

Untersuchungen zum Schwermetall– und Aluminiumgehalt Höherer Pilze im Bielefelder Raum

Petra GÜNTHER¹⁾,
Irmgard SONNEBORN,²⁾
Willi SONNEBORN²⁾
und Siegmars–Walter BRECKLE³⁾

Mit 9 Abbildungen
und 4 Tabellen

Inhalt

1. Zusammenfassung	185
2. Einleitung	186
3. Material und Methoden	187
3.1 Probennahmen	187
3.1.1 Pilze	187
3.1.2 Böden	188
3.2 Vorbereitung der Pilzproben	189
3.2.1 Gesamtaufschluß	189
3.2.2 Pepsin – Aufschluß	189
3.3 Vorbereitung der Bodenproben	189
3.3.1 Gesamtaufschluß	189
3.3.2 Ammoniumoxalat/Oxalsäure – Aufschluß	189
3.3.3 Analytik	189

Verfasser:

¹⁾ Institut für Umwelt – Analyse e.V., Milser Str. 37, D–4800 Bielefeld 16

²⁾ Fasanenstr. 35a, D–4800 Bielefeld 1

³⁾ Abteilung Ökologie, Fakultät für Biologie, Universität Bielefeld, Postfach 8640
D–4800 Bielefeld

3.4	Vorversuche	190
3.4.1	Reproduzierbarkeit der Werte	190
3.4.2	Der "wahre" Wert (Ringversuch)	191
3.4.3	Die individuellen Unterschiede	191
3.5	Auswertung und Statistik	192
4.	Ergebnisse	192
4.1	Pilze	192
4.2	Böden	192
5.	Auswertung	207
5.1	Pilzsystematisch bedingte Einflüsse auf den Metallgehalt	207
5.1.1	Prozentuale Verteilung der Einzelergebnisse in Histogrammen	207
5.1.2	Die Verteilung der Metallgehalte im Histogramm und die Korrelation zu bestimmten Pilzfamilien	211
5.1.3	Zeichnen sich bestimmte Arten durch besonders hohe Metallgehalte aus?	213
5.2	Durch Bodenfaktoren bedingte Einflüsse	218
5.2.1	Korrelation zwischen Metallgehalt der Pilze und Gesamtmetallgehalt im Boden	218
5.2.2	Korrelation zwischen oxalatlöslichem Metallanteil des Bodens und Pilzgehalt	222
5.2.3	Korrelation zwischen Metallgehalt der Pilze und pH-Wert des Bodens	222
5.3	Die Rolle der Bodenart bei der Aufnahme der Metalle durch die Pilze	223
5.3.1	Korrelation zwischen Boden- und Pilzgehalt	223
5.3.2	Der Einfluß der Bodenart auf die prozentuale Verteilung der Metallgehalte in den Pilzproben	223
5.3.3	Standortabhängigkeit	224
5.4	Korrelation zwischen Zink und Cadmium im Pilz	228
5.5	"Magensaftlöslicher" Anteil der Metalle in den Pilzen	229
6.	Diskussion	230
6.1	Die Frage der pilzsystematisch bedingten Unterschiede	230
6.1.1	Aluminium	231
6.1.2	Blei	232
6.1.3	Cadmium	233
6.1.4	Zink	234
6.2	Durch spezielle Bodenfaktoren bedingte Einflüsse	235
6.2.1	Korrelation zwischen den Schwermetallgehalten in Boden und Pilz	235
6.2.2	Der pH-Wert	238

6.2.3	Die Bodenart als bestimmender Faktor der Schwermetallmobilität	239
6.3	Der Transferfaktor Boden / Pilz	241
6.4	Standortsabhängigkeit	242
6.5	Der Zusammenhang zwischen Cadmium- und Zinkkonzentration der Pilze	243
6.6	"Magensaftlöslicher" Anteil der Metalle aus den Pilzen	244
7.	Abschließende Betrachtung	246
8.	Literatur	247

1. Zusammenfassung

Die Aluminium-, Blei-, Cadmium- und Zinkgehalte von 145 Arten (493 Proben) wildwachsender Großpilze und zugehöriger Bodenproben wurden mittels Atomabsorptionsspektroskopie bestimmt.

Die Metallgehalte der Pilze bezogen auf die Trockensubstanz variierten bei

Aluminium	:	von	10	bis	3890	mg.kg ⁻¹
Blei	:	von	0,2	bis	67,0	mg.kg ⁻¹
Cadmium	:	von	0,04	bis	687	mg.kg ⁻¹
Zink	:	von	12	bis	1588	mg.kg ⁻¹

Diese Ergebnisse werden vergleichend mit in der Literatur zitierten Gehalten diskutiert.

Hierbei konnten taxonomische Einflüsse festgestellt werden, die sich in erhöhten Metallgehalten einzelner Familien, Gattungen und Arten ausdrücken.

Bei der Korrelation zwischen Schwermetallgehalten im Boden und Pilzmetallgehalten wurde bei Aluminium ein merklicher Zusammenhang gefunden, während dies bei den Schwermetallen nicht so ausgeprägt beobachtet werden konnte. Dieses Ergebnis ergibt sich auch bei der Korrelation zwischen oxalatlöslichem Schwermetallgehalt im Boden und Pilzgehalt.

Einflüsse des Boden-pH-Wertes waren trotz Anwendung unterschiedlicher Auswerteverfahren nicht erkennbar.

Die Bodenart hat Einfluß auf die Aufnahmemengen von Metallen aus dem Substrat, so daß bestimmte Standorte durchgängig kleine Pilzmetallkonzentrationen aufweisen.

Metallanreicherungen in den Pilzen gegenüber dem Boden waren in z.T. extremer Form bei Cadmium festzustellen, etwas weniger ausgeprägt bei Zink und in einigen Fällen auch bei Blei.

Auffällige Zusammenhänge zwischen Cadmium- und Zinkgehalt in den Pilzen waren in angenähert antagonistischer Hinsicht im hohen Konzentrationsbereich der Elemente zu finden.

Bei 46 exemplarisch ausgewählten Pilzarten wurde der pepsinlösliche Anteil der Metalle bestimmt, um die Vorgänge der Verdauung im Magen zu simulieren. Die gemittelten Prozentzahlen der Löslichkeiten ergaben folgende Reihenfolge:

Aluminium (7,3%) < Blei (23,1%) < Zink (57,1%) < Cadmium (76,9%).
Mögliche toxikologische Bewertungen werden diskutiert.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß sich in Bezug auf die Metallgehalte in Höheren Pilzen taxonomische und standörtliche Einflüsse in komplexer Form überlagern.

Auf den Wert der vorliegenden Arbeit für den Bielefelder Raum wird abschließend hingewiesen.

2. Einleitung

Schon recht früh sind Pilze analytisch untersucht worden: die ersten Arbeiten über die Chemie der Höheren Pilze gehen auf E. BOUILLON – La GRANGE (1), H. BRACONNOT (2) und N. VAUQUELIN (3) zurück. Seitdem sind eine Reihe von Untersuchungen über Pilzinhaltsstoffe durchgeführt worden. Man weiß inzwischen, daß die verschiedenen Arten große Unterschiede in ihrer Zusammensetzung aufweisen. Hierbei spielen Standort, Bodenbeschaffenheit und Entwicklungsstufe eine bedeutende Rolle.

Im Gegensatz zu zahlreichen Arbeiten über die organische Pilzsubstanz und mögliche Giftstoffe ist festzustellen, daß relativ wenig Untersuchungen über die Mineralbestandteile der Pilze vorliegen. Diese sind zwar sehr klein – verglichen mit dem Anteil an organischer Substanz –, jedoch keineswegs zu vernachlässigen. So werden 3,5 bis 19,9% des Pilztrockengewichts als Mineralstoffe angesehen (4). Der mineralstoffreichste Teil der Pilze ist der Hut; die Stiele weisen geringere Gehalte auf.

Während sich die älteren Arbeiten zu diesem Thema ausschließlich mit Nährelementen beschäftigen, rücken in jüngerer Zeit vor allem Verunreinigungen durch Schadstoffe in Pilzen in den Mittelpunkt. Hier sind Untersuchungen sowohl zu Rückständen von Schädlingsbekämpfungsmitteln (5), nicht zuletzt nach Tschernobyl auch zu radioaktiven Verunreinigungen in Pilzen (6) durchgeführt worden.

Mittlerweile wurden zudem etliche Untersuchungen über die Schwermetallbelastung der Wildpilze veröffentlicht (z.B. 7–22,32,39), was dazu führte, daß sich das Bundesgesundheitsamt in Berlin veranlaßt sah, wegen der zum Teil sehr hohen Belastung Empfehlungen zur Verzehrsbeschränkung von wildwachsenden Pilzen zu veröffentlichen (23). Hiernach sollte der Pilzverzehr auf ca. 200 bis 250 g wöchentlich für erwachsene Personen eingegrenzt werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, in erster Linie einen Eindruck von der Metallbelastung der Höheren Pilze vor Ort zu gewinnen. Hierfür sollte die Auswahl der Arten möglichst breit über das Pilzsystem verteilt sein. Die Schwermetalle Blei und vor allem Cadmium sind als besonders toxisch anzusehen, so daß die Entscheidung über die Einbeziehung dieser beiden Elemente nahelag.

Das Zink – als Spurenelement – sollte bei der Betrachtung der Cadmiumbelastung der Pilze berücksichtigt werden: da Zink und Cadmium chemisch sehr nah verwandt sind, erhob sich die Frage, ob Zusammenhänge zwischen Cadmium – und Zinkakkumulation festzustellen sind.

Das Leichtmetall Aluminium ist als zu untersuchender Parameter deshalb ausgewählt worden, weil es zum einen sehr wenig Datenmaterial über Aluminium in Höheren Pilzen gibt und weil es zum anderen in der Diskussion um das Waldsterben eine Rolle spielt (55). Untersuchungsziel in diesem Zusammenhang sollte sein, ob durch die vermehrte Mobilität von Aluminium infolge möglicher pH – Wert – Absenkung im Boden auffallende Anreicherungen in den Pilzen erkennbar sind.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit sollte in der Standortbetrachtung liegen, wobei versucht wurde, standortsbedingte Unterschiede in der Pilzbelastung nachzuweisen, die eventuell vorhandene systematische Zusammenhänge überdecken könnten.

Entscheidend zum gelungenen Ablauf beigetragen haben in erster Linie die Mykologische Arbeitsgemeinschaft des Naturwissenschaftlichen Vereins Bielefeld. Die engagierte Unterstützung bei der Probenbeschaffung und bei der taxonomischen Zuordnung der Pilze sind Grundsteine der Arbeit. Bei der Auswertung und Diskussion der Ergebnisse standen Herr Dr. W. Mersch, Fakultät für Chemie, Mitarbeiter des Instituts für Umwelt – Analyse e.V. Bielefeld und die Mitarbeiter der Abteilung für Ökologie der Fakultät für Biologie stets hilfsbereit zur Verfügung.

Ihnen allen sei an dieser Stelle Dank ausgesprochen.

3. Material und Methoden

3.1 Probennahmen

3.1.1 Pilze

Das Pilzmaterial wurde von Juli bis November 1984 in und im Umkreis von Bielefeld gesammelt. Dabei lassen sich einige Kernbereiche innerhalb des Stadtgebietes angeben, wo sowohl Pilz – als auch Bodenproben entnommen wurden. Diese Kernbereiche sind durch entsprechende Buchstaben und Ziffern gekennzeichnet. Nähere Angaben vgl. GÜNTHER (1986).

Bei den übrigen Probeentnahmestellen, wo ebenfalls auf relativ kleinen Flächen Pilzproben gesammelt wurden, lassen sich ebenfalls Angaben über die

Fundorte machen. Die Flächen sind hier durch spezielle, im folgenden aufgelistete Abkürzungen gekennzeichnet.

ANT = Eiserner Anton (Bielefeld)	MAI = Maibolte bei Lemgo
BAD = Bad Salzuflen	MUS = Naturkundemuseum (Bielefeld)
BOR = Borgholzhausen	PAD = Paderborn, Am Ziegenberg
GEL = Gellershagen (Bielefeld)	POE = Poetenweg (Bielefeld)
GES = Geseke	RAM = Ramhorst
GÜT = Güterbahnhof (Bielefeld)	SAU = Sauerland, Almepark
HES = Hessental	STE = Steinhagen
JÖL = Jöllenberg (Bielefeld)	STU = Stukenbrock
KAS = Kaserne (Bielefeld)	SUD = Sudbrack (Bielefeld)
LÄM = Lämershagen (Bielefeld)	UMM = Ummeln (Bielefeld)
LIE = Liebenau	WAR = Warburg
LOH = Lohse	X = Bad Laer

Wenn möglich wurden mehrere Exemplare einer Art pro Standort erfaßt. Es wurde versucht, darauf zu achten, daß sich die Pilze etwa in der gleichen Entwicklungsstufe befanden, um altersabhängige Faktoren zu minimieren (z.B. 30), obwohl der Zusammenhang zwischen Alter und Konzentration an Metallen unterschiedlich interpretiert wird (z.B. 43). Ebenso wurden die vollständigen Fruchtkörper geerntet, damit keine gewebespezifisch bedingten Metallgehalte (31,32,33) die Untersuchung der Fragestellung komplizierten.

Insgesamt lagen 493 Proben von 145 Arten vor, die sich auf 23 Familien verteilten.

3.1.2 Böden

In jedem der untersuchten Kernbereiche innerhalb des Bielefelder Stadtgebietes wurden im Frühjahr 1985 Bodenproben entnommen – hier jeweils an 2 bis 4 Einzelstandorten –, wodurch sich Pilze und entsprechende Böden gut einander zuordnen ließen. Die Bezeichnungen der Bodenproben entsprechen den oben benannten Fundorten.

Insgesamt wurden 30 Bodenproben entnommen. Hierbei wurde aufliegendes Material zur Seite geräumt und eine spatentief große Probe aus den oberen 15 cm des Bodens zur Untersuchung entnommen. Diese Entnahmetiefe ergibt sich aus dem Hauptwachstumsbereich des Pilzmycel, das sich zwischen 1 und 15 cm unter der Bodenoberfläche befindet (4).

Pro Einzelstandort wurden an 2 bis 3 dicht beieinander liegenden Bereichen Proben entnommen und gemischt.

3.2 Vorbereitung der Pilzproben

Nach der botanischen Identifizierung wurden die gesammelten Pilze gereinigt und im Trockenschrank (105°C) bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Hier-nach erfolgte das Mahlen der Pilze (einzeln bzw. in kleinen Gruppen in der IKA – Schlagmühle). Das Pulver wurde jeweils in Papiertüten aufbewahrt.

3.2.1 Gesamtaufschluß

Der Gesamtaufschluß erfolgte als Naßaufschluß mit einem Gemisch (1:10) aus konz. Perchlorsäure und konz. Salpetersäure. Die klaren Probelösungen wurden nach Filtration in Kunststoffgefäßen bis zur Messung kühl gelagert.

3.2.2 Pepsinaufschluß

Zur Simulation der Magenverhältnisse wurden bei einigen exemplarisch aus-gewählten Pilzproben jeweils 2 bis 3 g des Pulvers in 20 ml Pepsinlösung (44) in einem auf 37°C temperierten Wasserbad leicht geschüttelt. Die Ver-weilzeit im Wasserbad betrug bei einer entsprechend angenommenen durch-schnittlichen Magenverweildauer 4 Stunden.

Nach dem Aufschluß wurden die Lösungen in PE – Szintillationsgefäße fil-triert und kühl gelagert.

3.3 Vorbereitung der Bodenproben

3.3.1 Gesamtaufschluß

Der Aufschluß der Bodenproben entspricht dem unter 3.2.1 für das Pilz-material beschriebenen Verfahren.

3.3.2 Ammoniumoxalat/Oxalsäure – Aufschluß

Durch 24 – stündiges Schütteln eines 1:100 – Ansatzes (Boden : Gemisch aus 0,2 m Ammoniumoxalat in 0,2 m Oxalsäure, pH 3) wurde der leichter lösliche Metallanteil des Bodens extrahiert (45). Die Aufbewahrung der Elu-tionen erfolgte in Kunststoffflaschen.

3.3.3 Analytik

Von den gemischten und homogenisierten Bodenproben wurde der pH – Wert in einer Wasseraufschlämmung (2,5:1) elektrometrisch gemessen (Fa. WTW). An Hand der Fingerprobe (49) wurde die jeweilige Bodenart grob ermittelt.

Der Humusgehalt wurde ausschließlich – wenn auffallend – optisch bestimmt.

Die Bodenproben wurden getrocknet (105°C) und auf eine Korngröße von 2 mm im Durchmesser gesiebt (40). Die Aufbewahrung des Materials bis zum Aufschluß erfolgte in Papiertüten.

Die Bestimmung sämtlicher Metallgehalte in den untersuchten Lösungen erfolgte mit Hilfe der Atomabsorptionsspektrophotometrie sowohl in der Flamme, als auch flammenlos in der Graphitrohrküvette (HGA 500) des Perkin – Elmer – Gerätes AAS, Typ 380.

Jede Probe wurde im Graphitrohr zweimal gemessen; bei der Flammentchnik dienten vier Messungen zur Mittelwertberechnung. Es ergaben sich so folgende Nachweisgrenzen:

Aluminium	:	1	ppm
Blei	:	0,02	ppm
Cadmium	:	0,04	ppm
Zink	:	1	ppm

Konzentrationen bezogen auf die Pilztrockensubstanz.

3.4 Vorversuche

3.4.1 Reproduzierbarkeit der Werte

Für die Abschätzung der Reproduzierbarkeit wurden von einem Pilzexemplar (Riesenbovist, *Langermannia gigantea*) 14 Parallelen aufgeschlossen. Als Mittelwerte und Standardabweichungen ergaben sich bei den Gesamtaufschlüssen:

Al	mg.kg ⁻¹ :	43,9	± 9,5	(21,6%)
Pb	mg.kg ⁻¹ :	0,44	± 0,02	(4,5%)
Cd	mg.kg ⁻¹ :	0,30	± 0,03	(10,0%)
Zn	mg.kg ⁻¹ :	143,4	± 5,2	(3,6%)

Die Reproduzierbarkeit der ermittelten Werte ist bei Blei und Zink als sehr gut anzusehen (Standardabweichung unter 5%). Ein Fehler von 10% bei der Cadmiumbestimmung mag als gerade noch tolerierbar gelten: in der Literatur lassen sich für Cadmiummessungen mittels AAS Standardabweichungen zwischen 7 und 12% finden (47). Die Fehler bei der Aluminiumbestimmung sind dagegen vergleichsweise sehr groß. Dies mag an der Schwierigkeit der Aluminiummessung selbst liegen (46), wonach Aluminiumbestimmungen mit dem AAS als sehr stöempfindlich gelten. Andererseits ist die besonders leichte Kontaminierbarkeit der Proben durch Aluminium zu berücksichtigen: als das häufigste Metall ist es leicht bei der Verarbeitung der Proben einzubringen (so z.B. durch Verschleppung geringster Bodenmengen an den Pilzen), was die hohe Standardabweichung mit bedingen könnte. Dieser mögliche Fehler

bei der Wertermittlung ist bei der Auswertung der Daten zu beachten. Bei den Parallelaufschlüssen zweier ausgewählter Pilzarten (*Xerocomus badius* und *Lepista nuda*) zur Bestimmung der Pepsinlöslichkeit ergaben sich folgende Werte in $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$:

	<i>Xerocomus badius</i> (Marone)	<i>Lepista nuda</i> (Violetter Ritterling)
Aluminium		16,0 ± 15,5 (96,9%)
Blei	0,18 ± 0,01 (5,6%)	1,37 ± 0,07 (5,1%)
Cadmium	12,3 ± 1,5 (12,3%)	0,8 ± 0,09 (11,2%)
Zink	107,3 ± 19,5 (18,2%)	23,2 ± 7,1 (30,6%)

Wie schon bei den Gesamtaufschlüssen weisen auch hier die Aluminiumwerte mit Abstand die stärksten Schwankungen auf. Die Zinkwerte, die sich bei Anwendung des Gesamtaufschlusses gut reproduzieren ließen, ergeben hier erheblich größere Differenzen. Bei Cadmium liegen die Schwankungen im oberen Toleranzbereich, während für das Element Blei eine gute Wiedergabe der Ergebnisse zu verzeichnen ist.

3.4.2 Der "wahre" Wert (Ringversuch)

Um die Richtigkeit der gemessenen Daten zu prüfen, wurden bei einigen Pilzproben weitere Labors mit der Analyse des vorbereiteten Pulvers beauftragt. Auf diese Weise wurden Ergebnisse von 3 Untersuchungsstellen erhalten, von denen eine die Methode der Röntgenfluoreszenzspektrometrie benutzte, während die beiden anderen an einem Zeeman-AAS (ZAAS) mit Feststoffeingebe (SM 1, Fa. Grün-Optik, Wetzlar) arbeiteten.

Die Aluminiumergebnisse sind aus organisatorischen Gründen nicht verglichen worden; hier wären jedoch noch größere Abweichungen zu erwarten (46). Während sich bei den Zink- und Bleimessungen im großen und ganzen tolerierbare Abweichungen ergeben, sind bei den Cadmiumparallelen die Unterschiede recht groß. Die Röntgenfluoreszenzspektrometrie konnte aus technischen Gründen keine Cadmiumgehalte ermitteln und fällt daher als Vergleichsmöglichkeit aus.

Die Gründe für diese Ergebnisse können unterschiedlich interpretiert werden. Diesbezüglich muß auf die ausführliche Arbeit verwiesen werden (106).

3.4.3 Die individuellen Unterschiede

Da an zahlreichen Standorten nur ein oder zwei Pilzindividuen pro Art zur Verfügung standen, trat die Frage auf, inwieweit die Metallgehalte von Exemplar zu Exemplar schwanken.

Eine Einschätzung dieser Frage ist zwar in etwa schon durch die Verarbeitung und Auswertung der Gesamtproben denkbar, da – wo es möglich war – jedes Einzelindividuum getrennt getrocknet, vermahlen und verascht wurde. In den weitaus meisten Fällen ist jedoch die Probenzahl zu gering, um stichhaltige Aussagen zu ermöglichen.

Zur Überprüfung dieser Zusammenhänge wurden hierauf zwei Pilzarten (*Russula mairei*, *Hypholoma sublateralitium*) untersucht.

Die Darstellung der Ergebnisse der Vorversuche mit den Standardabweichungen sind Abbildung 1 zu entnehmen.

Zwar sind die individuellen Abweichungen recht hoch, doch läßt sich bei Blei und Cadmium eine recht gute Einheitlichkeit der Metallgehalte pro Art finden, und nur wenige Exemplare fallen völlig aus dem Rahmen. In diesen Fällen ist auch eine Kontamination bei der Verarbeitung nicht völlig auszuschließen. Dies gilt ebenso für das Zink, wenn auch mit deutlich größerem Schwankungsbereich. Die weitaus am breitesten gestreuten Werte sind für das Aluminium festzustellen. Hier scheinen die Konzentrationen in den einzelnen Pilzexemplaren stärker zu variieren, so daß die individuell bedingten Unterschiede stichhaltige Schlußfolgerungen aus Einzelmessungen zusätzlich erschweren.

3.5 Auswertung und Statistik

Sämtliche Histogramme und Korrelationsberechnungen wurden mit einem Rechner der Fa. Commodore, Typ 8296 durchgeführt. Für die Darstellungen wurde ein Plotter der Fa. Hewlett Packard, Typ 7470 herangezogen.

4. Ergebnisse

4.1 Pilze

Sämtliche Ergebnisse des Gesamtaufschlusses der Pilzproben sind – alphabetisch nach Artnamen geordnet – in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Werte in Klammern geben die jeweils ermittelten Konzentrationen im Pepsinaufschluß wieder. Alle Metallgehalte sind angegeben in ppm (=mg/kg), bezogen auf die Trockensubstanz.

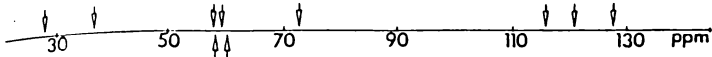
St = Standort (Abkürzung nach 3.1)

n = Probenzahl.

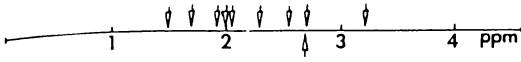
4.2 Böden

In Tabelle 2 werden die Ergebnisse der Untersuchungen der Bodenproben wiedergegeben. Sämtliche Daten sind angegeben in ppm (= mg/kg) bezogen auf die Trockensubstanz.

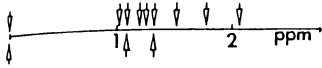
Russula mairei



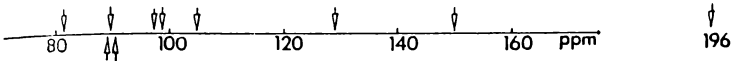
Aluminium: $85,0 \pm 36,8$ (43%)



Blei: $2,7 \pm 0,7$ (25,9%)

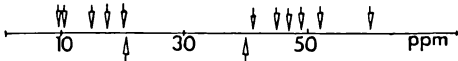


Cadmium: $1,3 \pm 0,3$ (23,1%)

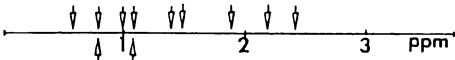


Zink: $136,1 \pm 43,1$ (31,7%)

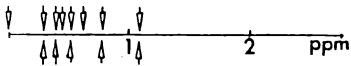
Hypholoma sublatericum



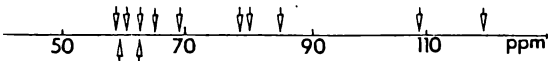
Aluminium: $33,4 \pm 18$ (54,2%)



Blei: $1,6 \pm 0,6$ (37,5%)



Cadmium: $0,5 \pm 0,2$ (40%)



Zink: $87,6 \pm 22,3$ (25,6%)

Abb. 1: Vergleich der individuellen Unterschiede bei zwei Pilzarten

Tabelle 1: Gesamtmetallgehalte in den untersuchten Pilzproben;
 Pepsinlösliche Metallgehalte – wenn gemessen – in Klammern
 (Konz. in ppm); n: Zahl an analysierten Individuen

Pilz	Standort	n	Al	Pb	Cd	Zn
<i>Agaricus bitorquis</i> (Scheiden-Egerling)	X	1	365	0,2	10,3	108
	E-1	1	116	4,3	4,7	41,0
	POE	1	3894	10,7	16,3	88,3
	POE	1	2516	2,3	15,7	98,6
	POE	1	1392(18)	4,2(0,7)	9,9(9,6)	84,1(33,4)
	POE	1	2214	4,0	1,6	101,1
	GEL	1	973	4,9	4,2	375
	GEL	1	1005	9,3	9,1	66,9
<i>Agaricus campester</i> (Feld-Egerling)	WAR	1	82(nn)	0,5(0,4)	0,3(0,3)	72,5(216)
<i>Agaricus hortensis</i> (Garten-Egerling)	MUS	1	219(20)	5,8(1,0)	72,7(65,8)	120,0(112)
<i>Agaricus langei</i> (Großer Wald-Egerling)	X	1	1914	2,9	4,5	353
<i>Agaricus silvaticus</i> (Wald-Egerling)	P-2	2	85	52,3	7,6	128
<i>Agaricus xanthodermus</i> (Karböl-Egerling)	MUS	2	153(nn)	14,8(8,4)	13,5(11,8)	79,8(68,1)
<i>Aleuria aurantia</i> (Gemeiner Orangebecherling)	U-2	1	270	2,3	n.n	151
	U-2	1	928	5,2	0,07	180
<i>Amanita citrina</i> (Gelber Knollen- blätterpilz)	UMM	1	84	2,3	1,6	287
	P-1	4	91	4,8	4,0	188
	P-2	2	215	4,6	2,1	233
	MAI	6	28	3,1	5,3	179
	P-3	1	111	3,1	1,4	200
	P-3	1	118	2,2	3,1	179
	P-3	2	111	5,9	5,9	227
<i>Amanita fulva</i> (Brauner Scheidenstreifling)	R	8	137	2,1	3,3	38,2
<i>Amanita muscaria</i> (Fliegenpilz)	Q-4	1	69	2,7	7,8	289
<i>Amanita pantherina</i> (Pantherpilz)	P-1	2	73	2,1	9,7	23,6
<i>Amanita pantherina</i> (Pantherpilz)	P-1	3	313(41)	2,0(0,6)	13,0(11,2)	180,0(164)
<i>Amanita phalloides</i> (Grüner Knollen- blätterpilz)	F-1	1	300	13,1	1,7	149
	F-1	1	502(93)	13,6(6,1)	2,3(1,9)	150,0(110)
<i>Amanita rubescens</i> (Perlpilz)	UMM	2	138	2,6	5,3	38,0
	C-3	4	434	0,6	4,3	132
	Q-2	1	117	1,5	3,7	142
	RAM	1	332(79)	42,7(5,1)	2,3(1,7)	149(82,6)
	RAM	1	716(105)	26,7(7,1)	2,9(1,7)	152(87,2)
	R	1	77	1,7	2,4	140
	R	1	140	1,2	2,5	145
	R	4	65	2,7	3,8	149
	MAI	2	360	2,9	3,3	166
	P-2	3	186	6,3	7,1	135

Fortsetzung Tabelle 1: Gesamtmetallgehalte in den untersuchten Pilzproben.

Pilz	Standort	n	Al	Pb	Cd	Zn
<i>Amanita spissa</i> (Grauer Wulstling)	K	1	382(110)	12,5(2,8)	2,7(2,2)	185(105)
	K	1	392	6,9	5,5	201
	K	1	376	18,1	6,9	201
	RAM	1	1794(57)	30,7(3,2)	3,1(2,6)	141(123)
	RAM	1	1710(130)	29,3(2,7)	3,1(2,1)	140(75,0)
<i>Amanita strobiliformis</i> (Fransiger Wulstling)	U-1	2	81	3,5	1,0	81,3
	A-1	1	491(13)	3,1(1,4)	8,2(7,5)	12,6(n.n.)
<i>Amanita vaginata</i> (Grauer Scheidenstreifling)	A-1	1	423	3,3	8,5	11,2
	O	4	1649	7,7	1,5	146
<i>Armeniella mellea</i> (Hallimasch)	O	21	174	1,9	5,7	131
	U-1	4	n.n.	1,6	1,8	77,7
	U-1	5	81	1,1	2,8	174
	U-1	6	30	0,8	1,9	68,4
	P-1	5	53	1,3	7,0	90,2
	P-1	5	n.n.	0,7	8,7	92,9
	P-1	5	69	1,2	5,2	76,8
	R	30	23(n.n.)	1,0(0,3)	21,4(19,8)	55,8(25,1)
	R	24	36	0,9	20,6	63,4
	R	22	101	1,3	22,8	78,2
<i>Boletinus cavipes</i> (Hohlfuß-Röhrling)	R	7	101	1,4	4,9	80,7
	R	2	125	1,4	3,7	59,7
	R	2	66	1,3	5,2	101
<i>Boletes edulis</i> (Steinpilz)	O	1	799	1,8	9,0	120
	Q-4	1	150	1,6	10,1	135
	MAI	1	392	2,1	17,3	198
<i>Boletus erythropus</i> (Flockenstieliger Hexen-Röhrling)	P-2	1	191	1,8	2,1	71,9
	C-1	1	84(13)	0,9(0,2)	1,2(0,9)	46,4(45,0)
<i>Calocybe gambosa</i> (Maipilz)	STE	1	24(n.n.)	1,2(0,1)	1,1(1,1)	132,0(127)
	E-1	1	170(n.n.)	4,7(1,1)	18,0(9,9)	177,0(80,2)
<i>Calocybe gambosa</i> (Maipilz)	E-1	1	76	4,0	12,1	224
	E-1	1	n.n.(114)	2,5(18,0)	14,7(8,4)	144,0(113)
	E-1	1	140	0,5	20,8	133
	K	1	161	2,1	15,3	144
	K	1	138	1,6	5,7	132
	SUD	1	406	2,4	20,6	135
	SUD	1	364	3,2	78,6	179
	SUD	1	429	2,1	24,1	153
	WAR	1	98	1,9	7,4	138
	WAR	1	153	1,2	5,0	123
	WAR	1	75	2,2	8,7	210
	PAD	3	2141	4,5	19,2	201
	PAD	5	921	4,2	27,3	217
	PAD	2	2225(n.n.)	5,2(0,9)	17,4(2,3)	196(98,8)
	KAS	1	207	0,4	8,9	187
	KAS	3	459	1,7	10,9	156
	KAS	3	1916	5,4	8,0	136

Fortsetzung Tabelle 1: Gesamtmetallgehalte in den untersuchten Pilzproben.

Pilz	Standort	n	Al	Pb	Cd	Zn
	KAS	2	449	2,5	7,4	220
	KAS	4	523	2,2	7,8	126
	KAS	3	339	1,3	7,9	108
<i>Calvatia excipuliforme</i>	0	1	307	7,3	1,1	298
(Beutel-Stäubling)	0	1	177	4,4	0,3	72,4
	0	1	165	3,5	5,2	90,3
	Q-1	1	85(n.n.)	14,3(4,6)	2,8(2,6)	249,0(144)
	U-2	8	125(10)	12,4(0,3)	5,0(1,8)	283,0(93,0)
	D-1	1	195	10,8	5,5	138
	D-1	1	903	11,6	4,3	145
<i>Cantharellus cibarius</i>	D-3	1	160	1,1	0,4	44,8
(Pfifferling)	D-3	1	208	1,2	0,7	45,3
	D-3	1	293	1,5	0,5	63,3
	Q-3	3	322	3,5	1,7	229
<i>Cantharellus tubaeformis</i>	P-5	5	146	6,8	1,2	56,7
(Trompeten-Pfifferling)	P-5	5	139	6,7	3,1	98,3
	P-5	6	141	3,2	2,2	60,9
<i>Clitocybe cerussata</i>	Q-2	2	211	4,0	18,5	86,8
(Bleiwießer Trichterling)	Q-2	2	116	3,7	11,2	92,5
	Q-2	3	194	7,0	12,7	79,6
	MAI	4	117	8,1	0,07	89,2
	MAI	4	200	5,5	1,4	82,7
	MAI	4	286	5,2	0,9	117
	LOH	3	185	4,6	1,5	76,5
<i>Clitocybe clavipes</i>	0	2	188	1,7	1,2	81,2
(Keulenweißer Trichterling)						
<i>Clitocybe geotropa</i>	T-2	1	247	3,3	6,1	121
(Mönchskopf)	T-2	1	300	3,3	7,0	121
<i>Clitocybe inornata</i>	U-2	6	112	2,0	0,6	77,6
(Graublättriger Trichterling)						
<i>Clitocybe maxima</i>	LÄM	3	676	2,5	2,8	128
(Riesen-Trichterling)	LÄM	1	120	0,6	3,9	100
	LÄM	1	850	2,8	2,6	119
<i>Clitocybe odora</i>	0	7	349	9,8	0,7	151
(Grüner Anis-Trichterling)						
<i>Collybia acervata</i>	MAI	5	234	1,5	1,0	78,0
(Büschel-Rübling)	MAI	5	295	1,3	0,8	86,4
	MAI	5	47	2,2	0,6	95,2
	MAI	10	132	1,7	0,8	81,2
<i>Collybia butyracea</i>	0	7	513(35)	15,0(0,8)	13,7(11,1)	299(147)
(Butter-Rübling)	T-2	5	376	1,7	29,0	199
	T-2	5	287	1,6	26,6	181
	U-1	13	328(35)	10,4(0,2)	6,4(6,0)	117 (117)
<i>Collybia confluens</i>	F-1	10	159	0,8	62,8	153
(Knopfstieliger Rübling)	F-1	11	55	0,9	64,8	145
	D-1	20	139	4,8	41,8	172

Fortsetzung Tabelle 1: Gesamtmetallgehalte in den untersuchten Pilzproben.

Pilz	Standort	n	Al	Pb	Cd	Zn
<i>Collybia dryophila</i> (Waldfreund-Rübling)	C-3	8	396	2,2	11,2	237
<i>Collybia fusipes</i> (Spindeliger Rübling)	E-1	4	57	0,1	0,8	37,9
	E-1	3	77	1,1	0,3	41,0
	RAM	4	91	0,8	1,6	149
<i>Collybia maculata</i> (Gefleckter Rübling)	T-2	2	n.n.	4,1	1,5	99,4
	T-2	2	n.n.	5,9	1,6	136
	U-1	2	49	3,3	2,1	141
	U-1	2	100	3,4	1,8	131
	U-1	2	47(n.n.)	6,3(2,2)	1,9(1,5)	149(97,3)
	LOH	9	36	7,7	1,4	111
<i>Collybia peronata</i> (Brennender Rübling)	C-3	7	137(15)	4,1(1,3)	14,6(12,9)	91,1(66,5)
	C-3	8	126	3,7	13,9	98,3
	RAM	2	469	0,3	23,5	103
<i>Coprinus atramentarius</i> (Falten-Tintling)	P-1	2	99	0,2	0,5	143
<i>Cortinarius integerrimus</i> (Schleimfuß)	U-2	3	137(n.n.)	4,7(0,4)	35,4(26,9)	101(61,0)
<i>Entoloma rhodopolium</i> (Niedergedrückter Rötling)	N	3	213	1,8	7,0	133
<i>Gymnopilus spectabilis</i> (Beringter Flämmling)	N	2	783	3,3	3,0	213
	N	1	401	3,1	2,3	214
<i>Gyromitra esculenta</i> (Frühjahrs-Lorchel)	R	1	228	7,1	3,1	179
<i>Grifola frondosa</i> (Klapperschwamm)	U-2	8	82	2,2	1,9	37,8
<i>Helvella crispa</i> (Herbst-Lorchel)	F-1	1	475	2,3	0,7	42,5
	P-2	4	337	1,5	7,1	485
	P-2	4	468	2,0	4,1	375
	P-2	4	361	1,7	4,6	406
<i>Helvella lacunosa</i> (Gruben-Lorchel)	P-2	3	192	0,9	n.n.	448
<i>Hydnum repandum</i> (Semmelstoppelpilz)	SAU	3	119	1,9	0,8	42,6
<i>Hygrophorus cossus</i> (Verfärbender Schneckling)	T-1	6	29	2,2	3,5	161
	T-1	7	100	2,2	4,5	141
	T-1	8	209	2,2	3,2	113
	T-1	8	259	1,8	2,4	111
<i>Hygrophorus eburneus</i> (Elfenbein-Schneckling)	N	10	1892	10,8	2,1	150
	N	10	998	6,2	4,3	228
	N	4	1274	5,7	3,4	194
	T-1	16	790	3,2	4,5	164
<i>Hygrophorus leucophaeus</i> (Seidiggerandeter Schneckling)	N	17	113(23)	10,2(1,9)	2,0(1,6)	93,3(51,1)
	T-3	7	346	2,1	3,0	83,6
	T-3	7	100	1,7	2,5	79,6
	T-3	4	234	2,8	1,1	61,6
<i>Hygrophorus penarius</i> (Trockener Schneckling)	T-1	1	1072	2,2	0,3	62,5
	T-1	1	801	2,0	1,2	55,4

Fortsetzung Tabelle 1: Gesamtmetallgehalte in den untersuchten Pilzproben.

Pilz	Standort	n	Al	Pb	Cd	Zn
<i>Hygrophorus</i>	T-3	21	1773	4,3	8,0	97,1
<i>pustulatus</i>	MAI	6	246	5,1	3,2	121
(Schwarzpunktierter Schneckling)						
<i>Hypholoma capnoides</i>	?	1	37	0,9	2,7	106
(Rauchblättriger Schwefelkopf)	?	1	66	0,8	3,1	95,8
	0	1	n.n.	1,1	1,9	49,2
	0	2	78	1,1	2,5	64,0
	0	3	n.n.	1,3	1,3	68,1
<i>Hypholoma</i>	0	1	383	3,4	1,2	57,6
<i>sublatericum</i>	0	1	30	0,6	0,1	37,6
(Ziegelroter Schwefelkopf)	0	1	295	2,3	0,6	79,6
	Q-3	6	28	1,6	0,9	76,3
	MAI	1	73	1,0	0,2	117
	MAI	1	124	0,9	0,8	98,2
	MAI	3	124	2,3	0,6	78,4
	MAI	1	229	1,1	0,5	72,3
	MAI	1	77	0,6	0,2	66,0
	P-1	3	115	0,9	1,2	77,1
	P-1	3	51	0,7	0,9	75,5
	P-1	4	63	0,6	0,4	78,9
	P-1	1	96	0,9	0,5	76,4
	LOH	1	42	1,1	0,3	86,4
	LOH	1	48	1,5	n.n.	79,5
	LOH	1	10	2,4	0,4	65,7
	LOH	1	20	0,6	0,4	109
	LOH	1	10	0,8	0,3	58,1
	LOH	1	21	5,8	0,5	223
	LOH	1	61	1,1	0,5	63,4
	LOH	1	45	1,0	0,6	61,6
	LOH	1	51	2,2	1,2	119
	LOH	1	14	0,8	0,7	63,2
	LOH	1	41	1,4	0,7	69,3
	LOH	1	18	1,9	1,0	81,1
	LOH	1	50	1,6	0,4	59,2
<i>Kuehneromyces</i>	R	8	351	4,3	0,06	69,9
<i>mutabilis</i>	R	2	242	4,8	0,3	78,0
(Stockschwämmchen)	T-2	12	131	2,2	0,7	93,6
	P-1	7	209	2,1	0,8	157
<i>Laccaria amethystina</i>	0	7	722	13,2	0,8	72,3
(Amethystblauer Lacktrichterling)	T-2	9	267(n.n.)	19,3(1,2)	4,3(2,8)	213(57,6)
	P-2	6	612	4,2	1,6	117
	MAI	12	178	5,5	0,6	101
	P-3	6	64	4,6	5,9	92,5
	P-3	8	141	3,8	3,1	109
<i>Laccaria laccata</i>	R	24	53	6,7	5,2	115
(Rosa-Bläuling)	R	16	93	7,6	5,5	123
	R	30	233	5,8	6,3	126

Fortsetzung Tabelle 1: Gesamtmetallgehalte in den untersuchten Pilzproben.

Pilz	Standort	n	Al	Pb	Cd	Zn
<i>Lactarius blennius</i>	N	1	304	3,6	0,3	66,3
(Graugrüner Milchling)	N	1	616	4,0	0,2	55,0
	T-3	3	53	4,5	2,4	64,1
	T-3	3	97	6,9	1,5	71,6
	T-3	8	86	1,9	2,5	54,7
	U-1	5	159	3,5	1,9	250
	P-5	2	84	2,2	5,3	86,6
	P-5	4	22	1,7	6,2	73,0
	MAI	1	254	2,1	0,9	59,0
<i>Lactarius deliciosus</i>	P-3	1	316	11,0	2,6	243
(Echter Reizker)						
<i>Lactarius deterrismus</i>	P-4	3	75	2,7	0,8	184
(Fichten-Blutreizker)	P-4	2	45	1,7	1,7	209
	MAI	5	93	2,0	n.n.	225
	MAI	3	86	1,8	2,8	227
	MAI	2	119	2,3	2,2	264
	P-4	7	92	2,1	2,6	164
<i>Lactarius necator</i>	T-3	1	1021	5,4	2,0	151
(Tannen-Reizker)	T-3	1	1054	8,8	1,2	192
<i>Lactarius rubrocinctus</i>	0	1	501	3,6	1,3	128
(Rotgürteliger	0	1	184	2,0	2,3	97,0
Milchling)	0	1	428	2,9	1,1	100
<i>Lactarius rufus</i>	R	12	67	3,9	8,5	127
(Rotbrauner Milchling)	R	5	319	6,2	6,0	140
	R	10	50	3,6	5,2	116
<i>Lactarius vellereus</i>	N	1	650	4,8	6,0	75,0
(Wolliger Milchling)	N	1	829	4,6	1,2	74,7
	N	1	614	3,4	3,6	88,2
<i>Langermannia gigantea</i>	BAD	1	44	0,4	0,3	143
(Riesen-Bovist)						
<i>Leccinum scabrum</i>	Q-4	1	83	2,9	5,5	160
(Birken-Röhrling)	Q-4	1	172	5,0	4,7	188
<i>Leccinum quercinum</i>	P-5	1	55	3,9	0,4	359
(Eichen-Rotkappe)						
<i>Lentinellus</i>	MAI	10	18	4,0	n.n.	114
<i>cochleatus</i> (Anis-Zähling)						
<i>Leotia lubrica</i>	P-5	1	72	8,4	0,7	127
(Grüngelbes	P-5	1	64	8,1	3,4	69
Gallertkappchen)						
<i>Lepiota</i>	D-3	1	270	1,1	3,9	82,4
<i>acutis squamosa</i>	D-3	2	297	2,0	4,8	92,5
(Spitzschuppiger	Q-1	1	95	1,8	2,5	49,1
Schirmling)						
<i>Lepiota aspera</i>	D-1	6	535	2,2	4,4	100
	0	4	1128	3,1	4,7	159
	0	1	354	3,3	3,9	120
	0	1	940	2,5	0,9	93,4
	0	1	466	3,5	1,2	97,3
	0	1	798	3,4	1,2	94,8

Fortsetzung Tabelle 1: Gesamtmetallgehalte in den untersuchten Pilzproben.

Pilz	Standort	n	Al	Pb	Cd	Zn
<i>Lepiota cristata</i> (Stink-Schirmling)	P-1	9	165	11,6	1,9	171
<i>Lepista inversa</i> (Fuchsiger Rötleritterling)	0	2	231	3,6	0,9	137
	0	2	250	5,3	n.n.	152
	LOH	19	134	2,1	0,7	123
<i>Lepista</i> <i>nebularis</i>	BOR	1	10	3,9	5,7	183
	BOR	1	21	3,1	4,1	184
	U-2	1	99	2,9	4,3	110
<i>Lepista nuda</i> (Violetter Rötleritterling)	P-6	13	103(16)	5,5(1,4)	1,1(0,8)	34,1(23,2)
	BOR	1	39	1,4	5,8	63,2
	MAI	2	91	2,2	n.n.	126
	MAI	1	113	2,6	n.n.	102
<i>Lepista sordida</i> (Schmutziger Rötleritterling)	U-2	2	59	4,2	n.n.	127
	U-2	4	133	5,3	n.n.	118
<i>Lycoperdon perlatum</i> (Flaschen-Stäubling)	P-2	1	142	0,5	6,3	214
	P-2	1	104	2,1	4,3	205
<i>Lycoperdon pyriforme</i> (Birnen-Stäubling)	P-2	4	58	5,6	10,3	101
	P-2	6	70	7,3	11,1	112
	P-2	8	101	7,9	12,3	107
	C-3	3	37	10,1	19,2	125
	C-3	3	76	12,3	24,9	195
	C-3	4	48	11,2	55,4	111
	P-4	5	64	8,6	0,8	118
	P-4	5	61	5,3	1,9	132
	P-4	5	199	2,6	0,8	120
<i>Lyophyllum connatum</i> (Weißer Rasling)	Q-3	5	88	2,8	0,8	806
	LOH	13	196	2,1	3,6	45,6
<i>Lyophyllum fumosum</i> (Geselliger Rasling)	Q-3	4	101	3,2	5,1	61,3
	Q-3	6	73	0,5	3,7	94,7
	Q-3	8	58	3,8	6,7	86,5
<i>Lyophyllum loricatum</i> (Knäueliger Rasling)	T-2	3	360	2,4	2,1	93,9
	T-2	6	602	3,4	2,5	85,2
	T-2	5	592	5,0	1,6	114
<i>Macrolepiota procera</i> (Parasol)	SAU	1	102	13,6	2,7	106
	SAU	1	131(n.n.)	23,7(4,5)	4,1(3,6)	132(59,3)
	LÄM	1	n.n.	7,0	1,4	72,3
<i>Macrolepiota rhacodes</i> (Safran-Schirmpilz)	LOH	4	97	8,0	0,1	196
	LOH	5	178	5,8	n.n.	174
<i>Marasmius wynnei</i> (Violetter Schwindling)	D-1	6	492	5,7	1,2	84,8
	D-1	5	388	5,7	1,5	92,8
	D-1	5	304	6,1	1,0	90,6
<i>Melanoleuca cognaca</i> (Cognacfarbener Weichritterling)	0	1	161	2,4	3,4	237
<i>Melanoleuca melaleuca</i> (Gemeiner Weichritterling)	0	1	229	20,4	689	118
	0	1	257	22,4	674	123
	POE	2	483(n.n.)	66,2(5,1)	40,2(40,5)	181(89,8)
	POE	1	534	67,1	40,3	173

Fortsetzung Tabelle 1: Gesamtmetallgehalte in den untersuchten Pilzproben.

Pilz	Standort	n	Al	Pb	Cd	Zn
<i>Mitrophora semilibera</i>	PAD	4	762	9,4	1,6	185
(Käppchen-Morchel)	PAD	1	956	5,2	2,3	165
<i>Morchella elata</i>	ANT	1	102	4,9	1,3	177
(Hohe Morchel)						
<i>Morchella esculenta</i>	PAD	1	23	0,9	2,7	224
(Rund-Morchel)	PAD	1	204(10)	3,4(0,2)	3,8(3,2)	514(236)
	WAR	1	2541	1,7	0,3	148
	WAR	1	632	1,1	0,5	121
	PAD	1	245	1,0	2,0	208
	PAD	1	105	0,6	2,2	245
<i>Mycena galericulata</i>	N	7	244	3,9	0,2	126
(Rosablättriger	T-2	10	107	1,7	2,9	107
Helmling)	MAI	4	179	2,7	n.n.	138
<i>Mycena inclinata</i>	MAI	4	229	2,6	1,4	188
(Buntstieliger	MAI	5	116	2,8	0,9	180
Helmling)	MAI	9	14	2,5	1,2	132
	LOH	23	78	0,4	0,6	57,8
<i>Mycena maculata</i>	LOH	15	486(30)	16,3(0,4)	0,9(0,8)	156 (90,3)
(Gefleckter Helmling)	U-2	2	221	3,6	3,8	80,8
<i>Oudemansiella</i>	P-2	2	184	1,3	0,07	44,2
<i>platyphylla</i>	P-2	2	129	1,6	0,3	36,2
(Breitblättriger Schleim-Rübling)						
<i>Oudemansiella</i>	T-3	1	255	1,5	2,4	65,7
<i>radicata</i> (Grubiger Schleim-Rübling)						
<i>Paxillus involutus</i>	P-1	2	62	1,9	0,4	189
(Kahler Krempling)	P-2	3	n.n.	1,8	n.n.	144
	P-2	5	n.n.	1,7	0,2	133
	P-2	3	n.n.	2,1	0,9	164
<i>Pholiota flammans</i>	R	4	15	1,7	3,0	116
(Feuer-Schüppling)						
<i>Pholiota squarrosa</i>	U-1	4	n.n.	0,5	6,5	34,0
(Sparriger	U-1	5	7	0,6	3,7	45,0
Schüppling)	U-1	5	6	0,8	6,7	54,1
<i>Pleurotus ostreatus</i>	POE	4	184	2,4	2,1	60,3
(Austern-	GÜT	1	34	0,3	0,7	77,5
seitling)	GÜT	1	70	0,4	0,9	62,2
	GÜT	1	86	0,3	0,7	63,5
	GÜT	1	148	0,6	0,8	88,1
	GÜT	1	149	1,3	0,8	107
	GÜT	1	295	0,5	1,0	124
	GÜT	1	124	0,6	1,4	84,3
	GÜT	1	677	1,2	1,7	103
	GÜT	1	356	0,7	1,6	92,8
<i>Pluteus atricapillus</i>	T-2	4	698(n.n.)	4,8(0,3)	17,9(12,9)	151(114)
(Rehbrauner Dachpilz)	MAI	2	575	3,0	5,0	115
<i>Psathyrella hydrophila</i>	0	4	361	2,4	0,8	102
(Wäßriger Faserling)	0	6	744	4,1	0,9	101

Fortsetzung Tabelle 1: Gesamtmetallgehalte in den untersuchten Pilzproben.

Pilz	Standort	n	Al	Pb	Cd	Zn
<i>Psathyrella velutina</i> (Tränender Saumpilz)	N	6	273	3,8	0,9	114
<i>Pseudoclitocybe</i> <i>cyathiformis</i> (Kaffeebrauner Trichterling)	G P-5	6 2	228 187(n.n.)	4,9 2,1(0,4)	9,1 21,7(21,1)	148 131(107)
<i>Ramaria formosa</i> (Schöne Koralle)	SAU	1	255	2,3	1,6	65,8
<i>Ramaria</i> <i>ochraceo-virens</i> (Fichten-Koralle)	SAU HES	1 6	232 174	6,2 4,6	3,2 0,4	64,3 113
<i>Russula aeruginea</i> (Grasgrüner Täubling)	N	1	835	6,9	0,3	79,9
<i>Russula amoenolens</i>	N	1	523(10)	3,0(0,2)	34,0(27,6)	130(58)
<i>Russula atropurpurea</i> (Roter Täubling)	N	4	768	4,0	0,5	118
<i>Russula cyanoxantha</i> (Frauen-Täubling)	U-1	7	224	1,3	4,1	120
	S	5	177	5,1	3,9	112
	S	1	162	7,4	1,4	79,2
	S	4	212	5,3	2,3	74,2
	S	1	61	2,3	1,7	82,0
	MAI	1	85	3,4	2,9	99,6
	MAI	1	156	2,3	1,8	107
	O	1	796	7,8	2,1	67,8
	O	1	341	6,2	n.n.	64,0
	O	1	1135	7,1	0,4	87,9
<i>Russula fellea</i> (Gallen-Täubling)	O	2	419(n.n.)	17,5(0,9)	n.n.(n.n.)	1589(490)
	Q-2	3	161	5,0	9,2	163
	U-1	4	159	2,5	5,2	121
	U-1	3	125	2,3	3,2	31,1
	U-1	3	142	2,2	4,1	31,3
<i>Russula foetens</i> (Gemeiner Stinktäubling)	B-2	1	102	12,0	7,5	81,7
<i>Russula mairei</i> (Buchen-Speitäubling)	P-2	1	60	2,7	1,2	83,4
	P-2	1	124	2,7	n.n.	98,3
	P-2	1	59	2,3	1,1	97,3
	P-2	1	28	2,0	1,8	90,6
	P-2	1	106	3,1	2,1	128
	P-2	1	37	1,7	1,5	150
	P-2	1	128	2,0	1,4	196
	P-2	1	74	6,9	1,1	106
	P-2	1	202	2,5	n.n.	365
	P-2	1	57	1,5	1,3	92,0
	P-2	1	61	2,0	1,1	89,1
	MAI	4	76	1,4	0,5	88,4
	MAI	5	154	1,3	0,04	65,5
	Mai	4	123	1,3	0,04	66,1
	P-1	5	74	3,9	2,9	95,6
	P-1	5	18	1,9	1,9	61,7
	P-1	5	19	1,8	2,2	73,7

Pilz	Standort	n	Al	Pb	Cd	Zn
<i>Russula nigricans</i> (Dickblättriger Schwarzstäubling)	N	1	96	2,3	0,5	51,1
	N	2	261	2,5	0,07	53,8
	N	2	159	2,5	0,07	58,0
	T-3	5	770	4,6	2,4	68,9
	U-1	6	154	7,0	5,0	50,6
	P-2	1	136	1,7	3,0	53,8
	P-2	1	194	4,7	8,0	186
	P-2	1	210	2,2	1,5	55,8
	P-2	1	91(n.n.)	1,4(0,1)	15,3(0,8)	46,3(n.n.)
	P-2	1	n.n.	1,8	8,5	69,9
	P-2	1	72	3,1	1,5	56,7
	MAI	1	71	2,8	2,1	43,1
	MAI	1	135	1,8	1,5	46,9
	MAI	2	1489	1,9	1,9	47,3
<i>Russula ochroleuca</i> (Ocker Täubling)	T-2	1	285(41)	15,6(1,8)	3,2(1,9)	383(282)
	T-2	1	262	14,1	3,2	337
	P-1	2	22	3,6	6,5	389
	P-1	2	69	3,6	1,1	401
<i>Russula queletii</i> (Stachelbeer-Täubling)	P-4	2	103	1,9	4,6	115
	P-1	1	88	2,6	7,3	126
<i>Russula rosacea</i> (Zinnober-Täubling)	U-1	2	82	2,6	0,2	89,1
	U-1	2	162	6,5	0,9	142
	U-1	2	22	3,4	1,2	48,0
	U-1	3	98	6,1	1,0	102
<i>Russula rosea</i> (Rosa Täubling)	N	1	774	3,6	1,2	146
<i>Russula romellii</i> (Weißstieliger Ledertäubling)	I-1	3	649	11,7	5,8	391
	I-1	2	157	3,3	0,5	309
	I-1	1	283	8,3	1,3	278
<i>Russula sardonia</i> (Zitronenblättriger Täubling)	Q-4	3	114	2,8	3,5	141
<i>Russula solaris</i> (Sonnen Täubling)	O	2	254	4,5	0,07	352
<i>Russula vesca</i> (Speise-Täubling)	O	3	251	6,2	5,4	53,8
<i>Russula violeipes</i> (Pfirsichgelber Täubling)	S	12	163	7,9	5,5	151
	S	5	193	7,2	4,5	154
	S	4	187	9,3	5,7	161
	S	2	791(19)	6,7(1,5)	8,4(6,1)	66(107)
	RAM	6	65	16,7	4,9	98,3
	RAM	2	102	18,0	9,0	132
	RAM	2	78(23)	4,9(1,2)	7,6(6,4)	130(68,7)
	RAM	1	398	16,1	6,6	138
	RAM	1	620	21,7	6,3	184
	RAM	1	861	15,3	8,3	106
	RAM	1	602	7,0	7,3	144
RAM	1	607	6,7	7,2	197	

Fortsetzung Tabelle 1: Gesamtmetallgehalte in den untersuchten Pilzproben.

Pilz	Standort	n	Al	Pb	Cd	Zn
<i>Russula xerampilina</i> (Herings-Täubling)	N	1	2361	4,3	3,1	90,6
<i>Scleroderma citrinum</i> (Kartoffelbovist)	STU	1	88	1,5	0,3	165
	STU	1	92	2,7	0,2	167
	MAI	1	n.n.	1,4	0,09	177
	MAI	1	93	0,7	0,04	152
	MAI	1	106	0,6	0,08	154
	P-1	3	27	0,5	n.n.	313
	P-1	3	24	0,8	n.n.	275
	P-1	3	n.n.	0,8	n.n.	264
<i>Stropharia aeruginosa</i> (Grünspan-Träuschling)	N	2	466	8,3	0,9	72,3
<i>Stropharia cyanea</i>	T-2	5	507	2,6	3,9	115
	U-2	2	35	2,0	0,7	56,7
	U-2	2	136	1,8	0,8	83,9
	U-2	2	232	1,9	1,2	82,3
<i>Stropharia squamosa</i> (Schuppiger Träuschling)	0	5	616	3,3	10,6	160
	0	3	462	2,4	4,0	139
<i>Suillus grevillei</i> (Gold-Röhrling)	R	10	74	4,4	5,4	166
<i>Tricholoma</i> <i>atrosquamosum</i> (Schwarzschruppiger Ritterling)	N	2	162	2,9	6,7	62,8
<i>Tricholoma cingulatum</i> (Gegürtelter Erdritterling)	Q-1	1	112	2,1	5,8	262
	Q-1	1	202	2,5	5,1	304
	Q-1	1	115	2,7	1,7	292
<i>Tricholoma columbetta</i> (Seidiger Ritterling)	D-2	6	96	0,3	4,6	143
<i>Tricholoma inamoenum</i> (Lästiger Ritterling)	T-1	6	262	2,3	5,3	90,3
	T-1	3	252	2,0	6,1	101
<i>Tricholoma lascivum</i> (Unverschämter Ritterling)	N	3	184	4,2	3,6	89,4
	N	3	1590	4,8	5,6	92,6
	N	4	428	4,6	9,9	103
<i>Tricholoma lipista</i> (Masken Ritterling)	STU	2	266	3,7	9,0	175
	STU	1	258	3,8	7,5	194
<i>Tricholoma oirubens</i> (Rötlicher Ritterling)	T-2	6	266	4,7	3,7	188
	T-2	5	263	4,3	6,6	187
	T-2	5	298(37)	2,9(2,5)	4,8(4,2)	181(105)
<i>Tricholoma</i> <i>portentosum</i> (Schwarzfaseriger Ritterling)	Q-4	1	4	2,1	12,3	120
	MAI	3	94	1,2	3,7	156
<i>Tricholoma</i> <i>scalpturatum</i> (Gilbender Ritterling)	SAU	10	229(45)	2,4(0,2)	10,5(8,5)	212(156)
	N	5	771	6,2	4,0	99,1
	T-2	6	415	2,8	2,3	222
	T-2	4	266	2,6	0,4	241
<i>Tricholoma sulphureum</i> (Schwefel-Ritterling)	UMM	6	192	2,8	1,8	99,5
	N	6	831	4,3	5,5	79,1
	Q-1	4	127	4,0	5,1	152
	Q-1	3	125	2,6	3,9	138

Fortsetzung Tabelle 1: Gesamtmetallgehalte in den untersuchten Pilzproben.

Pilz	Standort	n	Al	Pb	Cd	Zn
<i>Tricholoma ustale</i>	0	2	151	3,9	5,8	69,3
(Brandiger Ritterling)	E-1	1	125	2,5	10,9	146
	E-1	2	82(19)	2,9(0,3)	19,9(16,3)	38(56,1)
	E-1	3	65	1,9	12,0	116
<i>Tricholomopsis rutilans</i> (Rötlicher Holzritterling)	Q-4	3	171	2,8	20,0	181
<i>Verpa digitaliformis</i> (Fingerhut-Verpel)	GES	2	408	1,6	2,1	239
	GES	2	772	1,5	2,7	243
	GES	2	528	1,8	2,4	266
<i>Volvariella speciosa</i> (Großer Scheidling)	LIE	1	99	1,0	0,1	76,0
	LIE	1	118	1,4	n.n.	73,9
	LIE	1	86	0,9	n.n.	65,5
	STU	1	126	0,3	1,7	206
	JÖL	1	5	1,1	0,5	80,2
<i>Xerocomus badius</i> (Marone)	R	5	52	1,4	9,1	183
	R	2	82(n.n.)	1,1(0,2)	12,8(11,0)	127(123)
	R	1	96	1,6	14,8	163
	P-2	1	86(14)	2,7(0,6)	15,9(10,9)	441(368)
	P-2	1	42(n.n.)	1,1(0,2)	14,2(12,3)	333(107)
<i>Xerocomus chrysenteron</i> (Rotfuß-Röhrling)	B-1	1	237	0,7	1,0	95,9
	B-1	2	452	0,8	2,8	73,8
	T-2	2	128	3,1	1,0	97,8
	T-2	7	230	2,7	0,8	103
	MAI	1	55	1,4	10,5	163
	MAI	1	92	1,5	7,7	122
	MAI	1	112	2,1	10,4	135
	MAI	1	100	1,6	13,1	113

Tabelle 2: Bodenart, pH-Wert, Metallgesamtgehalte ($\text{HNO}_3 / \text{HClO}_4$ 10:1) und oxalat-lösliche Metallanteile (in Klammern) in den untersuchten Bodenproben. (Angaben in $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ bezogen auf das Trockengewicht)

Fundort	Al	Pb	Cd	Zn	pH-Wert	Bodenart
A-1	6506 (1777)	6,7 (0,4)	0,5 (0,06)	109 (47,0)	7,6	lehmig, humos
A-2	4959 (1982)	20,0 (0,9)	0,1 (0,05)	59,9 (25,0)	7,5	lehmig, humos
B-1	12190 (2518)	4,5 (0,5)	0,3 (0,06)	75,7 (24,0)	7,4	sandig-lehmig
B-2	12637 (2330)	5,0 (2,2)	0,6 (0,16)	79,8 (31,0)	6,0	sandig, humos
B-3	12784 (3575)	8,5 (7,2)	0,3 (0,23)	47,7 (22,0)	4,3	lehmig-sandig
C-1	11168 (1984)	5,1 (3,2)	0,8 (0,2)	121 (50,0)	5,0	lehmig-tonig
C-2	9672 (2480)	24,8 (18,0)	0,1 (0,1)	31,0 (9,0)	4,4	sandig-lehmig
C-3	11698 (2379)	5,4 (3,7)	0,4 (0,14)	66,7 (19,8)	6,3	sandig-lehmig
D-1	11403 (3854)	8,4 (1,3)	0,9 (0,07)	138 (80,0)	7,1	lehmig, humos
D-2	12869 (2425)	13,4 (2,0)	0,5 (0,07)	56,8 (18,9)	7,1	lehmiger Löß
D-3	14615 (2705)	9,0 (4,5)	1,0 (0,16)	134 (40,1)	7,9	lehmig-tonig
E	10231 (2461)	13,7 (0,5)	1,3 (0,02)	185 (100)	7,8	sandig, humos
F-1	9286 (2456)	8,4 (7,2)	0,9 (0,12)	80,2 (19,0)	3,8	lehmig, humos
F-2	9256 (2692)	9,8 (4,1)	1,2 (0,18)	72,5 (51,0)	3,5	lehmig
G	14810 (2149)	3,7 (2,7)	0,3 (0,16)	54,1 (23,0)	5,9	lehmig
I-1	18228 (3673)	9,4 (3,0)	1,4 (0,17)	165 (64,5)	7,1	tonig
I-2	17834 (2474)	7,2 (0,07)	0,6 (<0,04)	102 (24,3)	8,4	lehmig-tonig
I-3	18941 (3205)	11,7 (1,2)	1,4 (0,4)	206 (2,3)	7,6	lehmig-tonig
I-4	11725 (2889)	3,9 (2,2)	0,2 (0,02)	78,1 (3,6)	8,1	sandig-lehmig
K	17928 (3001)	12,2 (5,3)	2,5 (0,17)	356 (32,8)	7,5	sandig-lehmig
N	13178 (3085)	9,0 (6,8)	0,3 (0,21)	86,6 (3,1)	4,2	tonig

Fundort	Al	Pb	Cd	Zn	pH – Wert	Bodenart
O	11364 (3333)	7,0 (4,1)	0,4 (0,2)	83,5 (3,0)	5,0	sandig – lehmig, humos
P-1	1524 (1081)	4,0 (1,6)	0,5 (0,15)	22,2 (21,0)	3,5	sandig, stark humos
P-2	2381 (620)	3,2 (1,8)	0,2 (0,09)	14,3 (5,6)	4,0	sandig
P-3	2202 (178)	9,2 (5,7)	1,1 (0,1)	17,2 (16,0)	4,0	sandig
P-4	4419 (2369)	5,5 (4,4)	0,4 (0,09)	26,4 (22,0)	4,8	sandig, humos
P-5	4663 (1661)	2,4 (0,14)	0,14 (0,12)	13,9 (4,2)	4,3	sandig, lehmig
P-6	4596 (1295)	5,6 (2,0)	<0,04 (<0,04)	12,2 (6,0)	3,9	sandig
Q-1	721 (294)	4,8 (2,6)	0,06 (0,06)	13,6 (0,3)	4,3	sandig
Q-2	305 (341)	3,6 (2,0)	<0,04 (<0,04)	9,8 (2,2)	3,7	sandig, etwas humos
Q-3	1888 (576)	4,6 (4,2)	0,5 (0,2)	14,3 (5,4)	5,1	sandig, humos
Q-4	603 (279)	6,8 (6,0)	<0,04 (0,07)	12,6 (5,6)	4,4	sandig
R	2676 (2316)	5,4 (3,0)	0,3 (0,11)	15,3 (3,5)	5,1	sandig, humos
S	11317 (220)	14,3 (7,4)	0,1 (0,1)	40,2 (18,6)	3,9	sandig – (lehmig)
T-1	14960 (3800)	12,8 (4,4)	2,4 (1,4)	353 (60,0)	5,1	lehmig – sandig
T-2	10981 (2480)	10,2 (4,8)	0,3 (0,11)	75,8 (15,8)	5,1	lehmig – sandig
T-3	10010 (2255)	13,4 (8,4)	0,7 (0,15)	156 (71,4)	7,7	lehmig, humos
U-1	6946 (1990)	9,0 (7,8)	0,2 (0,14)	24,3 (8,6)	4,6	lehmig, sehr humos
U-2	3780 (2245)	24,8 (8,6)	1,7 (0,22)	135 (130)	3,7	lehmig – tonig sehr humos

5. Auswertung

5.1 Pilzsystematisch bedingte Einflüsse auf den Metallgehalt

5.1.1 Prozentuale Verteilung der Einzelergebnisse in Histogrammen

In den Abb. 2(A–D) sind die prozentualen Verteilungen aller Einzelergebnisse in Histogrammen mit logarithmischer Abszisseneinteilung in mg Metall pro kg Trockengewicht dargestellt. Die Pfeile innerhalb der Histogramme geben die jeweils bezeichnete Prozentzahl an Proben wieder, deren Metall-

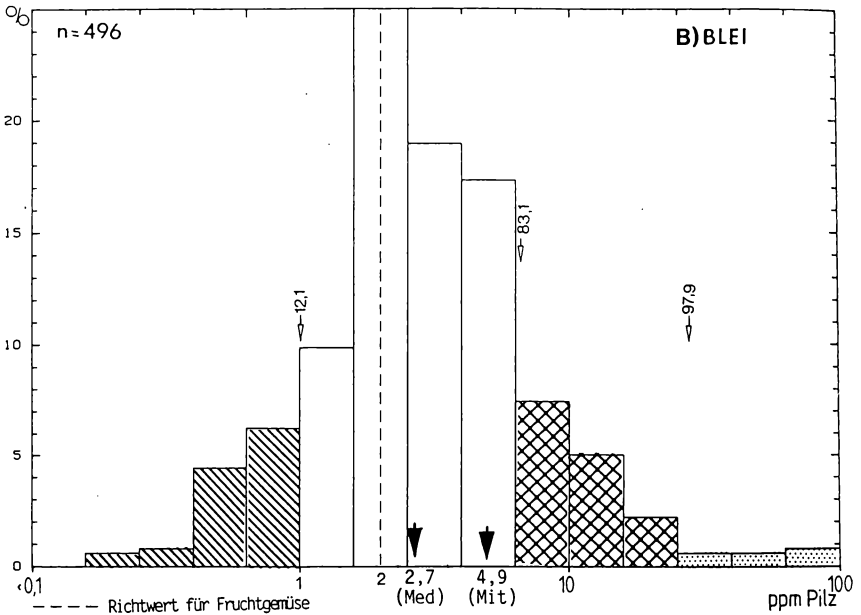
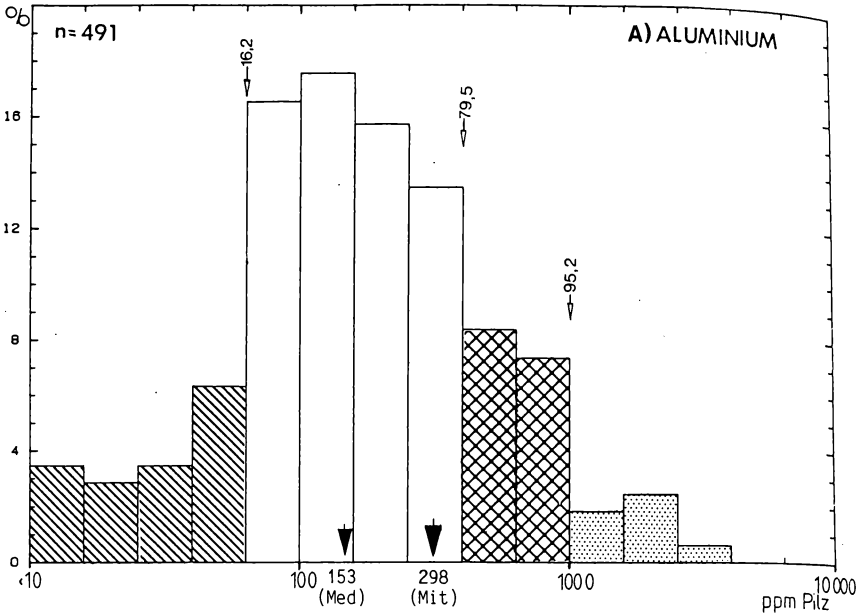
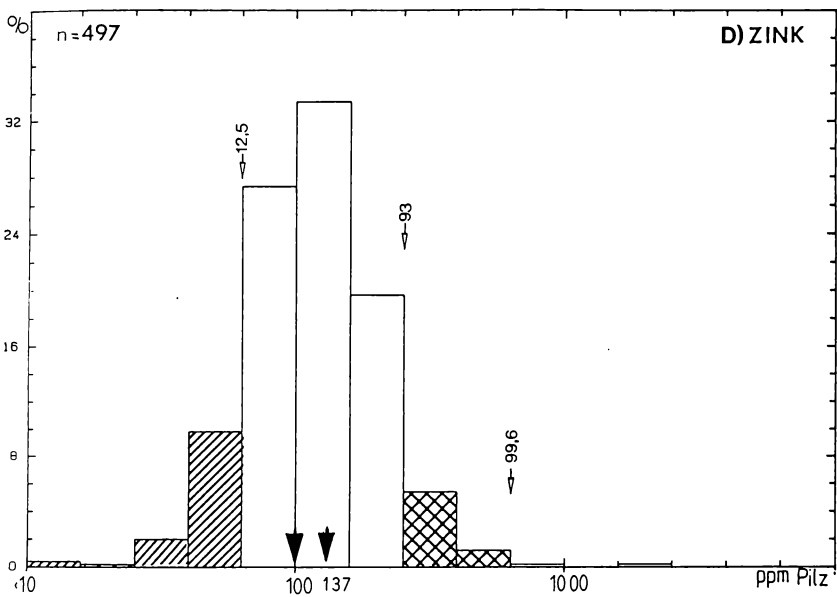
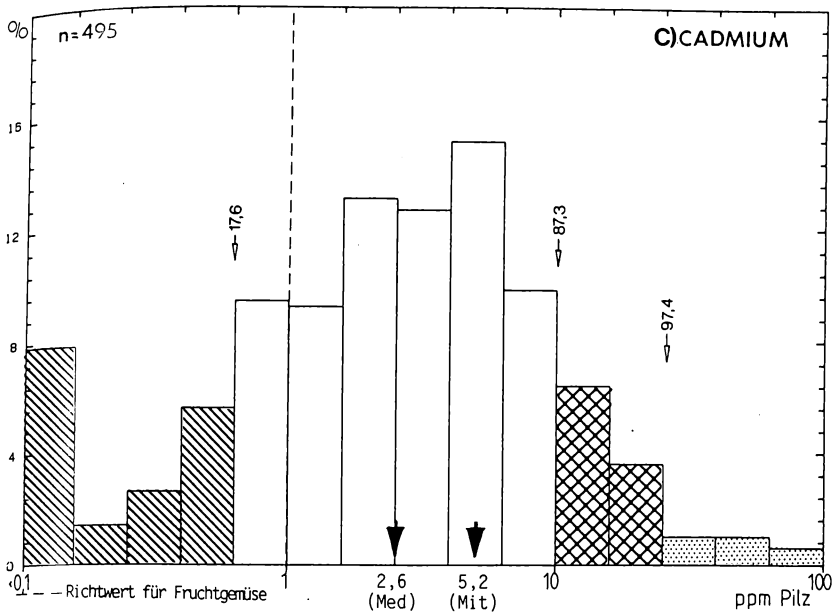


Abb. 2A – D: Prozentuale Verteilung der Einzelergebnisse der Pilzproben

▶ = Mittelwert (Mit) bzw. Medianwert (Med)



Fortsetzung Abb. 2: Prozentuale Verteilung der Einzelergebnisse

konzentrationen unterhalb dieser Markierung liegen. Bei Blei und Cadmium wurde zudem durch eine gestrichelte Linie der Richtwert für Fruchtgemüse angegeben (53,54). Hierfür wurde – da der Richtwert auf das jeweilige Frischgewicht bezogen ist – dieser in mg.kg^{-1} bezogen auf das Trockengewicht umgerechnet. Es wurde dabei von einem durchschnittlichen Wassergehalt der Pilze von 90 % ausgegangen (4).

Die Mittel- und Medianwerte der einzelnen Histogramme sind in den Darstellungen 2 mit angegeben. Es wurden beide Werte berechnet, weil so Abweichungen von einer Normalverteilung, wo Mittel- und Medianwert übereinstimmen, deutlich, und damit die Asymmetrie der Verteilung, die durch Ausreißer bedingt ist, faßbar wird. Während also der Mittelwert die gemittelte Konzentration über alle Proben angibt, macht der Medianwert eine Aussage über den am wahrscheinlichsten zu findenden jeweiligen Metallgehalt im Pilz.

a) Aluminium

Den Scheitelpunkt des Aluminium-Histogramms 2A bildet die Säule 100–158 ppm. 63,3 % aller Proben liegen im Bereich zwischen 63 und 398 ppm (unschraffiert). 16,2 % unterhalb dieser 63 ppm. 4,8 % aller Proben weisen Aluminiumgehalte über 1000 ppm auf. Der maximal gemessene Wert an Aluminium im Pilz liegt bei 3890 ppm (*Agaricus bitorquis*).

Der Mittelwert für dieses Histogramm ist 298 ppm, während der Medianwert 153 ppm Aluminium im Pilz angibt.

b) Blei

Den Scheitelpunkt des Blei-Histogramms 2B bildet die Säule 1,6–2,5 ppm. 12,1 % aller Proben weisen einen Gehalt zwischen 0,8 und 1,0 ppm auf. Der Großteil aller Proben (72,2 %) jedoch liegt zwischen 1,0 und 6,3 ppm (unschraffiert). Zwischen 6,3 und 25 ppm liegen 15 % der Pilzproben, während Meßwerte über 25 ppm in 2,1 % der Proben gefunden wurden.

Zieht man die Lage des Richtwertes für Blei in Fruchtgemüse heran, so befindet sich ein Großteil der Proben oberhalb dieses Wertes (ca. 63 %). Der maximal gemessene Bleiwert liegt bei 67,0 ppm (*Melanoleuca melaleuca*).

Der mittlere Gehalt an Blei im Pilz liegt bei 4,9 ppm, während der Medianwert 2,7 ppm angibt.

c) Cadmium

Die in Abb. 2C dargestellte Verteilung der Cadmiumwerte weist eine große Streuung über den Gesamtbereich auf. So liegen 69 % aller Proben zwischen 0,9 und 10 ppm Cadmium im Pilz (unschraffiert); 17,6 % liegen unterhalb dieses Bereichs. 7,9 % der Proben weisen weniger als 0,8 ppm Cadmium auf. Insgesamt 12,7 % der Pilze haben Cadmiumgehalte über 10 ppm, 3,6 % mehr als 25 ppm. Der höchste gemessene Wert für Cadmium im Pilz liegt bei 687 ppm (*Melanoleuca melaleuca*).

Auch bei Cadmium ist der Richtwert für Fruchtgemüse, der bei 1 ppm bezogen auf das Trockengewicht liegt, von vielen Proben weit überschritten: 72 % aller Pilze weisen einen höheren Gehalt auf.

Der Mittelwert des Histogramms gibt 5,3 ppm Cadmium im Pilz an, während der Medianwert bei 2,6 ppm liegt.

d) Zink

In Abb. 2D wird die enge Verteilung der Zinkgehalte über den gesamten Konzentrationsbereich deutlich. Der Scheitelpunkt liegt in der Säule 100–158 ppm Zink im Pilz. 80,5 % aller Proben weisen einen Zinkgehalt zwischen 63 und 250 ppm auf (unschraffiert), 33,4 % liegen zwischen 100 und 158 ppm. 12,5 % liegen unterhalb dieses Bereichs. Im hohen Konzentrationsbereich finden sich relativ wenige Proben: 7,0 % der Pilze haben Gehalte von mehr als 250 ppm Zink. Der maximal gemessene Wert findet sich in *Russula fellea* mit 1588 ppm.

Als Mittelwert ist 134 ppm, als Medianwert 117 ppm anzugeben.

5.1.2 Die Verteilung der Metallgehalte im Histogramm und die Korrelation zu bestimmten Pilzfamilien

Von den insgesamt 23 Familien, denen die untersuchten Pilze zuzuordnen sind, wurden sechs exemplarisch ausgewählt, um die Fragestellung zu überprüfen, ob diese Familien in den Histogrammen der Abb. 2 unterschiedliche Schwerpunkte aufweisen. Hierfür wurden für die sechs Familien die entsprechenden Histogramme gesondert aufgestellt. Zur besseren Darstellung und zum Vergleich der Ergebnisse wurden die einzelnen Familienhistogramme unter die Histogramme aller Proben gestellt. Dazu mußten aus Gründen der Übersichtlichkeit die Ordinateneinteilungen gestaucht werden. Die Abszissen-einteilung entspricht der in Abb. 2. Die ausgewählten Familien sind: 1. *Agaricaceae*, 2. *Amanitaceae*, 3. *Boletaceae*, 4. *Lycoperdaceae*, 5. *Russulaceae*, 6. *Tricholomataceae*.

Die jeweiligen graphischen Darstellungen sind in der ausführlichen Fassung dieser Arbeit nachzusehen (106). An dieser Stelle sollen die Ergebnisse lediglich textlich zusammengefaßt werden.

a) Aluminium

Bezüglich dieses Metalls zeigt die Verteilung der Konzentrationen der *Amanitaceae* und der *Agaricaceae* eine leichte Verschiebung in den höheren Konzentrationsbereich, während die *Lycoperdaceae* und die *Boletaceae* eher im unteren Konzentrationsbereich zu finden sind. Die Konzentrationsverteilung der *Russulaceae* und besonders der *Trichlomataceae* ähneln der auch bei Betrachtung aller Proben vorzufindenden Verteilung (vgl. Abb. 2A).

b) Blei

Die *Lycoperdaceae* zeigen bei diesem Element eine deutliche Verschiebung in den höheren Konzentrationsbereich, während geringe Mengen im Pilz nur selten gefunden wurden. Auch bei den *Agaricaceae* und den *Amanitaceae* ist diese Verteilung angedeutet. Die *Trichlomataceae* weisen auch bei Blei eine ähnliche Verteilung wie das Gesamthistogramm auf.

Hohe Konzentrationen an Blei finden sich bei der Familie der *Russulaceae* nur selten. Eindeutig im niedrigen Konzentrationsbereich anzutreffen sind die Vertreter der *Boletaceae*: über 60 % der Proben liegen zwischen 1,0 und 2,5 ppm.

c) Cadmium

Die schon unter 5.1.1 c) festgestellte, sehr breite Verteilung der Cadmiumgehalte findet sich auch bei der Betrachtung der einzelnen Familien. Besonders deutlich tritt dies bei der Familie der *Trichlomataceae* auf, etwas weniger klar erscheint es bei den *Russulaceae*. Eine Häufung der Probenzahl um den Wert 6 ppm wurde bei allen Familien beobachtet. Auffallend ist außerdem das Fehlen von sehr geringen Konzentrationen bei den *Boletaceae* und den *Amanitaceae*.

d) Zink

Hier findet sich keine Familie, die direkt einem Konzentrationsbereich zuzuordnen wäre. Bei allen Familien ist die Verteilung der Proben auf einen sehr engen Bereich der Histogramme beschränkt, der in etwa dem des Gesamthistogramms entspricht (vgl. Abb. 2D).

5.1.3 Zeichnen sich bestimmte Arten durch besonders hohe Metallgehalte aus?

Wenn die Artzugehörigkeit eines Pilzes die wesentliche Ursache für eine Metallakkumulation darstellt, sollte sich dies in den Mittelwerten aller Einzelproben für eine Art widerspiegeln.

In Abb. 3A–D sind diese Mittelwerte in der Reihe fallender Konzentrationen wiedergegeben. Im Rahmen dieser Veröffentlichung konnten jeweils nur die 23 Arten mit den jeweils höchsten mittleren Konzentrationen dargestellt werden. Die vollständigen Abbildungen sind der ausführlichen Fassung zu entnehmen (106). Die Höhe der Balken in Abb. 3 gibt den Mittelwert der Proben der jeweiligen Art an. Wenn hinter diesen Balken keine Zahlen angegeben sind, bedeutet dies, daß nur ein Meßwert zur Verfügung stand. Um den Informationsgehalt zu maximieren, wurden die standortsbedingten, wie auch die individuellbedingten Abweichungen vom Mittelwert in die Abbildungen übernommen. So gibt ein schwarzer Strich die gesamte Schwankungsbreite aller gemessenen Proben einer Art an. Die Zahlen hinter diesen Markierungen geben Auskunft über die Anzahl der Proben der Art insgesamt (= erste Zahl) und die Zahl der Standorte (= zweite Zahl in Klammern). Streuungen der einzelnen Metallgehalte je Standort sind durch jeweils einander entsprechende Markierungen auf dem schwarzen Strich gekennzeichnet. Das \triangleright steht für eine einzige Messung an einem Standort.

Für alle Abbildungen gemeinsam gilt, daß die Abweichungen der Einzelmessungen innerhalb eines Standorts wesentlich weniger stark streuen, als die Meßwerte von Standort zu Standort.

a) Aluminium

Der höchste Mittelwert aller Arten liegt bei 2400 ppm Aluminium im Pilz (*Russula xerampelina*). Betrachtet man die 23 Arten mit den höchsten Konzentrationen (> 550 ppm), so finden sich dort Vertreter von 16 Gattungen (s. Abb. 3A). Hierin befinden sich zwei Arten der Gattung *Agaricus*, zwei von *Amanita*, zwei von der Gattung *Lactarius*, zwei der Gattung *Hygrophorus* und vier Vertreter der Gattung *Russula*.

Auffallend sind die unter 3.4.1 bereits erwähnten hohen Abweichungen der einzelnen Aluminiumwerte untereinander, was in der Abbildung 3A nochmals sehr deutlich wird. Im unteren Konzentrationsbereich sind diese Streuungen um den Mittelwert jedoch nicht so stark ausgeprägt.

A) Aluminium

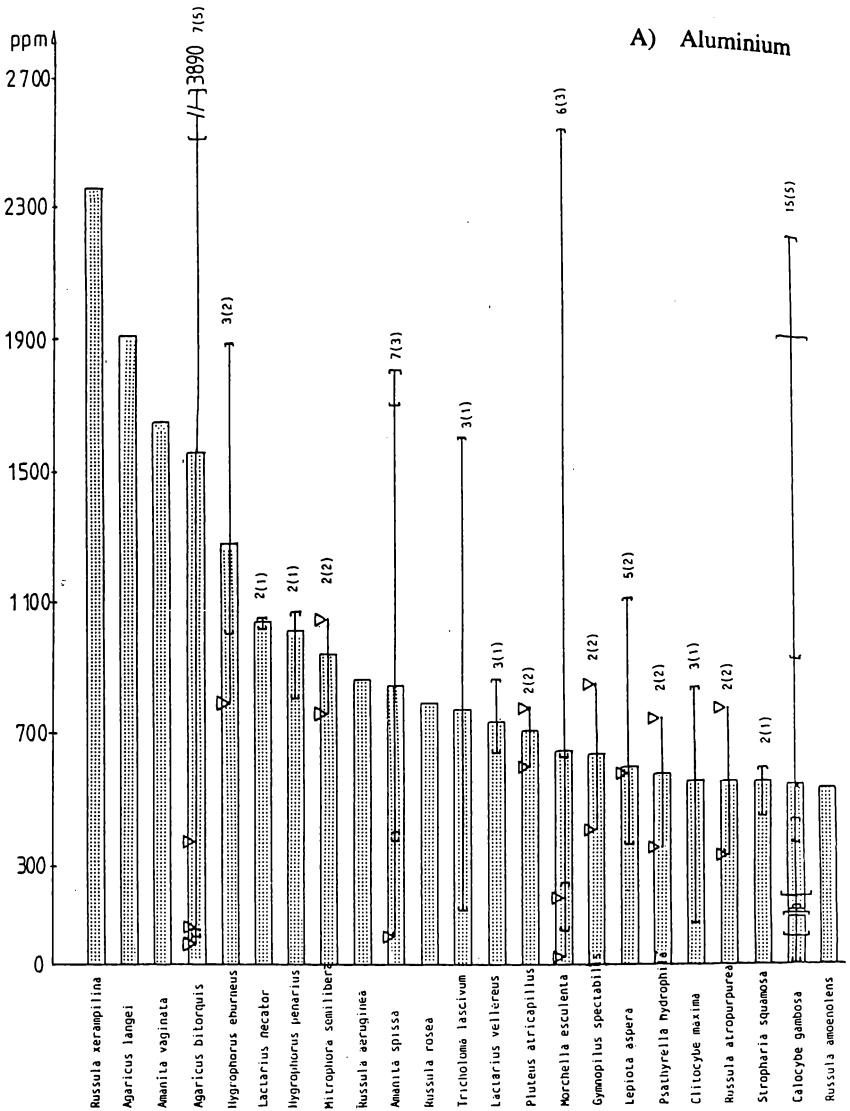




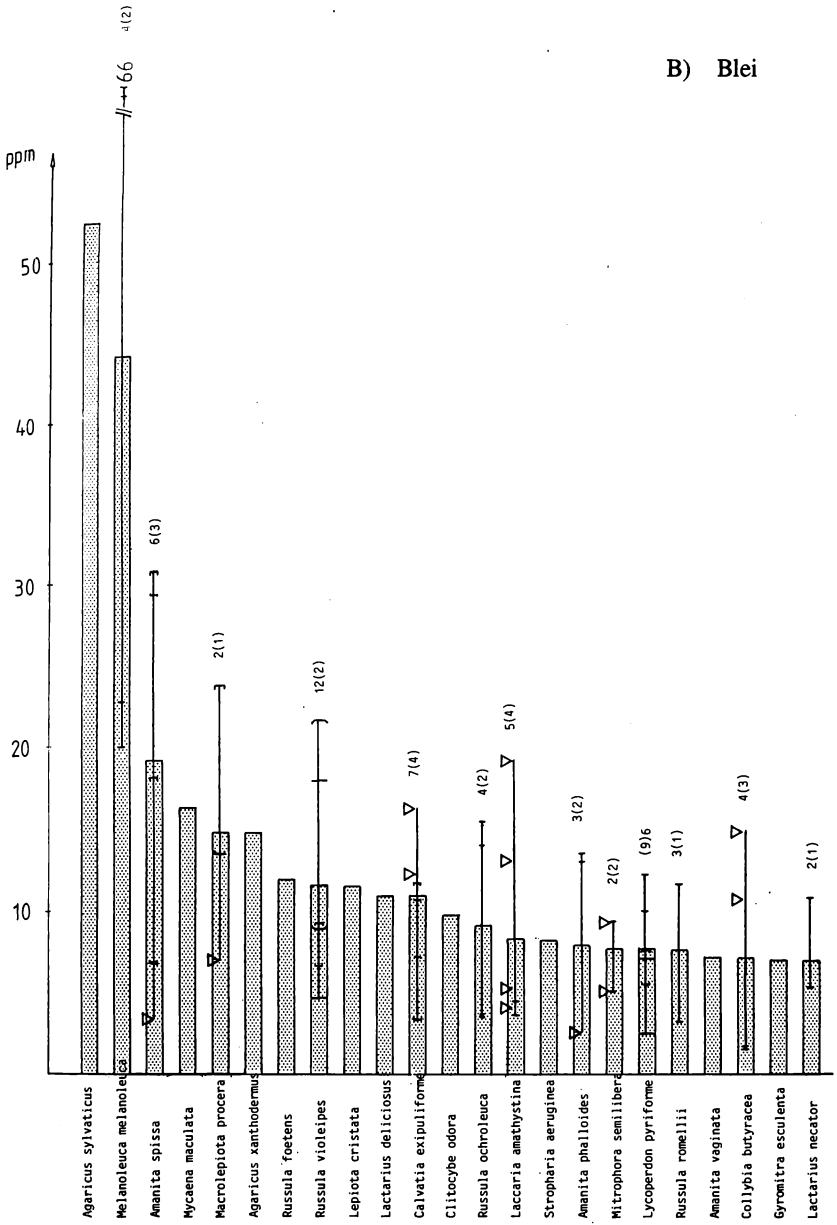


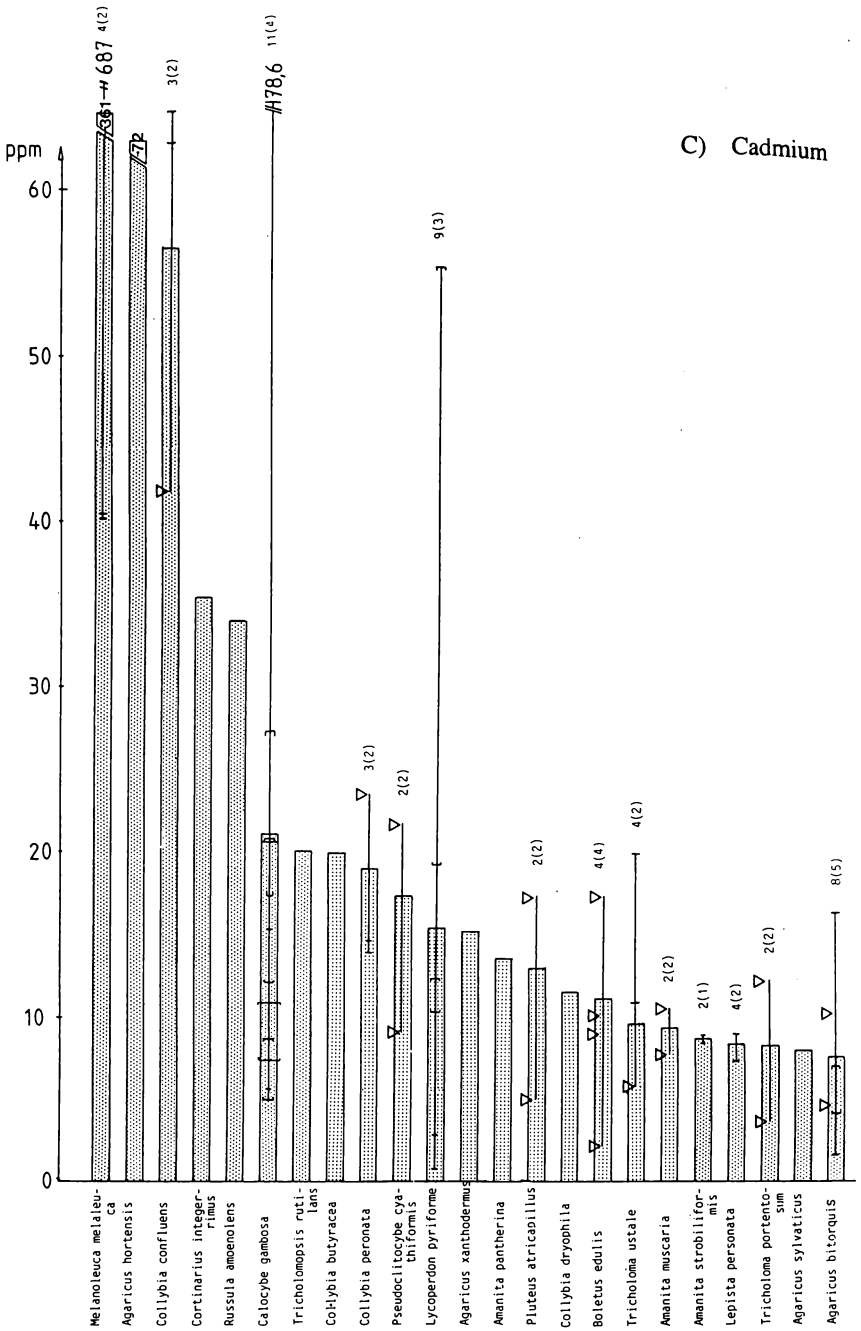
Abb. 3A-D: Artabhängigkeit der Metallgehalte

-  Mittelwert über alle Individuen der Art
-  Einzelmessung
-  Gesamtstreuung aller gemessenen Werte der Art
-  Streuung der Werte einer Art an einem Standort
- 1. Zahl: Anzahl vermessener Proben der betreffenden Art
- 2. Zahl (): Anzahl der Standorte

B) Blei

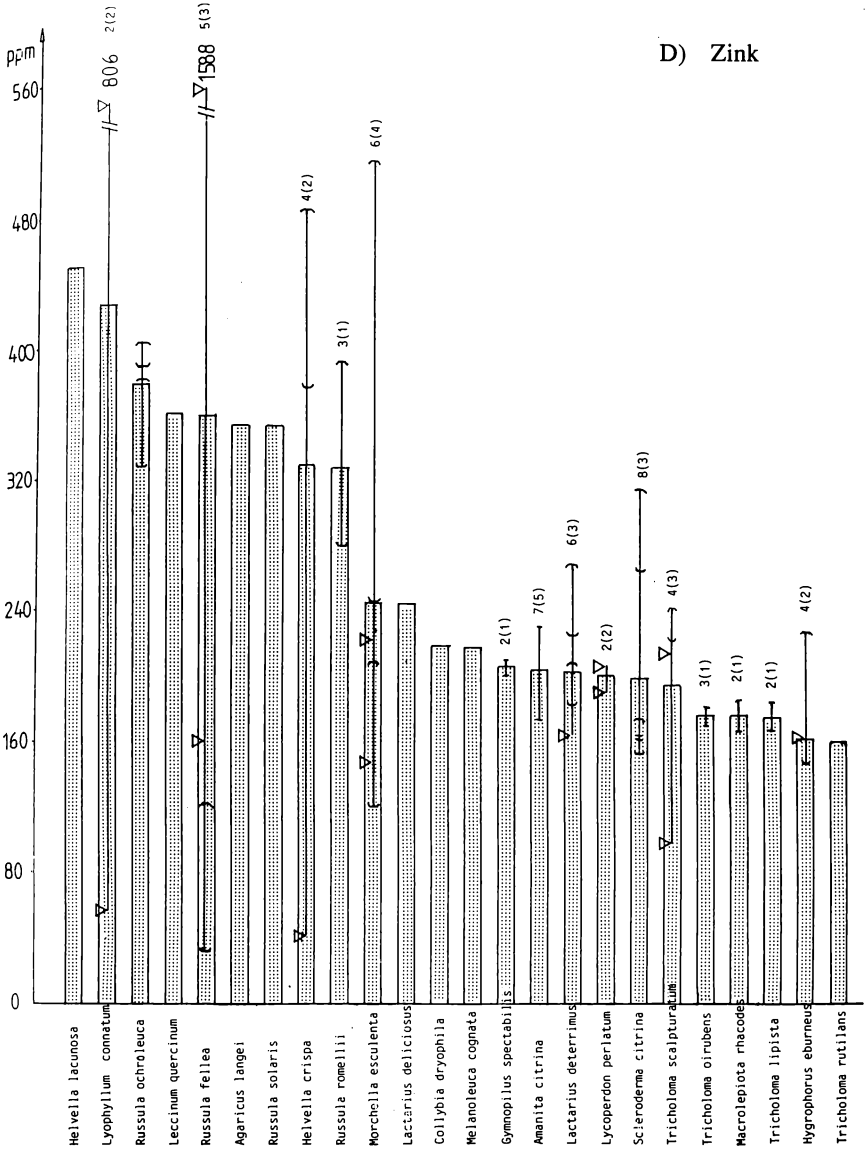


Fortsetzung Abb. 3: Artabhängigkeit der Metallgehalte



Fortsetzung Abb. 3: Artabhängigkeit der Metallgehalte

D) Zink



Fortsetzung Abb. 3: Artabhängigkeit der Metallgehalte

b) Blei

Die Mittelwerte für Blei weisen eine breite Verteilung auf (s. Abb. 3B). Der Spitzenwert wird mit 51 ppm Blei im Pilz gestellt (*Agaricus sylvaticus*). Bei der Betrachtung der 23 höchsten Konzentrationen (> 8 ppm) finden sich hier Arten aus 18 verschiedenen Gattungen, wobei *Agaricus* zweimal, *Amanita* dreimal und *Russula* viermal vertreten sind. Die untersten 15 Konzentrationen mit Gehalten von weniger als 1,3 ppm werden durch Vertreter von 13 Gattungen gestellt, wobei *Hypholoma* zweimal vorkommt. Auffallend ist, daß die Schwankungen im unteren Konzentrationsbereich sehr klein sind, während bei höheren Gehalten im Pilz größere Abweichungen vom Mittelwert auftreten.

c) Cadmium

Bei Cadmium treten einige besonders herausragende Konzentrationen im Pilz auf. Der Spitzenwert liegt bei 371 ppm Cadmium im Pilz als Mittelwert (*Melanoleuca melaleuca*). Die 23 Arten im obersten Konzentrationsbereich (> 8 ppm) gehören zu 13 Gattungen. Hierbei ist *Agaricus* durch vier, *Amanita* durch drei, *Collybia* durch vier und *Tricholoma* durch zwei Vertreter repräsentiert. Wie auch bei den Elementen vorher, so sind auch hier die Streuungen im unteren Konzentrationsbereich am geringsten (s. Abb. 3C).

d) Zink

Im Gegensatz zum Schwermetall Cadmium treten beim Zink keine auffallend hohen Konzentrationen auf. Alle gefundenen Mittelwerte weisen vielmehr einen recht einheitlichen Konzentrationsbereich auf (s. Abb. 3D). Der höchste Mittelwert von 450 ppm Zink im Pilz wird von *Helvella lacunosa* gestellt. Bei Zink lassen sich allgemein geringe Streuungen um den Mittelwert feststellen.

5.2 Durch Bodenfaktoren bedingte Einflüsse

Im Hinblick auf die Einflüsse der Bodenfaktoren auf den Metallgehalt der Pilze wurden verschiedene Korrelationen aufgestellt. Für jede Fragestellung wurden auf der einen Seite jeweils alle Proben in die Auswertung genommen, wo Bodenanalysen vorlagen; auf der anderen Seite wurden exemplarisch 3 Pilzarten ausgewählt, wo jeweils vier verschiedene Standorte mit Bodenwerten verfügbar waren. Diese drei Arten (*Calvatia excipuliforme*, *Lactarius blennius*, *Russula nigricans*) wurden – um die Anzahl an Variablen zu minimieren und artbedingte Zusammenhänge ausschließen zu können – bezüglich

jeder Fragestellung gesondert ausgewertet.

Im Rahmen dieser Veröffentlichung kann lediglich auf die Betrachtung der Ergebnisse eingegangen werden, die sich aus der Hinzuziehung aller Proben ergeben; die Ergebnisse der ausgewählten 3 Pilzarten sind der vollständigen Fassung zu entnehmen (106).

5.2.1 Korrelation zwischen Metallgehalt der Pilze und Gesamtmetallgehalt im Boden

Die Auftragung aller verfügbaren Daten der Metallgehalte in den Pilz- und den entsprechenden Bodenproben ist in Abb. 4A–D wiedergegeben. Zur besseren Übersicht der Diagramme wurden Geraden in die Abbildungen gelegt, die keine Ausgleichsgeraden darstellen, sondern die Steigung 1 aufweisen, wo sich Pilz- und Bodengehalt entsprechen.

a) Aluminium

Ein direkter und eindeutiger Zusammenhang zwischen den Aluminiumgehalten in den Pilzen und denen in den entsprechenden Böden ist nicht feststellbar (s. Abb. 4A). So finden sich für bestimmte Aluminiummengen im Boden eine Reihe verschiedenster Aluminiumwerte in den Pilzen. Auffällig ist jedoch, daß diese Erscheinung vor allem erst im höheren Konzentrationsbereich der Böden (mehr als 9000 ppm Al) auftritt. Erst hier finden sich höhere Aluminiumkonzentrationen (mit mehr als 600 mg Aluminium pro kg) in den Pilzen. Unterhalb des Wertes von 9000 ppm Aluminium im Boden ist die Streuung der Pilzkonzentrationen bei weitem nicht so ausgeprägt (n.n. – 500 ppm). Höhere Aluminiumgehalte in Pilzen finden sich in diesem Bereich überhaupt nicht.

Die Tendenz, daß sich mit steigendem Aluminiumgehalt im Boden höhere Werte in den Pilzen finden, scheint auch das Ergebnis der exemplarisch ausgewählten Pilzarten zu belegen (v.a. deutlich bei der Art *Calvatia excipuli-forme*).

b) Blei

Beim Element Blei zeigen sich keine Zusammenhänge zwischen Boden- und Pilzgehalt. Auch hier ist der Streubereich in den Pilzwerten je Bleikonzentration im Boden sehr groß (Abb. 4B).

Der Großteil der ermittelten Bleigehalte in den Pilzproben liegt unterhalb der durchgezogenen Gerade mit der Steigung 1; somit bleibt der Bleigehalt des Pilzes in der Regel niedriger als der des Bodens.

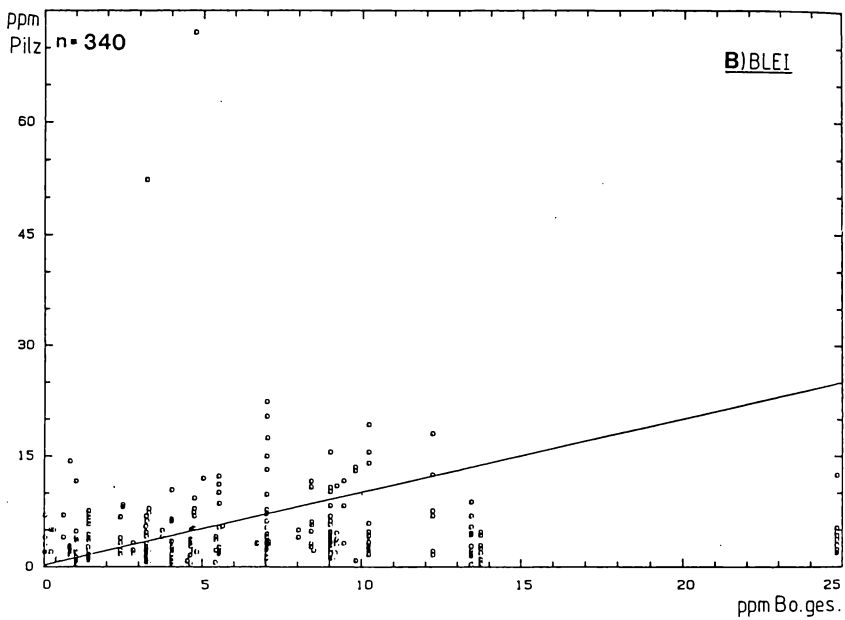
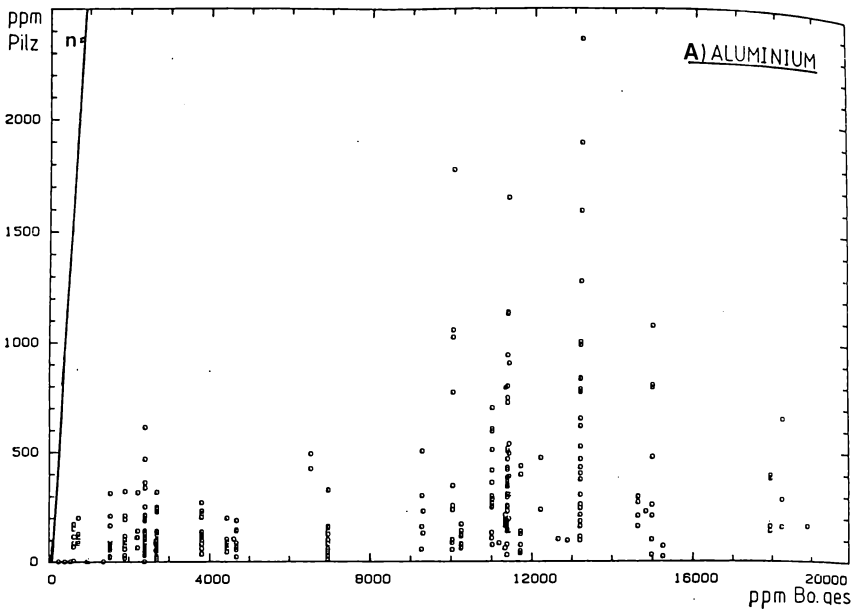
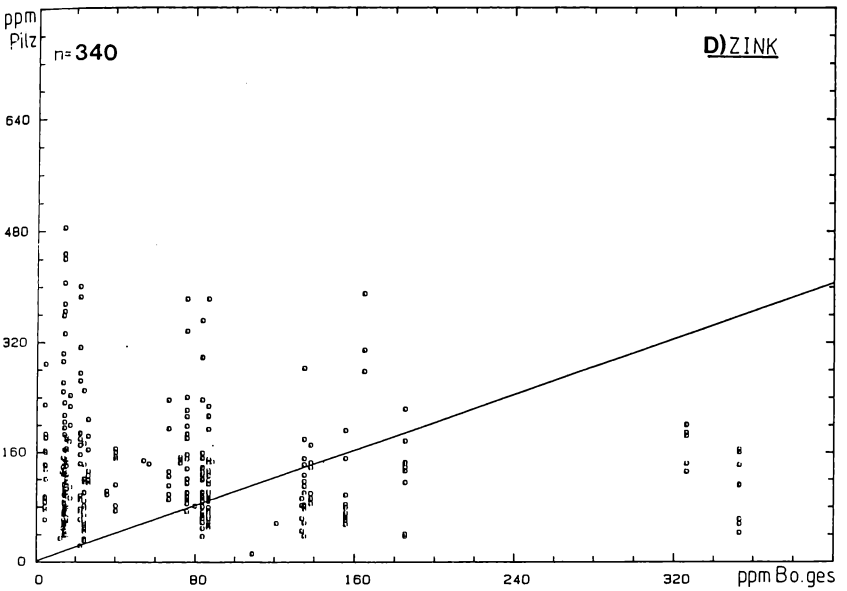
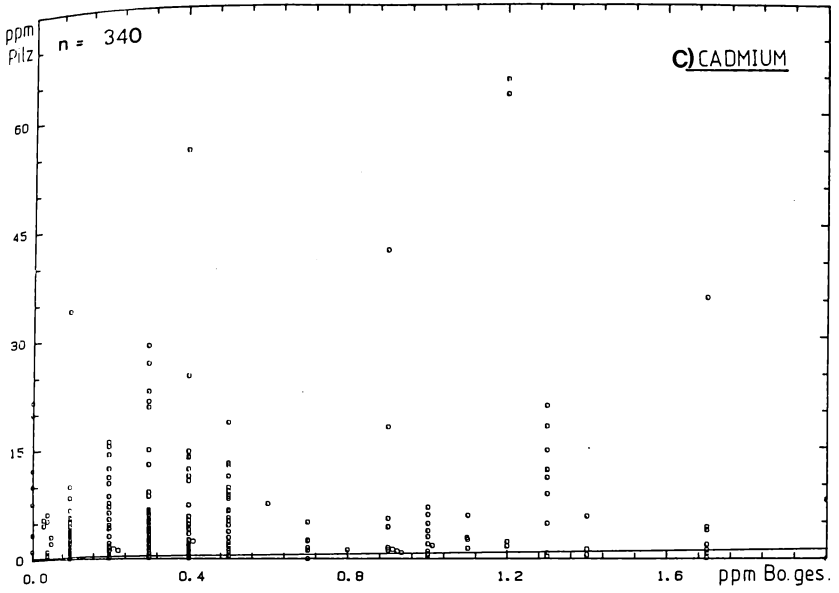


Abb. 4: Korrelation zwischen Gesamtmetallgehalten im Boden und Metallgehalt in den Pilzen (alle Proben)



Fortsetzung Abb. 4: Korrelation zwischen Gesamtmetallgehalten im Boden und Metallgehalt in den Pilzen (alle Proben)

c) Cadmium

Wie für das Blei findet sich auch bei Cadmium keine Korrelation zwischen den Schwermetallwerten in Pilz und Boden (Abb. 4C (ohne *Melanoleuca melaleuca*)). Deutlich ist in beiden Diagrammen die zum Teil extreme Metallanreicherung des Pilzes gegenüber dem Boden.

d) Zink

In Abb. 4D (ohne *Russula fellea*) finden sich breite Streuungen der Pilzgehalte gegenüber den Bodenwerten. Viele Pilze scheinen einen etwas höheren Zinkanteil aufzuweisen als der entsprechende Boden. Dies wird besonders deutlich bei der Einzelbetrachtung der Art *Calvatia excipuliforme*: sämtliche Proben weisen höhere Zinkkonzentrationen auf, als deren korrespondierenden Bodenproben.

5.2.2 Korrelation zwischen oxalatlöslichem Metallanteil des Bodens und Pilzgehalt

Ebenso wie in Kap. 5.2.1 wurde der Pilzmetallgehalt auch gegen die Ergebnisse des Oxalataufschlusses, der einen leichter löslichen Anteil der Metalle im Boden erfaßt, aufgetragen.

Die graphischen Darstellungen sind der vollständigen Fassung zu entnehmen (106). Diese hiermit erbrachten Ergebnisse lassen keine weitere Auswertung, als die bereits unter Kap. 5.2.1 erläuterte, zu.

5.2.3 Korrelation zwischen Metallgehalt der Pilze und pH-Wert des Bodens

Der pH-Wert hat eine große Bedeutung für die Löslichkeit und Verfügbarkeit der Metalle im Boden (51,52). Es sollte daher geklärt werden, ob sich Abhängigkeiten der Metallbelastung der Pilze vom Boden-pH-Wert erkennen lassen.

In dieser Arbeit lassen sich für kein Element die ermittelten Pilzmetallgehalte bestimmten pH-Werten im Boden zuordnen. Es finden sich vielmehr über den gesamten gemessenen pH-Bereich (3,5 bis 8,1) verteilt die unterschiedlichsten Pilzkonzentrationen.

Auch bei Ausschluß der durch die verschiedensten Pilzarten in der Gesamtdarstellung möglicherweise bedingten Einflüsse findet sich keine eindeutige pH-Abhängigkeit.

5.3 Die Rolle der Bodenart bei der Aufnahme der Metalle durch die Pilze

Da die Löslichkeit der Metalle und damit auch ihre biologische Verfügbarkeit stark von der Bodenart abhängig ist (50,52,56), sollte hier geprüft werden, ob sich diese Einflußgröße auch auf die hier ermittelten Ergebnisse auswirkt. Um dieser Frage nachzugehen wurden zwei Auswerteverfahren benutzt:

5.3.1 Korrelation zwischen Boden- und Pilzgehalt

Auch aus diesen speziellen Auftragungen von Pilz- und Bodenmetallgehalten lassen sich keine eindeutigen Aussagen ableiten. Auffallend ist allerdings bei den tonigen Böden, daß hier sowohl die Blei-, als auch die Cadmiumwerte der Pilze wesentlich weniger streuen als die Aluminium- und Zinkgehalte. (graph. Darstellung vgl. 106)

5.3.2 Der Einfluß der Bodenart auf die prozentuale Verteilung der Metallgehalte in den Pilzproben

Zur Überprüfung der Fragestellung, ob die prozentuale Verteilung der Metallgehalte in den untersuchten Pilzen mit der Bodenart in einen Zusammenhang zu bringen ist, wurden Histogramme (entsprechend 5.1.1) für die einzelnen Bodenarten getrennt erstellt. Zur besseren Übersicht ist das jeweilige Verteilungsschema über sämtliche Pilzproben (Abb. 2) zum Vergleich nochmals dargestellt. In Abb. 5 (jeweils für Humus, Sand, Lehm, Ton) ist das Histogramm für das Element Aluminium wiedergegeben.

a) Aluminium

Bei Humus, Sand und Lehm geben die einzelnen Histogramme einen ebenso breiten Verteilungsbereich wieder, wie das Gesamthistogramm aller Pilzproben. Lediglich beim tonigen Boden sind die Werte deutlich in den höheren Konzentrationsbereich verschoben. So liegen 1/3 der Pilzproben hier im Bereich oberhalb von 600 ppm Aluminium. Geringe Aluminiumgehalte in den Pilzen (unter 65 ppm) treten bei tonigem Untergrund überhaupt nicht auf.

b) Blei

Die Einzelhistogramme für die verschiedenen Bodenarten zeigen beim Blei den gleichen Verlauf wie das Gesamthistogramm aller Proben. Nur beim Tonboden sind die Bleigehalte im Pilz leicht in den höheren Konzentrationsbereich verschoben.

Eine Darstellung der Histogramme findet sich in der ausführlichen Fassung dieser Arbeit (106).

c) Cadmium

Bei der Verteilung der Cadmiumgehalte gibt es keine Bodenart, für die ein besonderer Konzentrationsbereich in den Pilzen gefunden wird. Entsprechend zeigen die einzelnen Histogramme für die jeweiligen Bodenarten einen ähnlichen Verlauf wie das Summenhistogramm (vgl. Abb. in 106).

d) Zink

Analog zu den Ergebnissen beim Cadmium wird auch beim Zink durch sämtliche Einzelhistogramme ein gleicher, hier ziemlich enger Verteilungsbereich wiedergegeben (vgl. Abb. in 106).

5.3.3 Standortabhängigkeit

Neben der Überprüfung der möglichen Beeinflussung der Metallgehalte der Pilze durch die im Boden vorliegenden Metallkonzentrationen sollte auch versucht werden, eine Aussage darüber zu erhalten, ob es bestimmte Standorte gibt, an denen die untersuchten Pilze auffällig höhere Metallgehalte aufweisen. Hierbei mag der Weg der Metalle in die Pilze dann z.B. auch über die Luft verlaufen sein.

Zur Abschätzung der Standortabhängigkeit wurden 11 Pilzarten ausgewählt, die von mindestens vier verschiedenen Probenahmeflächen stammten. Die Einzelanalysen wurden pro Art und Standort gemittelt und sind – nach Herkunftsstandort getrennt – in Abb. 6A–D dargestellt.

Beim Aluminium treten dabei im Vergleich zu den übrigen Elementen die größten Streubereiche auf.

Auffällig sind bei der Betrachtung der Abbildungen deutliche und unterschiedliche Schwerpunkte bei den einzelnen Standorten: So sind die Metallgehalte der Pilze am Standort N jeweils recht niedrig und liegen in einem eng umgrenzten Bereich. Ähnliches gilt für die Standorte P und T (hier mit Ausnahme des Aluminiums), wenn auch bei dem Element Zink die Streubreite etwas größer ist. Auch am Standort MAI finden sich geringe Blei- und Cadmiumwerte, während die Zinkgehalte stärker streuen.

Auf der anderen Seite fällt der Standort O durch sehr große Streuung der Pilzmetallgehalte über den Gesamtbereich auf. Für die Standorte Q und U gilt dasselbe in abgeschwächter Form.

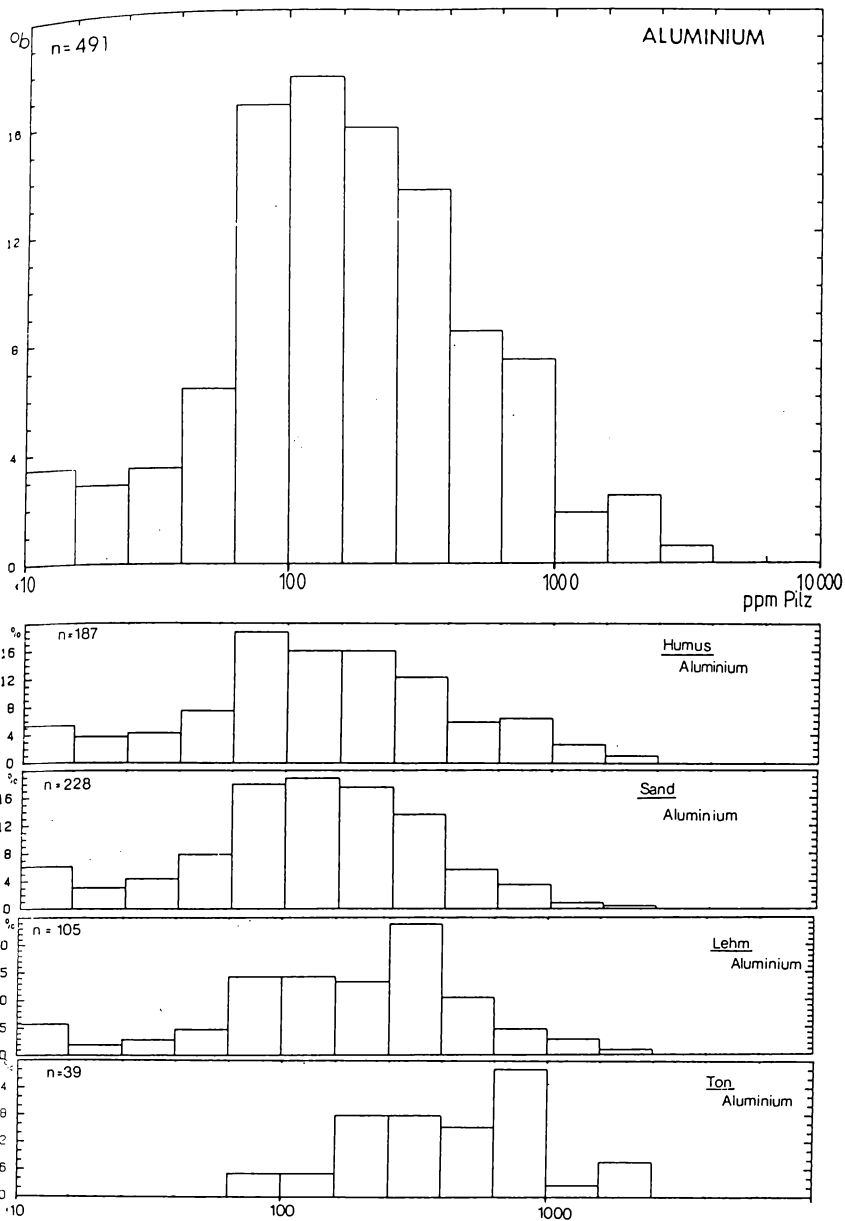
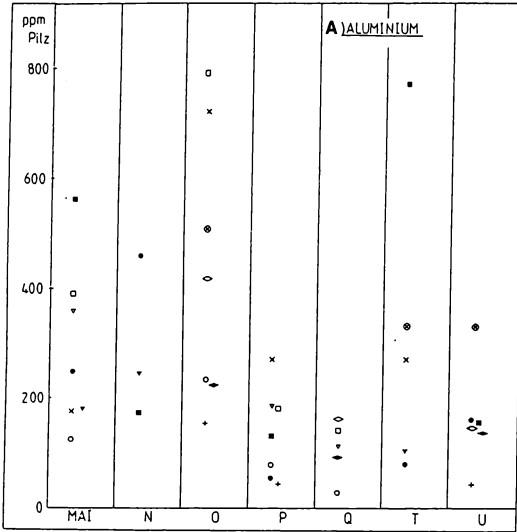
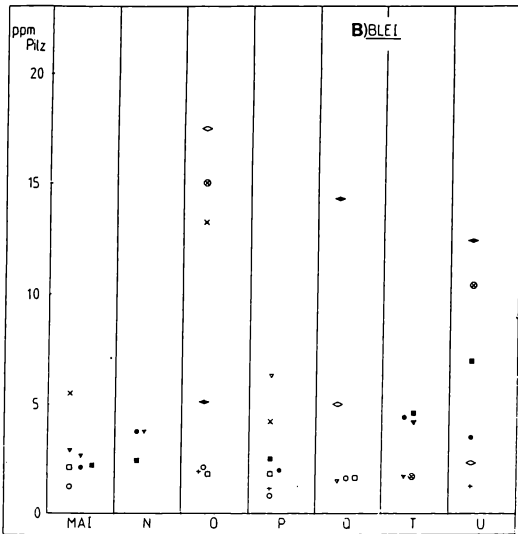


Abb. 5: Einfluß der Bodenart auf die prozentuale Verteilung der Einzelergebnisse

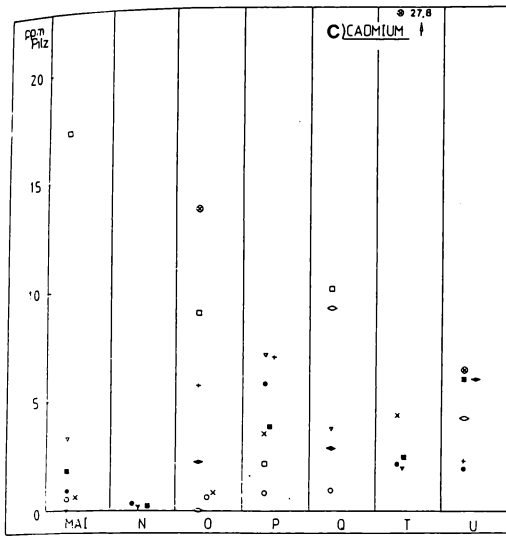


- ▽ = *Amanita rubescens*
- + = *Armariella mellea*
- = *Boletus edulis*
- ◄ = *Calvatia excipuliforme*
- ⊗ = *Collybia butyracea*
- = *Hypholoma sublateritium*
- x = *Laccaria amethystina*
- = *Lactarius blennius*

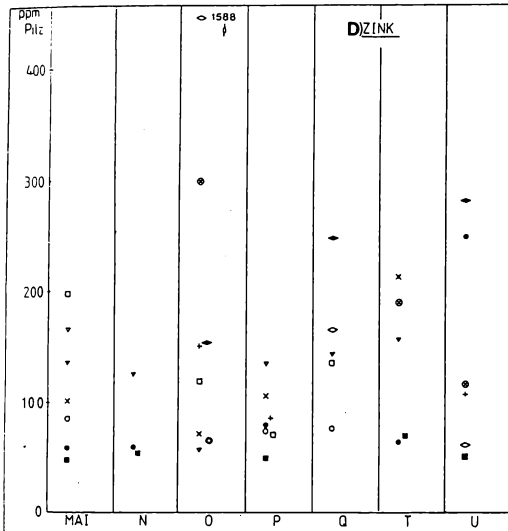


- ▽ = *Mycena galericulata*
 - ◊ = *Russula fellea*
 - = *Russula nigricans*
- MAI, N, O usw.: vgl. 3.1.

Abb. 6: Standortabhängigkeit der Metallgehalte in den Pilzen



- ▼ = *Amanita rubescens*
- + = *Armariella mellea*
- = *Boletus edulis*
- ◆ = *Calvatia excipuliforme*
- ⊗ = *Collybia butyracea*
- = *Hypholoma sublateritium*
- × = *Laccaria amethystina*
- = *Lactarius blennius*
- ▼ = *Mycena galericulata*
- ◇ = *Russula fellea*
- = *Russula nigricans*



Fortsetzung Abb. 6: Standortsabhängigkeit der Metallgehalte in den Pilzen

Zudem sind die Metallgehalte einiger Pilzarten – unabhängig vom Standort – auf bestimmte Konzentrationsbereiche beschränkt: So liegt *Hypholoma sublateritium* bei allen untersuchten Elementen im niedrigsten Konzentrationsbereich. Dies gilt – mit wenigen Ausnahmen – auch für *Lactarius blennius*. *Armariella mellea* findet sich bei Aluminium und Blei im untersten Konzentrationsbereich der Darstellung, während für Cadmium und Zink mittlere Gehalte auftreten. Überhaupt gibt es zudem Pilzarten, die sich insgesamt durch mittlere Metallgehalte ausweisen: So findet man vor allem *Laccaria amethystina* und *Russula fellea*, aber auch noch *Amanita rubescens* und *Russula nigricans* im Mittelfeld wieder. *Collybia butyracea* – bei Aluminium, Blei und Zink ebenfalls in diese Gruppe gehörig – weist bei Cadmium hohe Werte auf. Hohe Metallgehalte finden sich (mit Ausnahme des Aluminiums) bei *Calvatia excipuliforme* und (mit Ausnahme des Bleis) bei *Boletus edulis*.

5.4 Korrelation zwischen Zink und Cadmium im Pilz

Eine auf der chemischen Ähnlichkeit von Zink und Cadmium aufbauende These geht davon aus, daß ein Grund für die leichte Aufnahme von Cadmium auf einem Verwechslungsprozess beruht (56).

Ob es bei den untersuchten Pilzproben einen Zusammenhang zwischen Zink- und Cadmiumgehalt gibt, sollte in dieser Fragestellung geklärt werden (s. Abb. 7).

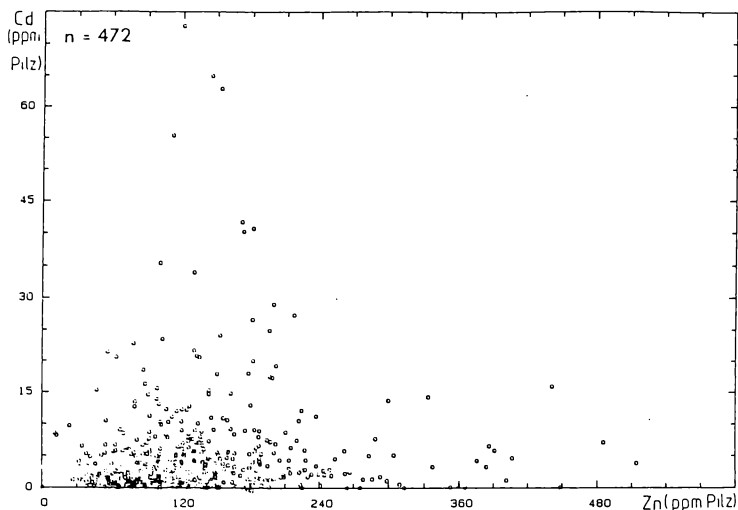


Abb. 7: Zusammenhang zwischen Cadmium – und Zinkgehalt im Pilz

Der Darstellung zufolge gibt es möglicherweise Zusammenhänge zwischen Cadmium- und Zinkkonzentration im Pilz. Der größte Teil der Punkte liegt sowohl für das Cadmium, wie auch für das Zink, im niedrigen Konzentrationsbereich. Darüberhinaus gibt es sowohl Proben mit großen Zink- und kleinen Cadmiumwerten, als auch solche mit großen Cadmium- und kleinen Zinkgehalten. Es treten keine Pilze mit gleichzeitig hohen Cadmium- und Zinkkonzentrationen auf. Dies spricht für ein gewisses antagonistisches Verhalten in diesem Konzentrationsbereich.

5.5 "Magensaftlöslicher" Anteil der Metalle in den Pilzen

Es sollte versucht werden, eine Abschätzung darüber zu geben, inwieweit die Metalle aus den Pilzen durch das menschliche "Magenmilieu" herausgelöst werden können. Hierzu ist in der Abb. 8A + B der jeweilige Gesamtmetallgehalt der Pilze gegen den "pepsinlöslichen" Anteil dargestellt.

Dargestellt sind an dieser Stelle die Extremfälle Aluminium und Cadmium (Für Blei und Zink vgl. 106).

Zur Verbesserung der Anschaulichkeit ist die Gerade mit der Steigung 1 in das Diagramm eingetragen, wo 100 % des Gesamtmetallgehaltes im Pilz vom Pepsinaufschluß gelöst wären. Der "magenverfügbare" Metallanteil – ermittelt durch den Pepsinaufschluß – ist für die einzelnen Elemente sehr unterschiedlich: In der Reihe $Al < Pb < Zn < Cd$ steigt der lösliche Anteil

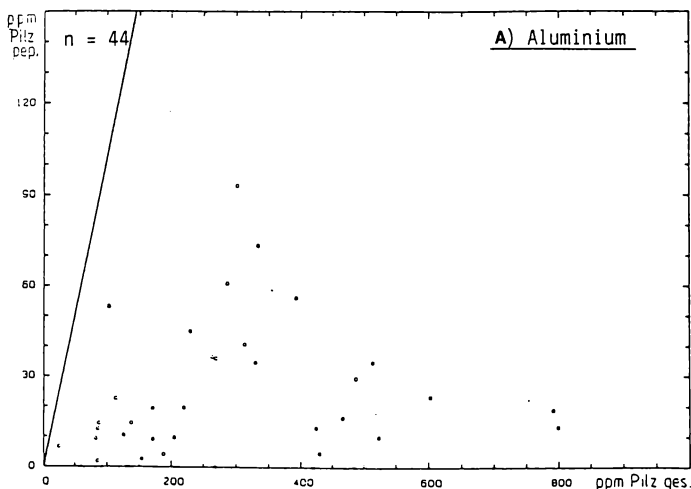


Abb. 8A: Der "magensaftverfügbare" Anteil der Metalle im Pilz (Aluminium)

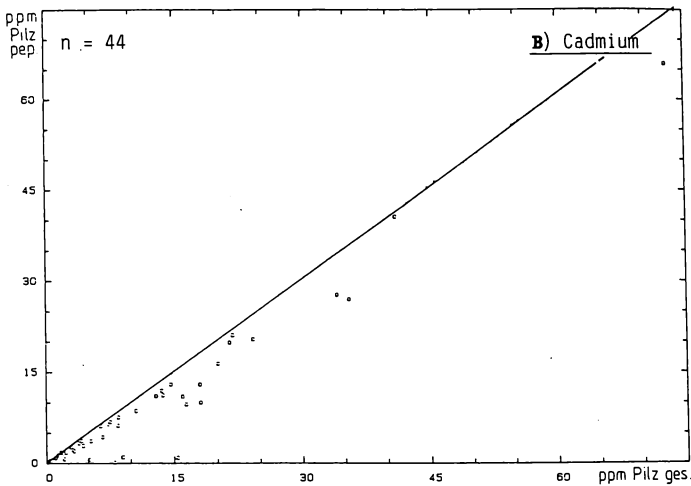


Abb. 8B: Der "magensaftverfügbare" Anteil der Metalle im Pilz (Cadmium)

deutlich an. Die jeweils gemittelte Prozentzahl über alle Proben beträgt:

Aluminium	: 7,3 %
Blei	: 23,1 %
Zink	: 57,1 %
Cadmium	: 76,9 %

Anzumerken sei für das Cadmium an dieser Stelle noch, daß der pepsinlösliche Anteil in aller Regel noch höher liegt und 100 % erreichen kann, was ein Blick auf die Abb. 8 zeigt.

6. Diskussion

6.1 Die Frage der pilzsystematisch bedingten Unterschiede

Arbeiten, die belegen, daß die Anreicherung bestimmter Elemente in Pilzen durch deren systematische Stellung bedingt ist, finden sich in der Literatur an einigen Stellen. Dies gilt z.B. für bestimmte – in der vorliegenden Arbeit nicht untersuchte – Elemente, wie das Beryllium (29), das Vanadium (19) und das Quecksilber (11,13,14,34). Auch bei Untersuchungen, die sich mit Aluminium-, Blei-, Cadmium- und Zinkgehalten von Wildpilzen beschäftigen, wurde diese Fragestellung mit betrachtet. Die jeweiligen Ergebnisse hierzu sollen mit den in der Literatur zitierten Werten vergleichend diskutiert werden.

Eine Abhängigkeit der Metallgehalte von der Lebensform (ob Saprophyt,

Parasit oder in Mykorrhiza lebend), wie an anderer Stelle erwähnt wird (83), kann in dieser Arbeit für kein Element festgestellt werden.

Im folgenden werden, wie im Kapitel 5.1, größtenteils sowohl Median – als auch Mittelwert der einzelnen Histogramme mit angegeben; bei der Diskussion der Auffälligkeiten der Verteilung werden jedoch bevorzugt die Medianwerte zum Vergleich herangezogen, da bei diesen die Ausreißer nicht so stark zum Tragen kommen. In dieser Arbeit sind also jeweils die am wahrscheinlichsten anzutreffenden Pilzmetallgehalte ein Maß für die Ähnlichkeit von Histogrammen. Bei der zahlenmäßigen Nennung der Werte sind die analytisch bedingten Standardabweichungen (vgl. 3.4.1 und 3.4.2) mit zu berücksichtigen.

Alle Metallkonzentrationen sind in ppm (=mg.kg⁻¹) bezogen auf die Pilz-trockensubstanz angegeben.

6.1.1 Aluminium

Im Vergleich mit anderen Untersuchungen über den Aluminiumgehalt von Pilzen, zeigt das in der vorliegenden Arbeit ermittelte Ergebnis eine recht große Streuung der Konzentrationen (10–3890 ppm). So finden sich in der Literatur Bereiche von 45–360 ppm (39) bzw. 2–427 ppm (9). Lediglich eine relativ neue Arbeit über Aluminium in Pilzen gibt einen Bereich von 7–5900 mg.kg⁻¹ an (24). Der Mittelwert in eben dieser letztgenannten Arbeit, deren Pilze größtenteils aus dem süddeutschen Raum stammen, gibt 222 mg.kg⁻¹ als durchschnittlichen Aluminiumgehalt im Pilz an, was mit dem in der vorliegenden Arbeit gefundenen Ergebnis von 298 ppm recht gut übereinstimmt. Etwa 70 % aller gemessenen Ergebnisse liegen unterhalb dieses Mittelwerts.

Der ermittelte Medianwert der vorliegenden Arbeit mit 153 mg.kg⁻¹ war deutlich größer als der in der Literatur zu findende Wert von 30 ppm. Hierbei wurden 200 Pilzproben auf Aluminium untersucht (9). Leider finden sich in dieser Untersuchung keine Hinweise auf die Bodenkonzentrationen und –bedingungen der jeweiligen Pilzstandorte, worin der Grund der stark von dem Ergebnis der vorliegenden Arbeit abweichenden Daten unter anderem zu suchen ist.

In der Literatur werden die *Hygrophoraceae* und die *Amanitaceae* als Familien mit Neigung zu höheren Aluminiumgehalten im Pilz beschrieben (9,24). Diese Tendenz läßt sich im ersten Fall durch 2 Vertreter der *Hygrophoraceae* (*Hygrophorus eburneus*, *H. penarius*) unter den acht Arten mit den höchsten Aluminium – Mittelwerten bestätigen (vgl. Abb. 3a). Bei den *Amanitaceen* wird dies ebenfalls durch 2 Vertreter im oberen Bereich deutlich (*Amanita vaginata*, *A. spissa*), wenn auch eine familienspezifische Neigung nur wenig

angedeutet wird (vgl. Familienhistogramme).

Die *Agaricaceae* und die Gattung *Russula* sind der Literatur nach durch geringe Aluminiumkonzentrationen gekennzeichnet (9). Dieses kann durch die Ergebnisse dieser Arbeit nicht bestätigt werden, im Gegenteil: sowohl die *Agaricaceae*, als auch die *Russula* – Arten zeigen z.T. deutlich erhöhte Aluminiumgehalte.

Hingegen zeigen die *Boletaceae* die – nach der Literatur zu erwartenden – geringen Konzentrationen.

Vertreter der Familien der *Lycoperdaceae* finden sich bevorzugt im unteren Bereich der gefundenen Konzentrationen. Dieses Ergebnis ist etwas unerwartet, da den *Lycoperdiaceen* im allgemeinen recht hohe Spurenelementkonzentrationen nachgesagt werden und man zumindest vermuten könnte, daß auch andere Metalle in höheren Konzentrationen anzutreffen sind (16).

Bei den *Tricholomataceen* finden sich keine Hinweise bezüglich auffällender Konzentrationen.

6.1.2 Blei

Alle gemessenen Bleiwerte dieser Arbeit liegen zwischen 0,2 und 67,0 mg Blei pro kg Pilztrockensubstanz. Vergleichsarbeiten geben Bleigehalte in Wildpilzen von 0,4–36,0 ppm (9), 2,0–40,5 ppm (16), 0,3–65,0 ppm (27), 0,1–2,0 ppm (32) und 0,5–16,0 ppm (83) an. Während zwei Arbeiten nur sehr geringe Bleigehalte in Pilzen finden, geben die anderen Untersuchungen in etwa den auch in der vorliegenden Arbeit gefundenen Konzentrationsbereich wieder.

Der "natürliche" Bleigehalt von Höheren Pflanzen liegt normalerweise unter 3 mg.kg^{-1} (102). Die Pilze weisen demnach im Vergleich höhere Bleikonzentrationen auf.

Der mittlere Gehalt an Blei in Pilzen ergibt sich nach der vorliegenden Arbeit zu 4,9 ppm. Etwa 65 % aller Proben liegen unter diesem Wert. Diese Angaben sind im Vergleich zu den in der Literatur zitierten Mittelwerten relativ gering: so gibt eine Arbeit, die vorzugsweise Pilze aus Süddeutschland untersucht hat, einen mittleren Bleigehalt in Pilzen von 10,6 ppm an (16).

Der Medianwert in der vorliegenden Arbeit liegt bei einer Konzentration von 2,7 ppm. Diese Differenz zwischen Mittel- und Medianwert ist auch hier, wie bei dem Aluminium, durch die Asymmetrie der Verteilung der Werte zu erklären. In einer britischen Arbeit wird ein Medianwert von $3,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ Blei in Pilzen gefunden (9), was die in der vorliegenden Arbeit gefundene Größenordnung bestätigt.

In der Literatur finden sich keine eindeutigen Hinweise darauf, daß Pilze in Abhängigkeit von der taxonomischen Stellung besonders Blei anreichern

können. Lediglich die *Lycoperdiaceae* scheinen eine gewisse Neigung zur verstärkten Bleiaufnahme aufzuzeigen (16,9), was sich durch die Ergebnisse dieser Arbeit auch bestätigen läßt (106).

Die *Agaricaceae* und die *Amanitaceae* zeigen als Familie, als auch durch die Mittelwerte einzelner Vertreter (*Agaricus sylvaticus*, *A. xanthodermus*, *Macrolepiota procera*, *Amanita spissa*) erhöhte Bleikonzentrationen.

Die *Trichlomataceae* decken hier in etwa den gleichen Bereich ab wie schon bei dem Gesamthistogramm.

Die *Boletaceae* und die *Russulaceae* finden sich eher im unteren Konzentrationsbereich. So liegen 95 % aller *Boletaceae* und 62 % aller *Russulaceae* unter dem Mittelwert aller Proben. Zudem finden sich zwei Vertreter der *Boletaceae* (*Boletus cavipes*, *B. erythropus*) im unteren Teil der Abb. 3b.

6.1.3 Cadmium

Die Cadmiumgehalte aller in der vorliegenden Arbeit gemessenen Pilzproben liegen zwischen 0,04 und 678 ppm. Im Vergleich hierzu finden sich in der Literatur Gehalte von 0,2–130 ppm (83), 0,1–299 ppm (9), 0,1–120 ppm (15) und 0,1–170 mg Cadmium pro kg Pilztrockensubstanz. Betrachtet man die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Ergebnisse ohne die Art *Melanoleuca melaleuca* (Gemeiner Weichritterling), der mit zwei Proben über 670 ppm (!) Cadmium liegt, so ergibt sich ein Cadmiumbereich von 0,04–78,6 ppm. Dies liegt in der gleichen Größenordnung, wie in der Literatur beschrieben.

Im Vergleich hierzu liegen die Cadmiumgehalte von Höheren Pflanzen meist unter 0,5 ppm (102) bezogen auf das Trockengewicht, also wesentlich niedriger als sie bei einem Großteil der Pilze zu finden sind.

Der Mittelwert über alle Proben in der vorliegenden Arbeit liegt bei 5,2 ppm, der Medianwert bei 2,6 mg Cadmium pro kg Pilz. Etwa 70 % aller gemessenen Proben liegen unter dem Mittelwert. Vergleicht man den Medianwert mit der Literatur, so liegt letzterer mit 1,4 ppm deutlich niedriger als der hier gefundene Wert (9).

Als spezieller Cadmiumanreicherer hat sich in erster Linie eine Untergattung der Familie der *Agaricaceae* hervorgetan (15,18). Diese Gattung *Agaricus* unterteilt man nach einer chemischen Reaktion nach SCHAEFFER (zit. nach 103) in die Untergattungen *Rubescentes*, die rötenden Champignons und in die Untergattung *Flavescentes*, die gilbenden Champignons. Letztere Untergattung enthält bevorzugt die Arten mit dem größten Cadmiumanreicherungsvermögen (18).

Als die am stärksten anreichernde Art erwies sich in der vorliegenden Arbeit *Melanoleuca melaleuca* (Gemeiner Weichritterling), der auch beim Blei schon

durch hohe Gehalte aufgefallen ist. Diese Art ist ein Vertreter der *Tricholomataceae* und weist im Mittelwert 362 ppm Cadmium auf. Der Grund für diese derart starke Anreicherung ist unbekannt. Die Spitzengehalte bei dieser Pilzart mit über 670 ppm wurden in zwei Individuen eines Standorts gemessen. Diese Art fiel auch in der Literatur durch hohe Gehalte, wenn auch nicht in dieser Größenordnung, auf (15).

Auch die Werte der Arten der Familie der *Agaricaceae* weisen eine Verschiebung in den höheren Konzentrationsbereich auf.

Auch die *Boletaceae* zeigen dies in gleicher Weise. So finden sich in 32 % der Proben mehr als 10 ppm Cadmium im Pilz. Diese Beobachtung deckt sich nicht mit Angaben aus der Literatur, wonach Vertreter der *Boletaceae* eher relativ wenig Cadmium beinhalten. Das hier gefundene Ergebnis der hohen Cadmiumgehalte läßt sich jedoch auch nicht durch Bodenbedingungen (vgl. 6.2) erklären. Es liegt der Schluß nahe, die Familie der *Boletaceae* mit einer genügend großen Anzahl einmal genauer zu untersuchen, um zu klären, ob nicht doch eine familienbedingte "Vorliebe" für das Cadmium besteht.

Die Gehalte der *Amanitaceae* weisen eine leichte Verschiebung in den höheren Konzentrationsbereich auf, was zumindest für die Gattung *Amanita* in der Literatur bestätigt wird (9,15).

Die Werte der *Lycoperdaceae* zeigen ebenfalls einen kleinen Schwerpunkt im höheren Konzentrationsbereich, was in der Literatur nicht belegt wird.

Die *Russulaceae* zeigen bezüglich des Cadmium keine besonderen Auffälligkeiten.

6.1.4 Zink

Im Vergleich mit anderen Untersuchungen ist der gefundene Konzentrationsbereich des Zinks in der vorliegenden Arbeit mit 12–1588 ppm als recht groß anzusehen. So finden sich sonst Zinkgehalte in Pilzen von 60–250 ppm (32), 13–307 ppm (26) und 9,0–1025 ppm (9). Nimmt man jedoch die beiden höchsten gemessenen Konzentrationen bei dieser Betrachtung heraus, so schrumpft der gefundene Bereich auf 12–460 ppm zusammen, was damit der zitierten Größenordnung entspricht.

Für das Zink sind in der Literatur lediglich leichte Tendenzen zu erhöhten Gehalten in bestimmten Pilzen bekannt, wobei vor allem die Gattungen *Agaricus* und *Lycoperdon* genannt werden (9). In der Abb. 3D finden sich jedoch Vertreter dieser "zinkliebenden" Gattungen nicht in auffälliger Weise wieder. In der vorliegenden Arbeit wird vielmehr der enge Verteilungsbereich offensichtlich, der sich im großen und ganzen bei allen Familien widerspiegelt.

Lediglich ein Hinweis auf die Sonderstellung der *Lycoperdiaceae* in Bezug auf höhere Zinkgehalte fällt bei der Betrachtung von *Calvatia excipuliforme*

(Beutel – Stäubling) auf. Zwar liegt der Mittelwert aller innerhalb dieser Art gemessenen Proben nicht im oberen Bereich der Abb. 3D, jedoch weisen Korrelationen zwischen Bodenmetallgehalt und Pilzmetallgehalt aller Einzelproben höhere Zinkkonzentrationen im Pilz als im Boden auf. *Calvatia excipuliforme* reichert also Zink im Fruchtkörper an, was eine Neigung zur verstärkten Zinkaufnahme andeutet. Die Gattung *Calvatia* wurde ehemals taxonomisch zur Gattung *Lycoperdon* gezählt; letztere ist bekannt für erhöhte Zinkkonzentrationen (9). In dieser nahen Verwandtschaft der beiden Gattungen mag der Grund für das auffallende Verhalten der Art *Calvatia excipuliforme* bei dem Element Zink liegen.

6.2 Durch spezielle Bodenfaktoren bedingte Einflüsse

Sollen Böden hinsichtlich ihrer Belastung durch Schwermetalle in bezug auf ihre pflanzenbauliche Nutzung beurteilt werden, so gilt es, alle Bodenparameter zu berücksichtigen, die für die Verfügbarkeit der Schwermetalle von Bedeutung sind. Die Bodenkriterien, die Einfluß auf die Verfügbarkeit der Metalle im Boden haben, sind unter anderem (57):

1. Ausgangsgehalt (Vorbelastung)
2. Geologisches Ausgangsgestein
3. Korngrößenverteilung
4. pH – Wert und Calciumcarbonatgehalt
5. Organische Substanz
6. Kationen – Austauschkapazität
7. Staunässe, Grundwassereinfluß
8. Gründigkeit
9. Untergrundbeschaffenheit
10. Bodenart und Bodentyp.

In der vorliegenden Arbeit sind lediglich der pH – Wert, die Bodenart und der Ausgangsgehalt untersucht worden.

6.2.1 Korrelation zwischen den Schwermetallgehalten in Boden und Pilz

Einen Zusammenhang zwischen den Schwermetallgehalten in Böden und Pilzen zu erstellen, wird nicht nur durch die Vielzahl der oben genannten Bodenfaktoren erschwert, sondern zudem noch durch die unterschiedlichen Bindungsformen, denen ein Metall im Boden unterworfen sein kann und die jeweils ein anderes physiko – chemisches Verhalten zeigen (60).

Darüberhinaus ist das unterschiedliche Verhalten der hier untersuchten Metalle zu berücksichtigen. So findet sich folgende allgemeine Reihe der Metallmobilität im Boden: $Zn > Cd > Pb > Al$ (59). Eine Einschätzung speziell

des pflanzenverfügbaren Anteils vom "Gesamtgehalt" an Metallen im Boden wird z.B. durch Extraktion mittels verdünnter Mineralsäuren (wie 0,1 n HCl; 0,4 n HNO₃) oder Lösungen von Komplexbildnern (EDTA = Ethylendiamintetraessigsäure; DTPA = Diethyltriaminpentaessigsäure) gewonnen. Ein weiteres oft verwendetes Extraktionsmittel ist 1 m Ammoniumacetatlösung (58,67). Die relativ große Anzahl an verwendeten Extraktionsmitteln liegt darin begründet, daß die Aussagen, die über die Pflanzenverfügbarkeit gewonnen werden, wenig eindeutig ausfallen. Es scheint, als ob jedes Pflanze – Boden – System eine spezielle Untersuchungsmethode erfordert (61).

Somit ist die Wahl eines geeigneten Extraktionsmittels für die vorliegende Fragestellung schwer zu treffen. Untersuchungen über die Pilzverfügbarkeit von Metallen aus dem Boden in das Mycel scheint es kaum zu geben.

In der vorliegenden Arbeit wurde als Extraktionsmittel für einen "leichter löslichen Anteil" der Oxalataufschluß (vgl. Kap. 3.3) gewählt. Man kann davon ausgehen, daß in dieser Lösung der Anteil an Metallen extrahiert wurde, der mindestens von den Pilzen aus dem Boden aufgenommen werden kann.

Bekannt ist, daß Pilze durch Ausscheidung von Exoenzymen wohl mehr Nährstoffe im Boden aufschließen können als z.B. Höhere Pflanzen (62).

Es ergaben sich weder für den Gesamt – noch für den Oxalataufschluß Korrelationen zwischen Boden – und Pilzmetallgehalten (vgl. Kapitel 5.2.1 und 5.2.2). Beide Aufschlüsse geben also nicht generell den pilzverfügbaren Anteil an Metallen wieder. An anderer Stelle scheiterte auch der Versuch, mit Ammoniumacetat als Lösungsmittel eine Korrelation zwischen den Metallgehalten von im Freiland gesammelten Pilzen und deren Böden zu ermitteln (63).

Jedoch gibt es auch Hinweise darauf, daß sich mit steigenden Schwermetallgehalten im Boden auch steigende Gehalte in Pilzen aus dem Freiland wiederfinden lassen, aber es liegen dann zumeist anthropogen kontaminierte Standorte vor (21,35). Es scheint, daß diese durch menschlichen Einfluß bedingten Belastungen erheblich besser bioverfügbar sind (52).

Arbeiten, die sich mit Pilzkulturen (Kulturchampignon) beschäftigen, wo bestimmte Mengen an Metallen in Form von Klärschlamm zugegeben wurden, finden ebenfalls eine Korrelation zwischen Boden – und Pilzgehalten (34,64). Untersucht wurden hierbei die Elemente Arsen, Blei, Cadmium, Kupfer, Quecksilber und Zink, wobei entweder mit einem Gesamtaufschluß oder einer Calciumchloridextraktion gearbeitet wurde.

Ein derartiger Anstieg der Metallgehalte im Pilz mit steigendem Bodengehalt ist in der vorliegenden Arbeit nur beim Aluminium angedeutet, was möglicherweise mit den hohen Bindungskräften im Boden zu erklären ist: hierbei würden die Aufnahmemechanismen der Pilze weniger ins Gewicht fallen.

Wenn der Begriff "Pilzverfügbarkeit" weiter verfolgt werden soll, um entsprechende Korrelationen – wie sie zwischen Boden und Pflanzen diskutiert werden – aufzustellen, werden folgende Untersuchungen für notwendig erachtet:

1. Kulturversuche mit Zugabe von Metallen in unterschiedlichster Form auf unterschiedlichem Substrat unter kontrollierten, reproduzierbaren Bedingungen.
2. Zunächst Beschränkungen auf nicht anreichernde Pilzarten, um zusätzliche Einflüsse so weit als möglich zu eliminieren.

Hinweise darauf, daß der Bodenmetallgehalt tatsächlich eine Auswirkung auf die Metallkonzentration im Pilz hat, lassen sich auch aus der vorliegenden Arbeit ableiten, wenn man den Blick auf einige ausgewählte Beispiele lenkt. So finden sich bei der Betrachtung einer Art von zwei Böden mit verschiedenen Metallgehalten mitunter deutliche Tendenzen (s. Tab. 3, ausgewählte Beispiele).

Wenn auch auf dem Wege des Ausschlusses störender Rahmenbedingungen für einzelne Pilzarten Korrelationen erstellt werden könnten, so mag das Ziel eines allgemein pilzverfügbaren Aufschlusses dennoch unrealistisch sein.

Im Einklang mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung steht auch die Aussage einer Arbeitsgruppe, die sich mit Klärschlammkomposten und Pferdemist als Substrat für Champignonkulturen beschäftigt hat: "...es ist daher prinzipiell nicht anzunehmen, daß ein chemisches Extraktionsverfahren die Verfügbarkeit (von Metallen) für Pilze mit endgültiger Genauigkeit anzugeben vermag." (64).

Tabelle 3: Ausgewählte Beispiele von Metallgehalten in Pilzen auf verschiedenen Böden (Angaben in mg.kg^{-1} , die Werte in Klammern geben zum Vergleich die Bodenkonzentrationen an)

<u>Aluminium</u>	Standort O (11364)	Standort Q-4 (603)
<i>Boletus edulis</i> :	799	150
<u>Blei</u>	Standort O (7,0)	Standort P-1 (4,0)
<i>Hypholoma sublateritium</i> :	2,1	0,8
<u>Cadmium</u>	Standort U-2 (1,7)	Standort P-2 (0,2)
<i>Oudemansiella platiphyllo</i> :	3,8	0,2
<u>Zink</u>	Standort E-1 (185)	Standort O (83,5)
<i>Tricholoma ustale</i> :	133	69,3

6.2.2 Der pH-Wert

Daß die Löslichkeit von Metallen und damit auch deren biologische Verfügbarkeit stark von der Bodenreaktion abhängt, ist in vielen Arbeiten belegt (z.B. 58,65,68,69). Dabei scheint der Einfluß der Bodenreaktion in der Reihenfolge der Schwermetalle $Cd > Zn > Pb$ abzunehmen (58). Zusätzlich hat der pH-Wert auch Einfluß auf die Austauschkapazität, die Gefügestabilität, die organische Substanz, die Adsorption an Tonmineralien und organischer Substanz, sowie auf die Stabilität von Chelaten (57,59).

Für alle Metalle gilt – legt man die Abb. 9 zugrunde – , daß die prozentuale Löslichkeit mit fallendem pH-Wert stark exponentiell zunimmt. Diese Metalle sind nunmehr besser von den Pflanzen aufnehmbar.

In diesem Zusammenhang ist ebenso eine Reihe von Versuchen unternommen worden, eine Korrelation zwischen pH-Wert im Boden und Metallgehalt in der Pflanze zu erstellen. Solch ein Zusammenhang ist für einige Höhere Pflanzen bei bestimmten Elementen belegt (z.B. 58,65,70). Hierbei steigt mit kleiner werdendem pH-Wert der Metallgehalt in der Pflanze. Dies scheint auf Pilze nicht ohne weiteres übertragbar zu sein.

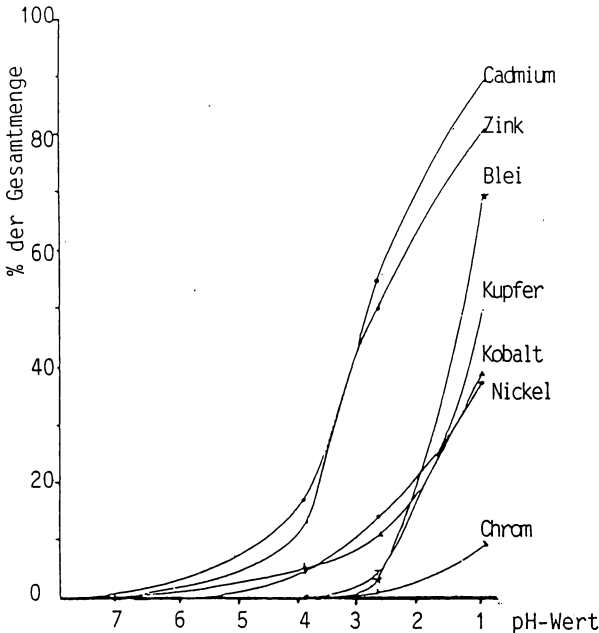


Abb. 9: Prozentualer Anteil der Gesamt mengen einiger Schwermetalle, die in Abhängigkeit vom pH-Wert mobilisierbar sind (nach 68).

Im Rahmen dieser Arbeit wurden verschiedenste graphische Darstellungen gewählt und auf ihren Informationsgehalt überprüft. Es ließen sich jedoch in keinem Fall Abhängigkeiten der Verfügbarkeiten der Metalle vom Säuregrad ableiten (vgl. 106). Ein Grund hierfür mag sein, daß der Boden-pH-Wert die Aufnahmemenge an Metallen für die Pilze nur unwesentlich beeinflusst, da im Nahbereich des Mycels eine hohe Protonenkonzentration – als Folge der Nährstoffaufnahme vorliegen mag. Dann wäre das relevante Bodenvolumen in Mycelnähe erheblich saurer als der übrige Bodenraum und die in diesem vorherrschende, durch Messung ermittelte H^+ -Konzentration wäre nicht systembeeinflussend.

6.2.3 Die Bodenart als bestimmender Faktor der Schwermetallmobilität

Der Einfluß der Korngrößenverteilung auf die Eigenschaften eines Bodens ist sehr groß: So nehmen mit fallender Korngröße die Parameter Gesamtporenvolumen, Wasserkapazität, Austauschkapazität, Adsorption von Nährstoffen und Pufferungsvermögen zu, während die Wasserleitfähigkeit des Bodens stark abnimmt (57). Diese Zusammenhänge deuten bereits an, daß somit auch die Metallaufnahmefähigkeit von Pilzen auf verschiedenen Böden unterschiedlich sein muß. Wichtig in dieser Hinsicht sind vor allem die Faktoren Adsorption von Kationen und Wasserdurchlässigkeit. In Landwirtschaft und Gartenbau ist bekannt, daß sandige Böden nur geringe Nährstoffmengen speichern können. Sie neigen – auch auf Grund ihrer sehr guten Wasserleitfähigkeit – zur Auswaschung. In sandigen Böden ist somit die Mobilität von Spurenelementen im allgemeinen sehr groß (74).

Im Gegensatz dazu ist der Ton sehr wasseraufnahmefähig; Nährstoffe werden kaum ausgewaschen, sondern fest gespeichert.

Verlagerungsprozesse von Schwermetallen im Boden durch Austauschprozesse nehmen mit steigendem Tongehalt ab (59,61). Der Lehm weist bezüglich dieser Problematik eine Zwischenstellung auf (73).

Auch der Humusgehalt wirkt sich auf die Verfügbarkeit der Schwermetalle im Boden aus. So ergibt sich aus dem Humus – als organischem Austauscher –, zusammen mit dem Ton – als mineralischem Austauscher – die Gesamtkationenaustauschkapazität des Bodens (57). Hoher Tongehalt und hoher Humusgehalt sind Grundlage einer hohen Kationenaustauschkapazität. Aufgrund der chemischen Eigenschaften (relativ hohe Ladungsdichte, relative Stabilität von chelatartigen Bindungen an Huminstoffen) werden Schwermetalle, verglichen mit Alkali- und Erdalkaliionen stärker an Ton und Humus gebunden (52).

Gerade im sandigen Boden ist (aufgrund der niedrigen Nährstoffspeicherkapazität) ein hoher Humusanteil für die Bindung von Metallen wichtig. So wer-

den auf derartigen Böden mit Cadmiumbelastung die Gehalte in den Pflanzen mit steigender Humusgabe geringer (75,76). Bei dem Element Blei beeinflussen diese Effekte die Bindungskapazität im Boden mehr als der pH-Wert (52). Grundsätzlich gilt, daß bei der Betrachtung der Rolle des Humus der pH-Wert mit berücksichtigt werden muß. So ist bei neutraler bis schwach alkalischer Reaktion eine Mobilisierung der Schwermetalle in anderer Reihenfolge zu erwarten als bei saurer Reaktion (77). Die Mobilisierung der Schwermetalle in neutraler bis schwach alkalischer Lösung muß jedoch nicht unbedingt höhere Aufnahmemengen in die Pflanzen bedingen, da nicht alle der organischen Metallkomplexe von Höheren Pflanzen in die Wurzel überführbar sind (77). So sind Kormophyten fast ausschließlich darauf beschränkt, Mineralstoffe aus dem Substrat und den Kohlenstoff aus der Luft aufzunehmen. Die Pilze dagegen können aufgrund ihres heterotrophen Stoffwechsels organische Substanz (wie Kohlenhydrate, Proteine, Lignine) in ihr Mycel überführen (52). Durch die oben erwähnte bevorzugte Bindung der Metalle an die organische Substanz des Bodens wird so eine große Metallquelle, die gewissermaßen als vorgeschaltete Akkumulation von Bedeutung sein dürfte, von Pilzen genutzt (52).

In der vorliegenden Arbeit werden Zusammenhänge zwischen Metallgehalt in Pilz und Boden in Abhängigkeit von der Bodenart kaum deutlich. Auffälligkeiten treten – trotz der geringen Probenzahl, die bei der Diskussion beachtet werden muß – beim tonigen Boden auf. Bei Blei und Cadmium mögen die durchweg geringen Gehalte im Pilz trotz relativ hoher Bodengehalte durch die große Bindungskapazität des Tons bedingt sein. Das Aluminium weist eine große Streubreite auf. Hier finden sich auch hohe Aluminiumkonzentrationen in den Pilzen. Der Grund für diese Erscheinung mag darin liegen, daß Aluminium als Hauptbestandteil des Tons (20), in großer Menge vorliegt. Hier mögen pilzspezifische und bodenbedingte Faktoren die jeweiligen Aufnahmemengen kontrollieren, so daß der beobachtete recht breite Streubereich auftritt. Dies würde auch die große Zahl an Pilzproben im oberen Konzentrationsbereich des Aluminiumhistogramms für Ton erklären (vgl. Abb. 5A).

Eine leichte Verschiebung des Histogramms zeigt sich auch für das Element Blei (vgl. Abb. 5B). Hierfür mag die relativ große Immobilität im Boden ein Grund sein (58). So sind die recht leicht beweglichen Schwermetalle Cadmium und Zink – trotz verschiedener Bodenstruktur – so mobil, daß die Körnung des Bodens und deren Folgen auf die Verfügbarkeit der Metalle nicht wirksam werden kann.

Für Sand, Lehm und Humusgehalt lassen sich keine Angaben machen. Andere auf die Metallverfügbarkeit im Boden wirkende Faktoren mögen diese Darstellung stark beeinflussen und etwaige Aussagen verwischen. Für die Klärung all dieser Zusammenhänge muß unbedingt eine Einschränkung der beeinflussenden Faktoren im Kulturversuch erfolgen.

6.3 Der Transferfaktor Boden / Pilz

Ein Versuch, die Verfügbarkeit von Metallen aus dem Boden für Pflanzen in Zahlen zu erfassen, ist die Berechnung von Transferfaktoren (98):

$$\text{Transferfaktor (Tf)} = \frac{\text{Gehalt in mg.kg}^{-1} \text{ der Pflanzentrockenmasse}}{\text{Gehalt in mg.kg}^{-1} \text{ des lufttrockenen Bodens}}$$

Bestimmt wird der Wert des Transferfaktors nun nicht allein von der Bodenkonzentration und anderen bodenbedingten Parametern (vgl. 6.2), sondern auch durch die Pflanzenart und anderes mehr.

Diese Zusammenhänge bedingen die große Variationsbreite der in der Literatur erwähnten Transferfaktoren, die damit nur zur Orientierung und groben Abschätzung dienlich sein können.

Berechnet man analog hierzu die entsprechenden Boden – Pilz – Transferfaktoren, so sollten diese aufgrund des unterschiedlichen Metallaufnahmevermögens aus dem Substrat deutlich andere Werte als die für Pflanzen bestehenden aufweisen. Aufgrund der wenigen Angaben über Transferfaktoren in der Literatur soll der Vergleich zwischen Pflanze und Pilz nur für Cadmium und Blei gezogen werden. Der Vollständigkeit halber sind die Transferfaktoren Boden – Pilz für Aluminium und Zink hier mit angegeben. Die entsprechenden Werte für Pflanzen sind aus Gehalten von verzehrbaren Pflanzenteilen von Frucht-, Wurzel- und Blattgemüse und den entsprechenden Bodenkonzentrationen errechnet worden. Zugrunde liegen keine geogenen Belastungen des Bodens. In solchen Fällen wäre der jeweilige Transferfaktor um eine Größenordnung niedriger einzuschätzen, eine Beobachtung, die die bereits erwähnte bessere Verfügbarkeit von anthropogen bedingten Bödenkontaminationen nochmals unterstreicht (98). Zum Vergleich der in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Ergebnisse sind mittlere Anreicherungs-faktoren aus einer Arbeit berechnet worden, wo ebenfalls Pilze und ihre korrespondierenden Böden untersucht wurden (10). Die Werte der Transferfaktoren sind Tabelle 4 zu entnehmen.

Bei der Betrachtung der aus der vorliegenden Arbeit berechneten Ergebnisse wird die bereits an anderer Stelle (vgl. 6.2) erwähnte unterschiedliche Verfügbarkeit der Metalle deutlich. Hierbei weist das Aluminium erwartungsgemäß die geringste Verfügbarkeit (und damit Aufnahme in das Pilzgewebe) auf, es folgt Blei, dann Zink und schließlich Cadmium. Danach ergibt sich eine Fähigkeit zur Anreicherung von Zink und vor allem von Cadmium (vgl. 6.1). Derlei Anreicherungsprozesse, die beim Zink immer wesentlich geringer ausgeprägt sind als beim Cadmium, finden sich in der Literatur bestätigt (z.B. 15,18).

Diese erhöhten Metallanreicherungen, zu denen Pilze gegenüber Höheren

Pflanzen in der Lage sind, wird durch Vergleich der entsprechenden Transferfaktoren belegt.

Tab. 4: Transferfaktoren

	Al	Pb	Cd	Zn
Höhere Pflanzen (nach 98)	-	0,03	0,2	-
Pilze (nach 10)	-	0,24	15,4	-
Pilze (nach 106)	0,03	0,40	7,6	1,6

Der Sonderfall "Cadmium" mit dem ausgeprägten Anreicherungsvermögen mag zum einen in der bevorzugten Bindung des Cadmiums an die organische Substanz des Bodens liegen, die den Pilzen als Kohlenstoffquelle dient (52), zum anderen an dem hohen Eiweißgehalt der Pilze (bis 50 % der Pilztrockenmasse), wo bestimmte Proteine hohe Bindungskapazitäten für Cadmium aufweisen können (vgl. 6.6). Weiterhin mögen die "ungeschützten" Oberflächen der vegetativen Zellen, sowie das hohe Oberflächen / Volumen – Verhältnis des Hyphengeflechts im Boden die Pilze für eine Schadstoffanreicherung geradezu prädestinieren (99).

6.4 Standortsabhängigkeit

Der Grund für eine Standortsbetrachtung der Ergebnisse liegt darin, daß bei der Korrelation von Metallgehalten im Pilz mit speziellen Bodenfaktoren immer Variablen bestehen bleiben, deren störender Einfluß nicht faßbar ist (vgl. 6.2). Hier sollte geklärt werden, ob ein Standort – mit all seinen auf die Schwermetallaufnahme des Pilzes einwirkenden Faktoren und auch seinen nicht bodenbedingten Einflüssen (z.B. Depositionen über atmosphärische Niederschläge) – als besonders metallbelastet angesehen werden muß. Wenn dies möglich wäre, könnten die Pilze oder bestimmte Pilzarten als Monitoren für hoch schwermetallbeeinflusste Standorte herangezogen werden, bevor diese Erscheinung im Boden deutlich würde. Arbeiten hierzu sind im Falle von Quecksilberbelastungen über die Luft bereits durchgeführt worden, deren Ergebnisse Pilze durchaus als Monitoren erscheinen lassen (21,78).

Der Standort N (Heeper Fichten / Ost), durchgängig mit Pilzen im unteren Metallkonzentrationsbereich, weist normale Bodengehalte auf. Ein Grund für die allgemein niedrigen Metallgehalte im Pilz mag in dem tonigen Boden liegen, der durch die hohen Bindungskapazitäten nur wenig Metalle freigibt. Der Standort O (Heeper Fichten / West) mit regelmäßig recht hohen Metallwerten im Pilz weist ebenfalls keine auffälligen Bodengehalte auf. Hier sorgen jedoch andere Bodeneigenschaften (sandig – lehmig, humos) für abweichende Metallbeweglichkeiten.

Auffällig gering sind die Pilzmetallgehalte der Standorte P (Sende / Schloß Holte) und T (Teutoburger Wald / Universität). Allenfalls lassen sich die niedrigen Aluminiumkonzentrationen in den Pilzen des Standortes P mit den dort vorherrschenden sandigen Böden, die natürlicherweise wenig Aluminium enthalten, erklären.

Hinzu kommt der Effekt, daß es Pilzarten gibt, die unabhängig von der bodenbedingten Belastung des Standortes immer niedrige Metallgehalte aufweisen. Beispiele hierfür sind *Hypholoma sublatertium* und in abgeschwächter Form – *Lactarius blennius*. Ob diese Pilze eine Art "Ausschluß" der Metalle aus dem Fruchtkörper bewirken können ("bioexclusion" (9)), ist hier nicht zu beantworten. Die geringen Gehalte an Aluminium und Blei und die mittleren Werte für Cadmium und Zink bei *Armariella mellea* – unabhängig vom Standort – mögen mit der Lebensweise des Pilzes erklärt werden: er lebt in der Regel als Saprophyt oder Parasit auf Holz und hat damit keinen direkten Bodenkontakt. Somit kann seine Metallaufnahme mit Ausnahme von atmosphärischen Niederschlägen nur über die Zwischenstation Holz erfolgen. Da aber gerade Aluminium und Blei kaum in die oberirdischen Teile von Pflanzen transportiert werden können, ist die verfügbare Menge dieser Metalle für den Pilz klein. Cadmium und Zink – als wesentlich mobilere Elemente in Höheren Pflanzen – mögen daher in größerer Konzentration für den Pilz aufnehmbar sein. Der in Wäldern nachgewiesene verstärkte Eintrag von Cadmium durch Ausfilterung atmosphärisch verfrachteter Schwermetalle durch die Bäume (55,79) spielt hierbei sicher eine zusätzliche Rolle.

Relativ hohe Gehalte an Schwermetallen finden sich an allen Standorten bei zwei Arten: *Calvatia excipuliforme* und *Boletus edulis*. Dies scheint offensichtlich systematisch bedingt zu sein.

6.5 Der Zusammenhang zwischen Cadmium– und Zinkkonzentration der Pilze

Für tierische und menschliche Organismen sind Wechselwirkungen zwischen Cadmium und Zink in bezug auf Resorption und Wirkung bekannt (80). Untersuchungen an Pilzen führten in Spanien zu dem Ergebnis, daß bei hoher Zinkkonzentration die Cadmiumgehalte im Pilz kleiner werden und umgekehrt, da die Aufnahmeorte die gleichen sind (81). Ein Zusammenhang zwischen Blei und Cadmium im Pilz ist ebenfalls in der Literatur belegt (83). Andere Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, daß Cadmium mit Zink verwechselt wird und deshalb, da Zink ein essentielles Spurenelement darstellt, verstärkt aufgenommen werden kann (11).

Zu dem genau entgegengesetzten Schluß kommen Arbeiten aus der Bundesrepublik. Hier werden keinerlei Zusammenhänge zwischen Zink– und Cad-

miumkonzentration im Pilz gefunden, weshalb von zwei völlig verschiedenen Transportsystemen ausgegangen wird (18,82).

Das Resultat der vorliegenden Arbeit scheint zwischen diesen beiden Extremen zu stehen. So bestehen in den unteren Konzentrationsbereichen von Zink und Cadmium keine Abhängigkeiten untereinander, während im hohen Konzentrationsbereich immer entweder nur das eine oder nur das andere Element vorzuherrschen scheint (vgl. Abb. 7). Vielleicht ist im hohen Konzentrationsbereich eines Elements – auch bei Annahme von zwei unabhängigen Transportsystemen – die Konkurrenz um die jeweiligen Bindungsstellen so groß, daß aufgrund der chemischen Ähnlichkeit der Elemente tatsächlich beide Systeme für den Eintritt eines Metalles bevorzugt sorgen, unter verringerter Elementspezifität.

6.6 "Magensaftlöslicher" Anteil der Metalle aus den Pilzen

Die Aufnahme von Metallen aus pflanzlichen Nahrungsmitteln wird beim Menschen durch bestimmte Faktoren gesteuert. Darunter fallen – je nach Element mit unterschiedlicher Wirkung – die Metallmengen, die Expositionszeiten, bestimmte synergistisch bzw. antagonistisch wirkende Faktoren, sowie die chemische Bindungsform des Elements im pflanzlichen Gewebe (85,86,87).

Bisher sind Untersuchungen über Bindungsformen von Schwermetallen in pflanzlichen Lebensmitteln im Hinblick auf deren Verfügbarkeit für Mensch und Tier sehr rar (52).

Im tierischen und menschlichen Organismus sind bestimmte Proteine (Metallothioneine) isoliert worden, die zur Speicherung und zum Transport von essentiellen Spurenelementen (wie z.B. Zink und Kupfer) dienen, denen aber auch eine Entgiftungsfunktion von Schwermetallen zufällt.

Metallothioneine sind ebenfalls in pflanzlichen Organismen nachgewiesen, z.B. in den Blättern und vor allem in den Wurzeln von Sojabohne, Bohne und Mais, wo sie ebenfalls die Funktion der Schwermetallbindung haben (88). Die Annahme, daß auch Höhere Pilze Metallothioneine zur Bindung von Schwermetallen aufweisen, lag auf der Hand (91). Untersuchungen an *Agaricus macrosporus*, einem Pilz mit starker Anreicherungsfähigkeit für das Element Cadmium, führten zu dem Ergebnis, daß als bindendes Protein im Pilz ein Phosphoglycoprotein, mit Namen Cadmium – Mycophosphatin dient. Dieses Protein weist – im Gegensatz zu den bekannten Metallothioneinen – keinen Schwefel auf, dafür aber einen hohen Anteil an Phosphor. Inwieweit das Cadmium aus dieser Bindung heraus im menschlichen Magen – Darm – Trakt verfügbar ist, kann an dieser Stelle nicht entschieden werden.

Überhaupt ist über die tatsächliche Resorption von Schwermetallen aus speziell pilzlichem Material wenig bekannt. Bei der Empfehlung des Bundesgesundheitsamtes, auf den Verzehr größerer Mengen an Wildpilzen zu verzichten (23), wurde von den – in der Literatur zitierten – sehr hohen Gehalten an Cadmium, als besonders kritisch zu wertendem Element, ausgegangen. Bei der Mengenfestlegung von 200 – 250 g Pilz pro Erwachsenen in der Woche wurde eine Cadmiumresorptionsquote von 5 % angenommen (90). Kritik an dieser Festlegung baute sich vor allem darauf auf, daß diese Verzehrsempfehlung in weitgehender Unkenntnis der Bindungsform des Metalles und seiner Verfügbarkeit veröffentlicht wurde (84,93). Von dieser Seite wird geltend gemacht, daß Speisepilze, deren Gerüstsubstanz Chitin enzymatisch nicht angreifbar ist, im Magen – Darm – Trakt nicht aufschließbar seien (94). Untersuchungen der Cadmiumaufnahme durch Versuchspersonen, die über drei Tage lediglich pilzliche Nahrung zu sich nahmen, weisen signifikant höhere Schwermetallmengen im Stuhlgang nach. Hieraus wurde der Schluß gezogen, daß die Verzehrsempfehlung des Bundesgesundheitsamtes in dieser Form nicht berechtigt wäre (93). Jedoch fehlen auch hier genaue Bilanzierungen in der Art, daß auf eine tatsächliche Resorptionsrate des Cadmiums geschlossen werden kann (90).

In dieser Arbeit wurde versucht, eine Abschätzung darüber zu erhalten, wie groß der Anteil der Metalle ist, der durch den "Magenaufschluß" aus den Pilzen heraus löslich wird. Das Ergebnis der prozentualen Löslichkeit im Pepsinextrakt Aluminium < Blei < Zink < Cadmium ist aufgrund des chemischen Verhaltens dieser Elemente erklärbar. So sind Aluminium und Blei grundsätzlich relativ schwer löslich, während Cadmium und Zink, besonders bei kleinen pH – Werten, leichter löslich sind.

Unerwartet groß ist die gelöste Cadmiummenge aus dem Pilzmaterial, wo oftmals zwischen 90 und 100 % des gesamten Metallgehaltes lösbar waren (vgl. Abb. 8C). Zwar kann auch hier keine Aussage über die Resorptionsrate des Cadmiums gemacht werden, aber immerhin scheint es hiernach im Magen in einer potentiell aufnehmbaren Form vorzuliegen. Ein Ergebnis, das vor allem bei den – auch in der vorliegenden Arbeit bestätigten – hohen Cadmiummengen in Pilzen Anlaß zur Besorgnis geben sollte.

Im Hinblick auf einen vorsorgenden Verbraucherschutz muß auch nach diesem Ergebnis die Warnung des Bundesgesundheitsamtes vor einem häufigen Verzehr von Wildpilzen unterstrichen werden: schließlich weisen 32 % aller gemessenen Proben einen Cadmiumgehalt über dem Richtwert von Fruchtgemüse auf! Werden allein die Speisepilze dieser Arbeit betrachtet, so liegen 71,6 % der Proben über diesem Richtwert. Die exemplarisch vom Markt bezogenen Champignons weisen zwar bei weitem nicht so hohe Cadmiumkonzentrationen auf, jedoch liegen auch hier einige Werte über dem Richtwert.

Wenige Arten zeigen im Pepsinaufschluß eine geringe Cadmiumlöslichkeit: so z.B. *Calvatia excipuliforme* (36 %), *Calocybe gambosa* (55 bzw. 58%), *Collybia butyracea* (43 %) und *Russula nigricans* (1,9 %). Es wäre interessant, diese Ergebnisse weitergehend daraufhin zu untersuchen. Zu denken wäre an unterschiedliche Bindungsformen des Cadmiums in verschiedenen Pilzarten, was eine unterschiedliche Löslichkeit bedingen könnte. Bei den drei anderen Elementen sind die gelösten Anteile, besonders bei Aluminium und Blei, wesentlich geringer (vgl. Abb. 8).

7. Abschließende Betrachtung

Über Schwermetalluntersuchungen einiger ausgewählter Lebensmittel wird auch in der Bielefelder Lokalpresse berichtet (z.B. 104). Im Rahmen dessen wurde unter anderem auf die prinzipielle Belastung der Pilze mit Schwermetallen hingewiesen; ohne konkrete Daten in der Presse bezeichnen Vertreter des Chemischen Untersuchungsamtes die gemessenen Konzentrationen jedoch lediglich als "bedenkliche Werte". Diese Aussage muß nach den in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Erkenntnissen sicher verstärkt werden. Auch für Bielefelder Pilzsammler gilt, daß der Verzehr von gesammelten Wildpilzen in diesem Raum mit einer hohen Last an Schwermetallen einhergeht, so daß Verzehrsempfehlungen, wie sie das Bundesgesundheitsamt erlassen hat, leider auch für Bielefelder Verhältnisse ihre Berechtigung haben.

Für einige eßbare Arten, wie z.B. den Gemeinen Weichritterling (*Melanoleuca melaleuca*) oder auch den Knopfstiel-Rübling (*Collybia confluens*), den Maipilz (*Calocybe gambosa*) und den Steinpilz (*Boletus edulis*), finden sich derart hohe Gehalte an Cadmium, daß eine Verzehrsempfehlung hier nicht ausreicht. Da sowohl die jeweils bekannte Herkunft des Probenmaterials, als auch die eng umgrenzte Standortwahl jederzeit die Reproduzierbarkeit der durchgeführten Untersuchungen gewährleisten, würde eine Wiederholung der hier bearbeiteten Fragestellung in einigen Jahren Auskunft über zeitliche Veränderungen der Metallbelastung der Pilze sowie der untersuchten Böden geben. Interessant wäre dies vor allem im Hinblick auf die Aluminiumkonzentrationen der Pilze. Hier ist durch eine weitergehende Versauerung der Böden durch saure Niederschläge eine vermehrte Aluminiummobilisierung zu befürchten, was sich dann in eventuell höheren Aluminiumpilzgehalten widerspiegeln würde.

Ebenso von Interesse wäre es entsprechend breit angelegte Untersuchungen an anderen eng umgrenzten Gebieten der Bundesrepublik anzustellen, um zu prüfen, ob die Bielefelder Verhältnisse sich durch Besonderheiten auszeichnen.

Daß bestimmte Pilzarten in der Lage sind, aromatische Strukturkomponenten kontaminierter Böden anzugreifen und abzubauen, ist mittlerweile bekannt (107). Inwieweit sich die Fähigkeit der Pilze, Metalle bevorzugt aus dem Substrat übernehmen zu können, für die Sanierung belasteter Böden nutzen läßt, kann hier nur spekulativ betrachtet werden. Bei zur Zeit (Mai 1988) 560 allein in Bielefeld registrierten Altlasten, die sich im hiesigen Raum oft durch hohe Schwermetallkontaminationen ausweisen, ist der Gedanke naheliegend, zu prüfen, inwieweit sich Pilze auch hier – kontrolliert – zur Dekontamination nutzen ließen. Derartige Versuche sind zumindest bei Verwendung bestimmter Höherer Pflanzen (*Polygonum sachalinense*) bereits durchgeführt worden (108).

8. Literatur

- (1) BOUILLON–LA GRANGE 1804, *Analytica Chimica* 51, 75 (zit. nach 4)
- (2) BRACONNOT, H. 1811, *Analytica Chimica* 80, 272 (zit. nach 4)
- (3) VAUQUELIN, N. 1813, *Analytica Chimica* 85, 5 (zit. nach 4)
- (4) BÖTTICHER, W. 1974: "Technologie der Pilzverwertung", Ulmer–Verlag, Stuttgart
- (5) CHMIELNICKA, J. et al. 1973: "Nachweis von Schädlingsbekämpfungsmitteln in Pilzen", *Chemical Abstracts* 78, 28007
- (6) GRÜTER, H. 1964: "Eine selektive Anreicherung des Spaltprodukts 137–Cs in Pilzen", *Naturwissenschaften* 51, 161
- (7) SCHELENZ, R., DIEHL, F. 1974: "Der Quecksilbergehalt von Speisepilzen", *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und –forschung*, 54, 160
- (8) WOIDICH, H., PFANNENHÄUSER, W. 1975: "Der Quecksilbergehalt von Speisepilzen", *Deutsche Lebensmittel Rundschau* 71, 177
- (9) TYLER, V. E. 1980: "Metals in Sporophores", *British Mycological Society*, 74, 41
- (10) COLLET, P. 1977: "Über den Gehalt von Blei, Cadmium und Kupfer in Speisepilzen", *Deutsche Lebensmittel Rundschau* 73, 75
- (11) STIJVE, T., BESSON; R. 1976: "Mercury, Cadmium, Lead and Selenium Content of Mushrooms Belonging to the Genus *Agaricus*", *Chemosphere* 2, 151
- (12) BÖTTGER, M. 1978: "Zum Schwermetallgehalt von Pilzen des Bayrischen und Oberbayrischen Waldes", *Industrielle Obst– und Gemüseverwertung* 63, 431

- (13) SEEGER, R. 1976: "Die Verteilung des Quecksilbers in den Fruchtkörpern von Steinpilzen und Champignons", Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -forschung 161, 115
- (14) SEEGER, R. 1976: "Quecksilbergehalt der Pilze", Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -forschung 160, 303
- (15) SEEGER, R. 1978: "Cadmium in Pilzen", Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -forschung 166, 23
- (16) SEEGER, R. 1976: "Blei in Pilzen", Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -forschung 162, 7
- (17) LAUB, E. 1977: "Über die Cadmiumanreicherung in Champignons", Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -forschung 164, 269
- (18) MEISCH, H.-W. et al. 1977: "Schwermetalle in Höheren Pilzen: Cadmium, Zink, Kupfer", Zeitschrift für Naturforschung 32 c, 172
- (19) MEISCH, H.-W. et al. 1978: "Schwermetalle in Höheren Pilzen: Vanadium und Molybdän", Zeitschrift für Naturforschung 32 c, 1
- (20) MEISCH, H.-W. et al. 1977: "Schwermetalle in Höheren Pilzen: Mangan und Eisen", Zeitschrift für Naturforschung 32 c, 712
- (21) ENKE, M. et al. 1977: "Schwermetallanreicherung in Pilzen", Mykologisches Mitteilungsblatt 21, 7
- (22) PARA, M. et al. 1983: "Determinacion de Cadmio, Cobalto, Cromo y Niquel en Especies de Hongos Comestibles", An. INIA/ser. Agric/N. 23, 65
- (23) LORENZ, H. et al. 1978: Bundesgesundheitsblatt 21 (13) vom 23.06.1978
- (24) NATHAN, W. 1984: "Der Aluminiumgehalt Höherer Pilze", Dissertation Universität Würzburg
- (25) SEEGER, R. et al. 1983: "Zum Natriumvorkommen in Pilzen", Deutsche Lebensmittel Rundschau 79, 80
- (26) MUTSCH, F. 1979: "Spurenelemente in Höheren Pilzen", Zeitschrift für Pflanzenphysiologie 91, 1
- (27) Chemisches Untersuchungsamt der Stadt Bielefeld 1981
- (28) SEEGER, R. 1979: "Magnesium in Höheren Pilzen", Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -forschung 168, 264
- (29) SEEGER, R. 1984: "Untersuchungen zum Berylliumvorkommen in Pilzen", Deutsche Lebensmittel Rundschau 80, 178
- (30) LEH, O. 1975: "Bleigehalte in Pilzen", Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -forschung 157, 141
- (31) NISHIMOTO, T. et al. 1977: "Accumulation of Heavy Metals from Smeltery on Forest Ecosystems and their Uptake by Shiitake Mushroom", Bull. Gov. For. Exp. Sta. 298, 1

- (32) ALSEN, C. et al. 1977: "Schwermetallgehalt in eßbaren Pilzen", *Öffentliches Gesundheitswesen* 39, 780
- (33) SEEGER, R. 1982: "Toxische Schwermetalle in Pilzen", *Deutsche Apothekerzeitung* 122, 1835
- (34) AICHBERGER, K. 1975: "Quecksilbergaben von Champignons aus künstlich angereichertem Substrat", *Bodenkultur* 26, 8
- (35) DOLISCHKA, J. 1982: "Investigation about Lead and Cadmium in Wild Growing Mushrooms", in: *Recent Developments in Food Analysis* (Ed. W. BALTES)
- (36) JAHN, H. 1979: "Pilze rundum", Koeltz-Verlag, Königstein
- (37) RUNGE, A. 1981: "Pilzflora Westfalens", *Abhandlungen des Landesmuseums für Naturkunde zu Münster in Westfalen*
- (38) MICHAEL, W. et al. 1977: "Handbuch für Pilzfreunde", Fischer-Verlag Stuttgart
- (39) VASS, A. 1979: "The Mineral Content of Fungi", *Botanikai Közlemenyek* 66, 291
- (40) Bundesgesetzblatt 1982, Teil 1: Klärschlammverordnung vom 25.06.1982
- (41) Mykologische Gesellschaft Luzern 1978: "Kleine Einführung in die Pilzkunde"
- (42) MOSER, M. 1978: "Die Röhrlinge und Blätterpilze", Fischer-Verlag Stuttgart
- (43) SCHELLMANN, B., OPITZ, O. 1978: "Cadmium-, Blei- und Kupferkonzentrationen in Wiesenpilzen", *Lebensmittelchemie und Gerichtliche Chemie* 32, 97
- (44) Deutsches Arzneibuch 1978, 8. Ausgabe
- (45) FÖRSTNER, U. 1983: "Bindungsformen von Schwermetallen in Sedimenten und Schlämmen", *Fresenius' Zeitschrift für Analytische Chemie*, 316, 604
- (46) LEWANDOWSKI, C. 1984: "Zur Toxikologie von Aluminium", Diplomarbeit Universität Kiel
- (47) ROSAPUB, A. et al. 1984: "Untersuchungen über die Schwermetallanalyse in Feststoffen mit der direkten Zeeman-AAS", *Fresenius' Zeitschrift für Analytische Chemie* 319, 540
- (48) LANGE, J. E., LANGE, M. 1973: "Pilze", BLV-Verlag, München
- (49) SCHEFFER, F., SCHACHTSCHNABEL, P. 1982: "Lehrbuch der Bodenkunde", Enke-Verlag, Stuttgart
- (50) HAGHIRI, F. 1976: "Release of Cadmium from Clays and Plant Uptake", *Journal of Environmental Quality* 5, 395
- (51) BRÜMMER, G. 1984: "Bodenfunktion und Bodenschutz" in: *Loccumer Protokolle* 2

- (52) FATHI, M., LORENZ, H. 1980: "Bindungsformen von Quecksilber, Cadmium und Blei in Biotopen, Verhalten in der Nahrungsketten und Vorkommen in Nahrungsmitteln. Metabolismus in Pflanze, Tier und Mensch", ZEBS – Berichte 1, Berlin
- (53) KÄFERSTEIN, K. et al. 1979: "Blei, Cadmium und Quecksilber in und auf Lebensmitteln", ZEBS – Berichte 1, Berlin
- (54) SIEGEL, T. 1983: "Fundstellenverzeichnis von Beurteilungsgrundlagen für Schwermetalle in Lebensmitteln und Kosmetika", Deutsche Lebensmittel Rundschau 79, 48
- (55) ULRICH, B. 1979: "Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling", Schriftenreihe Forstliche Fakultät Universität Göttingen 58
- (56) HAPKE, H. – J. 1984: "Aufarbeitung der zur Zeit bekannten Wirkungen der Schwermetalle Blei, Zink, Cadmium, Nickel, Thallium und Arsen und deren Wechselwirkungen miteinander" in: Ermittlung, Bewertung und Beurteilung von Emissionen und Immissionen umweltgefährdender Schwermetalle, Umweltbundesamt, Berlin
- (57) Umweltbundesamt 1984: "Bodenfaktoren, die für die Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen von Bedeutung sind", Berlin
- (58) HERMS, U., BRÜMMER, G. 1980: "Einfluß der Bodenreaktion auf Löslichkeit und tolerierbare Gesamtgehalte an Nickel, Zink, Kupfer, Cadmium und Blei in Böden und kompostierten Siedlungsabfällen", Landwirtschaftliche Forschung 33, 4
- (59) EL BASSAM, N. E. 1982: "Kontamination von Pflanzen, Böden und Grundwasser durch Schwermetalle aus Industrie – und Siedlungsabfällen", Gas – und Wasserfach – Wasser/Abwasser 123, 539
- (60) SCHWEDT, G. 1983: "Bindungsformen chemischer Elemente in Bio – und Umweltmaterialien, Teil 3", Chemie für Labor und Betrieb 34, 455
- (61) PICKERING, W:F: 1981: "Selective Chemical Extraction of Soil Components and Bound Metal Species" in: Critical Reviews in Analytical Chemistry, S. 233
- (62) MÜLLER, E., LÖFFLER, W. 1982: "Mykologie", Thieme – Verlag, Stuttgart
- (63) BALTES, W. (Hrsg.) 1982: "Recent Devolpments in Food Analysis", New York
- (64) DOMSCH, K. – H. 1976: "Schwermetallgehalte in Kultursubstrat und Erntegut des Champignon *Agaricus bisporus* beim Einsatz von Müllklärschlammkompost", Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 139, 487

- (65) KLOKE, A. 1979: "Der Einfluß von Cadmium im Boden auf den Ertrag verschiedener Pflanzenarten und deren Cadmiumgehalt", Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 142, 131
- (66) JONES, L. H. 1961: "Aluminium Uptake and Toxicity in Plants", Plant and Soil 8, 297
- (67) FRANCK, V. E. 1979: "Vergleich von Methoden zur Bestimmung des verfügbaren Zinks im Boden", Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 29, 595
- (68) COTTENIE, A., KICKENS, C. 1981: "Beweglichkeit von Schwermetallen in mit Schlämmen angereicherten Böden", Korrespondenz Abwasser 28, 206
- (69) FASSBINDER, H. – W. 1976: "Funktionen und Löslichkeit der Schwermetalle Cadmium, Cobalt, Chrom, Kupfer, Nickel und Blei im Boden", Geoderma 16, 55
- (70) KLOKE, A. 1984: "Problematik von Orientierungs-, Richt- und Grenzwerten" in: Loccumer Protokolle 2
- (71) KHALID, A. 1979: "A Study of Soil Aluminium Extraction", Tropical Agriculture 56, 53
- (72) PRINZ, B. 1982: "Anhörung zu Cadmium", Protokoll der Sachverständigenanhörung vom 2. bis 4.11.1981, Umweltbundesamt, Berlin
- (73) GÖBEL, E. 1984: "Alles über Gartenböden", Kosmos – Verlag, Stuttgart
- (74) GERRIKE, R. G. 1981: "Trace Element Mobility in Soils" in: International Conference of Heavy Metals in the Environment, Antwerpen
- (75) MAC LEAN, A. J. 1976: "Cadmium in Different Plant Species and its Availability in Soils as Influenced by Organic Matter", Canadian Journal of Soil Science 56, 129
- (76) PETRUZELLI, G. 1981: "Interaction among Heavy Metals and Organic Matter Soils" in: International Conference of Heavy Metals in the Environment, Antwerpen
- (77) MILLER, M. H. et al. 1958: "Water Soluble Chelating Agents in Organic Materials", Proceedings of Soil Science Society of America 22, 228
- (78) RAUTER, W. 1975: "Pilze als Indikatoren für Quecksilberimmissionen am Standort einer Chlor – Alkali – Elektrolyse", Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und –forschung 159, 149
- (79) NÜRNBERG, H. – W. et al. 1984: "Studies on Deposition of Acid and of Ecotoxic Heavy Metals with Precipitates from the Atmosphere", Fresenius' Zeitschrift für Analytische Chemie 317, 314
- (80) ALSEN, C. et al. 1976: "Die Wirkungen von Cadmium und Zink und deren Interaktion in biologischen Systemen", Schriftenreihe der Untersuchungsstelle für Umwelttoxikologie, Kiel

- (81) ISASA, T. 1981: "Relacion Cd/Zn en especies de hongos comestibles y su incidencia toxicologica", Anal. Bromatol. 33, 149
- (82) ANONYM 1985: "Cadmium in Pilzen – Vielen schmeckts trotzdem", Chemische Rundschau vom 22.02.85
- (83) LODENIUS, M. 1981: "Lead, Cadmium, and Mercury Content of Fungi in Mikkeli", Ann. Bot. Fennici 18, 183
- (84) FATHI, M. 1983: "Bindung von Quecksilber, Cadmium und Blei in pflanzlichen und tierischen Geweben im Hinblick auf die menschliche Ernährung", Fresenius' Zeitschrift für Analytische Chemie 316, 589
- (85) BISCHOFF, R., SCHWEDT, G. 1982: "Differenzierende Analytik der Bindungsformen von Kupferspuren in pflanzlichen Lebensmitteln am Beispiel von Erbsen und Sojamehl", Analytica Chimica Acta 142, 109
- (86) SCHWEDT, G. 1984: "Bindungsformen chemischer Elemente in Bio- und Umweltmaterialien, Teil 4", Chemie für Labor und Betrieb 35, 17
- (87) FRIBERG, L. et al. 1979: "Handbook on the Toxicology of Metals", New York
- (88) ALTMANN, H. – J. 1978: Bundesgesundheitsblatt 21 Nr. 19/20 vom 22.09.78
- (89) RAUSER, W. 1981: "Occurrence of Metal-binding Proteins in Plants", in: International Conference of Heavy Metals in the Environment, Antwerpen
- (90) LORENZ, H. 1981: "Cadmiumaufnahme mit wildwachsenden Pilzen", Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und –forschung 173, 7
- (91) KRUSE, H. 1979: "Untersuchungen über Cadmium-bindende Proteine im Schafchampignon", Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und –forschung 168, 444
- (92) MEISCH, H. – W. 1983: "A new Cadmium-binding Phosphoglycoprotein, Cadmium-Mycophosphatin, from the Mushroom *Agaricus macrosporus*", Biochemica et Biophysica Acta 745, 259
- (93) SCHELLMANN, B. et al. 1980: "Cadmium- und Kupferausscheidungen nach Aufnahme von Champignon-Mahlzeiten", Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und –forschung 171, 189
- (94) LANG, K. 1974: "Biochemie der Ernährung", Darmstadt
- (95) REICHENBACHER, U. 1983: "Toxikologie und Verbreitung von Aluminiumverbindungen", Naturwissenschaften 70, 303
- (96) KARHAUSEN, L. 1973: "Intestinal Lead Absorption" in: Tagungsbericht Europäisches Kolloquium Luxemburg, S. 427

- (97) AICHBERGER, K. 1977: "Untersuchungen über den Quecksilbergehalt österreichischer Speisepilze und seine Beziehung zum Rohproteingehalt der Pilze", Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -forschung 163, 35
- (98) Umweltbundesamt 1984: "Transferfaktoren Boden/Pflanze für Blei und Cadmium" in: Ermittlung, Bewertung und Beurteilung von Emissionen und Immissionen umweltgefährdender Schwermetalle, Berlin
- (99) ALBRECHT, G. 1979: "Schwermetallgehalt von wildwachsenden Großpilzen", Südwestdeutsche Pilzrundschau 1, 1
- (100) BOWEN, H.-J. 1979: "Environmental Chemistry of the Elements", Academic Press, London
- (101) SORENSEN, J. R. et al. 1974: "Aluminium in the Environment and Human Health", Environmental Health Perspective 8, 3
- (102) MERIAN, E. (Hrsg.) 1984: "Metalle in der Umwelt", Verlag Chemie, Weinheim
- (103) LAUB, E. et al. 1977: "Über die Cadmiumanreicherung in Champignons", Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -forschung 164, 269
- (104) Neue Westfälische vom 22.03.84: "Chemisches Untersuchungsamt fahndet nach Blei und Cadmium"
- (105) Stadt Bielefeld 1985: Altlastenkataster
- (106) GÜNTHER, P. 1986: "Sind die Aluminium- und Schwermetallgehalte Höherer Pilze standorts- oder taxonspezifisch? - Untersuchungen zu Metallgehalten Höherer Pilze aus dem Bielefelder Raum", Diplomarbeit, Universität Bielefeld
- (107) HÜTTERMANN, A. 1986: "Konzept für eine on-site Sanierung von mit schwer abbaubaren Aromaten belasteten Böden durch Inkubation mit dafür geeigneten Weißfäulepilzen und Stroh", Vortrag: 25./26.11.1986 FGU-Kongreß "Sanierung kontaminierter Standorte", Berlin
- (108) HAASE, E. 1988: "Pflanzen reinigen Schwermetallböden", Umwelt 7-8, 342-344.