

Radioaktives Cäsium in Pilzen und Farnen aus Südwürttemberg

von

Gudrun Dietl-Starnecker, Hermann Muhle,
Dieter Breitig* und Karin Unterricker

Abteilung Spezielle Botanik der Universität Ulm
Ventrale Einrichtung für Isotopenanwendung der Universität Ulm

Summary

Radiocaesium in Fungi and Ferns from Southern Germany.

Fungi, mosses, ferns and some higher plants were analyzed for radio- active Caesium. The investigated material was collected in three forest areas from Baden-Württemberg ('Oberschwaben' and 'Schwäbische Alb' close to Ulm) in the years 1993, 1994 and 1998. Some studied plants were also collected in the Carpathian Mountains of Southwestern Ukraine.

In sites with high Caesium input ('Oberschwaben') from the Chernobyl accident the concentration of fallout products were raised according to the specific accumulation process in a particular plant group.

Fungi and other plants from less contaminated habitats showed less radioactive Caesium although their specific accumulation ability is known to be considerable. In fungi, mosses and ferns the contents of Radiocaesium decreased by 50 % and more between 1993 and 1998. Surprisingly the lowest Caesium contents were observed in plants from the Carpathian Mountains. It is evident that the fallout process controlled by northern currents, saved those Carpathian forests.

Keywords

Radioaktivität, Cäsium, Tschernobyl, Pilze, Farne, Moose, Bryophyten, höhere Pflanzen

Radioactivity, Caesium, Chernobyl, fungi, mushrooms, ferns, mosses, bryophytes, higher plants

Einleitung

Nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl in der Ukraine gelangten im April 1986 große Mengen radioaktiver Nuklide, darunter auch Cäsium- 134 und Cäsium-137 in weit entfernte Gebiete. Je nach den vorherrschenden

Wetterbedingungen war der Eintrag regional sehr unterschiedlich. Besonders betroffen waren neben Bayern die südlichen und südöstlichen Regionen in Baden-Württemberg, vor allem in Oberschwaben (LFU 1996).

Vergleichende Untersuchungen an Pilzen, Farnen und anderen Pflanzen aus der Krautschicht von Laub- und Nadelwäldern der Region um die Universität Ulm (Ulmer Alb und nördlicher Bereich von Oberschwaben) und von einem Standort in der Ukraine sollten deshalb Aufschluss über die Konzentration der radioaktiven Cäsium-Nuklide 8 bis 12 Jahre nach Tschernobyl geben.

Material und Methoden

Die Waldflächen liegen in dem als 'Ulmer Alb' bezeichneten südlichen Rand der Schwäbischen Alb bei Ulm (Beimerstetten und Sontheim/- Brenz) sowie im nördlichen Bereich von Oberschwaben (Biberach) (Abb. 1).

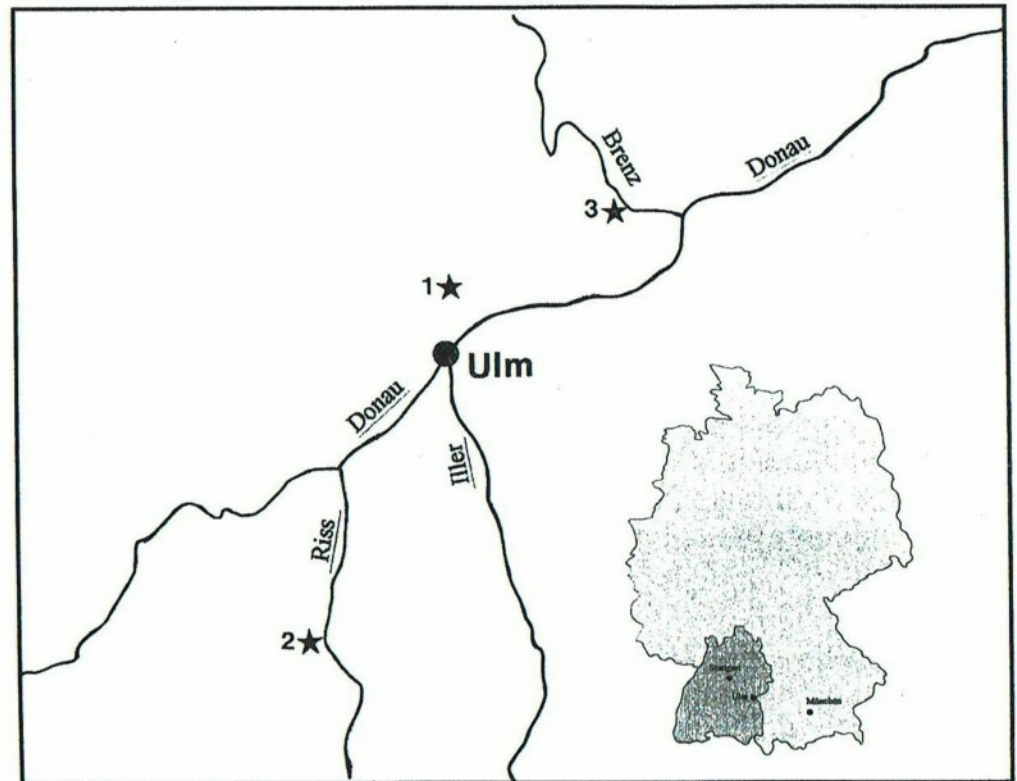


Abb. 1 Lage der 3 Untersuchungsgebiete (*) in Südwest-Deutschland. Beimerstetten (1) und Sontheim/Brenz (3) auf der Schwäbischen Alb sowie Biberach (2) in Oberschwaben.
Fig. 1 Location of the 3 study areas (*) in Southwestern Germany: Beimerstetten (1), Sontheim/Brenz (3) located in the 'Schwäbische Alb' an Biberach (2) in 'Oberschwaben'.

Der Standort Kostrino liegt in den Karpaten (südwestlicher Teil der Ukraine). Die Probennahme der Pilze erfolgte im Herbst 1993 und 1998. Farne, Moose und höhere Pflanzen wurden im Frühsommer der Jahre 1994 und 1998 gesammelt, Die Proben wurden frisch gemessen und anschließend das Trockengewicht bestimmt. Die Proben aus zwei Waldflächen der Ukraine wurden ebenso im Frühsommer 1998 gesammelt, aber nach der Trocknung gemessen. Als Messapparatur für die γ -Messungen diente ein Großvolumendetektor (NaJ(Tl)-Kristall). Es wurden jeweils beide Cäsium-Nuklide erfasst; das Verhältnis Cs-134/Cs-137 betrug 4:100 im Jahr 1994 und 1:100 im Jahr 1998. Alle angegebenen Werte bezeichnen jeweils den Gesamtgehalt der radioaktiven Cäsium-Nuklide bezogen auf das Frischgewicht bei Pilzen (Becquerel/kg FG = Bq/kg FG) und bei allen anderen Pflanzen bezogen auf das Trockengewicht (Bq/kg TG). Pilze enthalten mit guter Näherung 90 % Wasser, so dass die Werte auf das Pilztrockengewicht bezogen etwa um den Faktor 10 höher liegen. Zur Kennzeichnung mehrerer Proben einer Art wurde nicht der Mittelwert, sondern der Median (Zentralwert) gewählt, da er von Extremwerten wenig beeinflusst wird (SACHS 1984). Die Nomenklatur erfolgte bei den Pilzen nach MOSER (1983), bei den Moosen nach FRAHM & FREY (1992) und bei den Phanerogamen nach SCHMEIL & FITSCHEN (1993).

Ergebnisse und Diskussion

Die Gehalte an radioaktivem Cäsium reichen bei allen untersuchten Pilzproben an den drei Standorten (insgesamt 6 Waldflächen) im Jahr 1993 von 13 bis 5.414 Bq/kg FG und 1998 von der Nachweisgrenze bis 3.750 Bq/kg FG, Am häufigsten treten 1993 Werte von 100 bis 500 und 1998 von 50 bis 100 Bq/kg FG (Tab. 1 - 3). Diese starke Abnahme um 50 % und mehr kann nicht allein auf den radioaktiven Zerfall zurückgeführt werden (dies würde ca. 9 % ausmachen), sondern es muss eine Verlagerung in tiefere Bodenschichten angenommen werden, da die Bindung des Radiocäsiums an Ton- und Humussubstanzen im Boden nur von geringerer Bedeutung ist (Buo 1991). Das artspezifische Akkumulationsvermögen bestimmt als erster Faktor die Höhe der Cäsium-Konzentration, so dass innerhalb einer Waldfläche bei gegebenem Cäsium-Angebot im Boden unmittelbar benachbart wachsende Arten sehr unterschiedliche Werte aufweisen können. Die aus früheren Untersuchungen als cäsiumreichernd bekannten Arten (SEEGER 1987, DIETL & BREITIG 1988, DIETL & al. 1989) enthielten immer noch sehr hohe Gehalte, darunter der als Speisepilz beliebte Maronenröhrling, *Xerocomus badius*, und die ebenfalls essbaren Lacktrichterlinge, *Laccaria amethystina*, und *Laccaria laccata*. Auch der Milde Milchling, *Lactarius mitissimus*, und der Ockerweiße Täubling, *Russula ochroleuca*, (minderwertige aber noch genießbare Arten), der ungenießbare Seifenritterling, *Tricholoma*

saponaceum, sowie die giftigen Pilzarten Kahler Krempling, *Paxillus involutus*, Zimthautkopf, *Dermocybe cinnamomea*, und Bluthautkopf, *Dermocybe sanguinea*, fielen durch hohe Konzentrationen auf (Tab. 1 - 3).

A. Alter Buchenwald	1993 Bq/kg FG	1998 Bq/kg FG
<i>Laccaria laccata</i>	103	17
<i>Lactarius blennius</i>	104	54
<i>Russula fellea</i>	411	188
<i>Xerocomus chrysenteron</i>		28
B. Alter Fichtenwald		
<i>Armillariella mellea coli.</i>		11
<i>Dermocybe cinnamomea</i>	2.216	1.143
<i>Dermocybe sanguinea</i>	2.545	1.529
<i>Hypholoma capnoides</i>		< NG
<i>Laccaria laccata</i>	396	
<i>Lactarius mitissimus</i>	423	60
<i>Russula ochroleuca</i>	280	77
<i>Xerocomus badius</i>	428	147
NG = Nachweisgrenze, detection limit		

Tab.1 Gehalt an radioaktivem Cäsium (Cs-134 und Cs-137) in Pilzen aus Beimerstetten bei Ulm in den Jahren 1993 und 1998.

Table 1 Content of radioactive Caesium (Cs-134 and Cs-137) in fungi from the 'Schwäbische Alb' (Beimerstetten) in the years 1993 and 1998.

A. Alter Fichtenwald	1993 Bq/kg FG	1998 Bq/kg FG
<i>Agaricus abruptibulbus</i>	104	
<i>Armillariella mellea coli.</i>	111	
<i>Collybia butyracea</i>	67	44
<i>Hypholoma capnoides</i>	304	53
<i>Laccaria amethystina</i>	1.147	344
<i>Laccaria laccata</i>	588	
<i>Paxillus involutus</i>	1.197	694
<i>Russula ochroleuca</i>	2.077	516
<i>Xerocomus badius</i>	2.094	463
<i>Xerocomus chrysenteron</i>		513

Tab. 2 Gehalt an radioaktivem Cäsium (Cs-134 und Cs-137) in Pilzen aus Biberach in den Jahren 1993 und 1998.

Table 2 Content of radioactive Caesium (Cs-134 and Cs-137) in fungi from 'Oberschwaben' (Biberach) in the years 1993 and 1998.

Alle diese oben genannten stark cäsiumanreichernden Arten sind Mykorrhizapilze. Champignonarten (z. B. *Agaricus abruptibulbus*), Trichterlinge (z. B. *Clitocybe vibecina*) und holzbewohnende Arten wie Hallimasch, *Armillariella mellea* coli., und Rauchblättriger Schwefelkopf, *Hypholoma capnoides*, gehören allgemein nicht zu den cäsiumanreichernden Pilzen (SEEGER 1987, DIETL & al. 1989), so dass auch an stark belasteten Standorten keine besonders hohen Werte zu finden sind (Tab. 2).

A. Mittelalter Buchenwald (Hanglage)	1993 Bq/kg FG	1998 Bq/kg FG
<i>Armillariella mellea</i> coli.		10
<i>Clitocybe vibecina</i>	13	
<i>Laccaria amethystina</i>	265	207
<i>Lactarius quietus</i>	141	16
<i>Russula fellea</i>	893	102
<i>Tricholoma saponaceum</i>	5.414	3.750
<i>Xerocomus chrysenteron</i>	109	56
B. Alter Buchenstand		
<i>Collybia butyracea</i> var. <i>asema</i>		16
<i>Lactarius quietus</i>	120	86
<i>Tricholoma saponaceum</i>	914	
C. Alter Fichtenwald		
<i>Clitocybe vibecina</i>	85	
<i>Collybia butyracea</i> var. <i>asema</i>		19
<i>Dermocybe cinnamomea</i>	1.854	
<i>Laccaria amethystina</i>	852	
<i>Russula ochroleuca</i>	707	55
<i>Paxillus involutus</i>		29
<i>Xerocomus badius</i>		51
<i>Xerocomus chrysenteron</i>		28

Tab. 3 Gehalt an radioaktivem Cäsium (Cs-134 und Cs-137) in Pilzen aus Sontheim/Brenz in den Jahren 1993 und 1998.

Table 3 Content of radioactive Caesium (Cs-134 and Cs-137) in fungi of the 'Schwäbische Alb' (Sontheim/Brenz) in the years 1993 and 1998.

Der zweite Faktor für die Höhe der Cäsium-Konzentration in einer Pilzart ist das Cäsium-Angebot im Boden. So treten bei den häufig anzutreffenden Arten

Russula ochroleuca, *Xerocomus badius*, *Xerocomus chrysenteron* und *Laccaria amethystina* 1993 und 1998 in Biberach die höchsten Konzentrationen gegenüber Sontheim und Beimerstetten auf (z. B. *Russula ochroleuca*: 2.026 bzw. 707 bzw. 280 Bq/kg FG) (Tab. 1 - 3). Entsprechende Standortunterschiede (Biberach » Sontheim > Beimerstetten) zeigten sich auch bei allen anderen Pilzarten (Tab. 1 - 3). Der Standort Biberach liegt in Oberschwaben, das vom radioaktiven Input besonders betroffen war, während auf der Schwäbischen Alb die Cäsium-Belastung von Süd nach Nord und Ost nach West abnimmt (u. a. LfU 1987), was auch bei den dort wachsenden Pilzen zu beobachten ist.

A. Alter Buchenwald	1994 Bq/kg TG	1998 Bq/kg TG
<i>Galium odoratum</i>	<NG	
<i>Oxalis acetosella</i>	<NG	
<i>Athyrium filix-femina</i>		34
<i>Dryopteris filix-mas</i>	<NG	17
<i>Polytrichum formosum</i>	136	
B. Alter Fichtenwald		
<i>Galium odoratum</i>	317	
<i>Oxalis acetosella</i>	66	143
<i>Athyrium filix-femina</i>		154
<i>Dryopteris dilatata</i>	407	163
<i>Dryopteris filix-mas</i>	185	114
<i>Polytrichum formosum</i>	165	<NG
NR = Nachweisgrenze, detection limit		

Tab. 4 Gehalt an radioaktivem Cäsium (Cs-134 und Cs-137) in Pflanzen aus Beimerstetter; bei Ulm in den Jahren 1994 und 1998.

Table 4 Content of radioactive Caesium (Cs-134 and Cs-137) in plants of the 'Schwäbische Alb' (Beimerstetten) in the years 1994 and 1998.

Im Jahr 1994 reichen die Konzentrationen an radioaktiven Cäsium-Nukliden in Farnen bis 4.560 Bq/kg TG beim Dornfarn, *Dryopteris dilatata*, in Moosen bis 869 Bq/kg TG (*Polytrichum formosum*) und in anderen Pflanzenarten bis 1.496 Bq/kg TG in der Heidelbeere, *Vaccinium myrtillus*, (Tab. 4 - 6). Die Farne stellen damit - nach den Pilzen - die Pflanzengruppe mit den höchsten Gehalten an radioaktivem Cäsium dar. Dies wurde auch aus anderen Untersuchungen berichtet (LfU 1996). Die höchsten Gehalte waren dabei in *Dryopteris dilatata* zu beobachten (Tab. 5), wobei auch hier von einem Anreicherungsvermögen ausgegangen werden kann. In *Dryopteris dilatata* aus dem Altdorfer Wald (Ravensburg, C'berschwaben) wurden im Jahr 1995

Cäsium-Maximalwerte bis 6.000 Bq/kg TG und Durchschnittswerte um 1.500 Bq/kg TG gemessen (LfU 1996), im Adlerfarn, *Pteridium aquilinum*, 1987 sogar bis 37.000 Bq/kg TG (LfU 1987). Farne sind daher auch als Indikatorpflanzen für radioaktives Cäsium in Waldböden anzusehen: vergleicht man die Werte in den Pflanzen mit den Pilzen, so zeigen sich dieselben Standortunterschiede. In Biberach (hoher Cäsium-Input) weisen auch alle anderen untersuchten Pflanzenarten höhere Werte auf als an den weniger belasteten Alb-Standorten Sontheim bzw. Beimerstetten.

Alter Fichtenwald	1994 Bq/kg TG	1998 Bq/kg TG
<i>Oxalis acetosella</i>		1.129
<i>Rubus fruticosus</i>	502	
<i>Vaccinium myrtillus</i>	1.496	1.170
<i>Athyrium filix-femina</i>		229
<i>Dryopteris dilatata</i>	4.560	1.296
<i>Dryopteris filix-mas</i>	1.339	
<i>Polytrichum formosum</i>	869	256

Tab. 5 Gehalt an radioaktivem Cäsium (Cs-134 und Cs-137) in Pflanzen aus Biberach in den Jahren 1994 und 1998.

Table 5 Content of radioactive Caesium (Cs-134 and Cs-137) in plants from 'Oberschwaben' (Biberach) in the years 1994 and 1998.

Ein weiterer Faktor für das verfügbare Cäsium-Angebot ist der pH-Wert des Bodens (BILo 1991). So weisen dieselben Pflanzen- und Pilzarten auf den stärker sauren Fichtenwaldböden meist höhere Gehalte an radioaktivem Cäsium auf als von benachbarten Buchenwäldern (z. B. *Dryopteris filix-mas* 114 bzw. 17 Bq/kg FG, *Dryopteris dilatata* 1.227 bzw. 198 Bq/kg FG, *Laccaria amethystina* 852 bzw. 265 Bq/kg FG) (Tab. 3, 4 und 6).

Im Gegensatz zu den höheren Pflanzen (*Carex brizoides*, *Galium odoratum*, *Oxalis acetosella* und *Vaccinium myrtillus*) hat die Cäsium-Konzentration in Farnen und Moosen im Jahr 1998 gegenüber 1994 an allen Standorten bei allen Arten deutlich abgenommen (Tab. 4 - 6), viele Werte liegen unterhalb der Nachweisgrenze. Diese vor allem in den Farnen und Moosen beobachtete Konzentrationsabnahme um etwa 50 % und mehr ist wie bei den Pilzen nicht allein durch den radioaktiven Zerfall erklärbar und könnte ebenfalls auf eine Verlagerung des Radiocäsiums in tiefere Bodenschichten hindeuten.

A. Mittelalter Buchenwald (Hanglage)	1994 Bq/kg TG	1998 Bq/kg TG
<i>Carex brizoides</i>	93	125
<i>Galium odoratum</i>	260	<NG
<i>Oxalis acetosella</i>	334	157
<i>Polytrichum formosum</i>		123

B. Alter Buchenwald		
<i>Carex brizoides</i>	84	<NG
<i>Galium odoratum</i>		<NG
<i>Athyrium filix-femina</i>	347	
<i>Dryopteris carthusiana</i>		<NG
<i>Dryopteris dilatata</i>	198	
<i>Dryopteris filix-mas</i>	142	
C. Alter Fichtenwald		
<i>Carex brizoides</i>	274	
<i>Oxalis acetosella</i>	333	<NG
<i>Athyrium filix-femina</i>	496	
<i>Dryopteris carthusiana</i>		<NG
<i>Dryopteris dilatata</i>	1.227	412
<i>Dryopteris filix-mas</i>		<NG
<i>Polytrichum formosum</i>	207	164
NG = Nachweisgrenze, detection limit		

Tab. 6 Gehalt an radioaktivem Cäsium (Cs-134 und Cs-137) in Pflanzen aus Sontheim/Brenz in den Jahren 1994 und 1998.

Table 6 Content of radioactive Caesium (Cs-134 and Cs-137) in plants of the 'Schwäbische Alb' (Sontheim/Brenz) in the years 1994 and 1998.

Im Vergleich zu den drei süddeutschen Waldstandorten enthalten die Farne und Moose aus Kostrino in der Ukraine nur sehr wenig an radioaktivem Cäsium (Tab. 7). An der stärker exponierten Fläche in ca. 1.000 m Höhe wurde der Höchstwert von 249 Bq/kg TG in *Gymnocarpium dryopteris* (Eichenfarn) gemessen, *Dryopteris dilatata* enthielt dagegen nur 33 Bq/kg TG und *Polytrichum attenuatum* (Haarmützenmoos) 182 Bq/kg TG. In einer tiefer gelegenen Schluchtwaldfläche lagen die Werte meist unterhalb der Nachweisgrenze, nur in *Dryopteris filix-mas* (Wurmfarn) wurden 79 Bq/kg TG und in *Polypodium vulgare* (Tüpfelfarn) 44 Bq/kg TG beobachtet. Der entscheidende Faktor für den Cäsium-Eintrag ist offensichtlich nicht allein die räumliche Nähe zu der Emittentenquelle. Wie allgemein für den Transport von (Schad)Stoffen bekannt ist, können atmosphärische Bestandteile je nach Wetterbedingungen und Partikelgröße über weite Entfernungen verfrachtet und dann erst abgelagert werden (u. a. SCHLADOT & NÜRNBERG 1982), was sich am Beispiel der durch den Unfall von Tschernobyl emittierten radioaktiven Nuklide besonders gut verfolgen lässt.

A. Schluchtwald (in einem eingeschnittenen Tal)	1998 Bq/kg TG
Athyrium filix-femina	<NG
Dryopteris dilatata	<NG
Dryopteris filix-mas	79
Dryopteris filix-mas	<NG
Matteuccia struthiopteris	<NG
Phegopteris connectilis	<NG
Polypodium vulgare	44
Polystichum aculeatum	<NG
Pteridium aquilinum	<NG
B. Schluchtwald (in 1.000 m Höhe am Berg)	
Athyrium filix-femina	<NG
Athyrium filix-femina	165
Dryopteris dilatata	33
Gymnocarpium dryopteris	249
Polytrichum attenuatum	182
NG = Nachweisgrenze, detection limit	

Tab. 7 Gehalt an radioaktivem Cäsium (Cs-134 und Cs-137) in Pflanzen aus Kostrino, (Ukraine) im Jahr 1998.

Table 7 Content of radioactive Caesium (Cs-134 and Cs-137) in plants from Southwestern Carpathians in the year 1998.

Literatur

- BILO, M., 1991: Untersuchungen zum Transfer des durch den Reaktorunfall von Tschernobyl abgelagerten Radiocäsiums in die Pflanze. - Berichte des Forschungszentrums Jülich, Nr. 2546. Jülich: 117S.
- DIETL, G. & D. BREITIG, 1988: Radioaktives Cäsium in Pilzen aus dem Raum Schwäbisch Gmünd. -Z. Mykol. 54(1): 109-112.
- DIETL, G., BREITIG, D. & G. STARNECKER, 1989: Zur artspezifischen Aufnahme von radioaktivem Cäsium durch Pilze. - Beiträge zur Kenntnis der Pilze Mitteleuropas V: 21-30
- FRAHM, L-P. & W. FREY, 1992: Moosflora. - 3. Aufl., Verlag E. Ulmer, Stuttgart: 528 S.
- LfU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (Hrsg.), 1987: Umweltbericht Baden-Württemberg 1987. - Karlsruhe: 443 S.

LfU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (Hrsg.), 1996: 10 Jahre nach Tschernobyl. Radioaktivität in Baden-Württemberg. Jahresbericht 1995. - Berichte der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 18. Karlsruhe: 127 S.

MOSER, R., 1983: Kleine Kryptogamenflora. Band II b/2. Die Röhrlinge und Blätterpilze. - 5. Aufl., Fischer, Stuttgart: 533 S.

SACHS, L., 1984: Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden. - 6. Aufl., Springer, Berlin: 552 S.

SCHLADOT, J.D. & H.W, NÜRNBERG, 1982. Atmosphärische Belastung durch toxische Metalle in der Bundesrepublik Deutschland. Emission und Deposition. - Berichte der Kernforschungsanlage Jülich Nr. 1776.

SEEGER, R., 1987: Zur Frage der Caesium- und Strontiumaufnahme in Pilze - Auswirkungen des Reaktorunfalls von Tschernobyl. - Beiträge zur Kenntnis der Pilze Mitteleuropas III: 289-298.

Danksagung

Wir danken allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, insbesondere Frau Lieselotte Zipfel und Frau Ingrid Bader für Radioaktivitätsmessungen und Frau Christel Necker für technische Hilfe.