

Bestimmung der Bioverfügbarkeit von Cadmium in Pilzen durch Fütterungsversuche mit Ratten; Relevanz für den Menschen

J. F. Diehl und U. Schlemmer

Institut für Biochemie der Bundesforschungsanstalt für Ernährung
Karlsruhe

Zusammenfassung

Eine pulverisierte Mischung verschiedener als Cadmiumsammeler bekannter *Agaricus*-Arten wurde 15:85 mit Standard-Rattenfutter wachsenden Ratten verabreicht. Die Mischung enthielt 3,87 µg Cd/g Trockengewicht. Eine Kontrollgruppe erhielt das Standard-Futter allein (0,08 µg Cd/g). Während der 6wöchigen Fütterungsperiode schieden die Tiere beider Gruppen etwa 90 % des aufgenommenen Cadmiums in den Fäzes aus. Im Vergleich zur Kontrollgruppe akkumulierte die Versuchsgruppe viel mehr Cadmium in Leber, Nieren und Restkörper. Obwohl hieraus der Schluß zu ziehen ist, daß die Bioverfügbarkeit des in Pilzen vorhandenen Cadmiums nicht geringer ist als die des in anderen Lebens- und Futtermitteln vorhandenen Cadmiums, werden Empfehlungen an die Verbraucher, den Pilzverzehr einzuschränken, nicht für erforderlich gehalten, da zum einen die durchschnittliche Cadmiumbelastung aus der Gesamtnahrung erheblich unter dem gesundheitlich bedenklichen Wert liegt und da zum anderen die Cadmiumgehalte der meisten Pilzarten diejenigen anderer Gemüse nicht überschreiten.

Summary

A pulverized mixture of *Agaricus* species known to accumulate cadmium, mixed 15:85 with standard rat diet, was fed to a group of growing rats. The mixture contained 3.87 µg Cd/g dry weight. A control group received the standard rat diet alone (0.08 µg Cd/g). During the feeding period of 6 weeks the animals of both groups excreted about 90 % of the ingested cadmium in the faeces. In comparison to the control group, the experimental group accumulated much more cadmium in liver, kidneys, and remaining carcass. While it is concluded that the bioavailability of cadmium contained in mushrooms is not less than that of cadmium contained in other feeds and foods, most mushroom species do not contain more cadmium than other vegetables. In humans the average cadmium intake from the total diet is considerably below the tolerable level. Generalized warnings against consumption of mushrooms are therefore not considered necessary.

Schlüsselwörter: Cadmium, Bioverfügbarkeit, Bilanzuntersuchung, Pilze, Ratte, Leber, Niere

1 Einleitung

Über hohe Cadmiumgehalte in wildwachsenden Pilzen wurde erstmalig 1976 von Stijve und Besson in der Schweiz berichtet (1). Bald lagen entsprechende Befunde auch aus der Bundesrepublik vor (2–7). Diese

Untersuchungen haben gezeigt, daß bestimmte Pilzarten in besonderem Maße die Fähigkeit zur Anreicherung von Cadmium aus dem Boden haben und daß stark cadmiumhaltige Pilze auch in Gegenden gefunden werden, die von industriellen Emittenten weit entfernt sind. Dies wurde auch in Schweden (8) und in Finnland (9) bestätigt. Einige schwedische Pilzproben aus dem Jahr 1890 enthielten etwa die gleiche Cadmiumkonzentration wie Proben aus jüngster Zeit. Piscator (10) kommt zu dem Schluß, daß die Ursache der hohen Cadmiumgehalte von Pilzen nicht in der Umweltkontamination zu suchen ist. Nach Meisch et al. (11) ist Cadmium ein wachstumsfördernder Faktor für *Agaricus abruptibulbus* (Schiefnolliger Anis-Champignon).

Andererseits kann Cadmium ab einer gewissen Dosis für den Menschen schädlich wirken. Eine FAO/WHO-Expertengruppe hat daher als vorläufig duldbare Grenze für die wöchentliche Cadmiumaufnahme Erwachsener den Wert von 7 µg Cd/kg Körpergewicht festgelegt, d. h. etwa 500 µg bei 70 kg Körpergewicht (12).

Nach Erhebungen der Zentralen Erfassungs- und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien (ZEBS) beim Bundesgesundheitsamt aus dem Jahr 1975 schien damals dieser Grenzwert bereits fast 100%ig ausgeschöpft zu sein (13). Diese Erhebungen fanden Eingang in den Ernährungsbericht 1976, in dem für die mittlere Cadmiumzufuhr durch die Nahrung 476 µg pro Kopf und Woche angegeben wurde (14). Wenn der duldbare Wert im Mittel etwa erreicht wird, so bedeutet dies, wegen unterschiedlicher Verzehrsgewohnheiten und unterschiedlicher lokaler Umweltkontamination, daß bei vielen Verbrauchern dieser Wert überschritten wird.

Es schien daher erforderlich, die Cadmiumzufuhr wo nur irgend möglich einzuschränken. In diesem Bestreben brachte das Bundesgesundheitsamt 1978 die Empfehlung heraus, der Verbraucher solle pro Woche nicht mehr als 200–250 g Wildpilze verzehren (15), was immerhin einen Jahresverzehr von 10,4–13 kg Wildpilzen erlaubt. Inzwischen hat sich gezeigt, daß die ersten Schätzungen über die mittlere Cadmiumzufuhr erheblich zu hoch lagen (16). Nach einer neueren Mitteilung des Bundesministeriums für Jugend, Familie und Gesundheit wird der FAO/WHO-Grenzwert nur zu 42 % ausgeschöpft (17). Obwohl demnach die Belastung des Verbrauchers durch Cadmium weniger kritisch einzuschätzen ist als vor einigen Jahren und obwohl es anscheinend ausländische Behörden in keinem Fall für erforderlich gehalten haben, derartige Warnungen auszusprechen, wird in der Bundesrepublik an die Empfehlung zur Verzehrsbeschränkung bei Speisepilzen immer wieder erinnert. Die Verbraucherzentralen verteilen ein von der Arbeitsgemeinschaft der Verbraucher in Bonn herausgegebenes Faltblatt über Cadmium, in dem sogar vor Verzehr von Kulturchampignons gewarnt wird, obwohl diese keine hohen Cadmiumgehalte haben (1–5, 7, 15). Pilze können auch relativ viel Quecksilber akkumulieren (18), aber die durchschnittliche Belastung deutscher Verbraucher mit Quecksilber ist so gering – 18 % des duldbaren Wertes (17) –, daß Empfehlungen zur Einschränkung des Pilzverzehrs aus diesem Grund nicht erforderlich erscheinen.

Die Berechtigung der vom Bundesgesundheitsamt ausgesprochenen Empfehlung ist auch deshalb bezweifelt worden, weil Pilze als relativ schlecht verdaulich gelten. Die Gerüstsubstanz der Speisepilze enthält

das unverdauliche Chitin, und es wurde vermutet, daß die chitinummantelten Zellen der Pilze das in ihnen enthaltene Cadmium bei der Darmpassage im Menschen zum größten Teil festhalten, daß Cadmium also den Körper weitgehend unresorbiert verläßt (19). Schellmann et al. sahen diese Vermutung durch die Ergebnisse einer Untersuchung an Probanden bestätigt, die stark cadmiumhaltige Pilzmahlzeiten verzehrten und in deren Stuhl man anschließend entsprechend hohe Cadmiummengen fand; eine exakte Bilanzierung von Aufnahme und Ausscheidung war jedoch bei diesem Versuch nicht möglich (19). Da auch in anderen Lebensmitteln vorhandenes Cadmium zu über 90 % den Magen-Darm-Trakt unresorbiert verläßt (20), war nicht feststellbar, ob die Bioverfügbarkeit des Cadmiums in Pilzmahlzeiten geringer ist als in sonstiger Nahrung. Grundsätzlich muß, je nach Bindungsform, in der das Cadmium vorliegt, mit einer unterschiedlichen Resorptionsrate gerechnet werden. So ist die Bioverfügbarkeit von Cadmiumsulfid (21) und von Cadmiumthionein (22) geringer als die von Cadmiumchlorid. Über die Bindungsform des Cadmiums in Pilzen ist bisher wenig bekannt. Kruse und Lommel stellten Bindung an Proteinfraktionen fest; es muß sich jedoch um schwache Bindungskräfte handeln, da nach der denaturierenden Eiweißfällung im Pilzextrakt mit Trichloressigsäure das gesamte Cadmium im proteinfreien Überstand nachgewiesen wurde (23).

Ziel unserer Untersuchung war es, bei Verfütterung einer pilzhaltigen Diät an junge Ratten zu einer möglichst exakten Bilanz von Aufnahme, Ausscheidung und Körpergehalt zu kommen.

2 Material und Methoden

Pilze

Da es nicht möglich war, eine für den Fütterungsversuch ausreichende Menge einer Pilzart zu sammeln, wurde eine Mischung verschiedener, aus der Literatur als besonders cadmiumhaltig bekannter Pilzarten verwendet. Nach Angabe des Sammlers handelte es sich vor allem um *Agaricus arvensis* (Weißer Anis- oder Schafchampignon), *silvicola* (Dünnfleischiger Anis-Champignon), *abruptibulbus* (Schiefknolliger Anis-Champignon), *aestivalis* (Sommerlicher Champignon) und *macrosporus* (Großsporiger Champignon). Die getrockneten Pilze wurden, um sie spröde zu machen, in flüssigem Stickstoff gekühlt und in einem Porzellanmörser gemahlen. Die Cadmiumkonzentration des Trockenpulvers betrug 25,4 µg/g, entsprechend etwa 2,5 µg/g Frischgewicht. Zur Verfütterung wurden 15 Teile Pilzpulver mit 85 Teilen pulverisiertem Rattenfutter (Herilan RM 205, H. Eggersmann, 3260 Rinteln) sorgfältig gemischt. Die Mischung enthielt 3,87 µg Cd/g.

Ratten

12 männliche Sprague-Dawley-Ratten, im Absetzalter bezogen von Charles River Wiga, 8741 Sulzfeld, wurden in Makrolon-Edelstahl-Stoffwechselkäfigen (W. Ehret, 7830 Emmendingen) gehalten, die eine Trennung von Urin und Fäzes ermöglichten. Sechs Kontrolltiere erhielten pulverisiertes Standard-Rattenfutter, Herilan RM 205, sechs Versuchstiere erhielten die 85:15 aus Rattenfutter und Trockenpilzen gemischte Diät. Futter und destilliertes Wasser wurden *ad libitum* verabreicht. In zweitägigen Abständen wurde der Futterverbrauch bestimmt, und Urin und Fäzes wurden gesammelt. Die Tiere wurden am Ende jeder Woche gewogen. Nach 4 Wochen hatten die Tiere eine Größe erreicht, die den Zugang zu der über einen

Tubus erreichbaren Futterraufe zunehmend erschwerte. Die Gewichtskurven (Abb. 1) zeigen von da an eine Stagnation. Der Versuch wurde nach der 6. Woche beendet, als der Vorrat an Trockenpilzen aufgebraucht war. In den letzten 24 Std. erhielten die Tiere kein Futter, damit der Magen-Darm-Trakt bei Versuchsende weitgehend frei von Futterresten war. Die Tiere wurden durch Einbringen in einen mit Kohlendioxid begasten Behälter getötet. Leber und Nieren wurden entnommen, gewogen und gefriergetrocknet. Der Restkörper wurde nach Entfernung von Fäzes aus dem Dickdarm ebenfalls gefriergetrocknet.

Probenvorbereitung

Urin und Fäzes jedes Tieres wurden wochenweise vereinigt. Das Urinvolumen wurde gemessen, die Fäzes wurden gefriergetrocknet und das Trockengewicht bestimmt. Vor der Naßveraschung wurden die getrockneten Lebern, Nieren und Fäzes im Mörser pulverisiert. Die getrockneten Restkörper wurden in einem Moulinex-Homogenisator zerkleinert. Die Veraschung der Proben wurde in Anlehnung an die Methode von Müller und Siepe (24) durchgeführt: 0,5–1,5 g Trockenpulver bzw. 10 ml Urin wurden mit 20–40 ml Oxidationslösung (9 Tl. HNO₃ suprapur und 1 Tl. H₂SO₄ suprapur, Merck, Darmstadt) in einem Zweihalskolben (100 ml) über Nacht bei Raumtemperatur vorverascht. Nach Zusatz von Siedeperlen wurde durch den einen Kolbenhals ein Schliffthermometer eingeführt und der andere Kolbenhals an einen Bethge-Aufsatz mit Kühler angeschlossen.

Unter Rückfluß wurde gekocht, bis eine Temperatur von 110–120 °C erreicht war. Anschließendes Auffangen des Destillats im Bethge-Aufsatz und Einengen der Oxidationslösung im Kolben führte zu einem raschen Temperaturanstieg. Bei etwa 300 °C wurde der Kochvorgang abgebrochen. Wenn die Oxidationslösung nicht völlig klar war, wurde das Destillat vorsichtig in den Kolben zurückgegeben und die Veraschungsprozedur wiederholt. Bei den Fäzesproben waren bis zu drei Wiederholungen erforderlich.

Cadmium-Analysen

Die Probenlösung wurde so weit mit bidest. Wasser verdünnt, bis sie einen pH-Wert von 1 aufwies. Aliquote von 1–5 ml wurden mit 1 ml 0,2%iger Diäthylammoniumdiäthylthiocarbamat-(DADDTc)-Xylol-Lösung extrahiert. Unter diesen Bedingungen geht Cadmium quantitativ in die Xylol-Phase über. Die Cadmiumanalyse wurde mit 15 µl der DADDTc-Xylol-Lösung in einem Atomabsorptionsspektrophotometer Perkin-Elmer 2380 mit D₂-Kompensation und der Graphitrohrküvette HGA 72 durchgeführt. Folgende apparative Parameter wurden gewählt:

AAS:	Wellenlänge:	228,8 nm
	Spalt:	0,7 nm
HGA 72:	Probentrocknung:	100 °C, 22 s
	Probenveraschung:	295 °C, 25 s
	Atomisierung:	2040 °C, 8 s
	Ausglühen des Graphitrohres:	2230 °C, 3 s

Richtigkeitskontrolle: In zwei Proben der Referenzsubstanz Bovine Liver NBS 1577 (Sollwert 0,27 µg Cd/g) wurden 0,27 bzw. 0,24 µg Cd/g gefunden.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Gewichtszunahme lag bei den Kontrolltieren etwas höher als bei den Versuchstieren (Abb. 1). Dies ist nicht überraschend, da die pilzhaltige Diät der Versuchstiere eine etwas geringere Nährstoffdichte hatte als

das Standardfutter der Kontrolltiere und da dieser Unterschied von den Versuchstieren nicht durch erhöhten Futtermittelverzehr ausgeglichen wurde (Tab. 1). Die Ursache für die Stagnation des Wachstums nach der 4. Woche wurde im vorhergehenden Abschnitt erwähnt. Die Nieren- und Lebergewichte der beiden Tiergruppen unterschieden sich nicht signifikant. Das etwas höhere Fäzesgewicht bei den Versuchstieren entspricht dem höheren Gehalt an Unverdaulichem in der pilzhaltigen Diät.

Die Cadmiumgehalte des Standardfutters und der Nieren und Restkörper der Kontrolltiere lagen nahe der Nachweisgrenze von $0,01 \mu\text{g/g}$, die des Urins und der Lebern der Kontrolltiere lagen unter dieser Grenze (Tab. 2). Die Versuchstiere nahmen im Verlauf der 6 Wochen mit der Nahrung etwa 50mal soviel Cadmium auf wie die Kontrolltiere. Sie schieden auch 50mal soviel in den Fäzes aus. Bezogen auf die Cadmiumaufnahme betrug die fäkale Cadmiumausscheidung bei den Kontrolltieren 87 % und bei den Versuchstieren 90 %; der Unterschied ist statistisch nicht signifikant. Cadmiumgehalte in den Versuchstieren, besonders in deren Lebern und Nieren, waren um ein Vielfaches höher als in den Kontrolltieren. Auch aus anderen Untersuchungen ist bekannt, daß sich mit zunehmender Cadmiumdosis ein zunehmender Anteil der Körperbelastung (body burden) in Leber und Nieren anreichert (25).

Im allgemeinen gilt die Niere als das Hauptspeicherorgan für Cadmium. Es mag daher überraschen, daß die Cadmiumkonzentration bei den Ver-

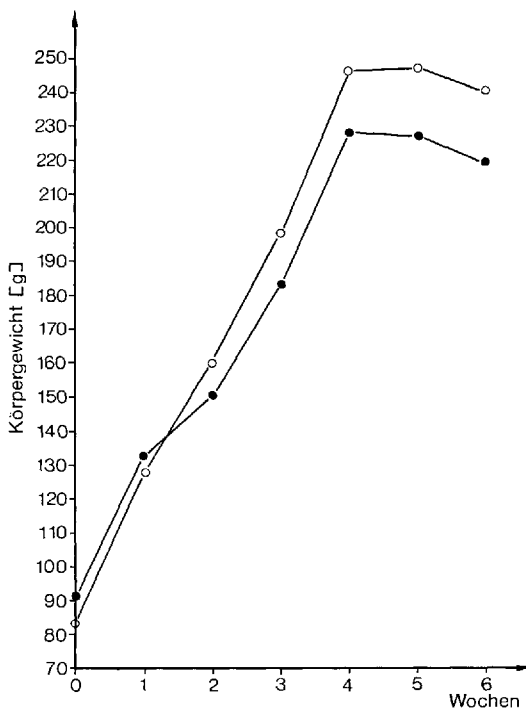


Abb. 1. Wachstum der mit (●-●) und ohne (○-○) Pilzzusatz gefütterten Ratten.

Tab. 1. Körper- und Organgewichte der Tiere, Futterverzehr, Fäzesgewicht und Urinvolumen (Mittelwerte pro Tier \pm s. d.).

	Kontrolltiere ^{a)}	Versuchstiere ^{b)}
<i>Körpergewicht (g)</i>		
zu Beginn	83 \pm 14	91 \pm 4
nach 6 Wochen	240 \pm 12	219 \pm 6
<i>Futterverzehr (g)</i>		
in 6 Wochen	752 \pm 15	737 \pm 13
<i>Fäzes-Trockengewicht (g)</i>		
in 6 Wochen	144 \pm 7,5	155 \pm 4,5
<i>Urinvolumen (ml)</i>		
in 6 Wochen	532 \pm 143	625 \pm 91
<i>Nierengewicht (g)</i>		
frisch	2,39 \pm 0,23	2,39 \pm 0,19
trocken	0,61 \pm 0,10	0,60 \pm 0,06
<i>Lebergewicht (g)</i>		
frisch	8,30 \pm 0,83	8,51 \pm 0,83
trocken	2,32 \pm 0,23	2,44 \pm 0,23

^{a)} 6 Ratten, die Standardfutter erhielten

^{b)} 6 Ratten, die eine Mischung aus 85 Tl. Standardfutter + 15 Tl. getrockneten Pilzen erhielten.

suchstieren in Leber und Nieren etwa gleich, die Cadmiummenge in den Lebern sogar erheblich höher war. Wie schon aus Untersuchungen von Gunn und Gould (26) bekannt ist, wird eine einmalig parenteral verabreichte Dosis von radioaktiv markiertem Cadmium zunächst überwiegend in der Leber gespeichert, und erst im Verlauf von Wochen tritt eine zunehmende Verlagerung in die Nieren ein. Bei kontinuierlicher oraler Verabreichung verschiedener cadmiumhaltiger Diäten an Ratten fanden Uthe und Chou (27) nach 90 Tagen durchweg höhere Cadmiummengen in der Leber als in den Nieren. Auch Kanwar et al. (28) fanden nach oraler Applizierung zunächst erhöhte Gehalte in der Leber, erst später in den Nieren. Da unser Versuch nur 6 Wochen dauerte, ist es nicht überraschend, daß die bei älteren Tieren zu erwartende Verlagerung des Cadmiums in die Nieren noch nicht weit fortgeschritten war. Das Verhältnis der in der Leber zu der in den Nieren vorhandenen Cadmiummenge hängt auch von der verabreichten Cadmiumdosis ab. Bei geringer Dosis wird das Cadmium überwiegend in der Niere, bei hoher Dosis (jedenfalls zunächst) überwiegend in der Leber gefunden (29). Überraschen mag auch die relativ geringe Cadmiumausscheidung im Urin der Versuchstiere. Auch dies stimmt jedoch mit Befunden anderer Autoren überein. Erst wenn die Cadmiumaufnahme so hoch ist, daß sie Nierenschädigungen verursacht, wird viel Cadmium im Urin ausgeschieden (29).

Unsere Ergebnisse zeigen, daß in Agaricusarten enthaltenes Cadmium in der Ratte etwa ebenso resorbiert wird wie das in Standardfutter enthaltene Cadmium. Auf den Menschen übertragen, muß man vermuten, daß in Pilzgerichten vorhandenes Cadmium etwa im gleichen Maße resorbiert wird wie in sonstiger Nahrung vorhandenes. Muß also vor Pilzverzehr gewarnt werden?

Tab. 2. Cadmiumaufnahme, -ausscheidung und -speicherung bei Fütterung mit und ohne Pilzanteil.

	Konzentration ($\mu\text{g T. S. bzw. } \mu\text{g/ml}$)		Gesamtmenge pro Tier in 6 Wo. (μg)		% der Zufuhr	
	Kontrolltiere ^{a)}	Versuchstiere ^{b)}	Kontrolltiere	Versuchstiere	Kontrolltiere	Versuchstiere
Cadmium im Futter	0,08	3,87	60	2850	-	-
Cadmium im Urin	n. n.	$0,02 \pm 0,01$	-	$14,5 \pm 5,3$	-	0,5
Cadmium in Fäzes	$0,38 \pm 0,20$	$16,69 \pm 5,45$	52 ± 10	2570 ± 540	87	90
Cadmium in Nieren	$0,08 \pm 0,05$	$8,91 \pm 1,10$	$0,05 \pm 0,03$	$5,33 \pm 0,90$	0,08	0,19
Cadmium in Leber	n. n.	$9,32 \pm 2,93$	-	$23,0 \pm 8,2$	-	0,81
Cadmium im Restkörper ^{c)}	$0,02 \pm 0,01$	$0,36 \pm 0,18$	$1,41 \pm 0,83$	$27,5 \pm 12,4$	2,35	0,96

^{a)} und ^{b)} siehe Tabelle 1^{c)} Gesamtkörper ohne Nieren und Leber

n. n. = nicht nachweisbar.

Zunächst ist klarzustellen, daß es nicht um akute Toxizität geht, sondern um die Frage möglicher Langzeitwirkungen. Es interessiert also nicht die Cadmiumaufnahme bei einem einmaligen Gericht, das eventuell aus lauter besonders cadmiumhaltigen Pilzen bestehen könnte, sondern die mittlere Cadmiumzufuhr über Jahre. Es wird in der Praxis kaum vorkommen, daß ein Pilzliebhaber nur Pilze einer Art ißt. Gerade die passionierten Sammler sind gute Pilzkenner, die im Laufe einer Saison die verschiedensten Pilzarten finden. Nach den bisherigen Untersuchungen wird der Mittelwert des Cadmiumgehaltes solcher Pilze in geputztem Zustand nicht über 0,2 mg/kg liegen. (Die Lamellen- oder Röhrenschicht, in der sich Schwermetalle besonders anreichern können, wird beim Putzen üblicherweise entfernt.) Falls ein Pilzliebhaber während der Zeit des Pilzwachstums so viele Pilze sammelt und in der Gefriertruhe aufbewahrt, daß er das ganze Jahr über jede Woche 500 g Pilze essen kann, also die wenig wahrscheinliche Gesamtmenge von 26 kg Pilzen im Jahr, so wären dies im Durchschnitt 100 µg Cd/Woche. Nimmt man für alle übrigen Nahrungsbestandteile den eher zu hoch als zu niedrig gegriffenen Mittelwert von 300 µg/Woche an (16), so wäre mit der Gesamtaufnahme von 400 µg/Woche der FAO/WHO-Wert der duldbaren Belastung immer noch nicht erreicht. Und selbst eine mäßige Überschreitung dieses Wertes würde noch keine Gefahr bedeuten, da er noch eine erhebliche Sicherheitsmarge enthält (30).

Die Niere ist das Zielorgan für mögliche chronische Gesundheitsschäden durch oral aufgenommenes Cadmium. Als „kritische Konzentration“ des Cadmiums in der Niere, d. h. als Grenzwert, von dem an mit ersten Anzeichen einer schädlichen Wirkung des Cadmiums bei besonders empfindlichen Individuen zu rechnen ist, gilt nach Roels et al. 200–250 µg Cd/g Nierenrinde (31), nach Ellis et al. 300–400 µg/g (32). Mittelwerte tatsächlich in der Bundesrepublik gemessener Gehalte liegen bei Erwachsenen nach Angabe verschiedener Autoren (33–36) bei etwa 10–40 µg/g.

Es wäre hoch interessant, die Cadmiumgehalte der Nieren ausgesprochener Pilzliebhaber zu kennen. Leider liegen solche Ergebnisse nicht vor. Sie könnten mit der Neutronenaktivierung, wie von Ellis et al. (37) beschrieben, auch *in vivo* bestimmt werden. Es gibt keine Hinweise für cadmiumbedingte Erkrankungen bei Pilzessern oder überhaupt bei nicht beruflich cadmiumexponierten Personen in der Bundesrepublik. Cadmiumkonzentrationen in der Nierenrinde von über 100 µg/g sind bisher in der Bundesrepublik sehr selten und nur bei starken Zigarettenrauchern beobachtet worden. Drasch (36) fand bei Nichtraucher einen Mittelwert von 23,8 µg/g, bei Rauchern mit einem Konsum von unter 20 Zigaretten/Tag 41,5 µg/g und bei über 20 Zigaretten/Tag 73,4 µg Cd/g Nierenrinde. Das ist eine höhere Zunahme, als sie selbst bei extrem hohem Pilzverzehr denkbar wäre.

Die Warnung vor zu häufigem Pilzverzehr ist heute nur noch aus der Situation einer kritisch hohen Cadmiumbelastung verständlich, wie sie nach den im Ernährungsbericht 1976 veröffentlichten Daten zu bestehen schien, nach heutiger Kenntnis jedoch nicht besteht. Unter den besonders cadmiumhaltigen Pilzen kommt nach Wohlgeschmack, Bekanntheitsgrad und Häufigkeit nur dem Dünnsfleischigen Anis-Champignon (*Agaricus silvicola*) und dem Schiefknolligen Anis-Champignon (*Agaricus abrupti-*

bulbus) größere Bedeutung zu. Die meisten Pilzarten enthalten nicht mehr Cadmium als andere Gemüse (7). Falls es überhaupt erforderlich erscheint, Verzehrsbeschränkungen zu empfehlen, so sollten sich diese Empfehlungen nicht auf Wildpilze (oder gar Pilze) allgemein beziehen, sondern nur auf die genannten Arten.

Danksagung

Für zuverlässige technische Assistenz danken wir Frau A. Schaffer. Für die Bereitstellung der getrockneten Pilze gilt unser Dank den Herren H. Pannhorst, Hannover, und Dr. W. Böttcher, Zentralstelle für Pilzforschung und Pilzverwertung, Stuttgart-Hohenheim.

Literatur

1. Stijve T, Besson R (1976) Mercury, cadmium, lead and selenium content of mushroom species belonging to the genus *Agaricus*. *Chemosphere* 5:151
2. Alsen C, Braatz G, Kruse H (1977) Schwermetallgehalte in eßbaren Pilzen. Zink, Cadmium, Quecksilber und Blei. *Öff Gesundh-Wesen* 39:780
3. Collet P (1977) Die Bestimmung von Schwermetallspuren in Lebensmitteln mit Hilfe der Inverspolarographie. II. Über den Gehalt von Blei, Cadmium und Kupfer in Speisepilzen. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau* 73:75
4. Laub E, Waligorski F, Woller R, Lichtenthal H (1977) Über die Cadmiumanreicherung in Champignons. *Z Lebensm Unters Forsch* 164:269
5. Meisch H-U, Schmitt JA, Reinle W (1977) Schwermetalle in höheren Pilzen. Cadmium, Zink, Kupfer. *Z Naturforsch* 32C:172
6. Schellmann B, Opitz O (1978) Cadmium-, Blei- und Kupferkonzentrationen in Wiesenpilzen. *Lebensmittelchem gerichtl Chemie* 32:97
7. Seeger R (1978) Cadmium in Pilzen. *Z Lebensm Unters Forsch* 166:23
8. Movitz J (1981) Höga halter Kadmium i vildväxande svenska champinjoner. *Var Föda* 32:270 (1980), zit nach *Nutr Abstr Revs* 51:327
9. Kuusi T, Laaksovirta K, Liukkonen-Lilja H, Lodenius M, Piepponen S (1981) Lead, cadmium, and mercury contents of fungi in the Helsinki area and in unpolluted areas. *Z Lebensm Unters Forsch* 173:261
10. Piscator M (1982) Recent advances in health-related cadmium research. In: *Cadmium 81, Proc 3rd Internat Cadmium Association, London*, p 10
11. Meisch H-U, Scholl A-R, Schmitt JA (1981) Cadmium – ein Wachstumsfaktor für den Schiefknolligen Anischampignon *Agaricus abruptibulbus* (Peck) Kauffmann. *Z Naturforsch* 36C:765
12. WHO (1972) Evaluation of certain food additives and contaminants. 16th report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. WHO Technical Report Series 505, Genf
13. Zentrale Erfassungs- und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien Blei-, Cadmium- und Quecksilbergehalte von Lebensmitteln in der Bundesrepublik Deutschland. Bericht vom 1. Okt. 1975
14. Deutsche Gesellschaft für Ernährung (1976) Ernährungsbericht 1976. Frankfurt am Main, S 282
15. Bundesgesundheitsamt (1978) Schwermetallgehalte in Speisepilzen: Empfehlungen zur Verzehrseinschränkung. *Bundesgesundheitsblatt* 21:204
16. Diehl JF (1983) Schwermetallgehalte in der Nahrung – Werden die Grenzwerte der duldbaren Belastung überschritten? *Landwirtsch Forsch Sonderhaft* 39:35
17. Bundesminister für Jugend, Familie und Gesundheit (1983) Verbraucher-schutzreport Nr. 6 vom 7. Jan. 1983
18. Schelenz R, Diehl JF (1974) Quecksilber in Pilzen. *Z Lebensm Unters Forsch* 154:160

19. Schellmann B, Hilz M-J, Opitz O (1980) Cadmium- und Kupferausscheidung nach Aufnahme von Champignon-Mahlzeiten. *Z Lebensm Unters Forsch* 171:189
20. Friberg L, Piscator M, Nordberg GF, Kjellström T (1979) Cadmium in the Environment. 2nd ed, CRC Press Inc, Boca Raton, Florida, p 30
21. Mangler B, Häberle K, Fischer G, Classen HG (1983) Enteral absorption and retention of cadmium in rats fed Cd as the sulfide or chloride at two levels during 90 days. *Naunyn-Schmiedeberg's Arch Pharmacol Suppl* 322:R125
22. Valberg LS, Haist J, Cherian MG, Delaquerrière-Richardson L, Goyer RA (1977) Cadmium-induced enteropathy; comparative toxicity of cadmium chloride and cadmium thionein. *J Toxicol Environ Health* 2:963
23. Kruse H, Lommel A (1979) Untersuchungen über cadmiumbindende Proteine im Schaf-Champignon (*Agaricus arvensis* Schff ex Fr). *Z Lebensm Unters Forsch* 168:444
24. Müller H, Siepe V (1981) Quantitative Bestimmung von Arsen, Blei, Cadmium, Quecksilber und Selen in Lebensmitteln mit Hilfe flammenloser Atom-Absorptions-Spektrophotometrie. *Dt Lebensmittel-Rundsch* 77:392
25. Miller J, Boswell FC (1981) Cadmium, lead and zinc in growing rats fed corn leaf tissue grown on soil amended with sewage, sludge or heavy metal salts. *Env Health Perspect* 42:197
26. Gunn SA, Gould TC (1957) Selective accumulation of Cd¹¹⁵ by cortex of rat kidney. *Proc Soc Exp Biol Med* 96:820
27. Uhte JF, Chou CL (1979) Cadmium levels in selected organs of rats fed three dietary forms of cadmium. *J Environ Sci Health* A14:117
28. Kanwar KC, Kaushal S, Kumar R (1980) Absorption, distribution and excretion of orally administered cadmium in the rat. *Bull Environ Contam Toxicol* 24:321
29. Bernard A, Goret A, Buchet JP, Roels H, Lauwerys R (1980) Significance of cadmium levels in blood and urine during long-term exposure of rats to cadmium. *J Toxicol Environ Sci Health* 6:175
30. Diehl JF (1981) Die Belastung des Verbrauchers durch Cadmium – eine kritische Übersicht, Berichte der Bundesforschungsanstalt für Ernährung 1981/3
31. Roels H, Bernard A, Buchet JP, Goret A, Lauwerys R, Chettle DR, Harvey TC, Al Haddad I (1979) Critical concentration of cadmium in renal cortex and urine. *Lancet* 1:221
32. Ellis KJ, Morgan WD, Zanzi I, Yasamura S, Vartsky D, Cohn SH (1981) Critical concentrations of cadmium in human renal cortex: dose-effect studies in cadmium smelter workers. *J Toxicol Environ Health* 7:691
33. Fischer H, Weigert P (1975) Untersuchungen über den Blei- und Cadmiumgehalt menschlicher Organe. *Öff Gesundh-Wesen* 37:732
34. Kemper FH, Bertram HP, Zenzen C (1979) Cadmiumbelastung in der Umwelt; Chronische organspezifische Toxizität halogener Kohlenwasserstoffe. Abschlußbericht zum Projekt UGB0001, Münster
35. Thürauf JRE, Schaller KH, Valentin H, Weltle D (1981) Zur gegenwärtigen Belastung der Bevölkerung mit Kadmium. Vergleich der Kadmium-Konzentration im Nierengewebe von Autopsiefällen aus den Jahren 1969–1980. *Fortschr Med* 99:1312
36. Drasch GA (1982) Kadmiumbelastung im südbayerischen Raum. *Münch med Wschr* 124:1129
37. Ellis KJ, Vartsky D, Zanzi I, Cohn SH, Yasumura S (1979) Cadmium: In vivo measurements in smokers and nonsmokers. *Science* 205:323

Eingegangen 3. März 1984

Für die Verfasser:

Prof. Dr. J. F. Diehl, Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Engesserstraße 20, D-7500 Karlsruhe 1