PHILIPPIA VI / 3: 223 – 232 1990

DIETER MOLZAHN[1], DIRK REINEN[2, 3], HERBERT BEHR[3] & PAUL PATZELT[1]

Die Belastung von Pilzen mit radioaktivem Caesium und Silber im Herbst 1988 im hessischen Landkreis Marburg-Biedenkopf

Key Words: Radioactivity, cesium, silver, transfer factors, mushrooms

Abstract

Results on the radioactivity (Cesium and Silver) of mushrooms in the district of Marburg-Biedenkopf (Upper Hessen, West Germany) in the autumn of 1988, caused by the Chernobyl accident on April 26, 1986 are given. The activity and the transfer factors were determined for 59 species; in most cases the mushrooms and the soil beneath were mesured. Essential changes in the radioactivity compared to 1987 were registered for few species of mushrooms only (strong decrease for *Laccaria amethystina,* a small increase for *Boletus edulis* and for *Xerocomus badius* as well, which was strongly contaminated in 1987 already). A striking feature is the observation of radioactive silver (^{110m}Ag) in some species (in particular in *Agarius campestris);* this nuclide was not found in the year before in our region.

Einleitung

In einer früheren Arbeit (Molzahn et al. 1989) haben wir über die Belastung von Pilzen mit radioaktiven Caesium-Isotopen ($^{134, 137}$Cs) im Jahre 1987 im heimischen Raum (Marburg-Biedenkopf) berichtet.

Das im Erdboden vorhandene radioaktive Caesium, welches von den Pilzen noch immer aufgenommen wird, stammt zum einen aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl am 26. April 1986, zum anderen noch von den oberirdischen Kernwaffenversuchen der 50-er und 60-er Jahre. Obwohl es seit Mai 1986 keine radioaktives Caesium enthaltende Niederschläge mehr gegeben hat, ist für den Waldboden, d. h. den Standort der meisten Pilze bzw. den Träger des Mycels, die Zufuhr von radioaktivem Material noch nicht abgeschlossen.

Nadeln, Blätter und Holzteile, die möglicherweise unmittelbar dem kontaminierten Regen ausgesetzt waren, verrotten auf dem Boden. Die obere Kompostschicht enthält daher noch immer beträchtliche Mengen an Caesium, das erst allmählich in den Boden transportiert wird. Außerdem enthalten die frisch heranwachsenden Blätter von Laubbäumen oft gut meßbare Anteile an Caesium. Wahrscheinlich hat der Wasserkreislauf bewirkt, daß Aktivität vom Blatt in den Stamm und von dort im folgenden Jahr wieder in das Blatt gelangt ist. Diese Transportmecha-

[1] Kernchemie im Fachbereich Physikalische Chemie, Philipps-Universität Marburg

[2] Fachbereich Chemie, Philipps-Universität Marburg

[3] Pilzfreunde 1976 Kassel e. V.

nismen sind relativ langsam, so daß radioktives Caesium wegen seiner großen Halbwertzeit ($t_{1/2}$ = 30, 17 Jahre) noch jahrelang in den von Pilzmycel durchwachsenen Bodenschichten vorhanden sein wird. Die Frage ist, ob es für die Pflanzen auch verfügbar bleiben wird, da es sich möglicherweise in Form von schwer löslichen Salzen chemisch bindet. Viele Pilze weisen eine starke Tendenz zur Konzentration von Schwermetallen, u. a. auch von Caesium auf, ein Befund, der durch zahlreiche Messungen verschiedener Autoren (siehe Molzahn et al. 1989) für die Jahre 1986/87 bestätigt worden ist. Ziel dieser Arbeit war es, die Aufnahmefähigkeit der Pilze für Caesium als Fortführung der Messungen aus dem Jahre 1987 weiter zu verfolgen.

Probleme bereitet die nicht gleichmäßige Durchmischung des Bodens mit den radioaktiven Stoffen. Wieviel des radioaktiven Caesiums liegt bisher im Mycelbereich des Pilzes vor? Zeigen sich gar Tendenzen zur höheren Aufnahme von Caesium im Jahre 1988 als im Jahre 1987? Ein derartiges Resultat würde bedeuten, daß die Verfügbarkeit des Caesiums im Mycelbereich des Pilzes besser geworden ist.

Die durch die Beziehung

$$f(e) = \frac{\text{Spezifische Konzentration des Elements e in der Pflanze}}{\text{Spezifische Konzentration des Elements e im Boden}}$$

definierten Transferfaktoren sollten im Idealfall für eine bestimmte Pilzart konstant sein, vorausgesetzt, daß das vorhandene Caesium pflanzenverfügbar (in der Bodenfeuchtigkeit gut löslich) und im Mycelbereich homogen verteilt ist. In f(e) ist für den Boden die Trockenmasse, für die Pflanze aber die Feuchtmasse zu verwenden. Trotzdem findet man in der Literatur (z. B. Bundesminister des Innern 1981 und Aurand et al. 1982) oftmals Transferfaktoren, die sich auf Trockenmasse Substanz beziehen. In dieser Arbeit ist sowohl die Feuchtmasse als auch die Trockenmasse verwendet worden. Die Bezugnahme auf Trockenmaterial erscheint sinnvoller, da Feuchtsubstanzen i. a. nicht vergleichbare Wasseranteile enthalten.

Probennahme und Meßmethode

Die Pilze stammen fast ausschließlich aus der näheren Umgebung von Marburg. Es wurde angestrebt, von jedem Pilzstandort auch eine Bodenprobe zu nehmen. Zur Vermeidung der übermäßigen Zerstörung von Pilzmycelia beschränkten wir uns jedoch auf die Entnahme nur weniger Bodenproben für ein größeres Gebiet und verwendeten für die Bestimmung der Transferfaktoren den Mittelwert aus den Einzelmessungen. Benachbarte Erdproben weisen oft beträchtliche Aktivitätsunterschiede auf, so daß größere Streuungen von f(e) in Kauf genommen werden mußten. Die Erdproben wurden in der Regel aus der obersten 2 –3 cm dicken festen Erdbodenschicht (Dichte zwischen 0,9 und 1,1 g/cm^3) unterhalb der Humusschicht und des oftmals noch darüber liegenden Komposts entnommen. Dieses Vorhaben war nicht immer durchfürbar, da sich die obere Humusschicht (Dichte zwischen 0,2 und 0,5 g/m^3) oft bis in ca. 20 cm Tiefe erstreckte. In solchen Fällen wurde die Humusschicht für die Messung herangezogen. Durchweg war festzustellen, daß die Aktivität im Humus höher war als in der Erdschicht.

Die Erd- bzw. Humusproben wurden zunächst im Trockenschrank bei 105° C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, dann gesiebt und in 250 ml Plastikbechern gemessen. Die Aktivitätsbestimmung der Pilze dagegen erfolgte im feuchten Zustand – ebenfalls in den 250 ml Plastikbechern. Nach der Messung wurden die Pilzproben im Trockenschrank getrocknet und die Massenabnahme durch den Wasserverlust bestimmt (ca. 90 %). Die in Tabelle 1 angegebenen Aktivitätswerte der Trockensubstanz sind durch Umrechnung ermittelt worden.

Die Aktivitätsmessung erfolgte wie beschrieben (Molzahn et al. 1989) mit Germanium-Detektoren und einem Nuclear Data ND-66 Vielkanalanalysator, die quantitative Auswertung der Spektren mit dem Programm MEDIGAM (Westmeier 1986). Die Meßzeiten lagen je nach Probe und Probenanfall zwischen 1 h und 100 h, die Nachweisgrenzen zwischen 0,8 Bq/kg (1 h-Messung) und 0,08 Bq/kg (100 h-Messung).

Meßergebnisse

Tabelle 1 gibt Auskunft über die mittlere Gesamt-Caesiumaktivität (^{134,137}Cs) in Pilzen sowie die errechneten Transferfaktoren. Der Mittelwert der Aktivität feuchter Proben ist in Spalte 3, getrockneter Proben in Spalte 4 eingetragen. Die Spalten 5 und 6 enthalten die entsprechenden Streuungen. Da nicht für alle Pilzproben auch Erdproben vorlagen, weichen in einigen Fällen die in Spalte 7 angegebenen Probenzahlen n_F und n_T für die Ermittlung des Transferfaktors von denjenigen der Pilzproben (Spalte 1) ab. Zum Vergleich ist zusätzlich zu den ermittelten Transferfaktoren in Spalte 8 (feuchte Pilzsubstanz) und Spalte 9 (getrocknete Pilzsubstanz) in Spalte 12 der ermittelte Transferfaktor 1987 (Feuchtsubstanz) angegeben sowie in Spalte 11 die mittlere Caesiumaktivität in der entsprechenden Pilzart im Jahre 1987 (Molzahn et al., 1989). Wie aus der Tabelle 1 zu sehen ist, streuen die Einzelwerte einer Pilzart oftmals außerordentlich stark. Ähnliches gilt für die Streuung der Transferfaktoren.

Im Vorjahr war gelegentlich in den Pilzen neben den Caesium-Isotopen ^{134}Cs und ^{137}Cs auch das Ruthenium-Isotop ^{106}Ru nachgewiesen worden. Überraschenderweise weisen nun zahlreiche Pilzproben des Jahres 1988 auch das Nuklid ^{110m}Ag auf. Wie Tabelle 2 zeigt, neigt besonders der Wiesenchampignon *(Agaricus campestris)* zur Aufnahme dieses Metalls. In 7 von 8 ausgemessenen Proben wurde ^{110m}Ag nachgewiesen. Abbildung 1 zeigt das Gammaspektrum des Parasols *(Macrolepiota procera),* welches beispielhaft das Vorhandensein der Silberlinien belegt. Die stärkste Linie des Silberisotops ^{110m}Ag bei 657,7 keV Gammaenergie läßt sich gut von der des Caesiums bei 661,6 keV unterscheiden. Silberaktivität konnte auch in 9 von 69 Bodenproben nachgewiesen werden, allerdings nur bei solchen im Humusbereich (Dichten unter 0,5 g/cm^3). In allen übrigen Proben, darunter sämtliche zu silberhaltigen Pilzen direkt gehörenden Erdproben, lag die Silberaktivität unter der Nachweisgrenze ($< 0{,}1$ Bq/kg).

Diskussion

Bei der Bewertung der Meßergebnis fällt auf, daß die Aktivität einiger Pilzarten gegenüber dem Vorjahr gesunken ist. Ein eindruckvolles Beispiel ist der Amethystblaue Lackrichterling *(Laccaria amethystina),* für den im Jahre 1987 ein Mittelwert von 2809 Bq/kg bestimmt wurde. In diesem Jahr liegt die mittlere Aktivität in diesem Pilz um etwa eine Zehnerpotenz niedriger. Ähnliches gilt für den Transferfaktor (1987: f(Cs) = 6,18, 1988: f(Cs) = 0,71). Die Aktivität im Boden hat sich gegenüber dem Vorjahr nur geringfügig verändert. Die mittlere Aktivität auch einiger anderer Pilzarten ist gegenüber 1987 gesunken, wenn auch nicht so erheblich wie bei *Laccaria amethystina.* Nicht berücksichtigt werden bei dieser Betrachtung natürlich Pilzarten, von denen nur 1 Probe zur Verfügung stand. In gleichem Maße erstaunlich wie die abgesunkene Caesium-Aktivität beim Amethystblauen Lacktrichterling ist die angestiegene Aktivität beim Steinpilz *(Boletus edulis).* Im Jahre 1987 wurde in unserer oberhessischen Gegend ein Mittelwert von 30 Bq/kg festgestellt, der Transferfaktor lag bei f(Cs) = 0,33. Für das Jahr 1988 haben wir dagegen einen Aktivitäts-Mittelwert von 157 Bq/kg bei einem Transferfaktor von

Tabelle 1: Belastung von Pilzen mit radioaktivem Caesium ($^{134,137}Cs$) und Transferfaktoren für das System Erde-Pilz. n_f = Probenzahl (feucht), n_t = Probenzahl (trocken), u. N. = unter Nachweisgrenze. Auflistung der Pilzarten nach Kreisel (1987)

Art	Probenzahl n_F, n_T	Geamtcaesiumaktivität in Bq/kg Mittelwert feucht	Mittelwert trocken	Bereich feucht	Bereich trocken
Boletinus cavipes	1,1	18 ± 1	230 ± 7		
Suillus grevillei	3,3	344 ± 15	4418 ±205	31- 651	556- 7193
Suillus luteus	1,1	27 ± 4	432 ± 59		
Suillus bovinus	6,5	170 ± 7	2447 ± 94	90- 325	1323- 3539
Suillus variegatus	1,1	140 ± 4	2346 ± 59		
Xerocomus badius	24,19	519 ± 27	5471 ±485	13-1197	297-16488
Xerocomus chrysenteron	11,10	366 ± 20	3943 ±191	19- 793	194- 7671
Boletus erythropus	3,3	42 ± 5	344 ± 45	10- 85	74- 689
Boletus edulis	22,13	157 ± 11	1526 ± 90	18- 692	176- 5950
Leccinum scabrum	5,5	33 ± 7	190 ± 39	0- 136	0- 682
Paxillus atrotomentosus	1,1	309 ± 24	4453 ±345		
Paxillus involutus	6,6	238 ± 11	3409 ±409	4- 591	34- 7818
Hygrophoropsis aurantiaca	5,5	563 ± 64	3145 ±282	96-1417	688- 6098
Gomphidius glutinosus	1,1	56 ± 5	634 ± 61		
Laccaria amethystina	4,4	240 ± 31	2696 ±169	43- 708	460- 8004
Laccaria laccata	1,1	21 ± 11	162 ± 85		
Cantharellula umbonata	1,1	8 ± 2	63 ± 17		
Lepista nebularis	1,1	u.N.	u.N.		
Lepista nuda	1,1	49 ± 2	815 ± 27		
Tricholoma ovirubens	3,3	190 ±. 5	1402 ± 49	8- 542	107- 3845
Tricholoma saponaceum	1,1	365 ± 32	1278 ±111		
Armillaria mellea	4,4	55 ± 18	612 ±197	13- 100	133- 1038
Lyophillum connatum	2,2	4 ± 3	55 ± 47	3- 5	38- 71
Collybia maculata	2,2	106 ± 6	929 ± 55	73- 139	561- 1296
Pluteus atricapillus	1,1	52 ± 5	760 ± 68		
Amanita muscaria	4,4	3 ± 2	44 ± 28	0- 7	0- 98
Amanita phalloides	1,1	120 ± 8	2696 ±169		
Amanita citrina	1,1	75 ± 4	1393 ± 81		
Amanita rubescens	3,3	17 ± 3	283 ± 42	5- 39	45- 687
Agaricus campestris	8,8	1 ± 1	15 ± 7	0- 5	0- 57
Agaricus arvensis	1,1	7 ± 2	62 ± 17		
Macrolepiota procera	8,8	21 ± 5	130 ± 30	0- 99	0- 444
Coprinus atramentarius	1,1	4 ± 2	61 ± 26		
Coprinus comatus	2,1	2 ± 2	41 ± 13	2- 3	
Coprinus micaceus	1,1	148 ± 4	3142 ± 82		
Lacrymaria lacrymabunda	1,1	2 ± 1	21 ± 11		
Stropharia aeruginosa	1,1	69 ± 12	916 ±155		
Hypholoma fasciculare	2,2	8 ± 3	178 ± 30	6- 11	119- 238
Hypholoma marginatum	1,1	98 ± 8	1163 ± 91		
Pholiota squarrosa	2,2	42 ± 3	249 ± 17	39- 45	220- 277
Kuehneromyces mutabilis	5,5	78 ± 3	902 ± 31	28- 177	272- 2233
Hebeloma mesophaeum	3,3	19 ± 7	405 ±134	10- 29	97- 703
Gymnopilus hybridus	1,1	3 ± 2	37 ± 20		
Dermocybe cinnamomea	1,1	353 ± 9	5336 ±133		
Cortinarius azureus	1,1	4 ± 1	42 ± 4		
Russula anthracina	1,1	62 ± 10	608 ±102		
Russula ochroleuca	7,7	267 ± 18	2339 ±139	39- 564	349-5541
Russula cyanoxantha	1,1	7 ± 2	74 ± 18		
Russula fragilis	1,1	128 ± 18	1676 ±238		
Russula sardonia	1,1	92 ± 2	999 ± 20		
Lactarius deliciosus	1,1	15 ± 2	208 ± 22		
Lactarius deterrimus	1,1	11 ± 2	136 ± 28		
Lactarius blennius	1,1	129 ± 13	1236 ±121		
Lactarius helvus	1,1	64 ± 2	960 ± 29		
Calvatia excipuliformis	3,3	10 ± 3	90 ± 31	6- 14	25- 130
Lycoperdon perlatum	4,4	7 ± 5	61 ± 36	0- 12	0- 133
Scleroderma citrinum	1,1	30 ± 1	202 ± 8		
Meripilus giganteus	1,1	240 ± 11	300 ± 14		
Sparassis crispa	3,2	16 ± 3	189 ± 28	8- 29	84- 295

Proben-zahl n_F, n_T	Transferfaktor feucht	Transferfaktor trocken	Bereich feucht, trocken	Mittelwert 1987 (feucht) Aktivität	Mittelwert 1987 (feucht) Transferfaktor
1,1	0.10 ± 0.01	1.34 ± 0.06			0.85 ± 0.27
3,3	2.33 ± 0.11	29.43 ± 1.46	0.44-4.83,7.8-53.4	183	2.43 ± 0.17
1,1	0.51 ± 0.07	8.22 ± 1.13		163	7.74 ± 0.67
6,5	0.35 ± 0.02	6.18 ± 0.28	0.09-0.59,1.6-14.4	132	3.49 ± 0.35
1,1	0.82 ± 0.03	13.69 ± 0.54		272	5.88 ± 0.65
23,18	3.19 ± 0.34	27.81 ± 5.72	0.25-15.7,3.6-151.0	370	2.53 ± 0.05
11,10	1.97 ± 0.16	18.30 ± 0.83	0.16-5.59,1.4-43.9	824	3.15 ± 0.19
3,3	0.25 ± 0.03	1.97 ± 0.24	0.04-0.62,0.4-5.0	36	0.11 ± 0.01
20,13	0.69 ± 0.05	7.20 ± 0.48	0.06-3.04,0.3-19.8	30	0.33 ± 0.02
5,5	0.69 ± 0.19	3.72 ± 0.97	0 -3.10,0 -15.7	174	0.74 ± 0.06
1,1	1.52 ± 0.12	21.88 ± 1.70		104	7.50 ± 1.31
6,6	1.43 ± 0.09	20.54 ± 2.53	0.03-3.45,0.2-48.7	181	0.66 ± 0.03
5,5	1.05 ± 0.07	7.09 ± 0.39	0.49-1.76,2.0-11.6	301	1.92 ± 0.11
1,1	0.33 ± 0.03	3.73 ± 0.36			
3,3	0.71 ± 0.05	15.87 ± 1.02	0.19-1.04,1.4-8.5	2809	6.18 ± 0.16
1,1	0.03 ± 0.02	0.23 ± 0.12		362	134.9 ± 0.78
1,1	0.05 ± 0.01	0.38 ± 0.10			
1,1	0.29 ± 0.01	4.80 ± 0.04		32	0.68 ± 0.16
3,3	0.17 ± 0.02	1.56 ± 0.24	0.05-0.36,0.6-2.6		
1,1	2.15 ± 0.19	7.52 ± 0.69			
4,4	0.51 ± 0.17	5.68 ± 1.85	0.14-0.88,1.4-9.1	22	0.15 ± 0.03
2,2	0.02 ± 0.02	0.32 ± 0.27	0.02-0.03,0.2-0.4	29	0.10 ± 0.01
2,2	0.71 ± 0.05	6.27 ± 0.41	0.42-1.0 ,3.3-9.3	139	1.25 ± 0.28
1,1	0.30 ± 0.03	4.44 ± 0.42			
4,4	0.02 ± 0.01	0.25 ± 0.16	0 -0.04,0 -0.6	3	0.03 ± 0.02
1,1	0.71 ± 0.05	15.87 ± 1.02			
1,1	0.44 ± 0.03	8.13 ± 0.54		312	2.64 ± 0.19
3,3	0.05 ± 0.02	0.66 ± 0.25	0.03-0.06,0.3-1.0	10	0.21 ± 0.07
7,7	0.01 ± 0.01	0.13 ± 0.07	0 -0.04,0 -0.4	0	0
1,1	0.04 ± 0.01	0.37 ± 0.10		81	0.40 ± 0.10
7,7	0.07 ± 0.02	0.51 ± 0.09	0 -0.18,0 -2.0	28	0.07 ± 0.04
1,1	0.15 ± 0.01	1.91 ± 0.15			
2,1	0.02 ± 0.01			6	0.02 ± 0.02
1,1	0.87 ± 0.04	18.34 ± 0.74		11	0.07 ± 0.04
1,1	0.02 ± 0.01	0.22 ± 0.12			
1,1	0.18 ± 0.03	2.34 ± 0.41			
2,2	0.05 ± 0.02	1.10 ± 0.18	0.04-0.06,0.7-1.4	128	3.73 ± 0.18
1,1	0.58 ± 0.05	6.84 ± 0.54			
2,2	0.06 ± 0.01	0.34 ± 0.02	0.05-0.06,0.3-0.4		
5,5	1.16 ± 0.16	13.03 ± 1.75	0.16-2.69,2.6-26.4	15	0.19 ± 0.06
3,3	0.12 ± 0.05	2.47 ± 0.86	0.07-0.18,0.7-4.3		0.53 ± 0.04
1,1	0.92 ± 0.58	10.36 ± 0.66			
1,1	3.24 ± 0.34	48.87 ± 5.07			
1,1	0.02 ± 0.01	0.23 ± 0.06			
1,1	0.46 ± 0.08	4.52 ± 0.76			
7,7	1.80 ± 0.17	15.53 ± 1.26	0.14-5.09,1.0-41.2	335	1.21 ± 0.04
1,1	0.05 ± 0.01	0.55 ± 0.14		78	0.92 ± 0.06
1,1	0.95 ± 0.16	12.45 ± 1.78			
1,1	0.54 ± 0.02	5.88 ± 0.14			
1,1	0.09 ± 0.01	1.21 ± 0.13		92	
1,1	0.16 ± 0.03	1.93 ± 0.39			
1,1	0.34 ± 0.03	3.27 ± 0.32		91	0.44 ± 0.10
1,1	0.37 ± 0.02	5.61 ± 0.24		1669	2.31 ± 0.16
3,3	0.08 ± 0.02	0.59 ± 0.21	0.07-0.08,0.3-0.8		
4,4	0.05 ± 0.03	0.42 ± 0.25	0 -0.10,0 -0.8		
1,1	0.18 ± 0.01	1.18 ± 0.06		173	1.68 ± 0.27
1,1	3.45 ± 0.19	4.31 ± 0.23		69	0.56 ± 0.06
3,2	0.07 ± 0.01	0.94 ± 0.09	0.02-0.17,0.2-1.7	9	0.04 ± 0.01

Tabelle 2: Silber (^{110m}Ag) in verschiedenen Pilzarten (n = Zahl der Proben mit ^{110m}Ag, n_g = Gesamtprobenzahl)

Art	Probenzahl n.n gesamt	^{110m}Ag-Aktivitat in Bq/kg Feuchtprobe	getrocknete Probe	Streuung feucht	getrockn.
Xerocomus badius	1,22	6.8 ± 2.5			
Xerocomus chrysenteron	1,11	5.8 ± 3.4			
Paxillus involutus	1, 6	2.1 ± 1.3	20 ± 12		
Cantharellula umbonata	1, 1	4.4 ± 1.5	33 ± 11		
Lepista nuda	1, 1	2.7 ± 0.6	45 ± 8		
Amanita muscaria	1, 4	1.1 ± 0.3	20 ± 5		
Agaricus campestris	7, 8	5.7 ± 1.3	63 ± 11	1.2-11.6	26-102
Agaricus arvensis	1, 1	4.0 ± 1.0	35 ± 9		
Macrolebiota procera	2, 8	8.6 ± 1.6	86 ± 12	7.5- 9.8	34-138
Calvatia excipuliformis	2, 3	5.2 ± 1.7		3.4- 6.9	
Lycoperdon perlatum	2, 4	6.1 ± 3.8		4.0- 8.2	
getrocknete Maronen und Rotfußröhrling, Bay. Wald		1, 1		1132 ± 17	
getrocknete Maronen und Steinpilz, Hessen	1, 1		153 ± 17		
Erdproben	9,69	3.2 ± 1.0			0.3- 14

f(Cs) = 0,69 bestimmt. Lag 1987 der Höchstwert bei 117 Bq/kg, erreichte er 1988 fast 700 Bq/kg. Angestiegen ist auch die schon 1987 beträchtliche mittlere Aktivität des Maronenröhrlings *(Xerocomus badius)* von 370 Bq/kg auf 519 Bq/kg.

Beim Wiesenchampignon *(Agaricus campestris)* wird 1988 eine Caesium-Aktivität von 1,3 Bq/kg gemessen, während sie 1987 unter der Nachweisgrenze lag. Auffällig ist hier wie in einigen anderen Pilzarten (Tab. 2) die Speicherung des Silberisotops ^{110m}Ag, die erst im Jahr 1988 feststellbar ist. Dieses Nuklid hat eine Halbwertzeit von nur $t_{1/2}$ = 249,9 Tagen, kürzer also als die des ^{134}Cs ($t_{1/2}$= 2,06 Jahre) oder des ^{106}Ru ($t_{1/2}$ = 368 Tage). Nach dem Unglücksfall von Tschernobyl ist das ^{110m}Ag von uns praktisch in keiner Umweltprobe aus dem hessischen Raum gemessen worden, weder im Regenwasser noch im Erdboden. Lediglich in einer Probe türkischen Tees fanden sich Spuren davon. Allerdings hat man damals in Süddeutschland in Luft und Wasser durchaus ^{110m}Ag festgestellt. So geben Lindner und Recknagel (1988) für den Bodenseeraum ^{110m}Ag-Häufigkeiten von bis zu 1% der ^{137}Cs-Häufigkeit an.

Silber wird in Pflanzen in geringem Maße angereichert (nach Petering (1984) bis zu 0,28 µg pro Gramm Trockensubstanz), fast 1000mal stärker aber in Pilzen (bis zu 210 µg/g. Zu beachten ist bei ^{110m}Ag jedoch, daß es durch radioaktiven Zerfall in das Cadmium-Isotop ^{110}Cd übergeht. Geht man von 10 Bq/kg ^{110m}Ag in der feuchten Pilzprobe aus, so entspricht dies $3{,}12 \cdot 10^{8}$ Atomen radioaktiven Silbers. Nehmen wir an, daß nach dem Verzehr von 1 kg Pilze sämtliche Silberatome im menschlichen Körper verbleiben, so hätte nach dem radioaktiven Zerfall des Silbers der Cadmium-Gehalt im Körper um $5{,}7 \cdot 10^{-14}$ g zugenommen. Cadmium-Vergiftungen treten jedoch erst ab ca. 5×10^{-3} g auf (Wirth et al., 1971). Eine Beeinträchtigung der Gesundheit des Menschen durch Aufnahme von ^{110m}Ag in der o. a. Größenordnung ist also auszuschlie-

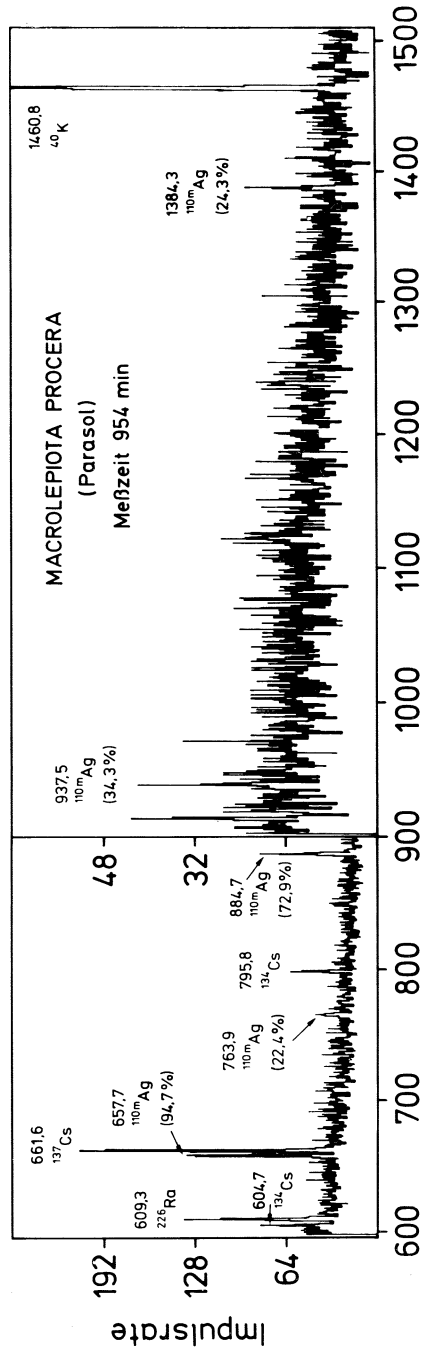

Abb. 1 Gammaspektrum einer Probe *Macrolepiota procera*. Die nicht gekennzeichneten Linien bei 911.7 keV und 969.4 keV stammen von in der Natur vorhandenem ^{232}Th.

ßen. In den Bodenproben, die zu den silberhaltigen Pilzen gehören, konnte gammaspektrometrisch trotz Meßzeiten von mehr als 15 Stunden kein ^{110m}Ag nachgewiesen werden, obwohl die Nachweisgrenze für ^{110m}Ag unter diesen Bedingungen bei weniger als 0,15 Bq/kg lag. Der Transferfaktor f(Ag) (feucht) – bezogen auf eine Silberaktivität von 0.15 Bq/kg im Erdboden – erreicht somit für den *Agaricus campestris* Werte zwischen 8 und 77 (Mittelwert ca. 38). Aus dem Auftreten von ^{110m}Ag in Pilzen erst im Jahre 1988 kann geschlossen werden, daß zuvor das Silber noch nicht in den Mycelbereich gelangt war. Möglicherweise ist die weitaus größere Löslichkeit von Caesium(I)- verglichen mit Silber(I)-Salzen für das unterschiedliche Diffusions- und Migrationsverhalten mitverantwortlich. Bedingt durch die relativ kurze Halbwertzeit des ^{110m}Ag ist damit zu rechnen, daß die Konzentration von ^{110m}Ag in Pilzen in den kommenden Jahren schnell zurückgehen wird.

Von Seeger et al. (1981) sowie Dietl (1989) wird festgestellt, daß sich Caesium mehr im Hutfleisch der Pilze ansammelt als im Stiel oder in den Lamellen. Bei 3 Pilzproben haben wir Hut und Stiel getrennt gemessen, die Ergebnisse sind aus der Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 3: Verteilung von Caesium in Hüten und Stielen verschiedener Pilzarten (3 Funde)

Art	Hut	Stiel
Collybia maculata	139 ± 5 Bq/kg	42 ± 8 Bq/kg
Amanita muscaria	2 ± 1 Bq/kg	2 ± 1 Bq/kg
Amanita rubescens	5 ± 1 Bq/kg	8 ± 1 Bq/kg

Tabelle 4: Anreicherung von ^{137}Cs in Huthäuten von Röhrlingen

Probe	Gesamtcaesium-Aktivität in Bq/kg Feuchtmasse	Anreicherungsfaktor	Vergleichswerte
Xerocomus badius:			
ohne Huthaut	288 ± 13		
Huthäute	764 ± 33	2,65	3,1;3,4 (M;A)
Boletus edulis:			
ohne Huthaut	19 ± 1		
Huthäute	21 ± 6	ca. 1	0,6 (A)

(A: Aumann et al. 1989, M: Molzahn et al. 1989)

Ein deutlicher Effekt ist nur bei *Collybia maculata* erkennbar.

Im Hut von *Amanita muscaria* wurden 1,1±0,3 Bq/kg ^{110m}Ag gemessen, im Stiel lag die Silberaktivität unter der Nachweisgrenze (0,15 Bq).

Von jeweils einer Probe Maronenröhrling *(Xerocomus badius)* und Steinpilze (Boletus edulis) wurde zur Überprüfung der Befunde von Aumann et al. (1989) sowie der eigenen Messungen (Molzahn et al., 1989) die Huthaut (Kartoffelschalen-Dicke) abgelöst und gesondert gemessen (Tabelle 4). Die Anreicherung der Aktivität in den Hutfarbstoffen Badion A und Norbadion A

(Kaliumsalze mit der Möglichkeit eines Kalium-Caesium-Austausches nach Steglich (Steffan & Steglich, 1984 sowie Gill & Steglich, 1987)) des *Xerocomus badius* wird erneut bestätigt, die von Aumann et al. (1989) festgestellte Abreicherung in der Huthaut des *Boletus edulis* dürfte dagegen innerhalb der Fehlerbreite der Messung liegen.

Das wesentliche Problem bei der Bestimmung der Transferfaktoren besteht in der Probennahme der Erdschicht, auf die bezogen wird. Vorwiegend wurden Erdschichten von ca. 3 cm Dicke, direkt an lose Streu bzw. Kompost anschließend, verwendet. Bei manchen Fundorten ist diese Schicht wohldefiniert, bei anderen aber der Übergang von der losen Schicht in die feste Erde sehr fließend – wie schon eingangs festgestellt. Die Wanderungsgeschwindigkeit für Caesium beträgt nach Bunzl et al. (1989) zwischen 4 cm/Jahr im Ofl-Horizont (organischer Bereich unter der Streulage) und 2 cm/Jahr im Oh-Horizont (Humusbereich). Es ist demnach unwahrscheinlich, daß das radioaktive Caesium schon in gleichmäßiger Verteilung in den Mycelbereich aller Pilze vorgedrungen ist. Die Transferfaktoren werden in Naturböden im Gegensatz zu gleichmäßig durchmischten Modellböden daher nicht konstant sein, sondern von der Art des Bodens, der Zeit und dem Nachschub an Radioaktiven Material abhängen.

Dank

Bei der Probenbeschaffung haben Frau Prof. Dr. A. Henssen und ihre Studenten sowie die Herren J. Kunz und S. Beiersdorf uns kräftig unterstützt. Bei der Durchführung der Messungen halfen Frau B. Heldmann, Frau S. Haase und Herr W. Werner. Ihnen allen gilt unser Dank.

Zusammenfassung

Es wird über die radioaktive Belastung von Pilzen durch Caesium und Silber im Landkreis Marburg-Biedenkopf (Oberhessen) im Herbst 1988 als Folge des Tschernobyl-Reaktorunfalls am 26. 4. 1986 berichtet. Aktivitäten und Transferfaktoren wurden für 59 Pilzarten bestimmt, wobei in den meisten Fällen der Pilz und die Erde des Fundorts gemessen wurden. Wesentliche Änderungen der Radioaktivität im Vergleich zu 1987 wurden nur bei wenigen Pilzarten beobachtet (z. B. starke Abnahme bei *Laccaria amethystina,* leichte Zunahme bei *Boletus edulis* und bei dem bereits im Vorjahr stark belastetem *Xerocomus badius).* Auffallend ist das 1987 noch nicht evidente Auftreten von radioaktivem Silber (^{110m}Ag) in einigen Pizarten, insbesondere *Agaricus campestris.*

Literatur

AUMANN, D. C., G. CLOOTH, B. STEFFAN & W. STEGLICH (1989) – Komplexierung von Cäsium-137 durch die Hutfarbstoffe des Maronenröhrlings (Xerocomus badius), Angewandte Chemie (im Druck)

AURAND, K., H. RÜHLE & I. GANS (1982) – Radioökologie und Strahlenschutz, Erich-Schmidt-Verlag, Berlin

DER BUNDESMINISTER DES INNEREN (Herausgeber) (1981) – Statusbericht über den Transfer von Radionukliden, 2. Auflage, Bonn

BUNZL, K., W. SCHIMMACK, K. KREUTZER & R. SCHIERL (1989) – The migration of fallout ^{134}Cs, ^{137}Cs and ^{106}Ru from Chernobyl and of ^{137}Cs from weapons testing in a forest soil, Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 152, 39 – 44

DIETL, G., (1989) – Zur Verteilung radioaktiver Cäsium-Nuklide im Pilzfruchtkörper, Zeitschrift für Mykologie, 55 (1), 131 – 134

GILL, M. & W. STEGLICH (1987) – Fortschr. Chem. Org. Naturstoffe 51

KREISEL, H. (1987) – Pilzflora der DDR (Basidiomycetes), Jena

LINDNER, G. & E. RECKNAGEL (1988) – Tschernobyl – Auswirkungen auf die Bodensee-Region, Thorbecke-Verlag, Sigmaringen.

MOLZAHN, D., D. REINEN, H. BEHR, P. KOCKSHOLT & P. PATZELT (1989) – Die Belastung von Pilzen mit radioaktivem Caesium – eine Bilanz im hessischen Landkreis Marburg-Biedenkopf im Herbst 1987, Zeitschrift für Mykologie 55 (1), 135 – 148

PETERING, H. G. (1984) – Silber, in Merian, E. (Herausgeber), Metalle in der Umwelt, Verlag Chemie 555 – 560

SEEGER, R. & P. SCHWEINSHAUT (1981) – Vorkommen von Caesium in höheren Pilzen, The Science of the Total Environment 19, 253 – 276

STEFFAN, B. & W. STEGLICH (1984) – Angew. Chemie 96, 435

WESTMEIER, W. (1986) – The Fitting of Solid State Detector Spectra, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A 242, 437 – 442

WIRTH, W., HECHT, G., GLOXSHUBER, C. (1971) – Toxikologie Fibel,Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Manuskript bei der Schriftleitung eingegangen am 11. Dezember 1989

A n s c h r i f t e n d e r V e r f a s s e r :

Dr. Dieter Molzahn
Kernchemie im FB Phys, Chemie
Philipps-Universität Marburg
Hans-Meerwein-Straße
3550 Marburg

Prof. Dr. Dirk Reinen
Fachbereich Chemie
Philipps-Universität Marburg
Hans-Meerwein-Straße
3550 Marburg

Herbert Behr
Pilzfreunde 1976 Kassel e.V.
Goldbergstraße 9
3550 Marburg-Cappel

Prof.Dr. Paul Patzelt
Kernchemie im FB PHys. Chemie
Philipps-Universität Marburg
Hans-Meerwein-Straße
3550 Marburg

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Philippia. Abhandlungen und Berichte aus dem Naturkundemuseum im Ottoneum zu Kassel

Jahr/Year: 1988-1994

Band/Volume: 6

Autor(en)/Author(s): Molzahn Dieter, Reinen Dirk, Behr Herbert, Patzelt Paul

Artikel/Article: Die Belastung von Pilzen mit radioaktivem Caesium und Silber im Herbst 1988 im hessischen Landkreis Marburg-Biedenkopf 223-232