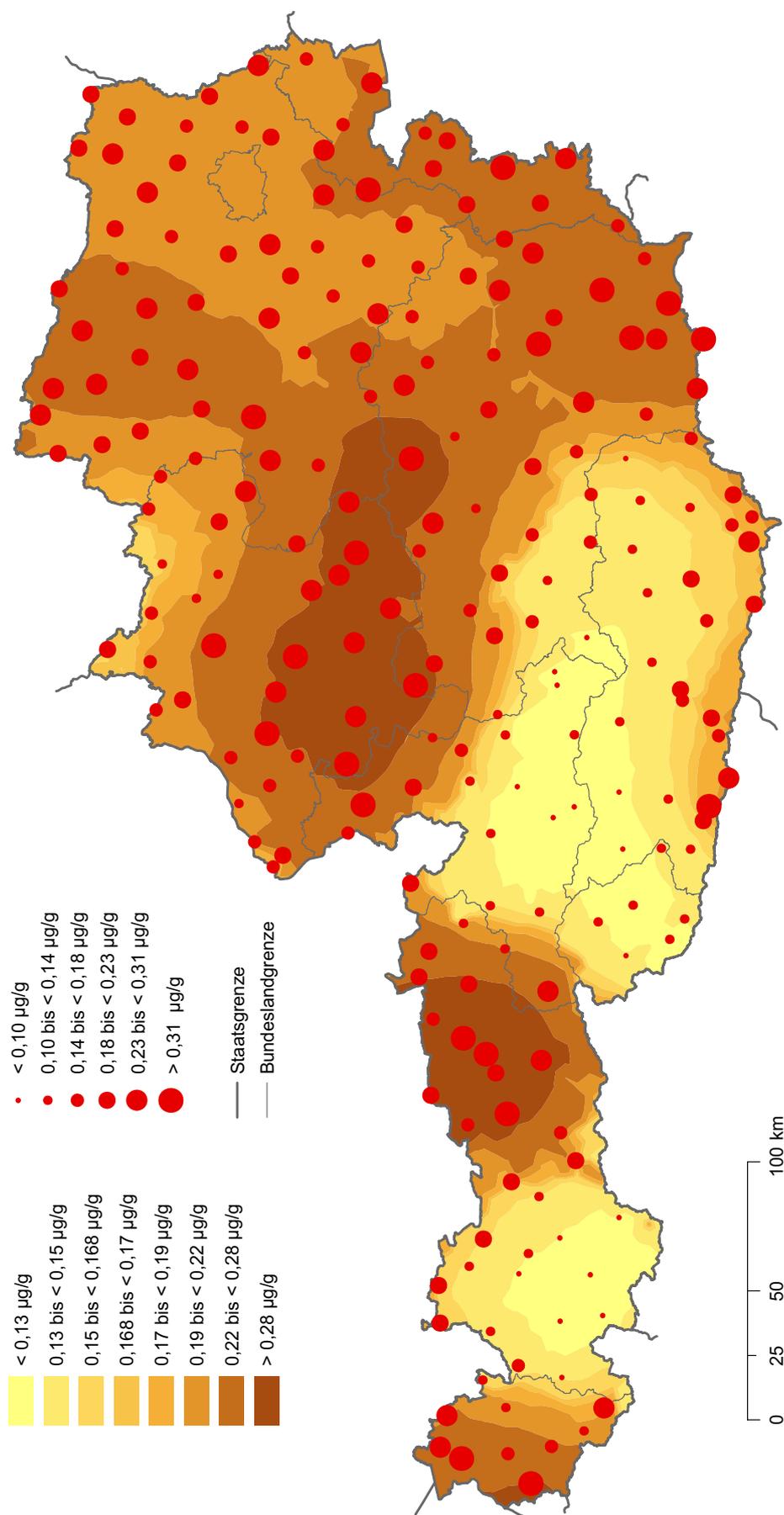


umweltbundesamt®

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 6

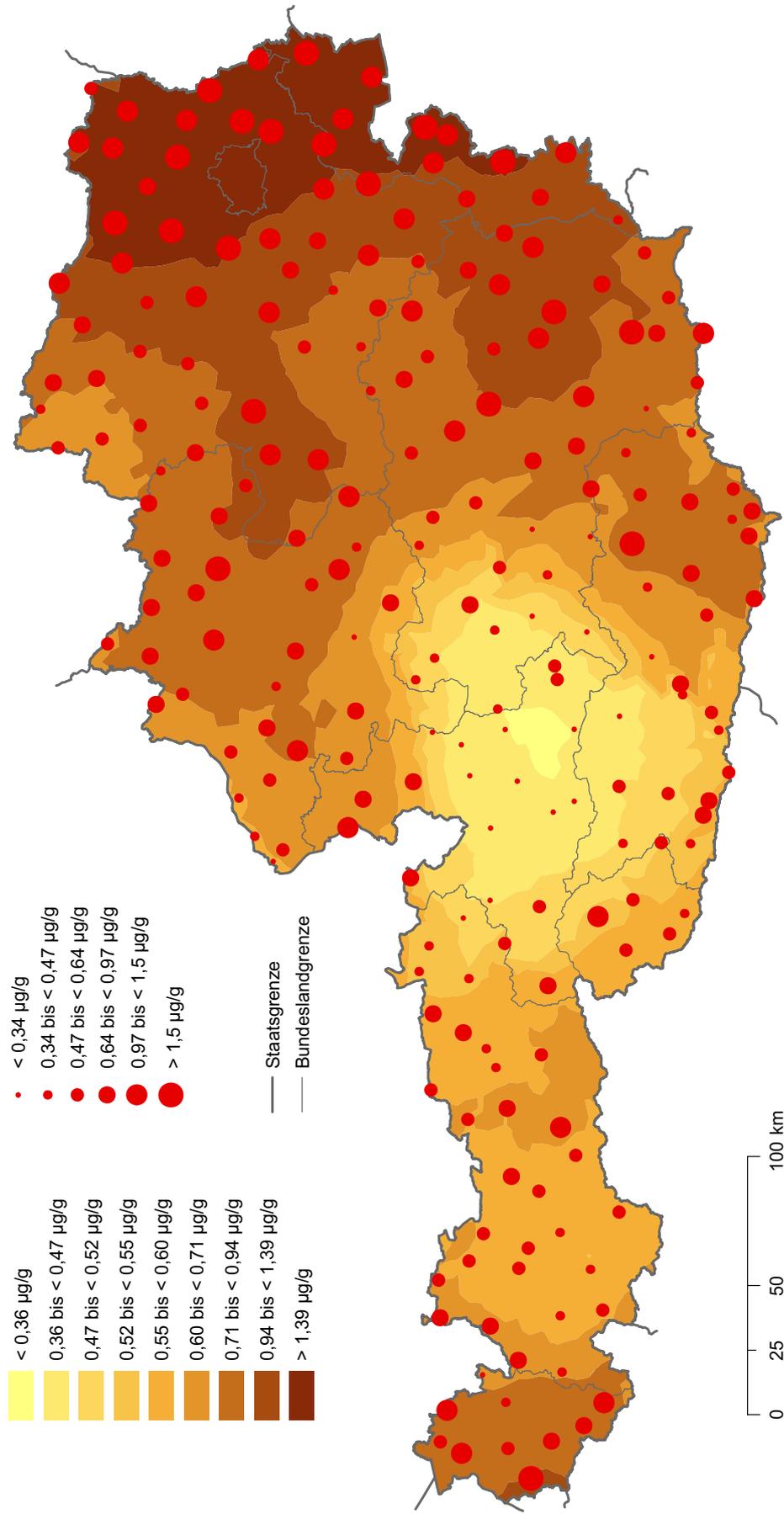
Cadmium in Moosen (Aufsammlung 2005) interpoliert





Karte 7

Chrom in Moosen (Aufsammlung 2005) interpoliert

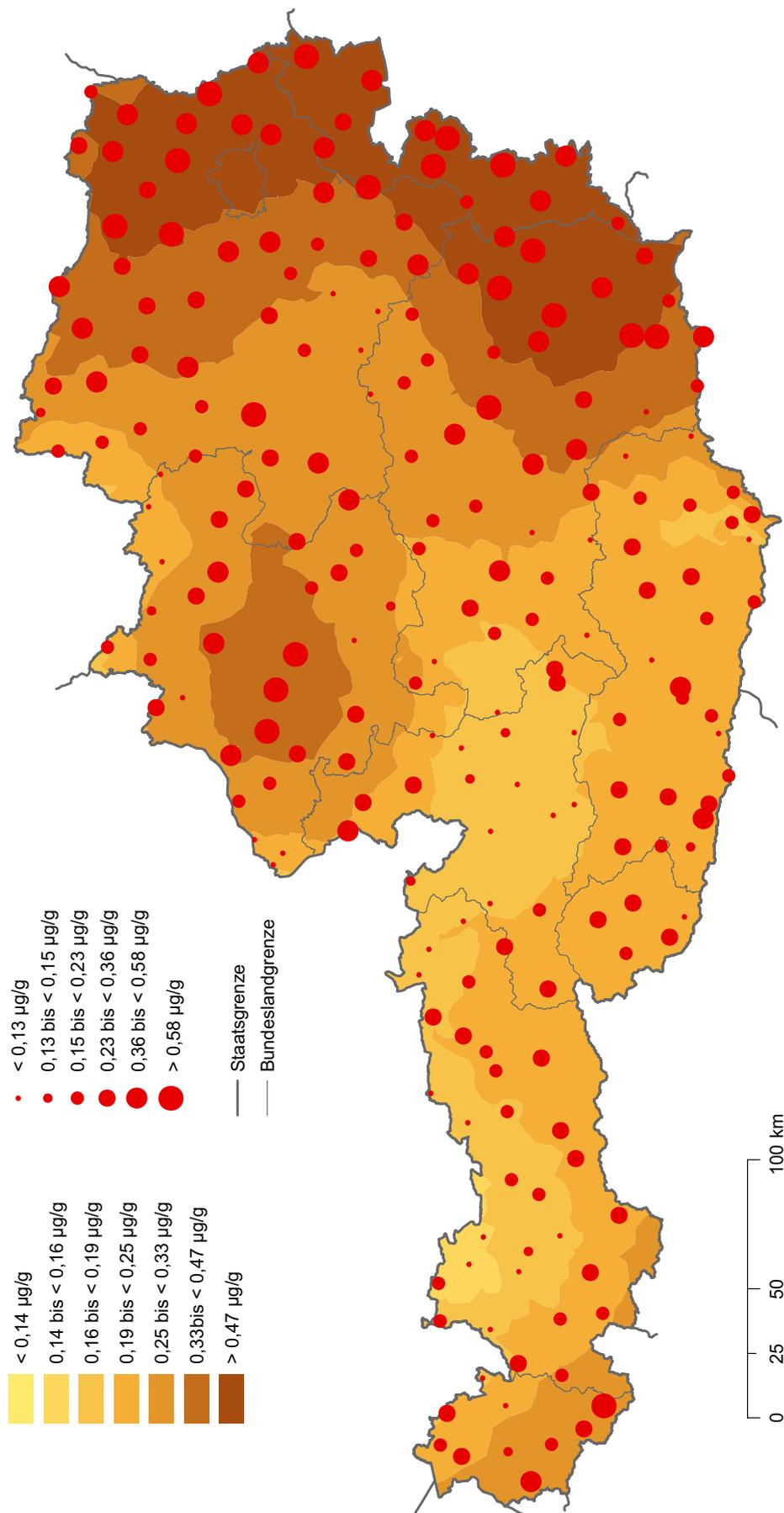


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 8

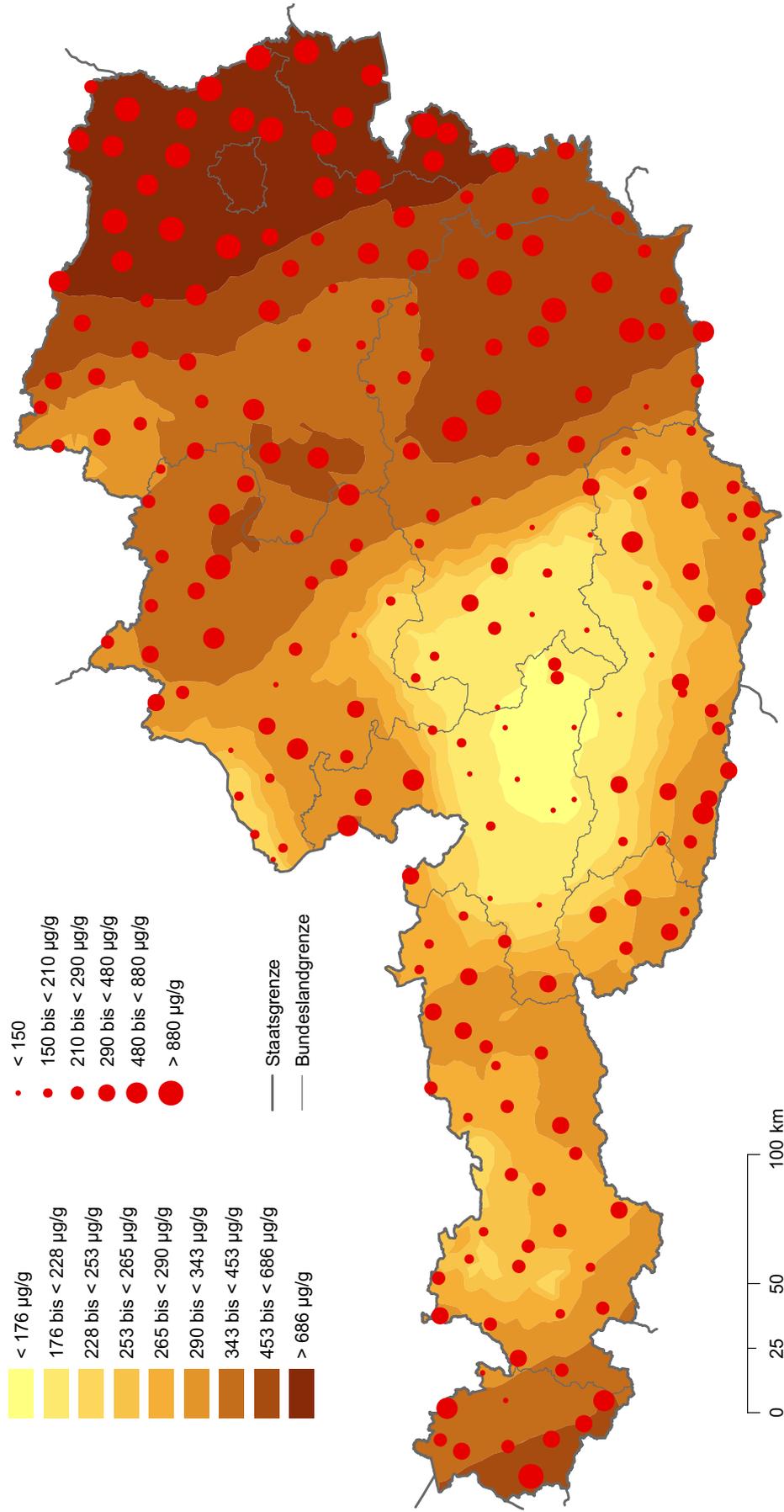
Cobalt in Moosen (Aufsammmlung 2005) interpoliert





Karte 9

Eisen in Moosen (Aufsammmlung 2005) interpoliert

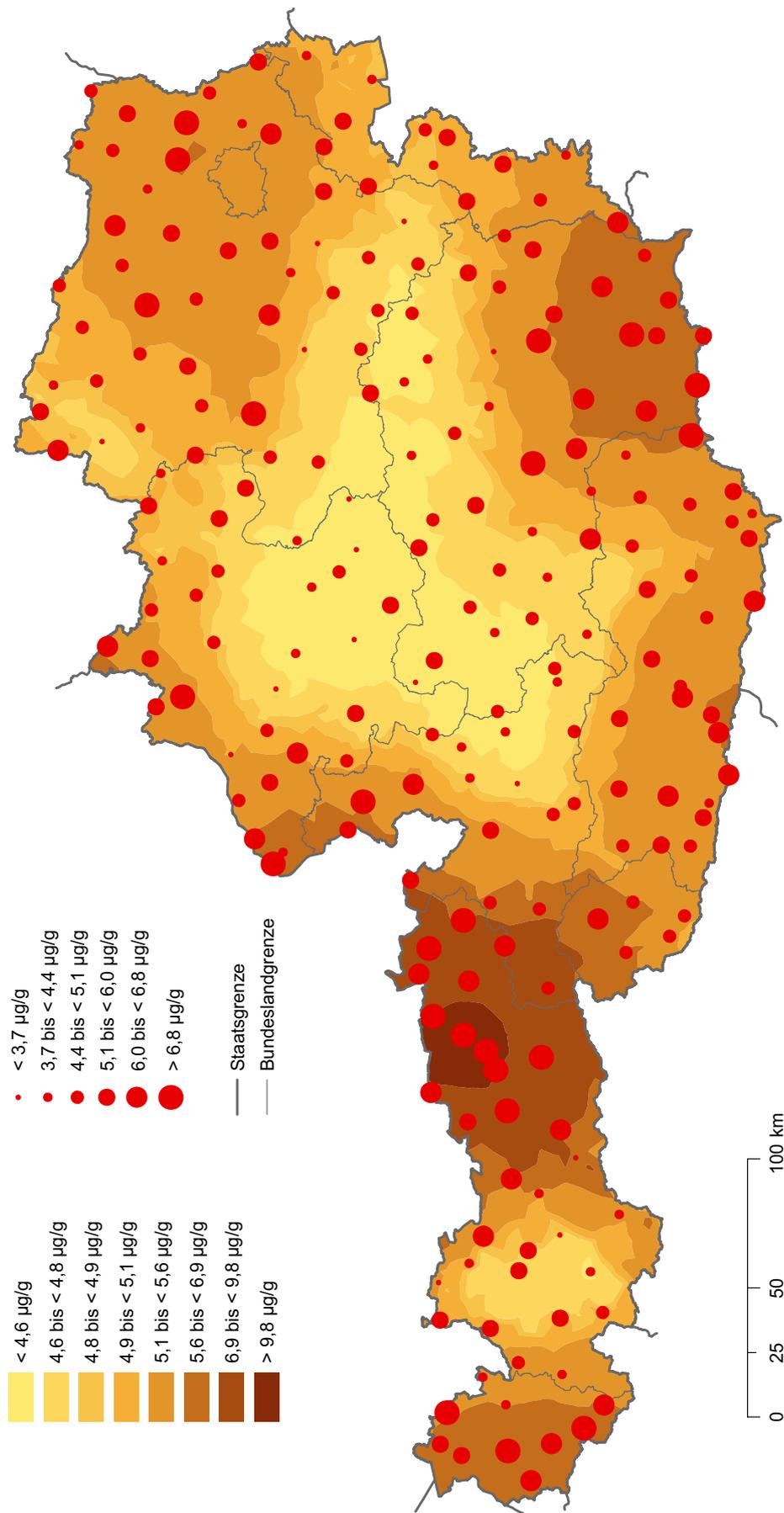


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 10

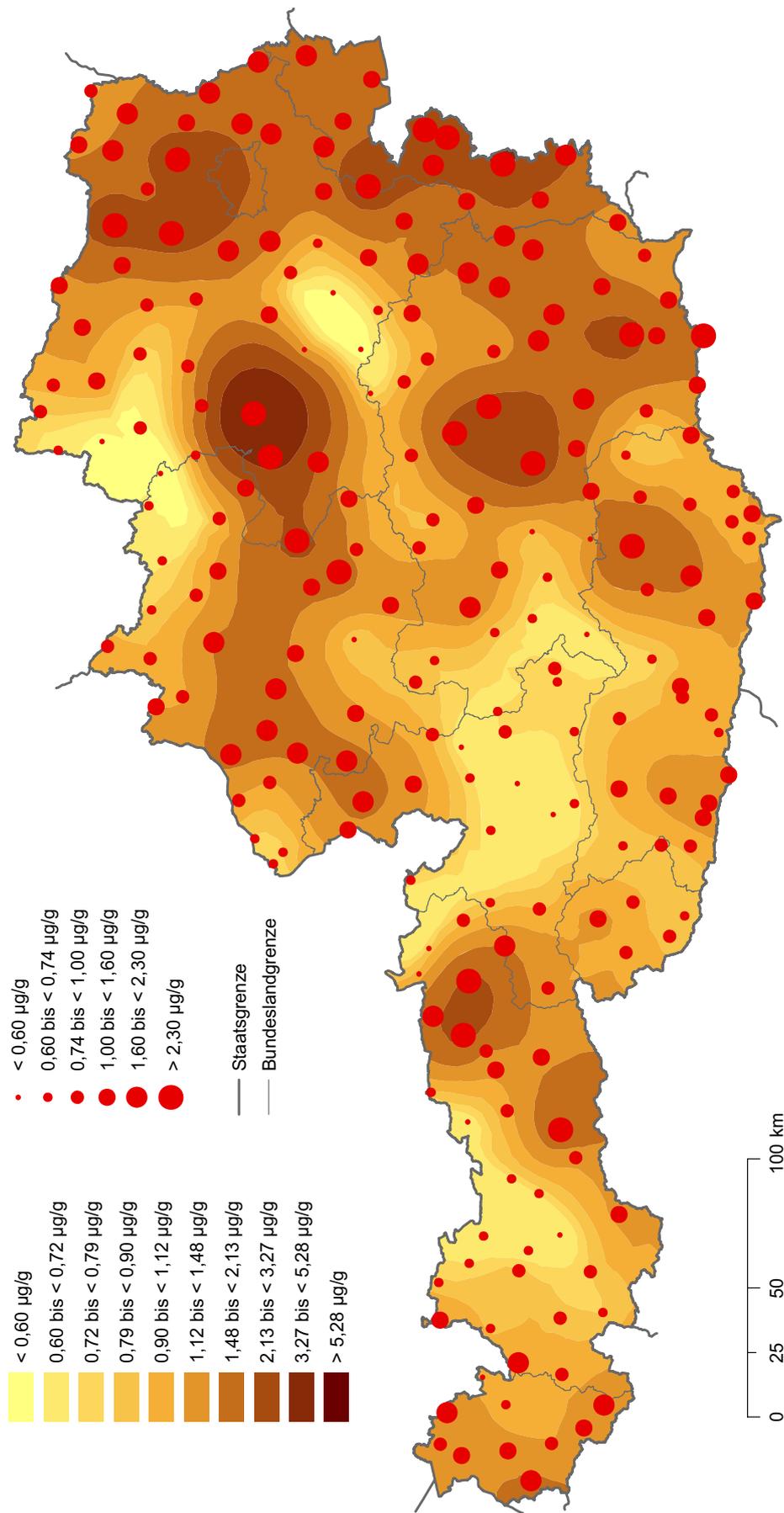
Kupfer in Moosen (Aufsammlung 2005) interpoliert





### Nickel in Moosen (Aufsammlung 2005) interpoliert

### Karte 12

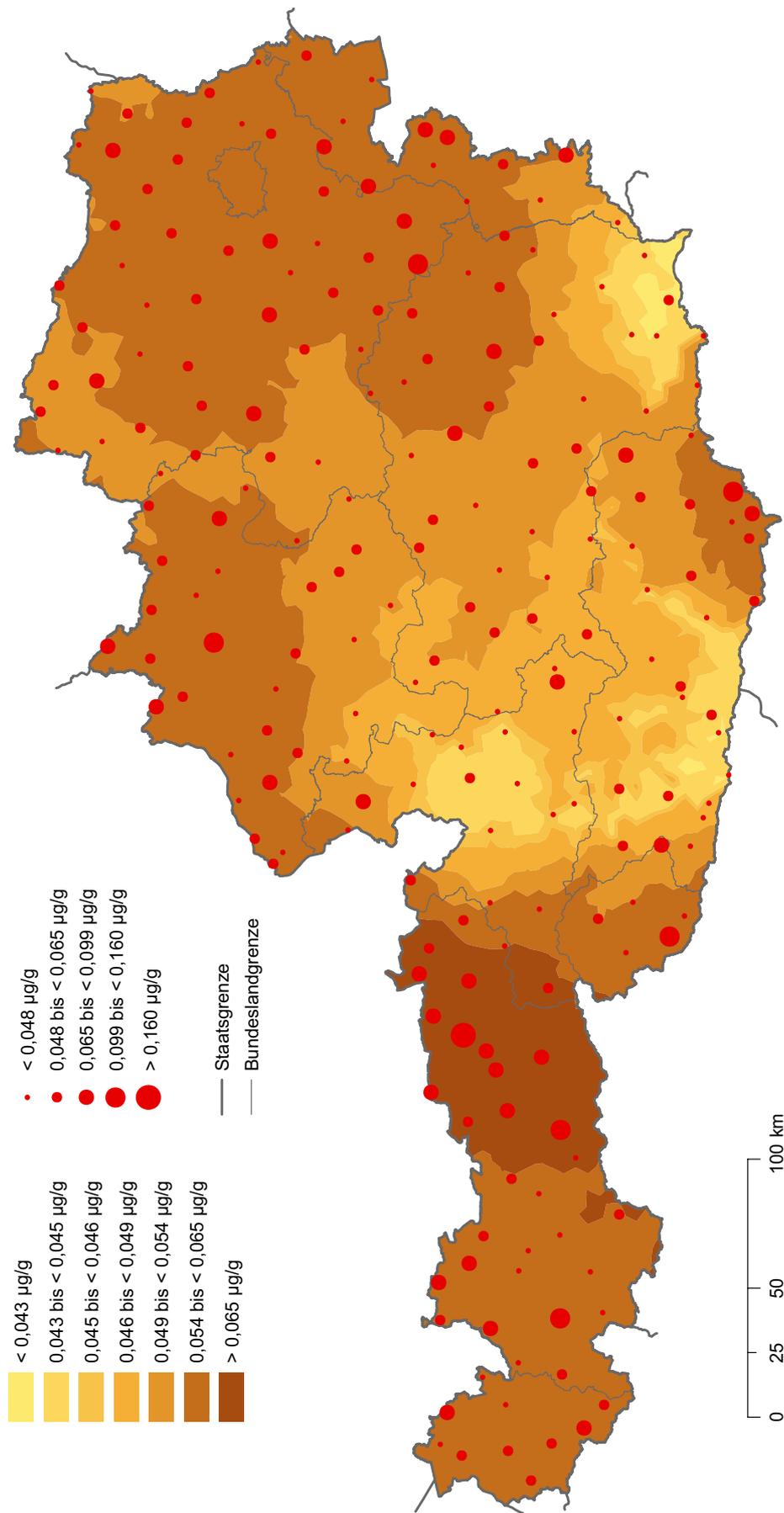


Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006



Karte 13

Quecksilber in Moosen (Aufsammlung 2005) interpoliert

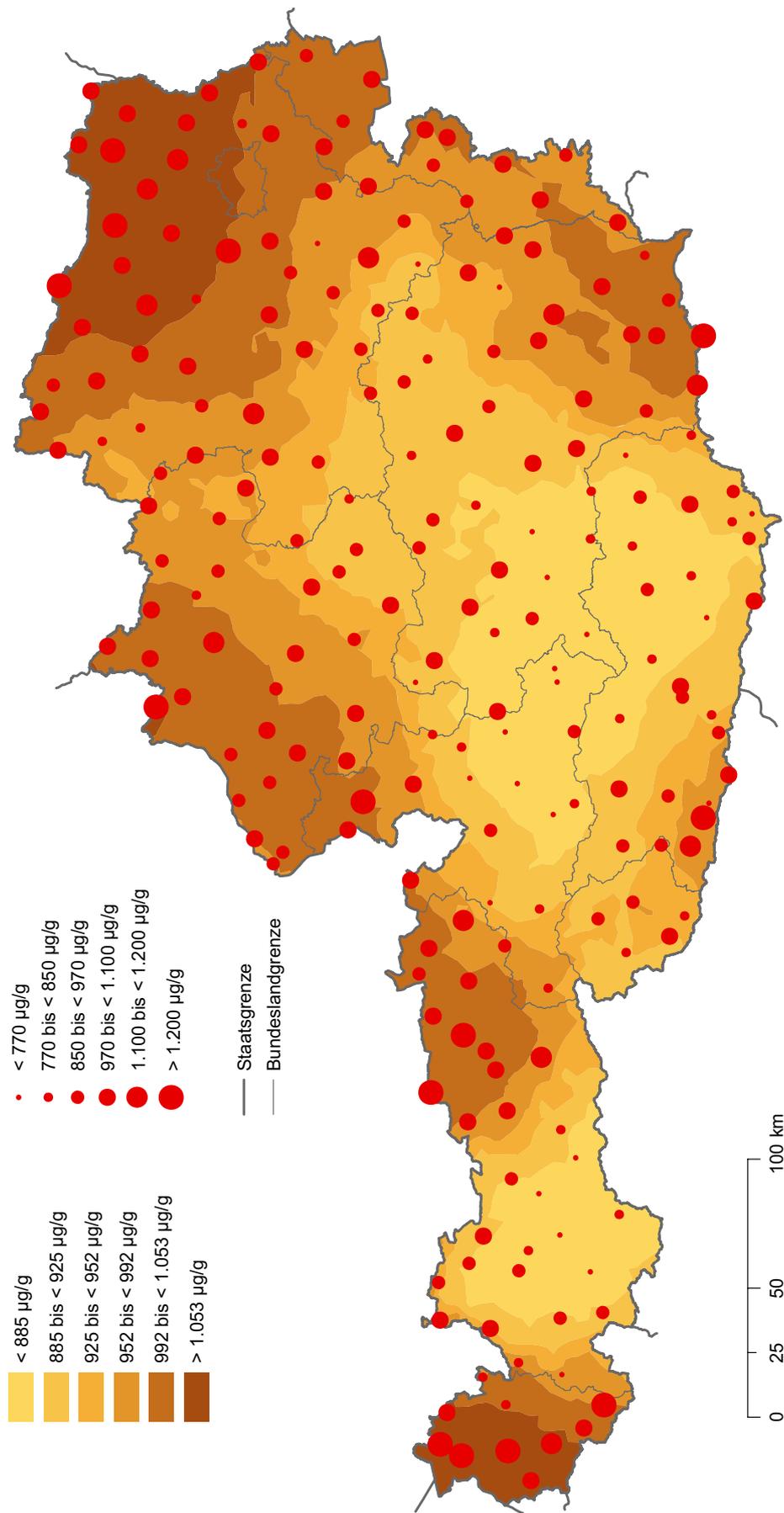


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

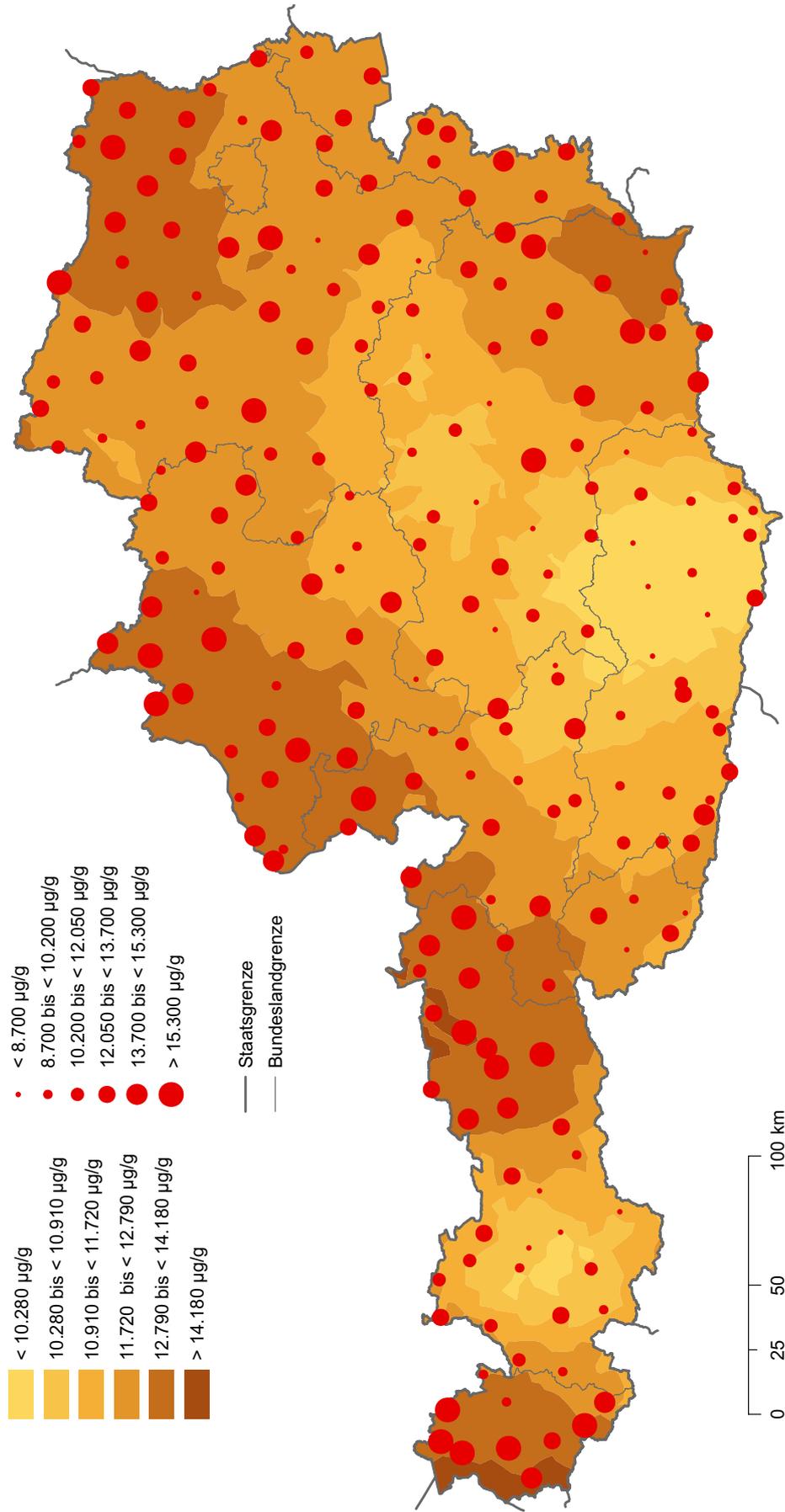
Karte 14

Schwefel in Moosen (Aufsammlung 2005) interpoliert



## Stickstoff in Moosen (Aufsammlung 2005) interpoliert

## Karte 15

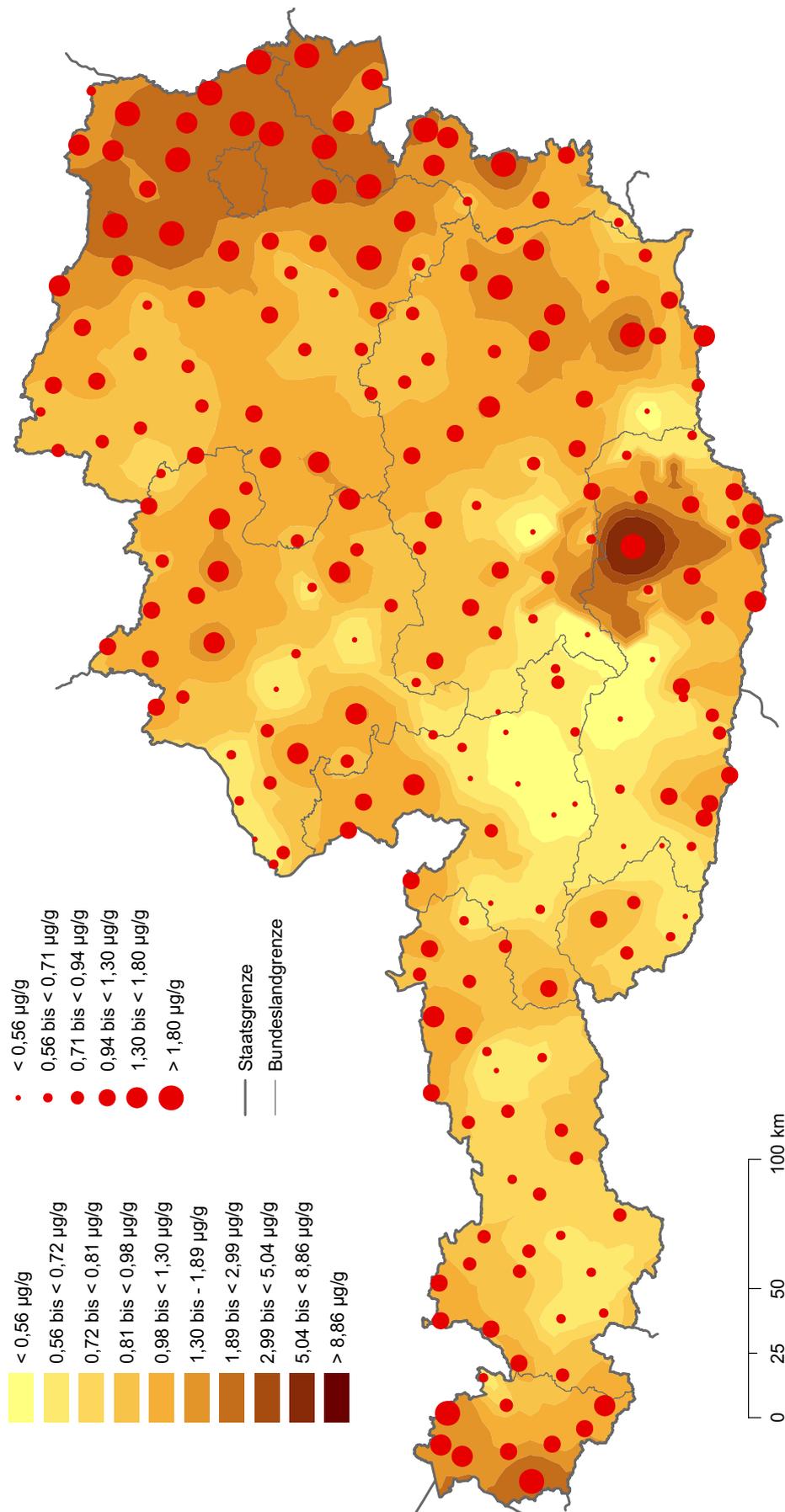


Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

umweltbundesamt<sup>®</sup>

Karte 16

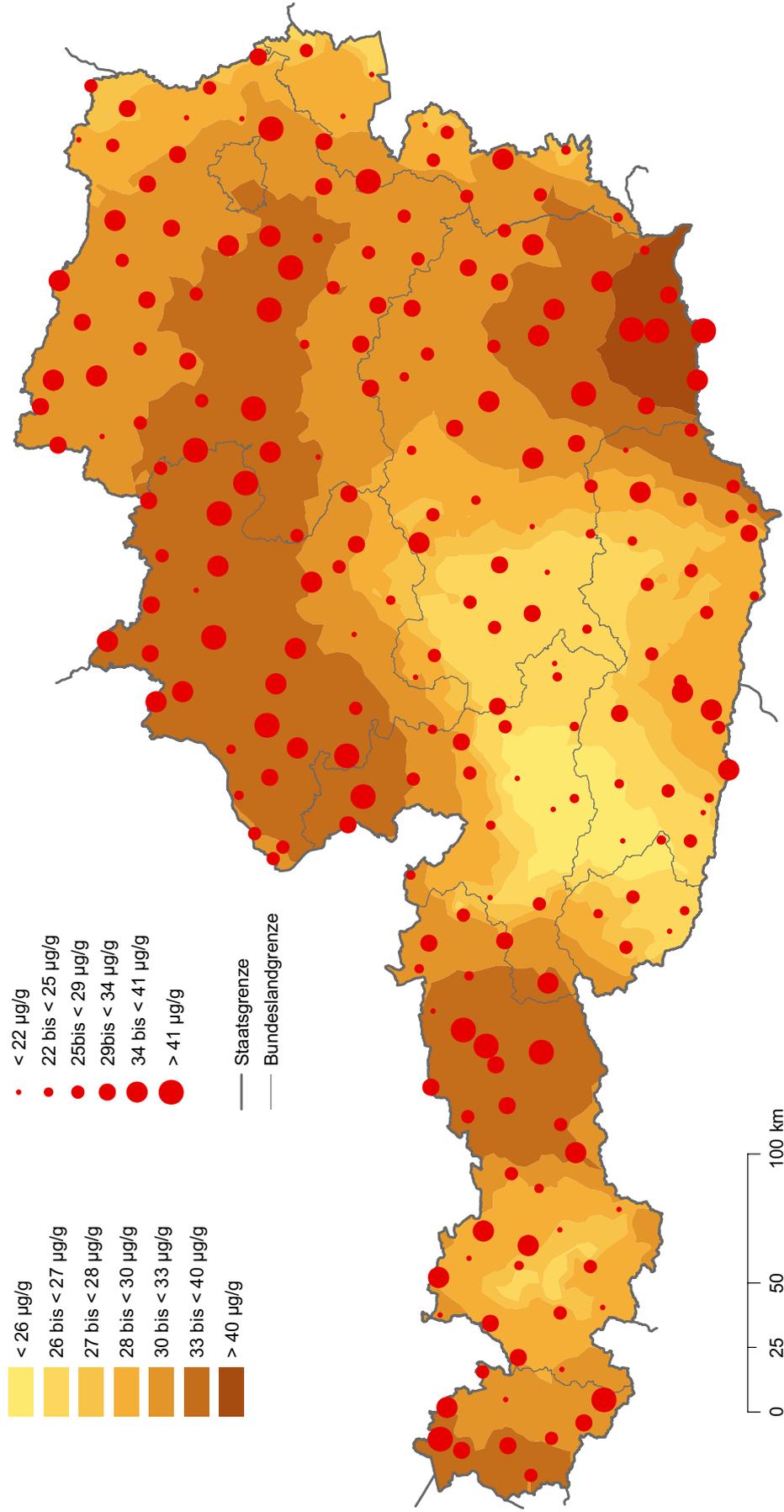
Vanadium in Moosen (Aufsammlung 2005) interpoliert





Zink in Moosen (Aufsammmlung 2005) interpoliert

Karte 17

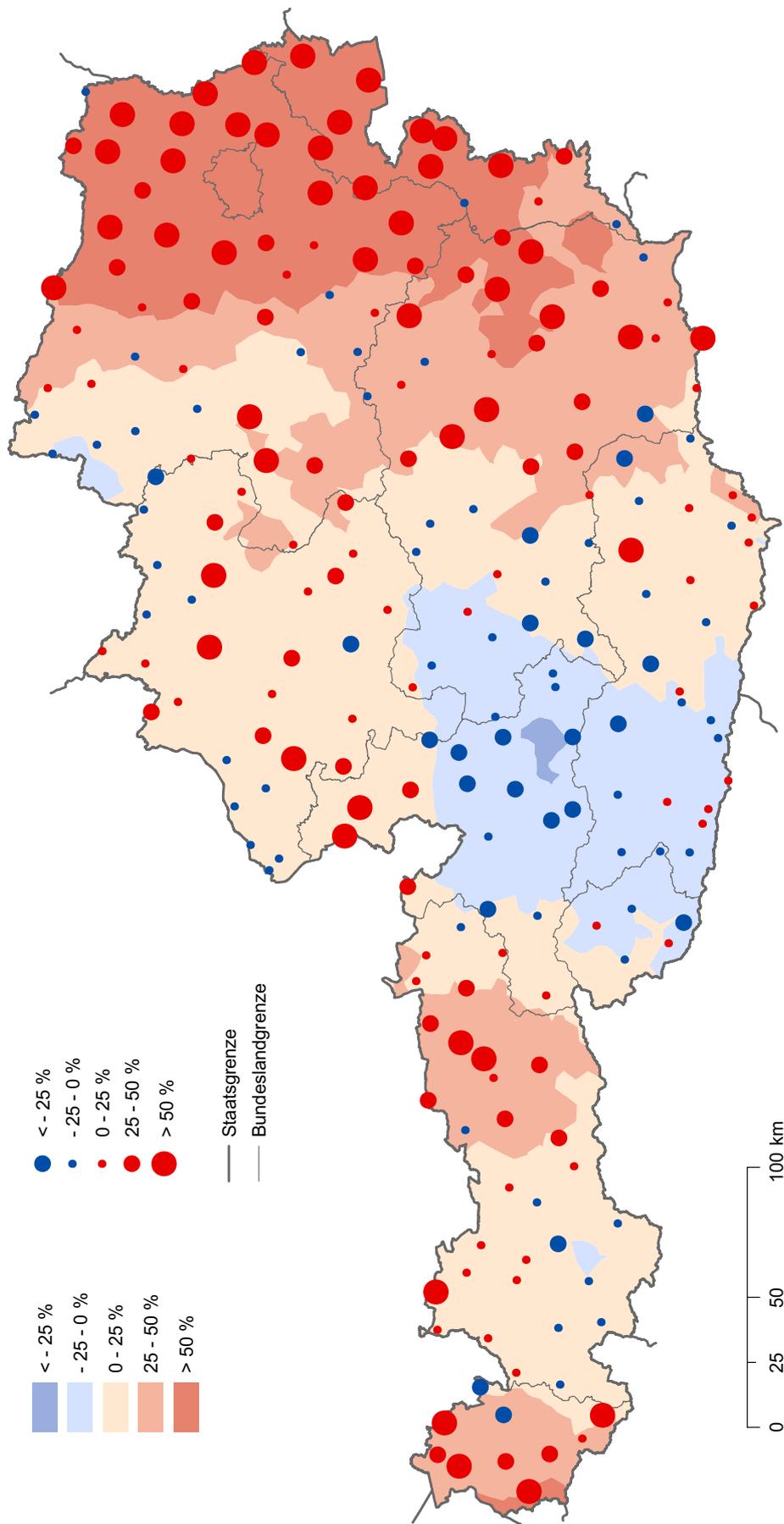


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 18

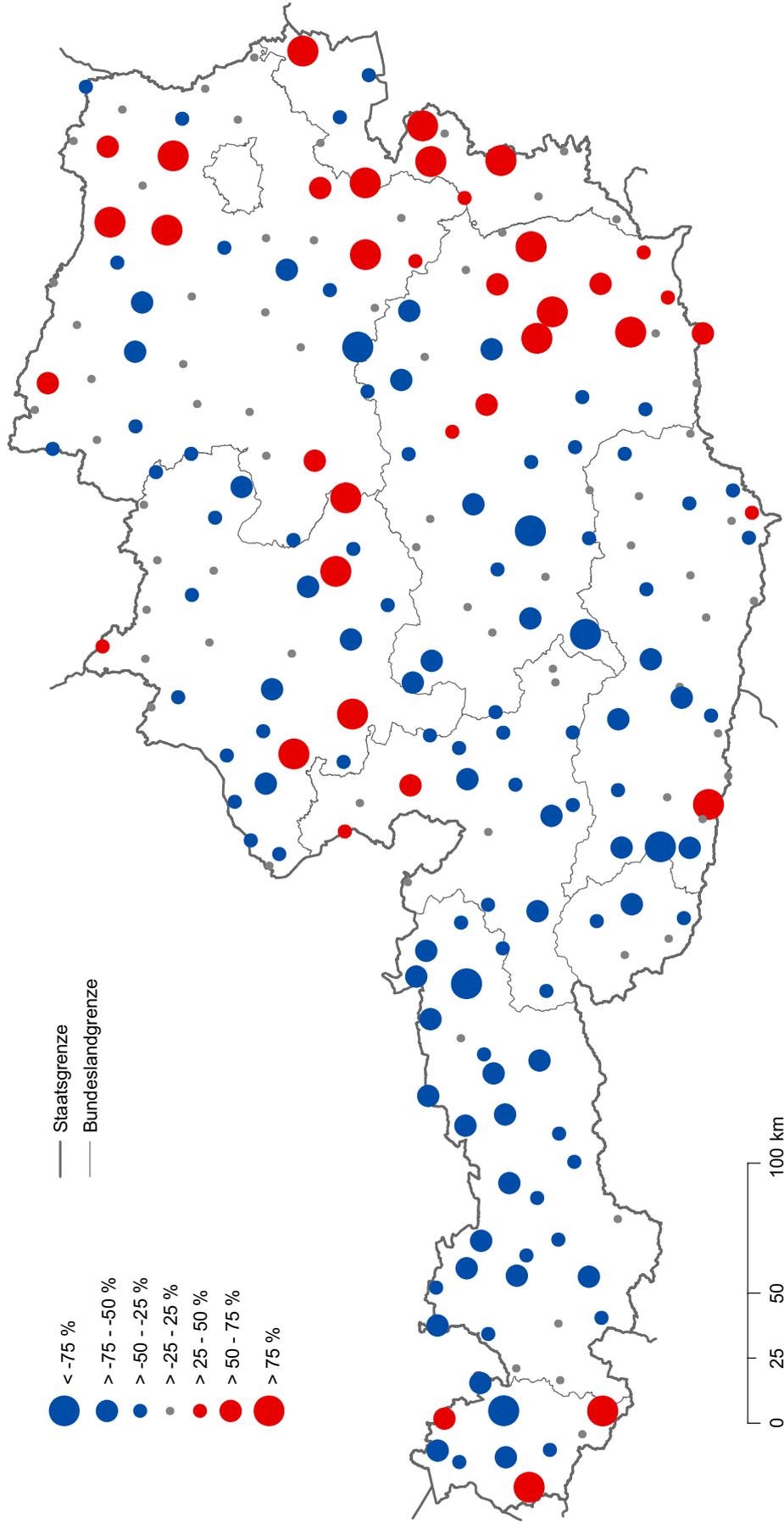
Summe aller untersuchten Elemente - Abweichungen vom Median interpoliert





Karte 19

Veränderung von Aluminium in Moosen 2000 - 2005

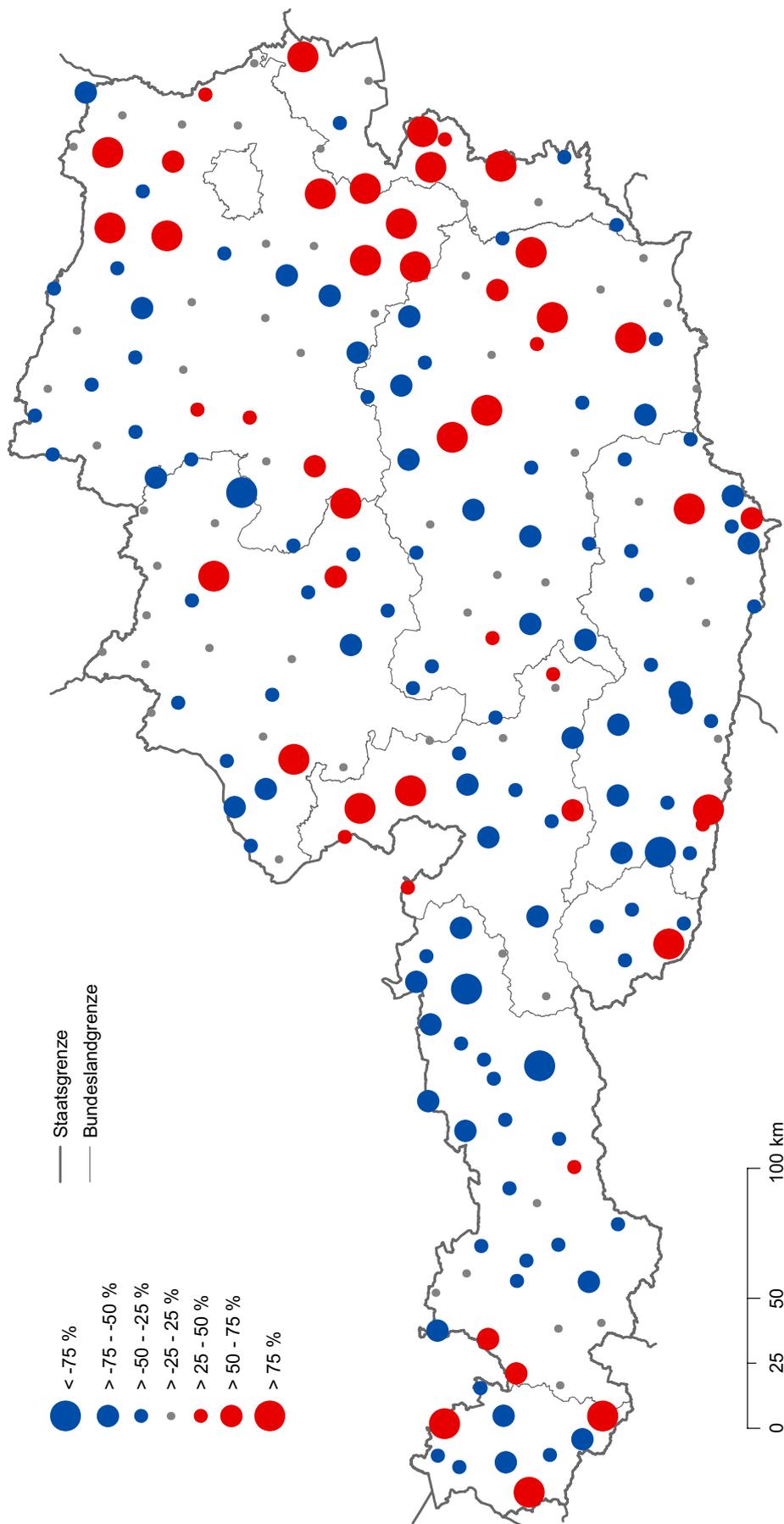


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 20a

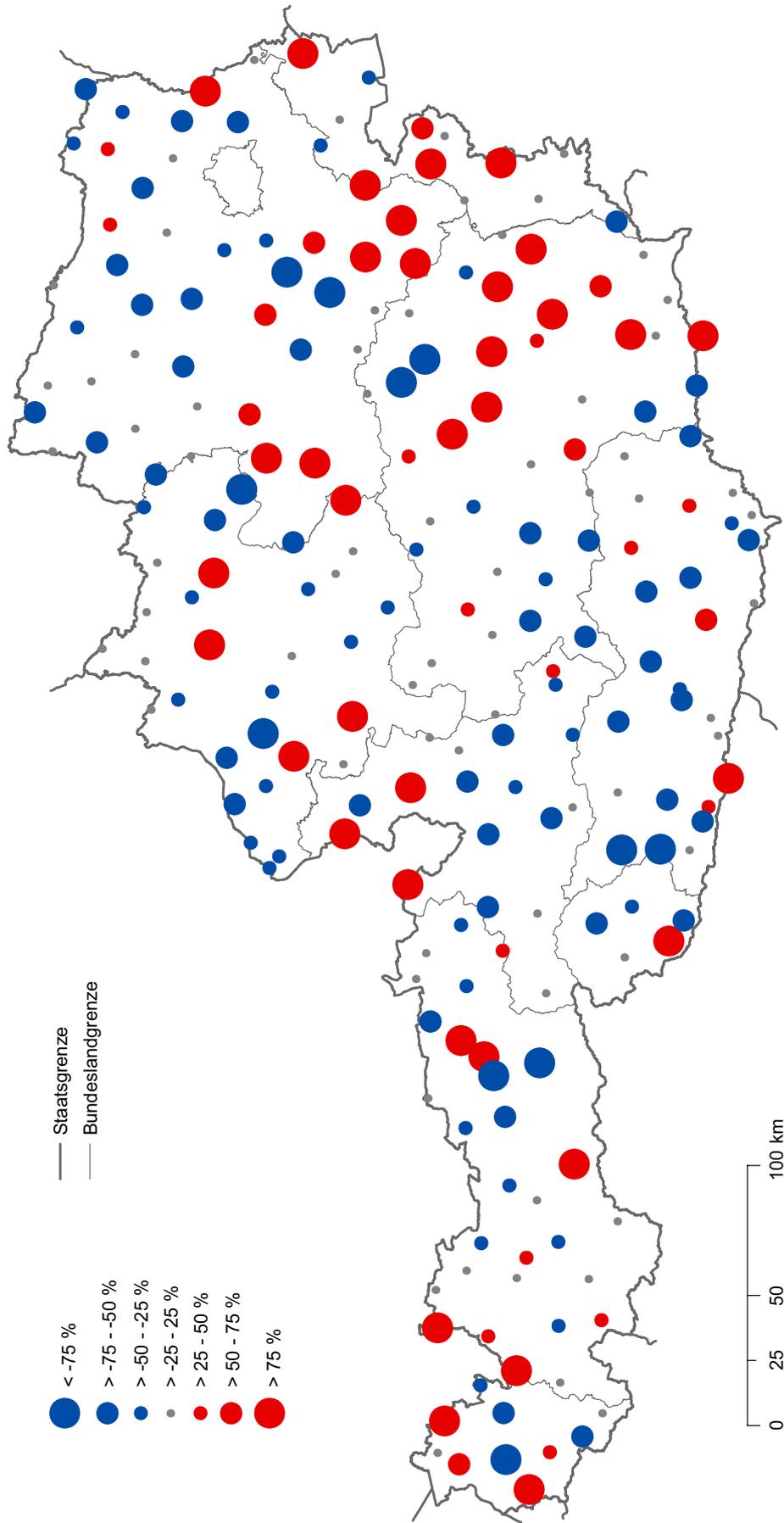
Veränderung von Arsen in Moosen 2000 - 2005





Karte 20b

Veränderung von Arsen in Moosen 1995 - 2005

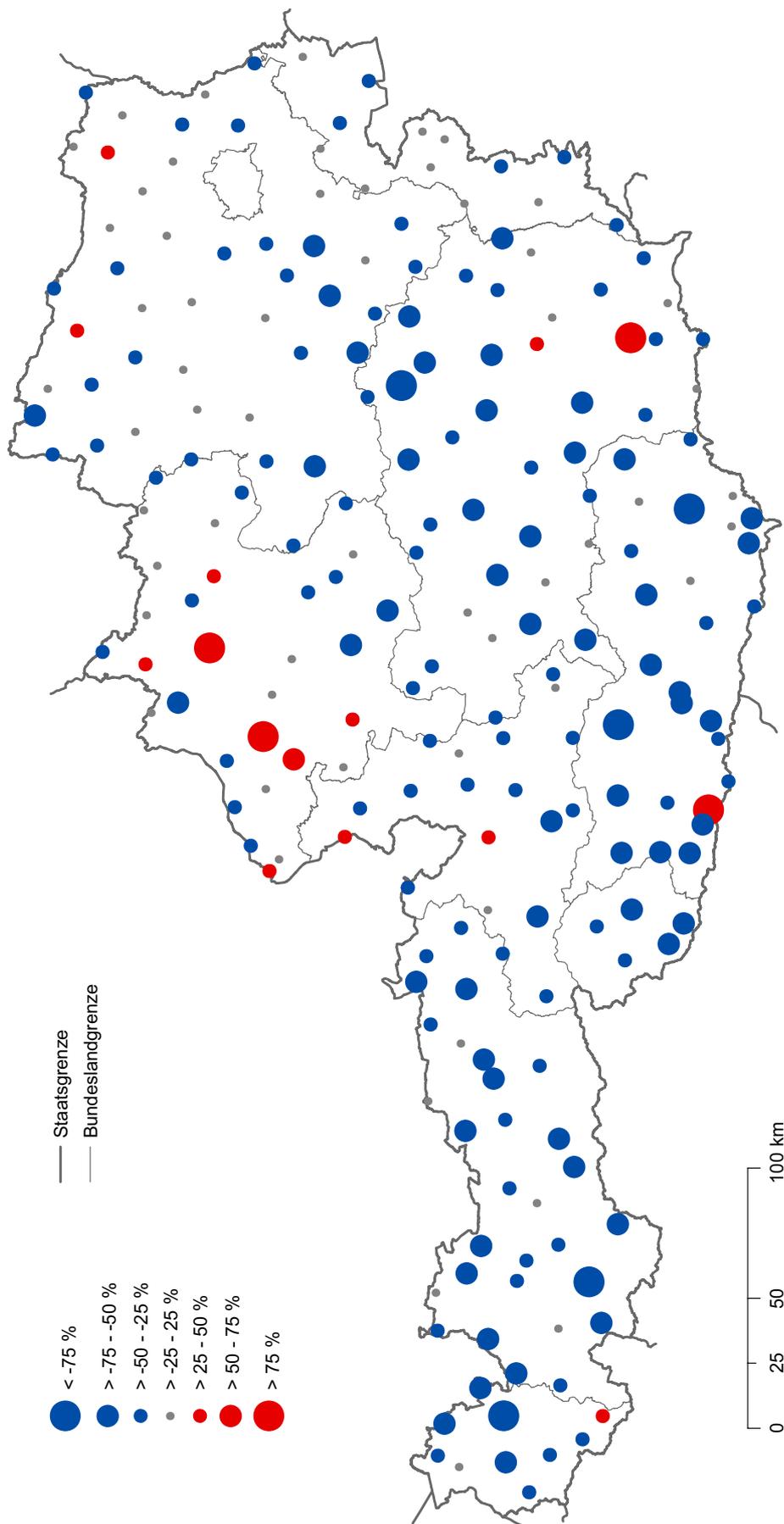


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 21a

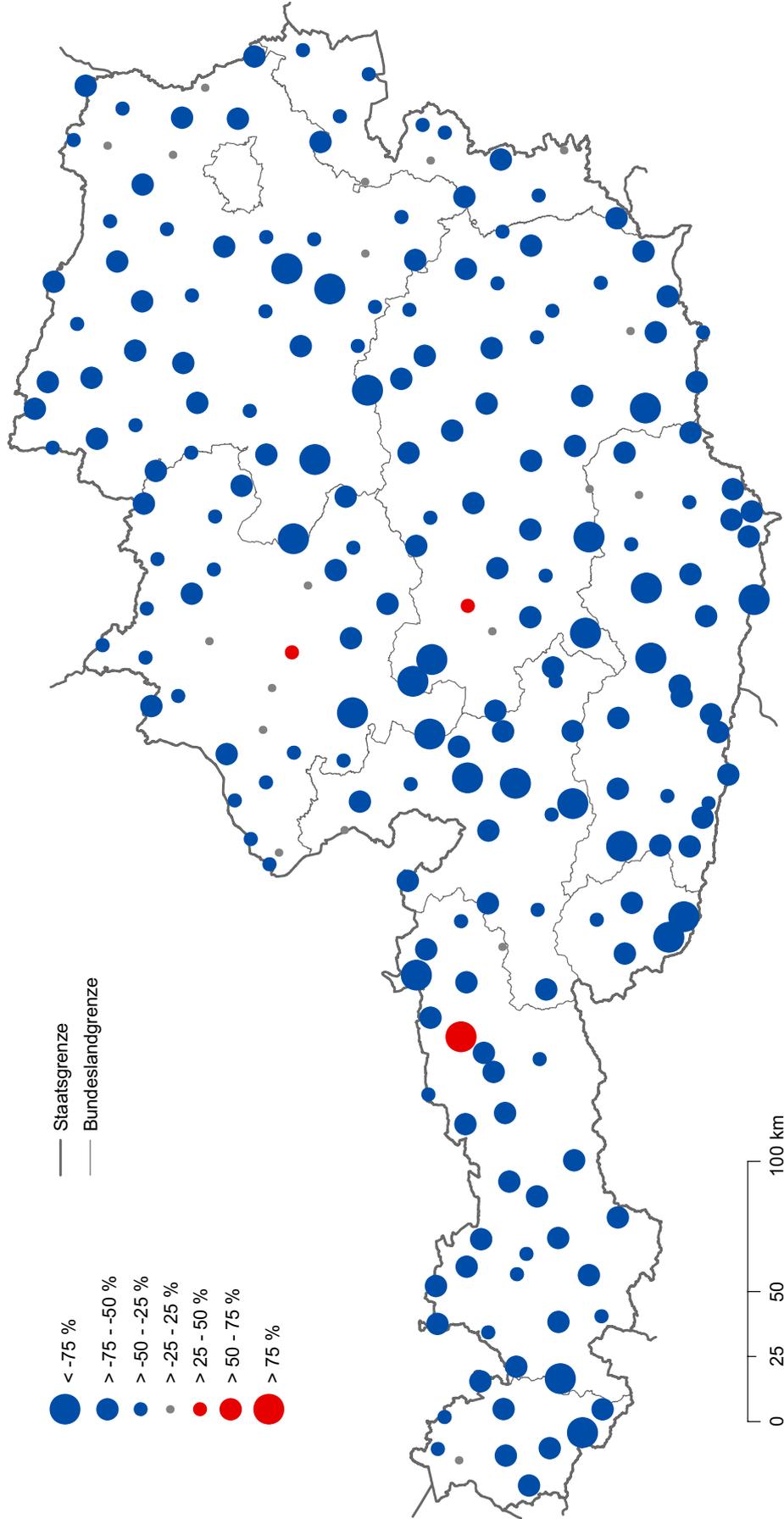
Veränderung von Blei in Moosen 2000 - 2005





Karte 21b

Veränderung von Blei in Moosen 1995-2005

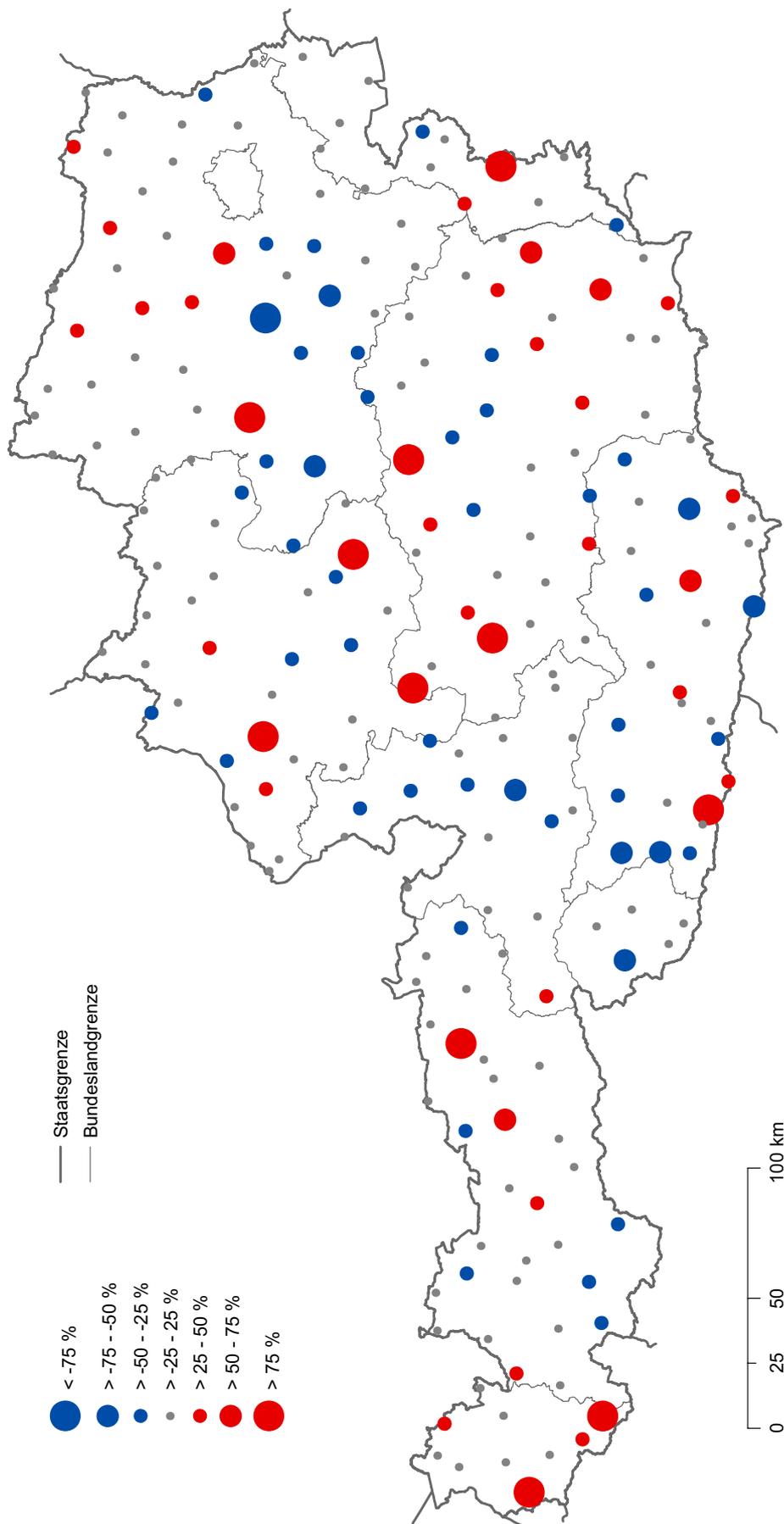


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 22a

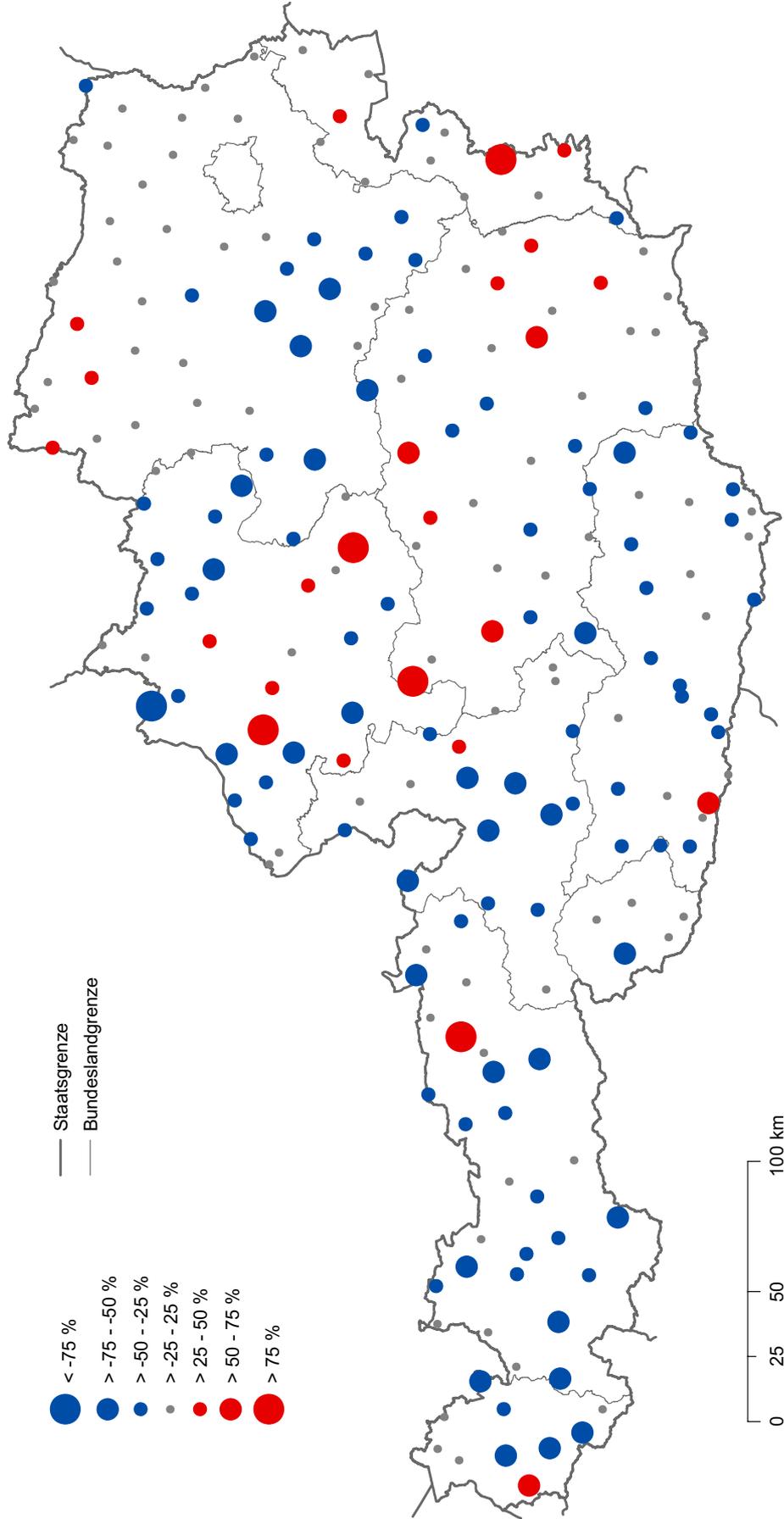
Veränderung von Cadmium in Moosen 2000 - 2005





Karte 22b

Veränderung von Cadmium in Moosen 1995 - 2005

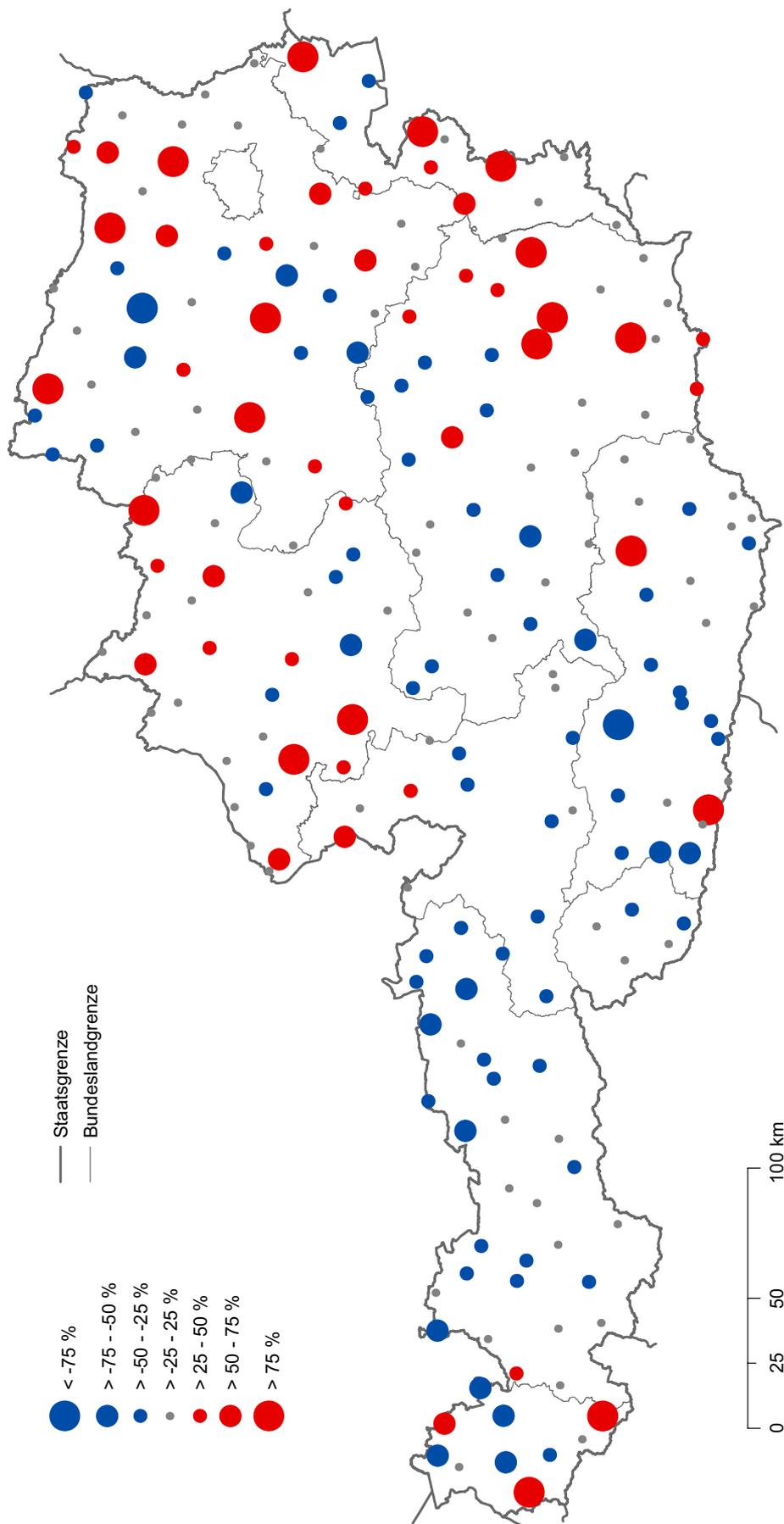


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 23a

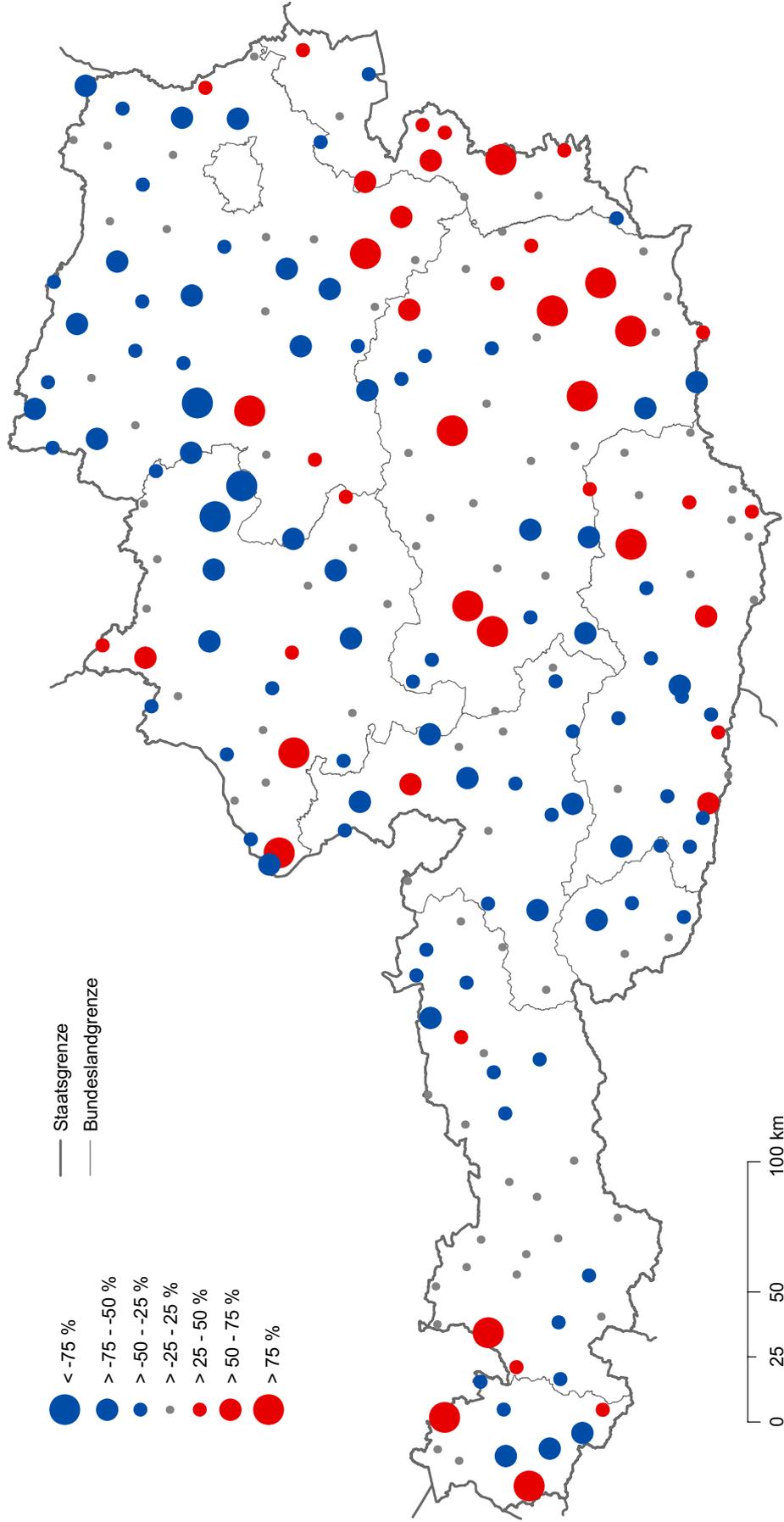
Veränderung von Chrom in Moosen 2000 - 2005





Karte 23b

Veränderung von Chrom in Moosen 1995 - 2005

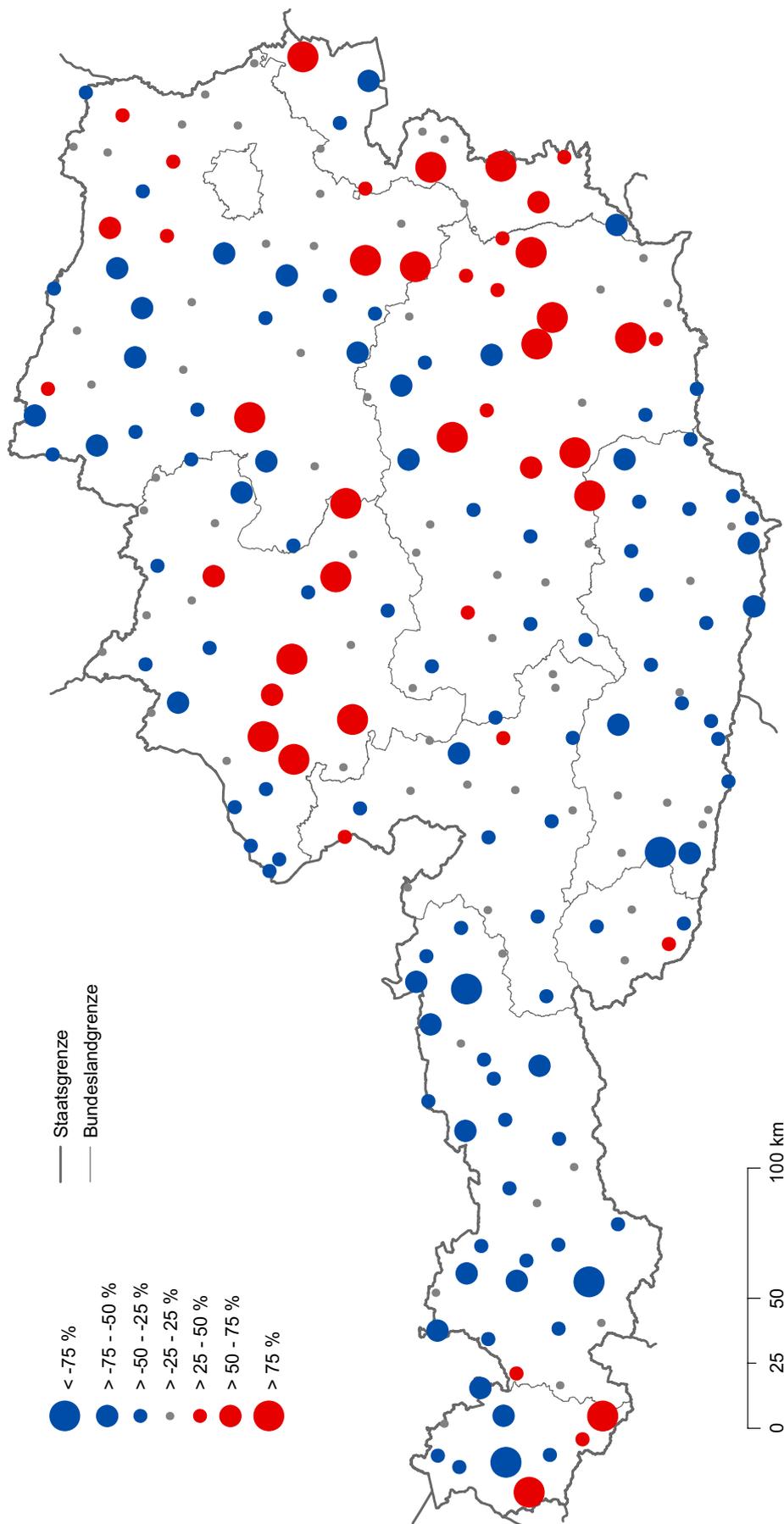


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 24a

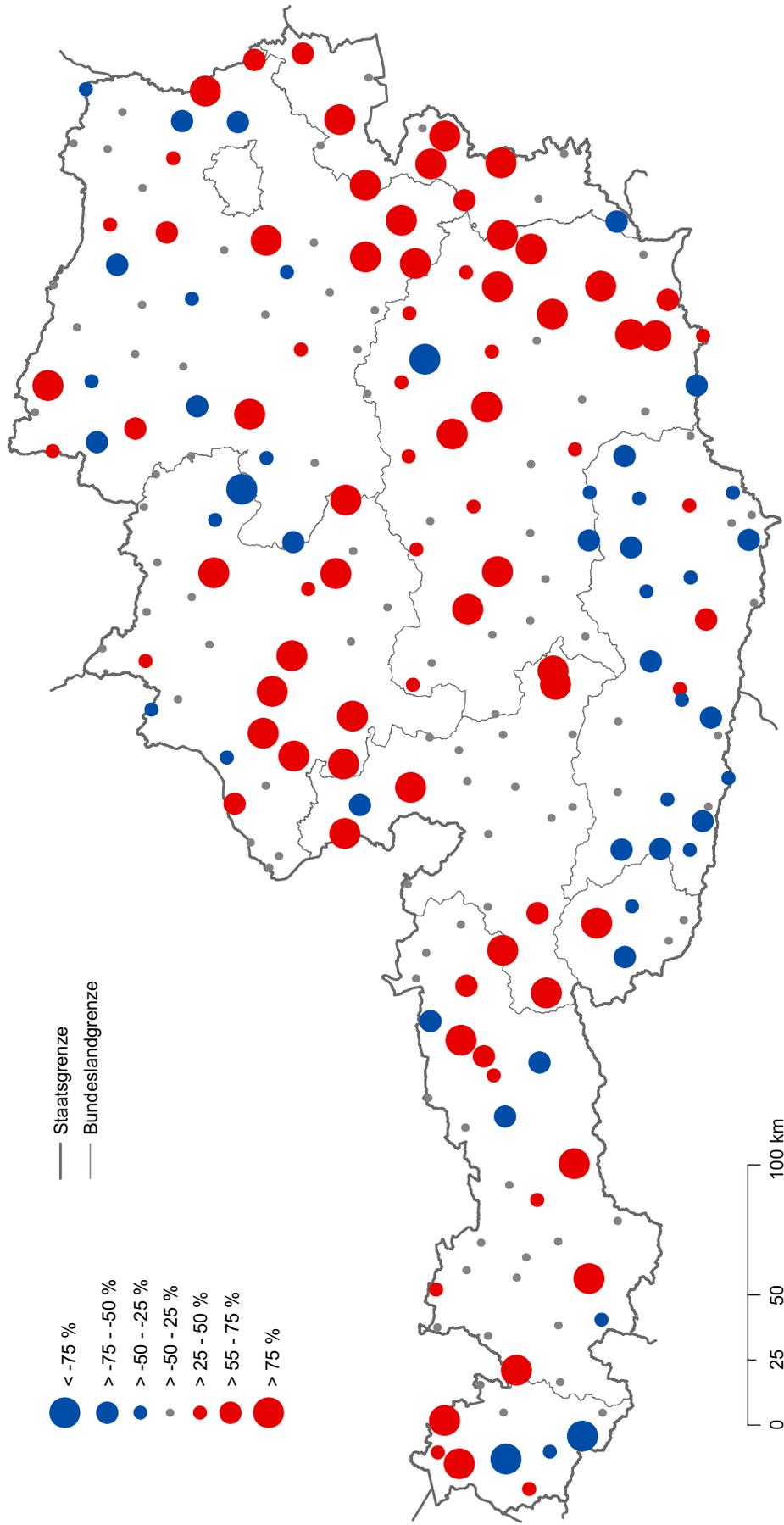
Veränderung von Cobalt in Moosen 2000 - 2005





Karte 24b

Veränderung von Cobalt in Moosen 1995 - 2005

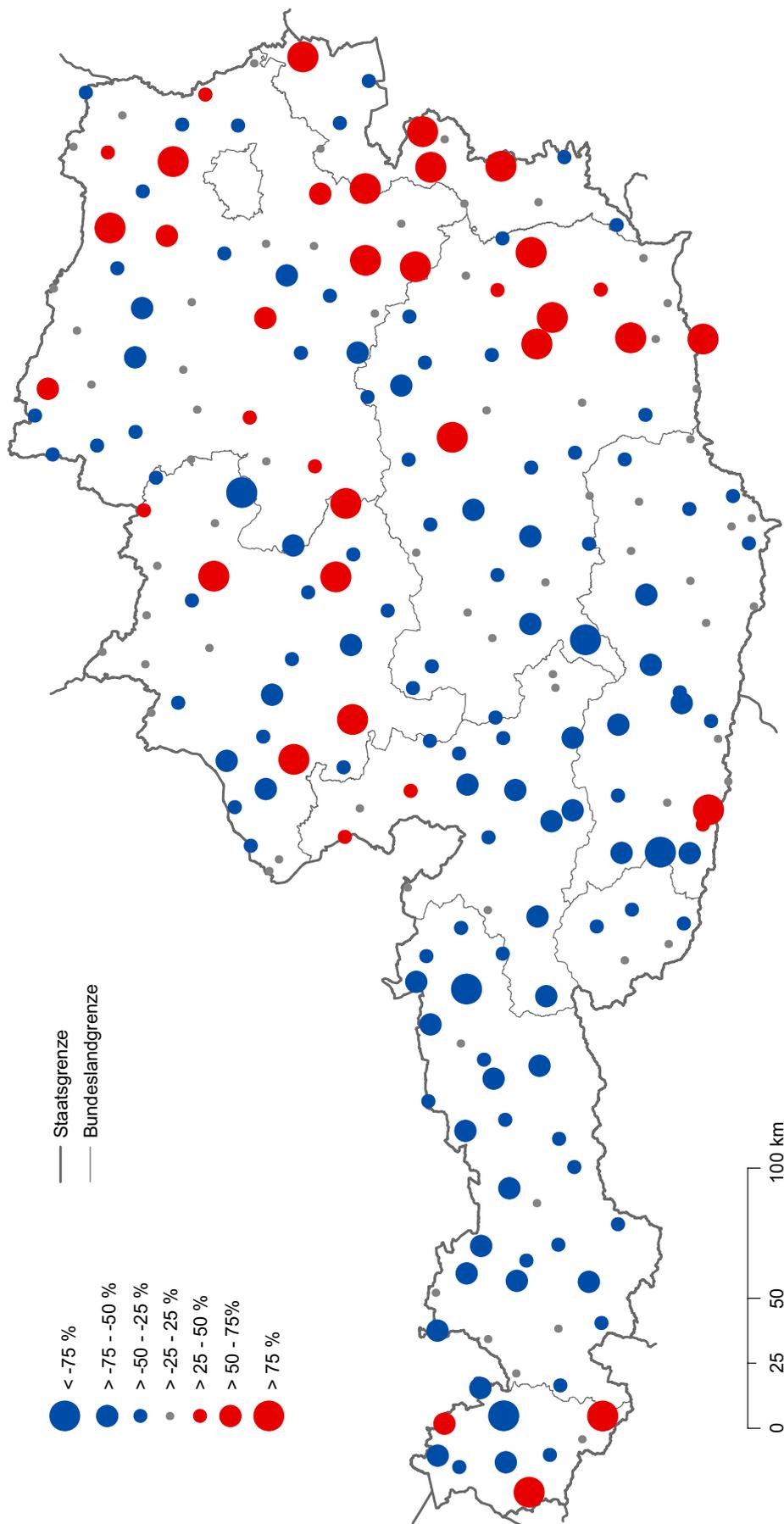


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 25a

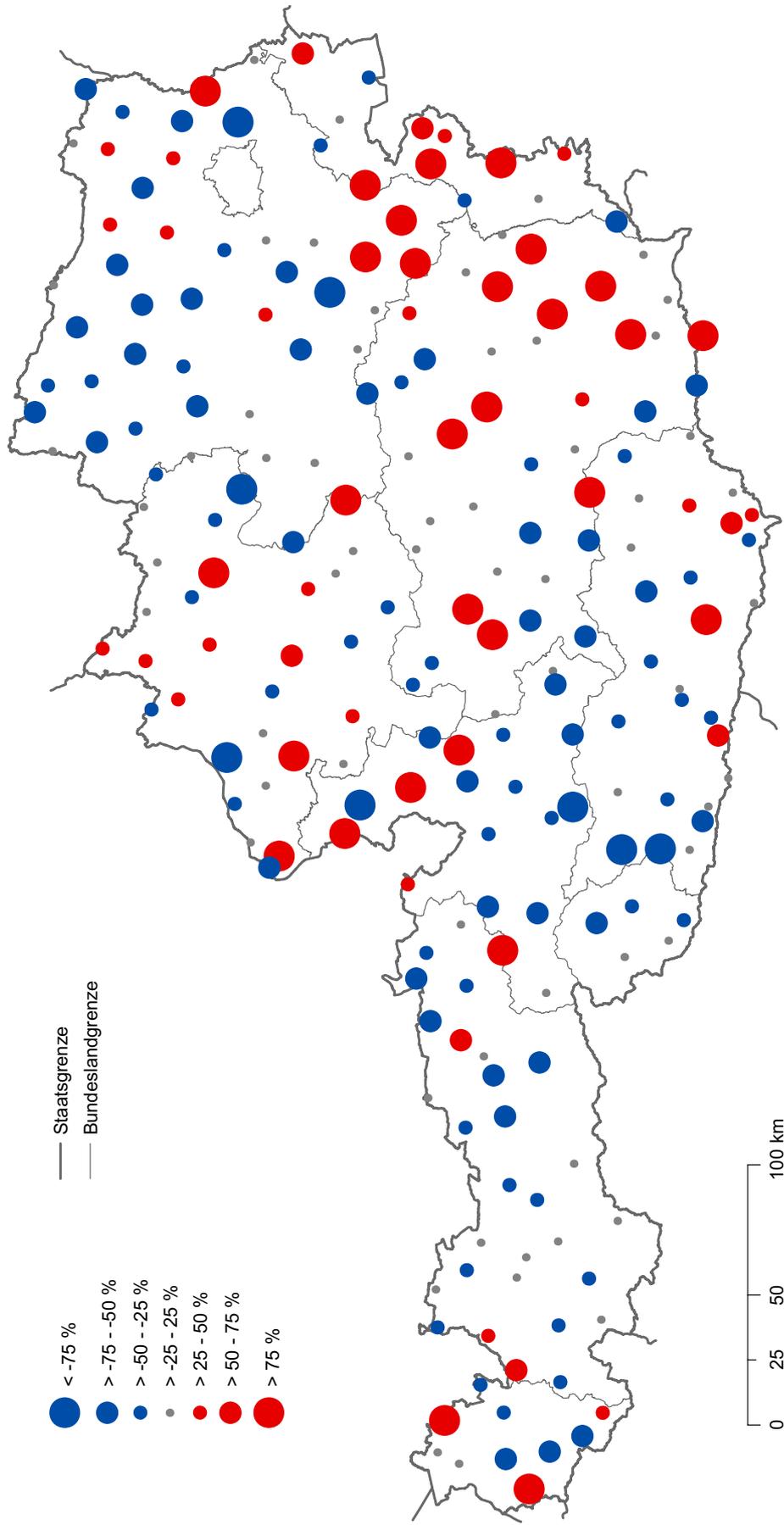
Veränderung von Eisen in Moosen 2000 - 2005





Karte 25b

Veränderung von Eisen in Moosen 1995 - 2005

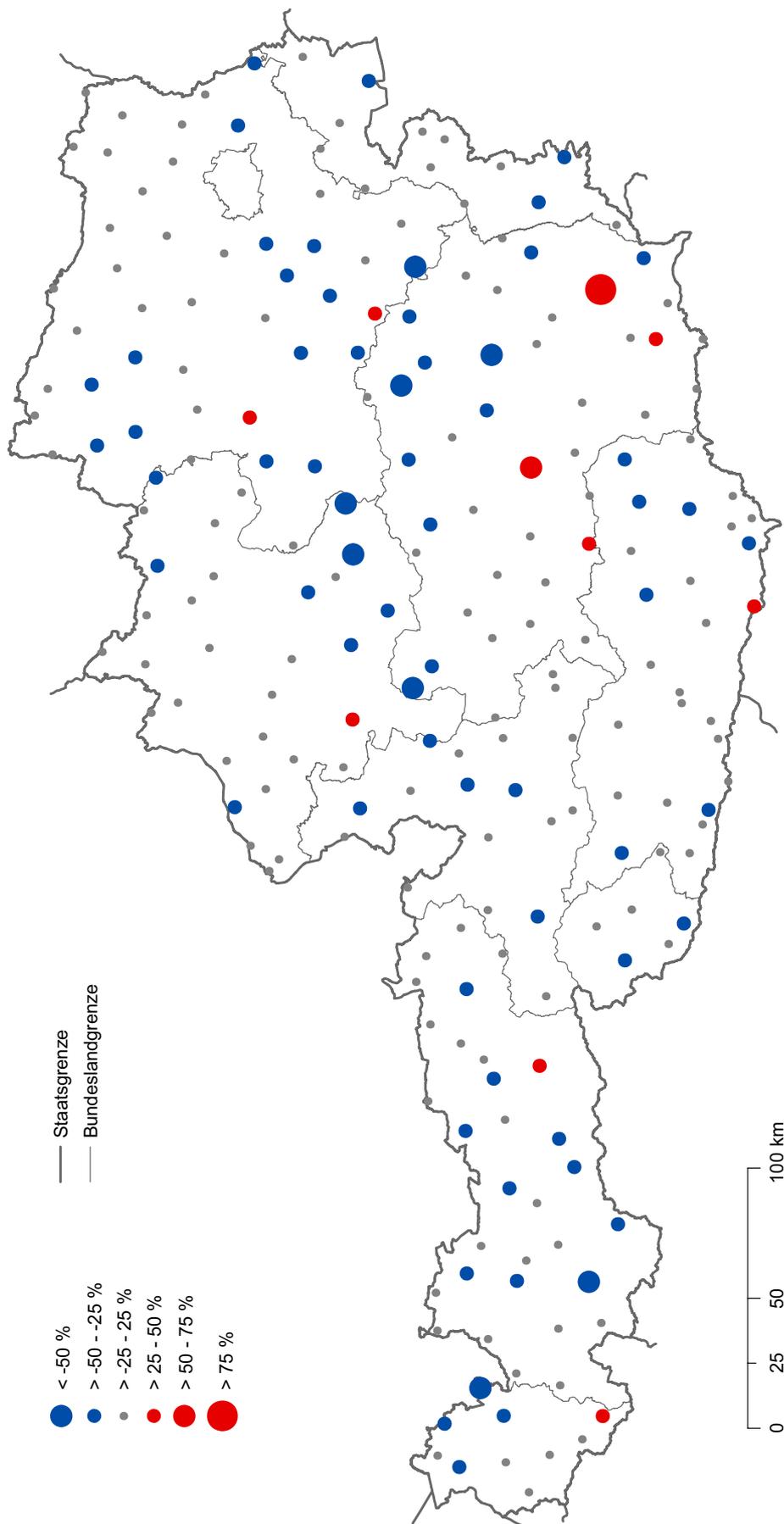


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 26a

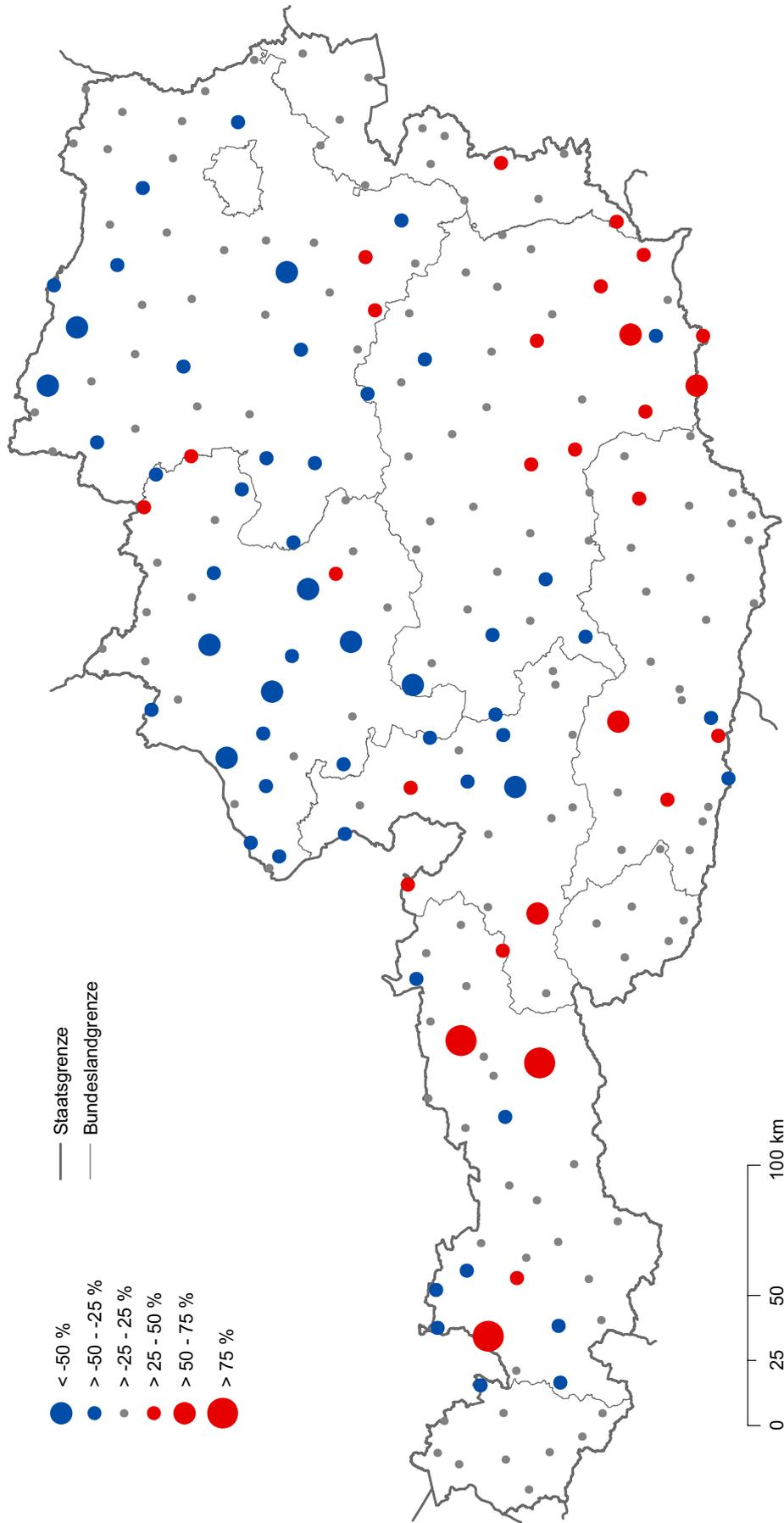
Veränderung von Kupfer in Moosen 2000 - 2005





Karte 26b

Veränderung von Kupfer in Moosen 1995 - 2005

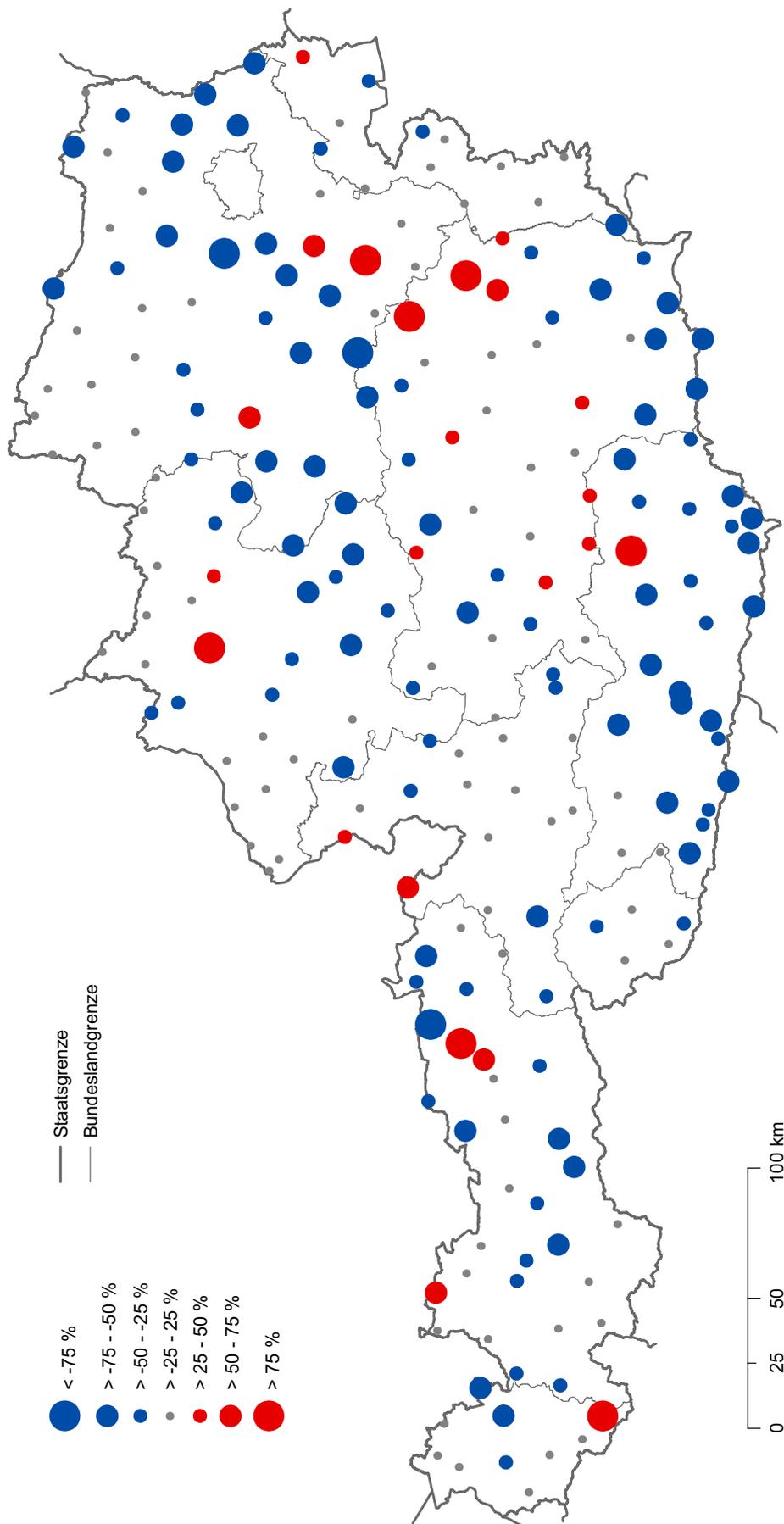


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 27a

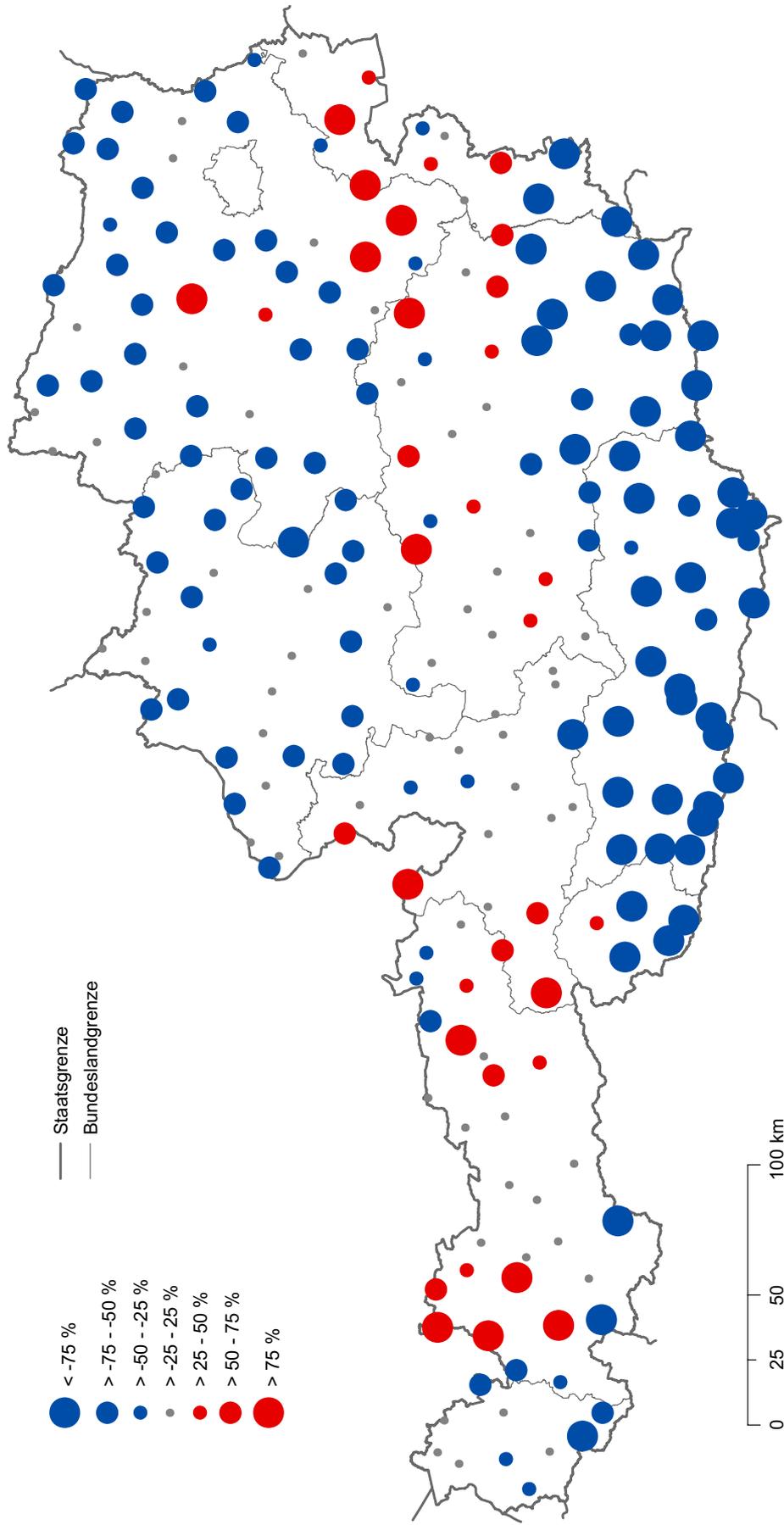
Veränderung von Molybdän in Moosen 2000 - 2005





Karte 27b

Veränderung von Molybdän in Moosen 1995 - 2005

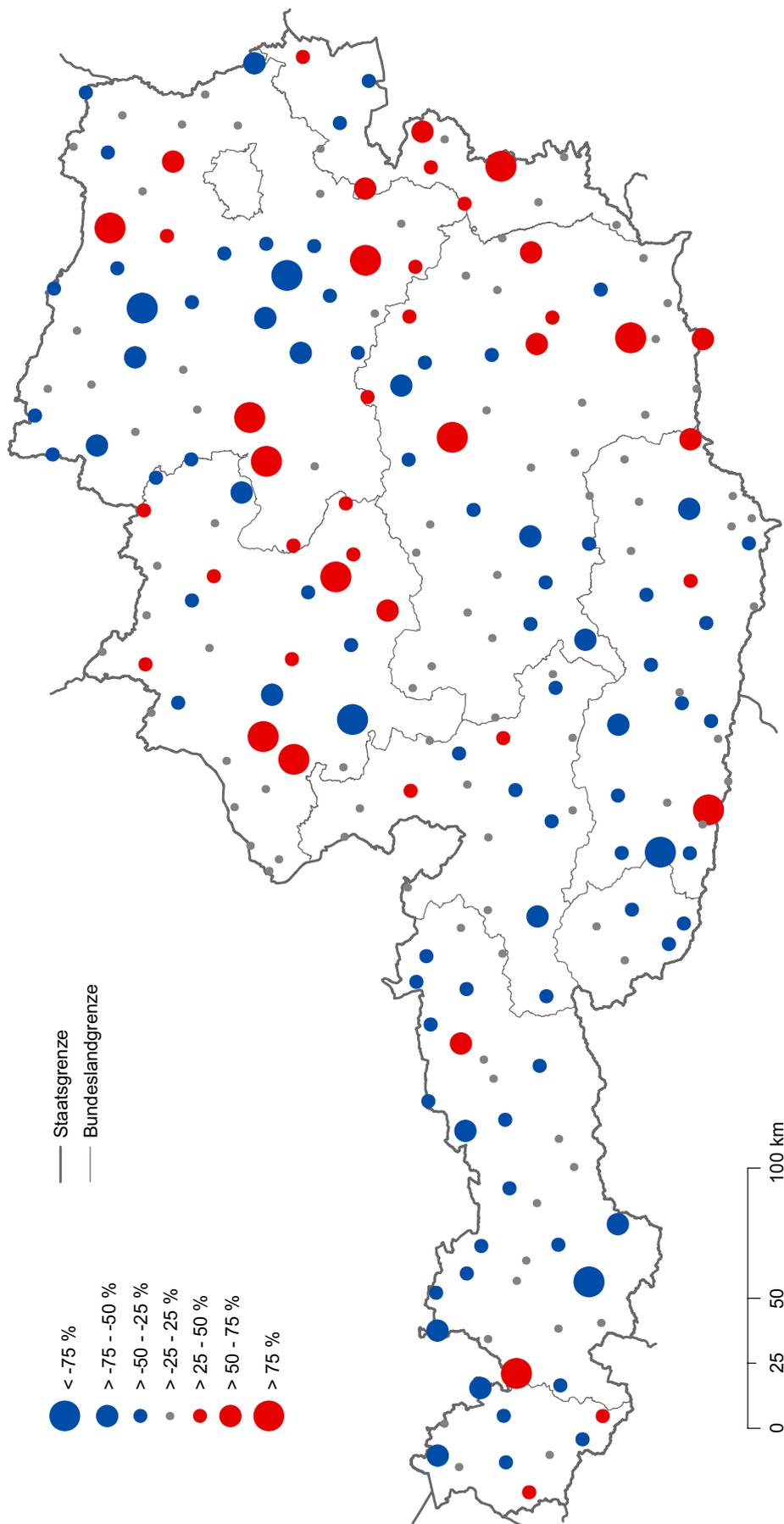


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 28a

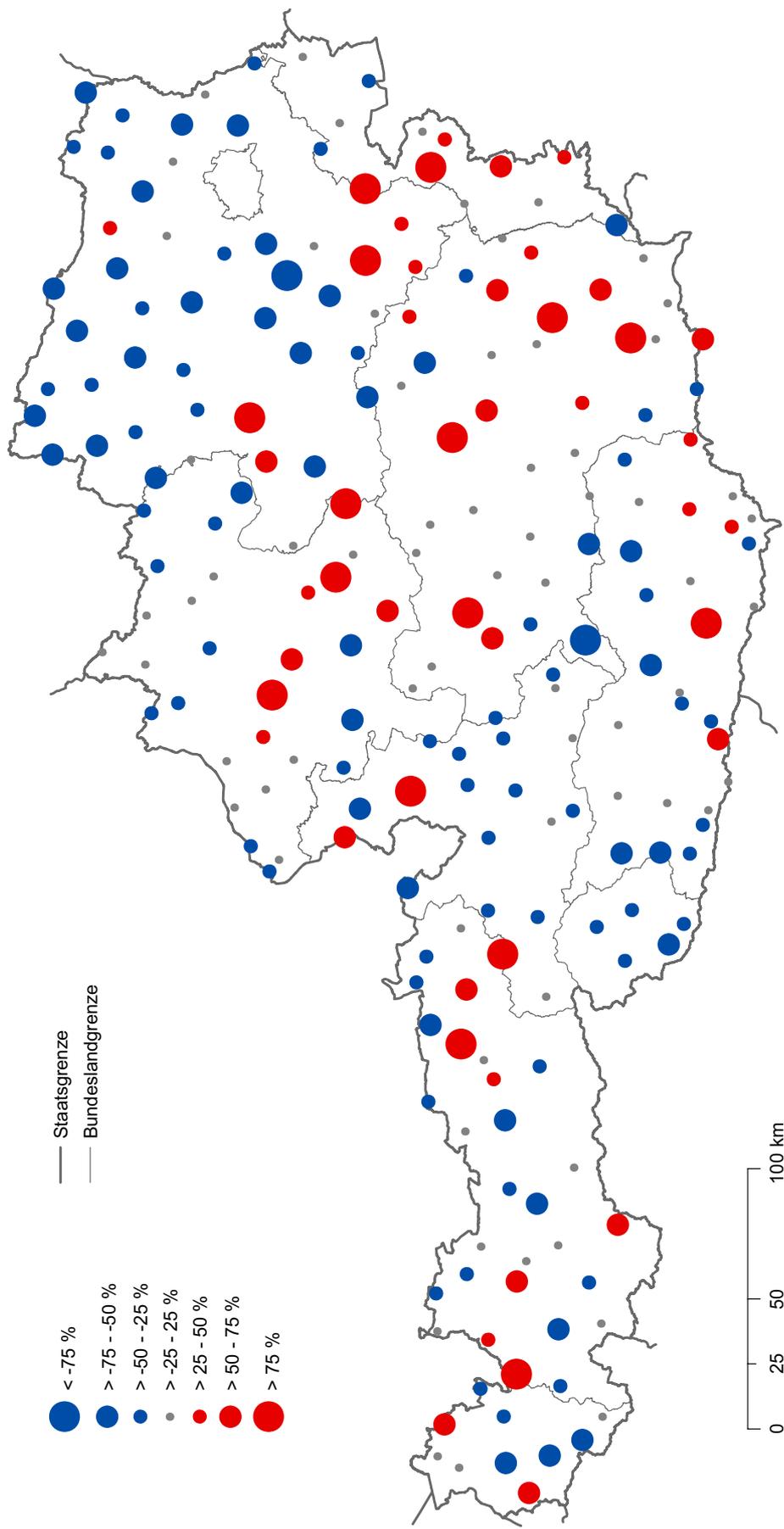
Veränderung von Nickel in Moosen 2000 - 2005





Karte 28b

Veränderung von Nickel in Moosen 1995 - 2005

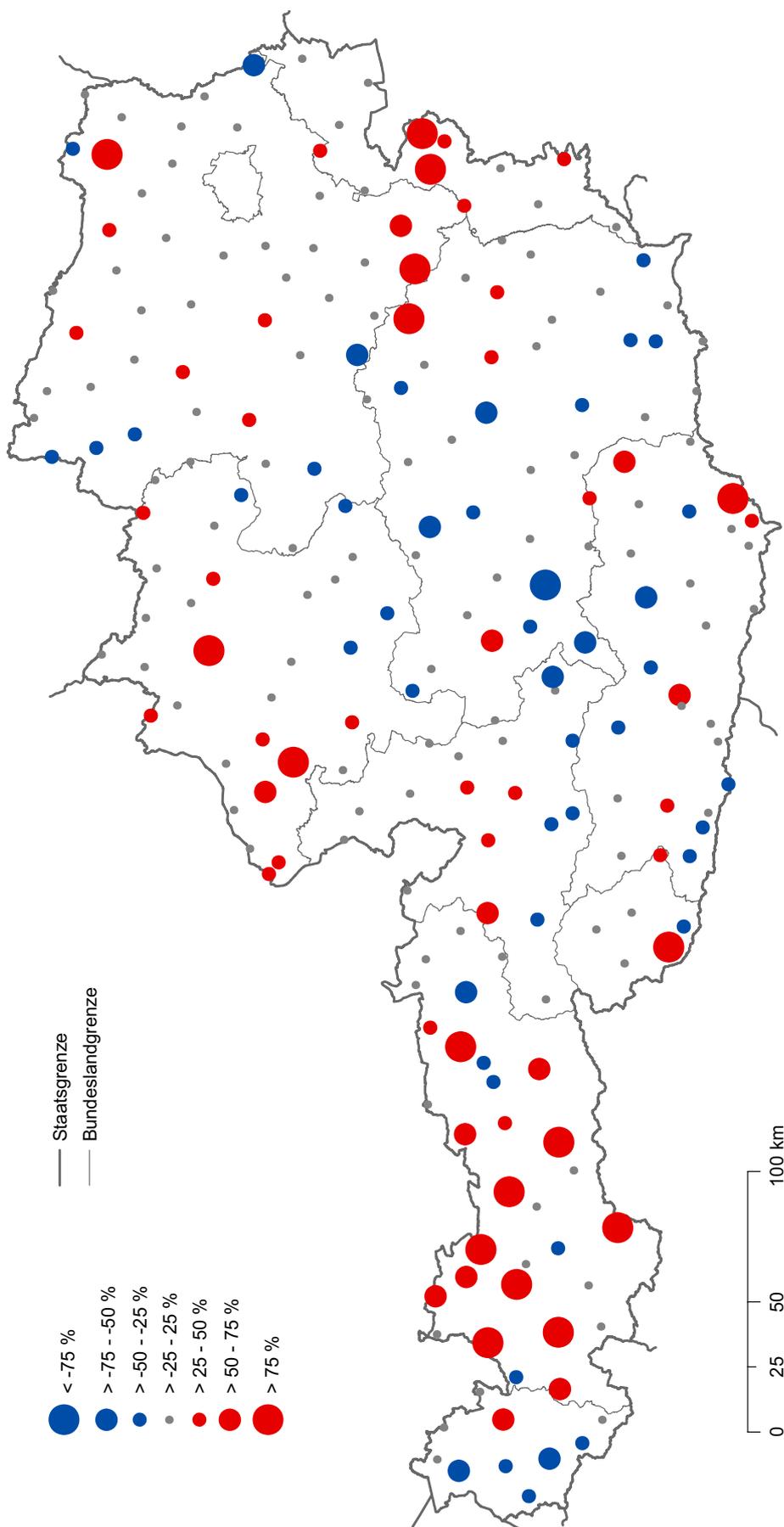


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 29a

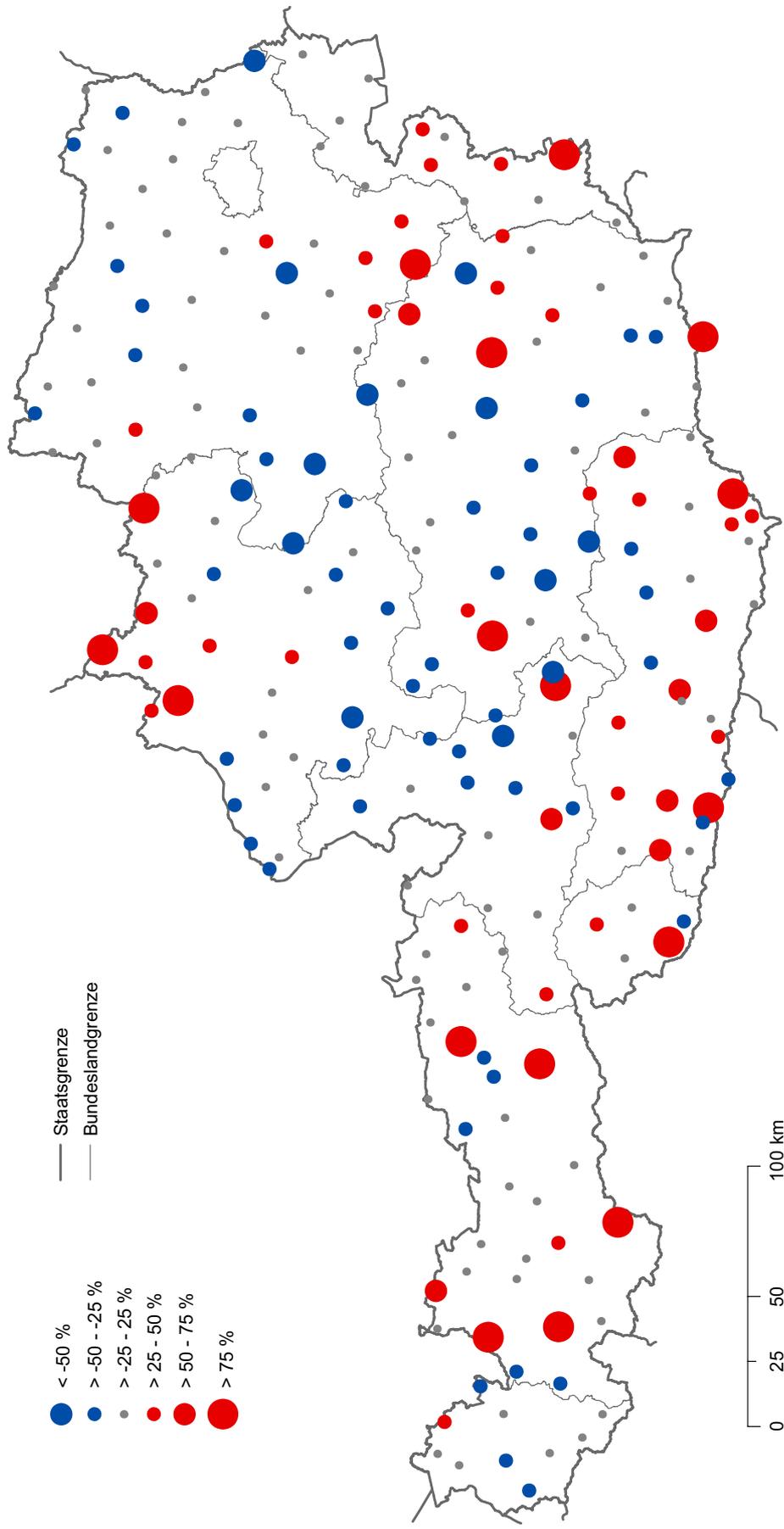
Veränderung von Quecksilber in Moosen 2000 - 2005





Karte 29b

Veränderung von Quecksilber in Moosen 1995 - 2005

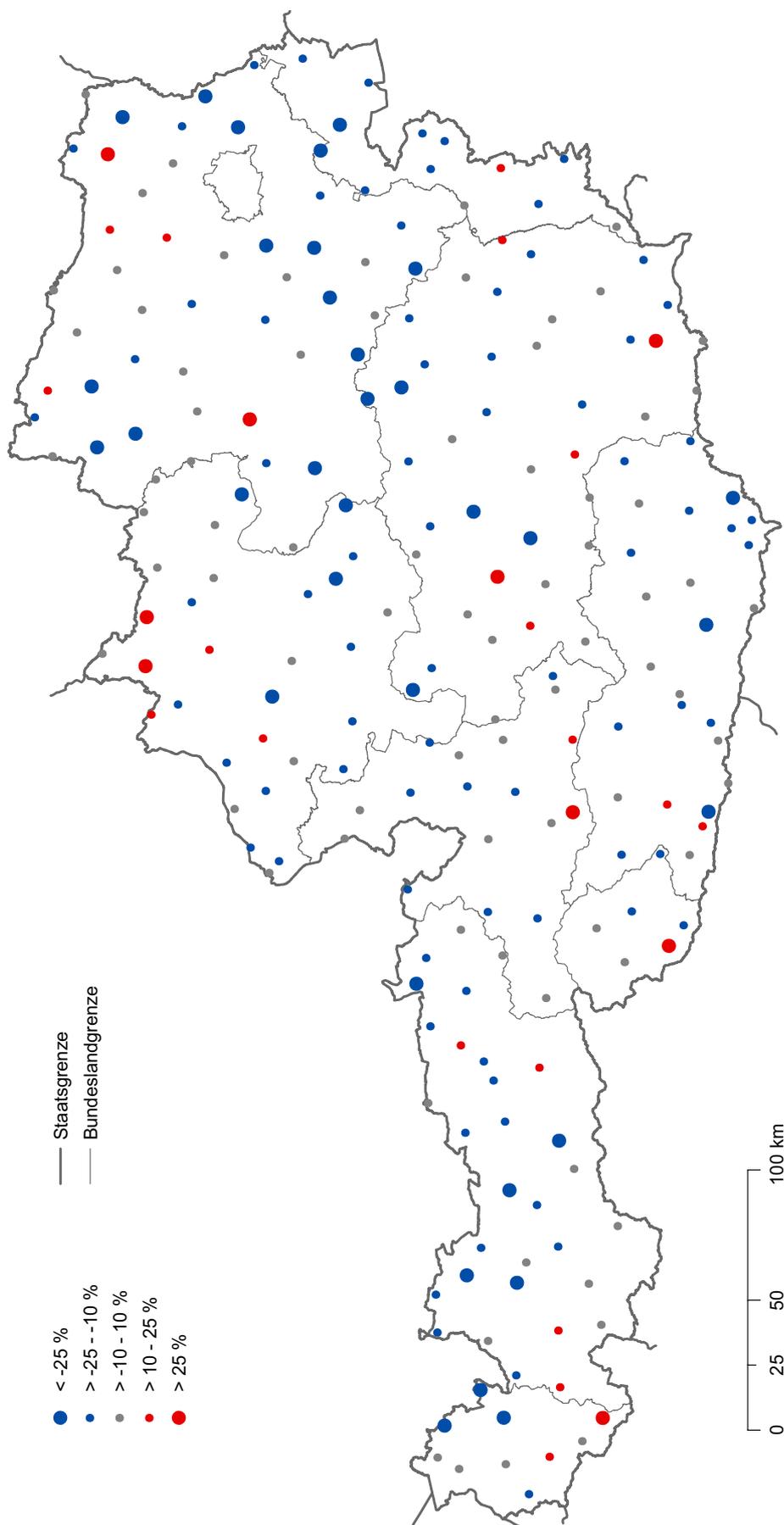


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 30a

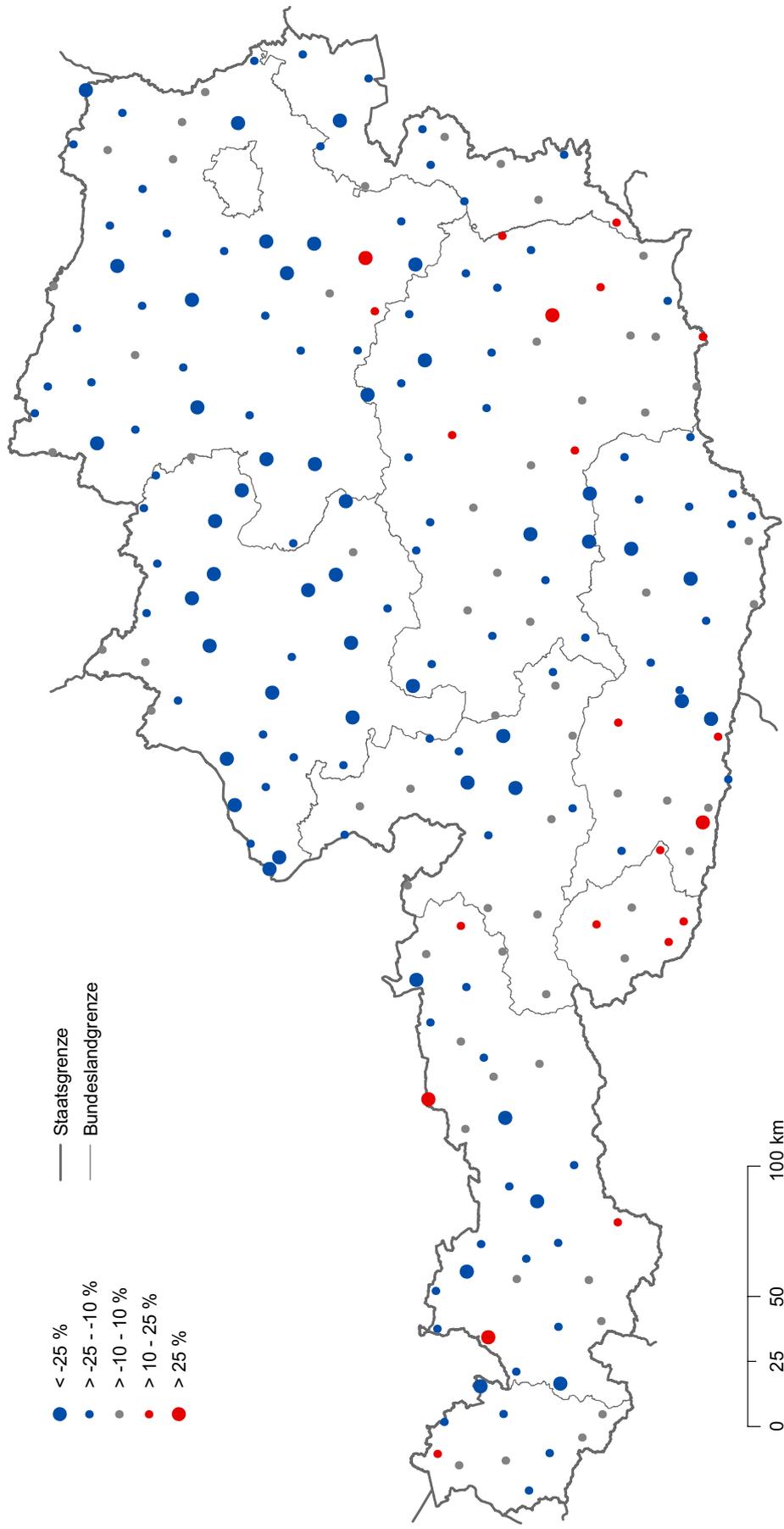
Veränderung von Schwefel in Moosen 2000 - 2005





Karte 30b

Veränderung von Schwefel in Moosen 1995 - 2005

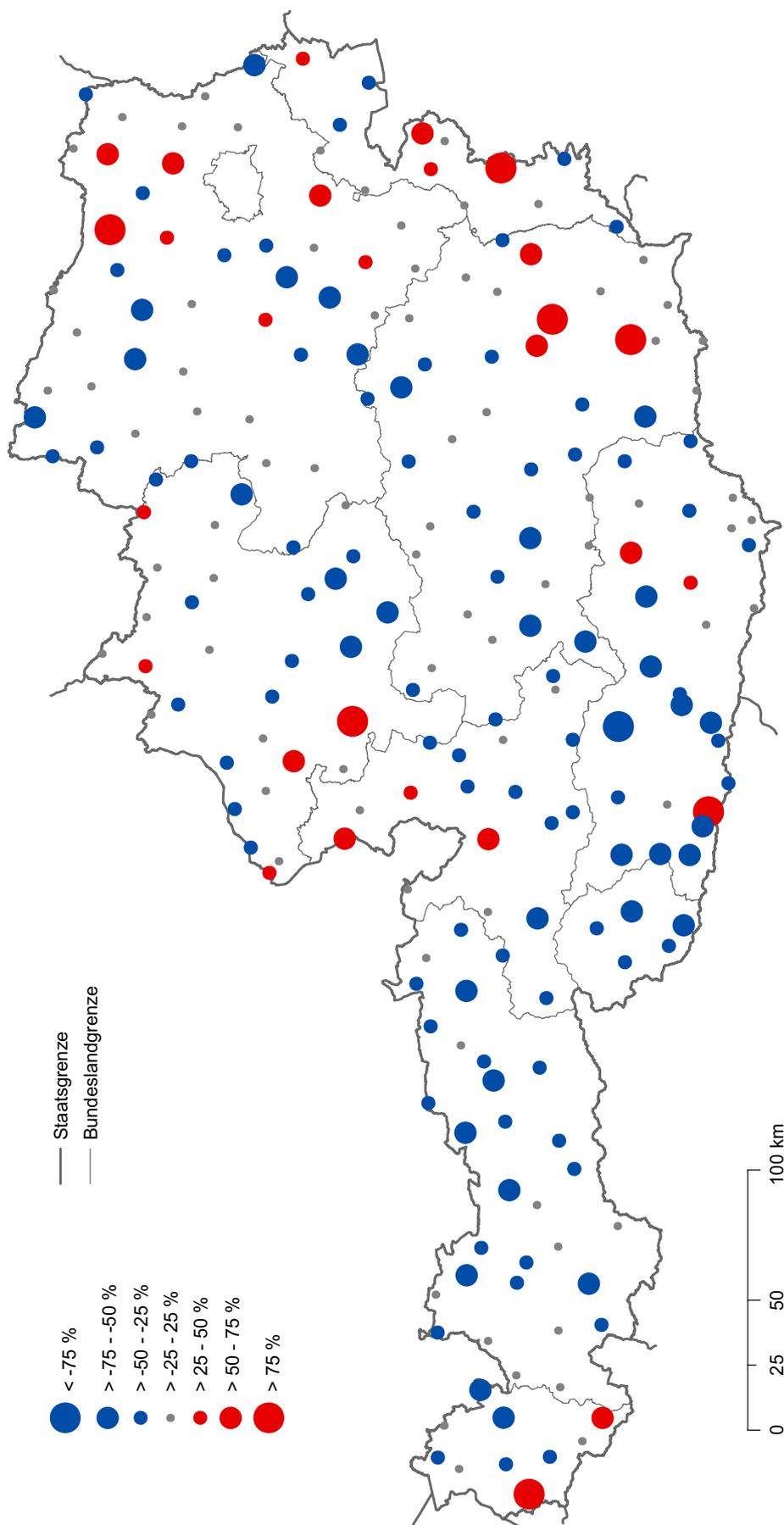


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 31a

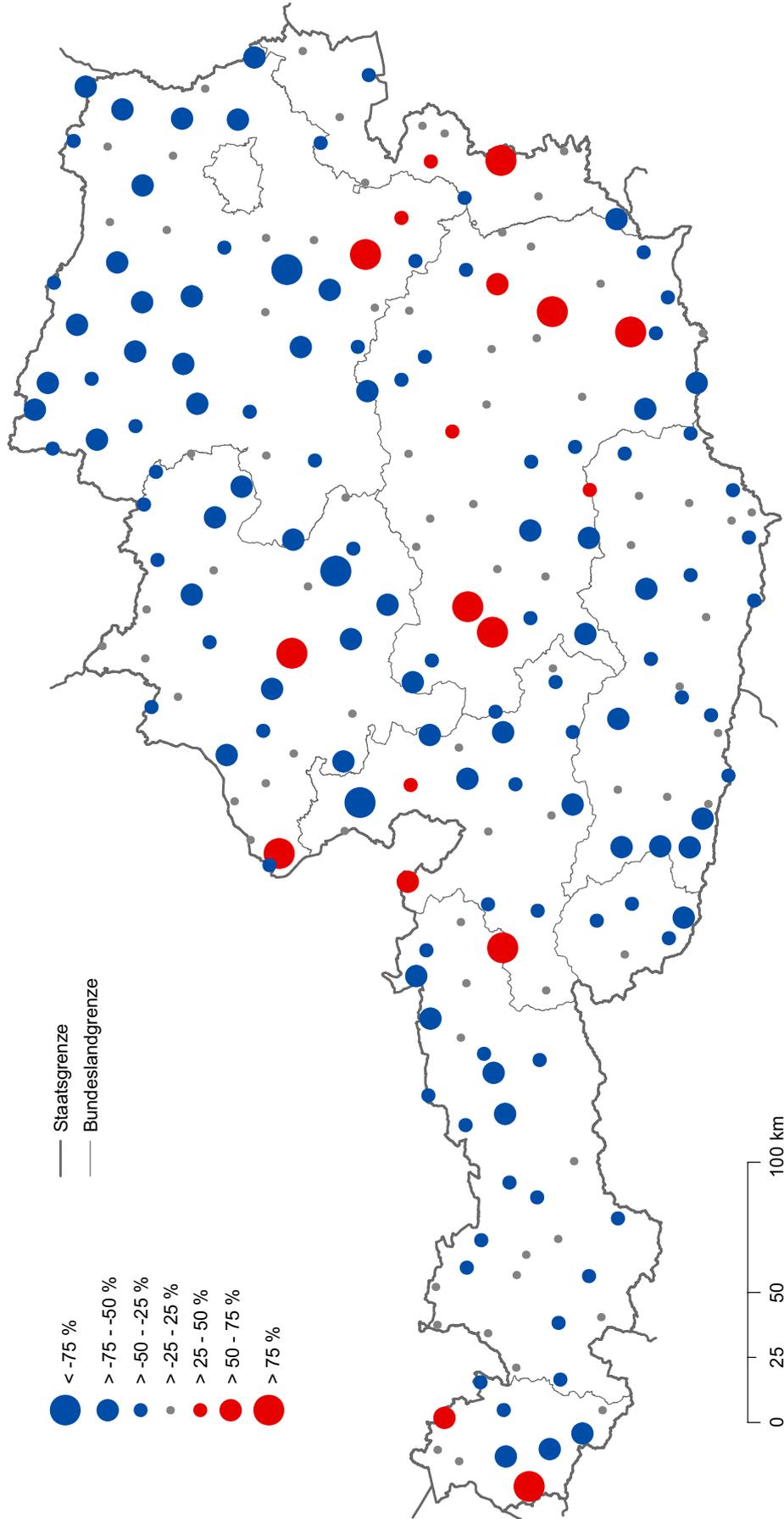
Veränderung von Vanadium in Moosen 2000 - 2005





Karte 31b

Veränderung von Vanadium in Moosen 1995 - 2005

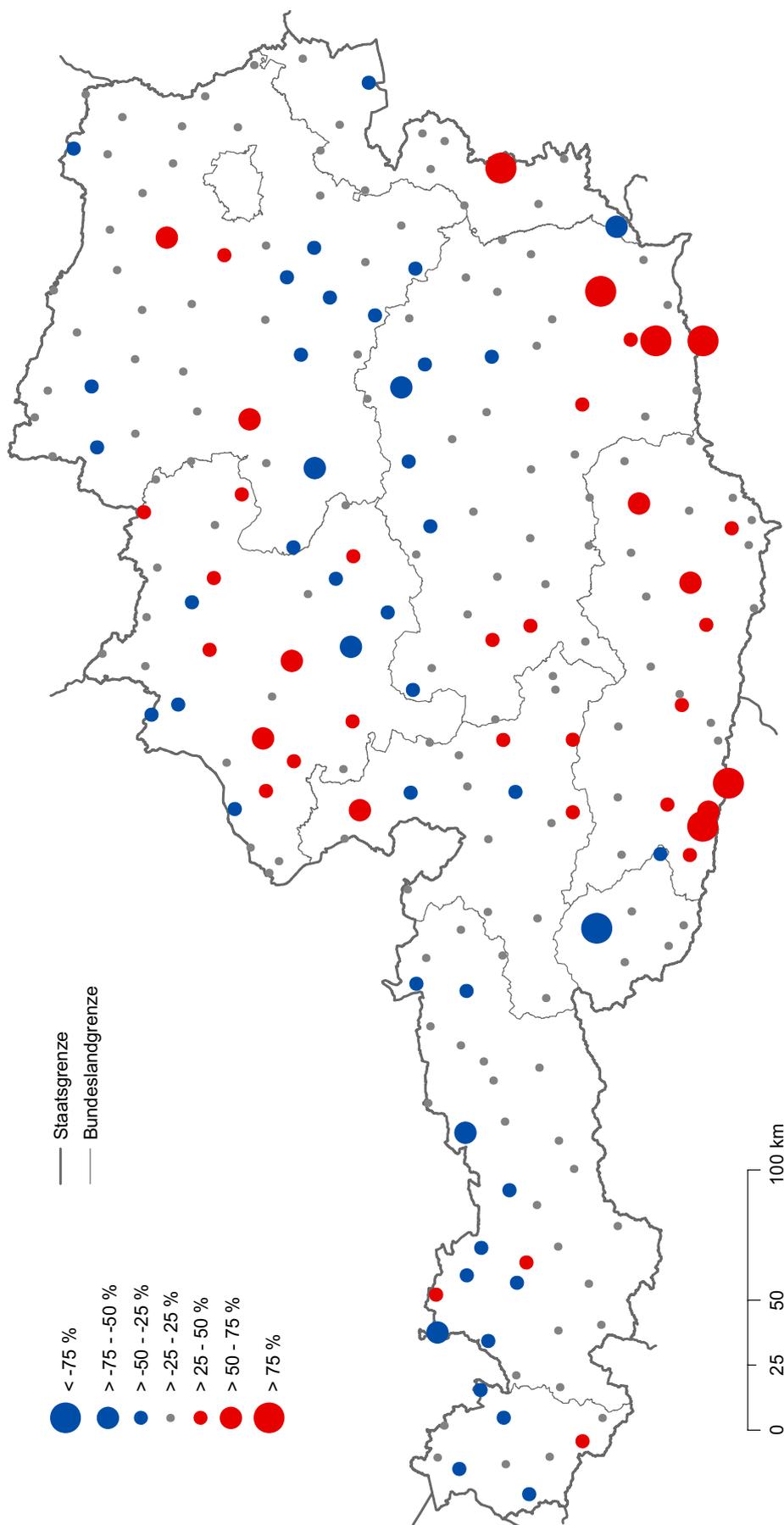


umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006

Karte 32a

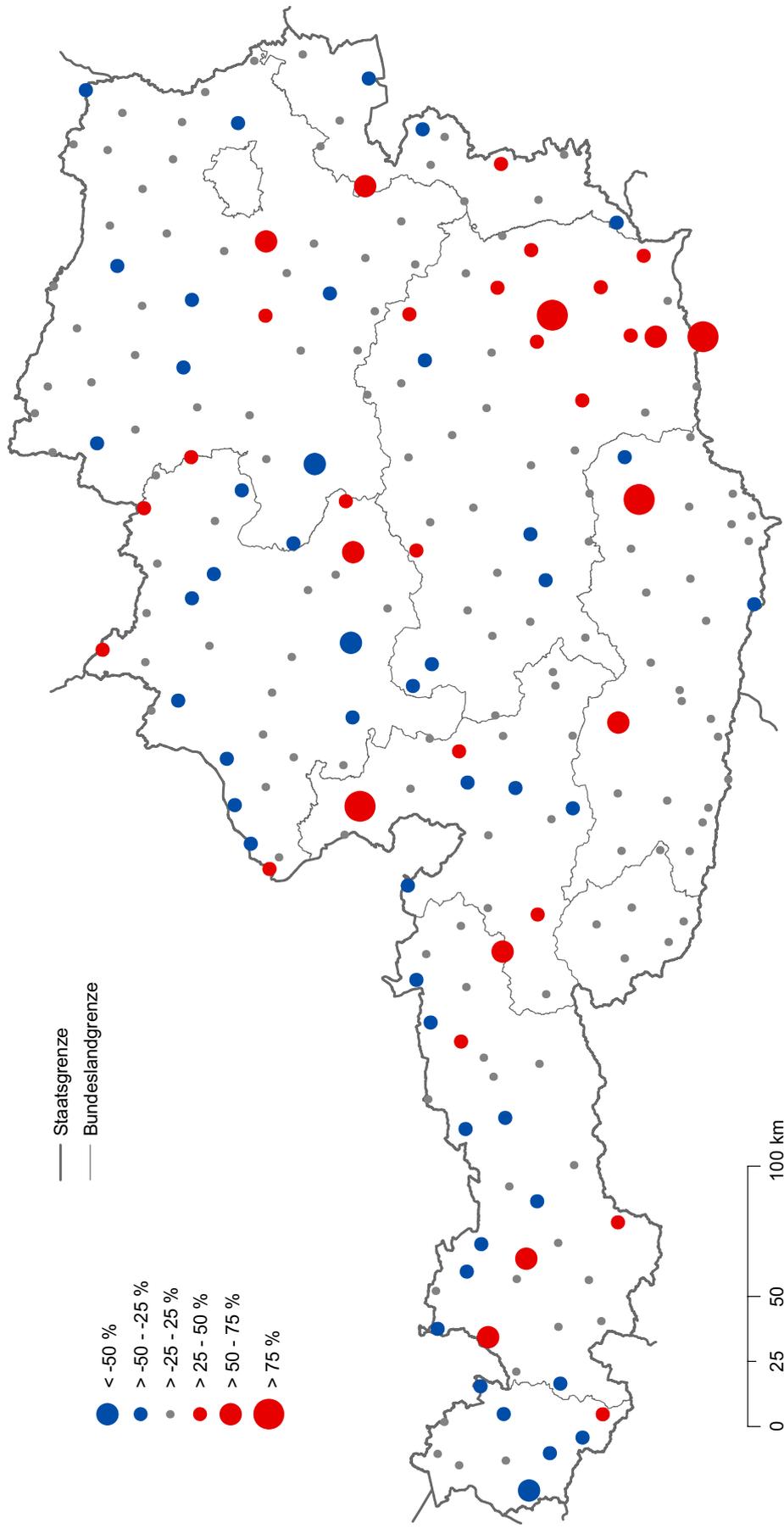
Veränderung von Zink in Moosen 2000 - 2005





Karte 32b

Veränderung von Zink in Moosen 1995 - 2005



umweltbundesamt

Bearbeitung: Ingrid Roder, April 2006



**Umweltbundesamt GmbH**

Spittelauer Lände 5  
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04  
Fax: +43-(0)1-313 04/4500

office@umweltbundesamt.at  
www.umweltbundesamt.at

Der Report des Umweltbundesamt zeigt die Konzentrationen toxikologisch relevanter Elemente in Moosen und schließt daraus auf ihren Eintrag aus der Atmosphäre. Seit 1991 werden alle fünf Jahre an 220 Standorten im Bundesgebiet Proben entnommen und analysiert. Die Untersuchung der Aufsammlung 2005 umfasst die atmosphärischen Einträge für 14 Metalle sowie für Stickstoff und Schwefel. Regional erhöhte Werte einzelner Elemente finden sich im Unterinntal, im Rheintal, um Treibach-Althofen und Reutte.

Bundesweit zeigen sich seit 1995 starke Abnahmen der Deposition von Blei (-56 %), Vanadium (-32 %), Chrom (-21 %) oder Nickel (-17 %), aber auch lokale Zunahmen einzelner Elemente.

Der Report ist ein Beitrag für das Monitoring der UNECE-Vegetation im Rahmen der CLRTAP (Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution).