

I. RÜCKBLICK

Drei Jahre nach Tschernobyl

Von Georg HEINRICH, Anna GRIES, Hansjörg MÜLLER und KARL OSWALD

Eingelangt am 20. Juni 1989

Mit 1 Abbildung im Text

1. Einleitung

Mehr als drei Jahre nach dem Reaktorunfall vom 26. April 1986 in Tschernobyl soll hier beschrieben werden, welcher Anteil der ca. 100 MCi, die bevorzugt über Europa verteilt und hier besonders im Alpengebiet abgerechnet wurden, noch im Boden und in den Pflanzen der Steiermark zu finden ist. Bedingt durch kurze physikalische Halbwertszeiten der meisten freigesetzten Radionuklide, hat sich das exotische Ausgangsinventar, das dem geborstenen Reaktorblock entwichen ist, auf einige wenige Radionuklide reduziert, die kaum 4% der Anfangsaktivität ausmachen. Als Isotope mit langer Halbwertszeit sind ^{137}Cs und ^{90}Sr zu beachten, daneben noch ^{134}Cs , ^{106}Ru und ^{103}Ru (Ruthenium). Da das ^{90}Sr auf naßchemischem Weg von allen übrigen radioaktiven Isotopen getrennt werden muß, sind die Aussagen über das ^{90}Sr viel spärlicher als die über die beiden Cäsiumisotope ^{137}Cs und ^{134}Cs , die gammaspektrometrisch ohne vorherige Abtrennung gemessen werden. Da die Transferwerte von Sr aber 2–60mal höher sind als die von Cs, ferner Sr durch seine lange biologische Halbwertszeit nach dem Einbau in die Knochen wesentlich gefährlicher als Cs ist, wären zusätzliche Daten wünschenswert.

Folgende Fragen drängen sich auf:

1. Wie hoch ist die natürliche Radioaktivität in den Böden und Pflanzen des Untersuchungsgebietes?
2. Wie hoch war die Kontamination durch künstliche Radionuklide vor Tschernobyl, und welche Höhe wies die künstliche Radioaktivität in den auf Tschernobyl folgenden Vegetationsperioden auf?

2. Material und Methoden

Die Messungen wurden, wie bei HEINRICH (1987) angegeben, vorgenommen. Alle Angaben erfolgten in nCi. Multiplikation der Werte mit 37 ergibt die international übliche Angabe Becquerel (Bq).

3. Natürliche Radioaktivität in Böden und Pflanzen des Untersuchungsgebietes

In allen Böden und Pflanzen liegen die primordialen Radionuklide, wie ^{40}K , ferner im geringeren Maß die Radionuklide der Uran-Radium-Reihe ($^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$), der Uran-

Actinium-Reihe ($^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$) und der Thorium-Reihe ($^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$) vor, die zu den stabilen Bleiisotopen führen. In allen drei Zerfallsreihen werden Isotope des Edelgases Radon gebildet, die unter Emission von α -Teilchen zerfallen. Der größte Anteil der natürlichen Aktivität rührt von ^{40}K her, gefolgt von den β -Strahlern ^{14}C und ^3H . Ein Mensch von 70 kg weist nach SANSONI und MATTHES (1985) eine natürliche Radioaktivität von 199 nCi ^{40}K auf, dazu kommen ca. 89 nCi ^{14}C , 0,5 nCi ^3H , 0,3 nCi Polonium-210, 0,1 nCi Radium-226 und 0,5 nCi Thorium-228. Zigarettenraucher können übrigens ihre ^{210}Po -Aktivität 50fach gegenüber Nichtrauchern erhöhen. Von dieser Möglichkeit machen in den letzten Jahrzehnten zunehmend auch Frauen Gebrauch.

Die natürliche Aktivität, beruhend auf den ^{40}K -Werten, soll im Untersuchungsgebiet mit wenigen Beispielen belegt werden. Der Boden eines Mischwaldes am Rosenberg weist zwischen 0 und 5 cm Tiefe ^{40}K -Gehalte von ca. 8nCi/kg Trockengewicht (TG) auf. Der Boden eines Fichtenforstes zwischen Deutschlandsberg und der Koralpe zeigt den doppelten Wert. Ältere Fichtennadeln aus Graz haben ca. 5,4 nCi/kg TG, jüngere Nadeln haben mehr als doppelt so hohe Werte. Die Blätter der Laubbäume aus Graz weisen Werte zwischen 5 und über 16 nCi auf. Junge Blätter und Knospen besitzen hohe ^{40}K -Aktivitäten, diese nehmen mit der Blattstreckung ab. Vor dem herbstlichen Laubfall wird meist ein Großteil des ^{40}K abgezogen. Wasserpflanzen, die bekanntlich die verschiedensten Ionen akkumulieren, besitzen gelegentlich sehr hohe ^{40}K -Werte. Die Wasserlinse, Lemma minor, und das Kleine Nixenkraut, Najas minor, haben ^{40}K -Werte von 28 bzw. 40 nCi/kg TG. Die Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen tragen meist zwischen wenigen bis gelegentlich 60% der ^{40}K -Werte zur Aktivität bei.

4. Künstliche Aktivität vor Tschernobyl

Besonders durch die oberirdischen Atombombentests wurden hohe Aktivitäten an ^{137}Cs und ^{90}Sr freigesetzt. Insgesamt sollen nach Angaben von CAMBRAY et al. (1985) zwischen 1954 und 1983 ca. 26.015 KCi ^{137}Cs und 16.727 KCi ^{90}Sr über die Erde verteilt worden sein, wobei die Verursacher der Nordhemisphäre ca. zwei Drittel des radioaktiven Fallouts abbekommen haben. Die höchsten kumulativen Radioaktivitätswerte wurden 1965/66 erreicht. Beruhend auf den Halbwertszeiten der beiden Isotope von ca. 30 Jahren, fiel die kumulative Deposition bis 1986 etwas unter 80% der Höchstwerte ab. Ein in Judenburg August 1984 gesammelter Waldboden wies pro kg TG 1,3 nCi ^{137}Cs auf. Die höheren Pflanzen waren erwartungsgemäß vor Tschernobyl sehr gering kontaminiert. Rotföhrennadeln aus Judenburg und Ribiselblätter aus Graz aus dem Jahr 1984 hatten ^{137}Cs -Werte $< 0,05$ nCi/kg TG. Moose, die in den Jahren 1984 und 1985 auf der Laßnitzhöhe, am Schöckl und auf der Planneralm gesammelt wurden, hatten ^{137}Cs -Werte von 0,4 bis 2 nCi/kg TG. *Hypogymnia physodes*, eine häufig auf Ästen aufsitzende Flechte gesammelt im Koralpengebiet, in den Seetaler Alpen, auf der Bürgeralm, im Grazer Bergland und auf der Weinebene, zeigte Höchstwerte von 11 nCi/kg TG. Der höchste, aus Westösterreich berichtete Kontaminationswert war 36 nCi (ECKL et al. 1986) aus dem Jahr 1982. Im Gegensatz zu den höheren Landpflanzen, die geringe Transferfaktoren (TF = Aktivität in nCi in 1 kg frischer Pflanzenmasse : Aktivität in nCi in 1 kg lufttrockenem Boden) von Boden zu Pflanze aufweisen, akkumulieren manche Pilze ^{137}Cs . Im August 1984 in den Gebieten Authal, Fohnsdorf und Judenburg aufgesammelte Pilze hatten Werte zwischen 0,5 und 72 nCi/kg TG. Beim Vergleich mit Frischgewichten wäre zu berücksichtigen, daß die Trockengewichte um 8,3- bis 20mal geringer als die Frischgewichte sind.

5. Künstliche Radioaktivität nach Tschernobyl

5.1. Böden

Nach HORAK und GERZABEK (1988) betragen die pro m² niedergegangenen Aktivitäten zwischen 20 nCi/m² in Niederösterreich und über 2453 nCi in Oberösterreich. Sie variieren von Standort zu Standort um mehr als das 120fache. Eine Messung des Bodens (0 bis 5 cm) in einem Fichtenforst bei der Herkhütte, zwischen Deutschlandsberg und Weinebene, brachte ¹³⁷Cs-Werte von 203 nCi/kg TG, die ¹³⁷Cs-Aktivität übertraf die des ⁴⁰K um das 14fache. ¹³⁷Cs machte in diesem Fall 93% der gesamten Radioaktivität aus. ⁴⁰K lieferte 6,6%, der Rest stammte von den Isotopen ¹³⁴Cs, ¹⁰⁶Ru, ¹¹⁰Ag und ¹²⁵Sb. Verglichen mit dem Vor-Tschernobyl-Wert von 1,2 nCi/kg TG hat in diesem Fall die Kontamination durch ¹³⁷Cs um das 157fache zugenommen, nach den bei KAMPE (1986) angegebenen Werten um das 1254fache. Ackerböden sind meist wesentlich geringer kontaminiert als Waldböden. Außerdem wurde die auf der Oberfläche deponierte Aktivität untergepflügt, so daß die höher kontaminierte Erde mit gering kontaminierter gemischt wurde. Da die Transferfaktoren Boden-Pflanze meist sehr niedrig sind (HAUNOLD et al. 1982) – und z. B. für die Früchte von Weizen und Roggen 0,005, für Futtergräser, Klee und Luzerne 0,02, für die Samen von Erbse und Bohne 0,01, für Kartoffel 0,015 und für Tomaten 0,005 betragen –, sind Getreide und Gemüse in den auf den Reaktorunfall folgenden Jahren kaum meßbar kontaminiert.

5.2. Laubbäume

Die Verhältnisse bei den Laubbäumen sollen am Beispiel der Rotbuche aufgezeigt werden. Die Buche gehörte zu jenen Bäumen, deren Blätter 1986 direkt kontaminiert wurden. Blätter der Rotbuche aus dem Botanischen Garten wiesen in den Jahren 1986, 1987 und 1988 folgende Werte in nCi/kg TG auf:

	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	²⁰⁶ Ru	¹⁰³ Ru	¹²⁵ Sb	¹⁴⁴ Ce	⁹⁵ Zr	⁹⁵ Nb	⁴⁰ K
7. 1986:	118	53	105	22	18	10	2	4,8	5
14. 5. 1987:	14	5,2	–	–	18,8	–	–	–	6,2
8. 5. 1988:	6,6	1,8	–	–	3,7	–	–	–	9,8
10. 5. 1989:	1,6	0,4	–	–	–	–	–	–	6,7

In der ersten Vegetationsperiode übertraf die durch die längerlebigen Radionuklide bedingte künstliche Kontamination die natürliche des ⁴⁰K um das 67fache, in der zweiten um das 3,8fache, im dritten Jahr ist die natürliche und künstliche Radioaktivität bei Bezug auf den ⁴⁰K-Wert von 1986 etwa gleich hoch, in der vierten Vegetationsperiode nach Tschernobyl sind die ⁴⁰K-Werte bereits dreimal höher als die Werte der beiden Cs-Isotope.

Ein großer Teil der Radioaktivität wurde im ersten Jahr beim herbstlichen Laubfall abgeworfen. In der zweiten Vegetationsperiode tauchten etwa 11% des Vorjahrswertes wieder auf. Es handelt sich dabei zum größten Teil um ¹³⁷Cs, das vor dem herbstlichen Laubfall aus dem Blatt retrahiert wird, etwa die Hälfte davon fand sich als Blattwert im dritten Jahr wieder. Bei der Roßkastanie war der Anteil an ¹³⁷Cs, das im ersten Jahr verlorenging, noch größer als bei der Rotbuche. Das liegt eventuell daran, daß bei der Roßkastanie auch mit den Fruchtschalen und Samen viel ¹³⁷Cs abgezogen wurde.

5.3. Nadelbäume

Als Beispiel wird der häufigste Baum der Steiermark, die Fichte, herangezogen. Die Nadeln des Jahrgangs 1985 und älter wurden direkt kontaminiert, dies traf nur in geringem Maß für den Jahrgang 1986 zu, der Ende April bis Mitte Mai 1986 teilweise von Knospenschuppen geschützt war. Nach dem jeweiligen Jahrgang getrennt gemessene Nadeln von Fichtenzweigen, die am 15. Juli 1988 am Korralpenblick (oberhalb von Trahütten) gesammelt wurden, wiesen Juli 1988 folgende Werte in nCi/kg TG auf:

	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹⁰⁶ Ru	¹¹⁰ Ag	¹²⁵ Sb	⁴⁰ K
Nadel 1985:	17,2	4,6	3	–	0,8	3,3
Nadel 1986:	19,4	5	1,5	0,08	0,4	4,8
Nadel 1987:	24,4	5,5	0,7	–	0,4	5
Nadel 1988:	21,4	5,4	2,6	0,1	1,1	3,7

Da Ruthenium aus Blättern kaum verlagert wird, scheinen in diesem Fall die unteren Äste der Fichte durch Radionuklide verunreinigt zu sein, die aus darüber befindlichen Ästen ausgewaschen wurden. Meist nehmen die Radionuklidkonzentrationen von 1985 bis 1988 in den jüngeren Nadeljahrgängen ab. Bei einem am 25. 6. 1987 am Rosenberg entnommenen Fichtenast verteilen sich die Aktivitäten in nCi/kg TG in den Nadeljahrgängen wie folgt:

	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹⁰⁶ Ru	¹¹⁰ Ag	¹²⁵ Sb	⁴⁰ K
Nadel 1985:	24	9,5	8,8	0,7	2,8	5,6
Nadel 1986:	11	4,3	4,5	0,3	1,1	6
Nadel 1987:	5	2,5	–	–	–	13

Die künstliche Radioaktivität ist im Nadeljahrgang 1985 9mal höher als die natürliche Radioaktivität des ⁴⁰K. Da Fichtennadeln vor Tschernobyl ¹³⁷Cs-Werte < 0,05 nCi/kg TG aufwiesen, stieg die Kontamination mit ¹³⁷Cs auf das 482fache an. Bei Nadelbäumen erfolgt erwartungsgemäß die Radioaktivitätsabnahme viel langsamer als bei den Laubbäumen. Deutlich ist die Verlagerung aus den älteren Nadeln in die jüngeren Triebe zu beobachten; dies gilt nicht nur für das ⁴⁰K, sondern auch für das ¹³⁷Cs.

5.4. Moose

Moose halten die Radionuklide sehr fest. Ihre Kontamination ist von 1986 bis 1988 kaum geringer geworden. Dies wird an drei Moosen aus dem Botanischen Garten der Universität Graz demonstriert:

	August 1986 nCi ¹³⁷ Cs/kg TG	nCi/m ²	Mai 1988 nCi ¹³⁷ Cs/kg TG
<i>Leskea polycarpa</i>	835	1230	706
<i>Climacium dendroides</i>	513	–	650
<i>Atrichum undulatum</i>	388	–	381

Der Boden unter den Moosen ist gering kontaminiert. Die Moose haben einen wesentlich größeren Teil der Radioaktivität, die auf sie niedergegangen ist, festgehalten

als die Laubbäume oder Nadelbäume. An Moosen mit deutlich erkennbarem jährlichem Zuwachs, wie *Hylocomium splendens*, kann gezeigt werden, daß aus den älteren Blättchen die Radioaktivität zu einem gewissen Prozentsatz in die jüngeren Teile verlagert wird.

In einem am 25. 6. 1987 am Rosenberg gesammelten *Bryum argenteum* übertraf die künstliche Aktivität die natürliche des ^{40}K um das 153fache. Der ^{137}Cs -Wert war um das 495fache angestiegen. Es wird angenommen, daß die biologischen Halbwertszeiten des ^{137}Cs in Moosen viele Jahre betragen. Zur Zeit können von zahlreichen Moospolstern aus dem Untersuchungsgebiet Autoradiogramme angefertigt werden.

5.5. Flechten

Die Akkumulationsfähigkeit der Flechten für zahlreiche Stoffe ist bekannt. Sie haben erwartungsgemäß auch zahlreiche Radionuklide der Luft entnommen, wie mit *Pseudevernia* von der Weinebene demonstriert werden kann. Nach Messungen im Oktober 1986 und Januar 1988 enthalten die Thalli folgendes Inventar in nCi/kg TG:

	^{137}Cs	^{134}Cs	^{106}Ru	^{103}Ru	^{110}Ag	^{125}Sb	^{114}Ce	^{95}Zr	^{95}Ne	^{40}K
1986:	1393	646	275	97	–	–	47	15	24	3,4
1988:	1610	512	112	–	4,2	24	10	–	11	3,3

Es ist unwahrscheinlich, daß die ^{137}Cs -Kontamination weiter zugenommen hat. Die Werte demonstrieren die Schwierigkeit, Material gleicher Ausgangskontamination zu finden. In diesem Fall übertrifft die künstliche Radioaktivität die natürliche des ^{40}K um das 690fache. Die ^{137}Cs -Aktivität ist, verglichen mit der von 1985, mindestens um das 260fache angestiegen.

Die biologischen Halbwertszeiten des ^{137}Cs in verschiedenen Flechten werden wahrscheinlich noch länger sein als die der meisten Moose. Etwa 10 Jahre wird es dauern, bis Flechten die halbe ^{137}Cs -Ausgangskontamination erreicht haben werden. Sollte jemand auf „Kramperltee“ als Mittel gegen Husten schwören, so mögen ihm folgende Angaben als Entscheidungshilfe dienen. Aus *Cetraria islandica*, dem Isländischen Moos, das am 4. 8. 1988 auf der Planneralm gesammelt wurde, werden durch 10minütiges Kochen (1 l Wasser auf 50 g Flechten) 52,5% des ^{137}Cs und 50,8% des ^{134}Cs entzogen, ^{106}Ru und ^{110}Ag werden nicht herausgelöst. In 1 l Tee, der nach oben angegebenen Rezept aus Isländischem Moos (Inventar in nCi/kg TG: $^{137}\text{Cs} = 669$, $^{134}\text{Cs} = 173$, $^{106}\text{Ru} = 11,6$, $^{110}\text{Ag} = 1$, $^{125}\text{Sb} = 5,5$, $^{40}\text{K} = 1,9$) hergestellt wurde, sind also 20 nCi ^{137}Cs enthalten.

5.6. Pilze

Sie verhalten sich in der Cäsiumaufnahme Kapazität sehr unterschiedlich, neben cäsiumdiskriminierenden gibt es cäsiumakkumulierende Arten. Diese hatten schon vor Tschernobyl erhöhte Werte, wie aus mehreren Arbeiten entnommen werden kann (GRÜTER, 1967, 1971, HASELWANDTER 1978; KIEFER und MAUSHART 1965). Als ^{137}Cs -Akkumulierer erwiesen sich z. B. *Xerocomus badius* (Maronenröhrling), *Paxillus involutus* (Kahler Krempling), *Suillus variegatus* (Sandröhrling), *Rozites caperata* (Reifpilz), *Hydnum repandum* (Semmel-Stoppelpilz), *Amanita fulva* (Rotbrauner Scheidenstreifling) und *Russula emetica* (Speitäubling). Spitzenwerte bis zu 500 nCi/kg TG zeigte *Cortinarius armillatus*, der Geschmückte Gürtelfuß (HASELWANDTER 1978).

Aus dem Untersuchungsgebiet liegen 18 Pilzwerte vom Jahr 1984 vor (HEINRICH et al. 1989). Tabelle 1 gibt Radioaktivitätskonzentrationen von Pilzen vor und nach Tschern-

nobl an. Die 1984 gesammelten Pilze stammen aus Authal, Fohnsdorf und Judenburg. 1987/88 wurde um Graz, auf der Hebalpe und in den Wäldern zwischen Deutschlandsberg und der Weinebene gesammelt. Alle aufgeführten Pilze zeigen nach Tschernobyl höhere Aktivitäten als vorher. Die Zunahmen reichen vom 2,7- bis zum 187fachen. Auf eine Angabe derselben wurde verzichtet, zumal die Radioaktivitätswerte auf Grund zahlreicher Faktoren von Fundort zu Fundort variieren.

Tabelle 1: ¹³⁷Cs-Gehalte von vor und nach Tschernobyl gesammelten Pilzen

	1984		1987/88		
	n	n/Ci/kg TG	n	nCi/kg TG	nCi/kg FG
<i>Amanita muscaria</i>	2	5,9	17	56	5,4 (0-54)
<i>Amanita rubescens</i>	2	5,2	29	117	6,9 (0-68)
<i>Amanita spissa</i>	2	1,9	2	27	3
<i>Lactarius rufus</i>	2	7,2	8	331	36,8 (5-131)
<i>Lepista nebularis</i>	2	6,5	6	94	7,9
<i>Lepista nuda</i>	1	8,1	8	53	3 (1,3-5,2)
<i>Lycoperdon perlatum</i>	1	0,3	6	39	5,3 (0,5-9,8)
<i>Paxillus atrotomentosus</i>	2	0,2	8	38	0,9 (0-11,3)
<i>Paxillus involutus</i>	2	92	14	1507	102 (1,5-382)
<i>Russula cyanoxantha</i>	4	6,9	19	19	1,8 (0-10,3)
<i>Suillus grevillei</i>	2	90	8	256	18,8 (9,4-46)

In Tabelle 2 wird gezeigt, daß unterschiedliche Kontamination und Eigenschaften des Bodens sich auf die Radioaktivitätswerte der Pilze auswirken. Die Kontaminationswerte der Pilze aus einem Forst zwischen Deutschlandsberg und der Weinebene (Herkhütte) sind wesentlich höher als die aus einem Forst um Graz, Plattenweg.

Tabelle 2: Kontamination von Lamellen (L), Hutfleisch (H) und Stiele (S) verschiedener Pilze aus dem Jahr 1987 in nCi/kg FG aus 2 Forsten.

Art	n	Plattenweg			n	Herkhütte		
		L	H	S		L	H	S
<i>Amanita muscaria</i>	3	-	1,6	0,4	3	-	29	8,6
<i>Amanita rubescens</i>	3	-	1	0,6	3	5,5	2,2	4,8
<i>Boletus edulis</i>	6	6,7	2,9	1	10	30,5	13,2	5,3
<i>Boletus subtomentosus</i>	4	9,7	3,8	1,8	2	12	8,4	3,3
<i>Cantharellus cibarius</i>	5	-	3,6	2,6	2	-	16	16
<i>Hydnum repandum</i>	2	-	7,8	4,8	2	-	312	135
<i>Lactarius vellereus</i>	3	-	1,5	0,6	1	47	28	15,8
<i>Leccinum testaceoscabrum</i>	2	-	4,9	2,7	2	-	7,9	5
<i>Macrolepiota procera</i>	3	-	1,1	0,7	3	-	1,3	1,8
<i>Paxillus involutus</i>	3	-	19,5	6,4	2	281	217	122
<i>Russula aeruginea</i>	1	2,8	2,3	1,8	2	-	46	28
<i>Russula cyanoxantha</i>	4	5,9	4,3	1,3	1	-	10,3	3
<i>Russula emetica</i>	-	-	-	-	1	126	46	31
<i>Russula nigricans</i>	2	-	0,8	1,9	1	56	33	33
<i>Russula ochroleuca</i>	1	-	7,9	3,3	1	6	29	3,8
<i>Russula vesca</i>	3	-	1,6	2,6	1	-	6,5	0
<i>Scleroderma vulgare gesamt</i>	1	-	9,9	-	4	-	86	-
<i>Suillus bovinus</i>	1	19	9	6	1	31	20	9

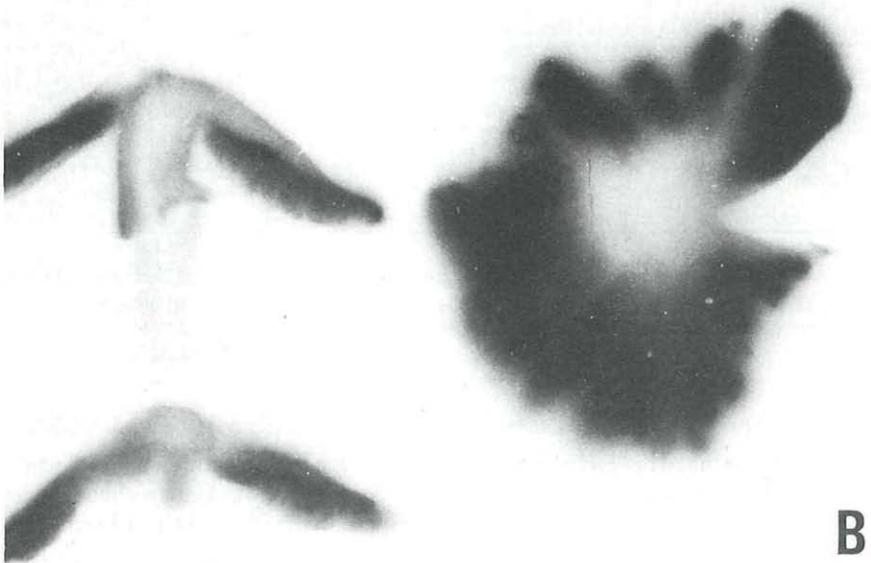
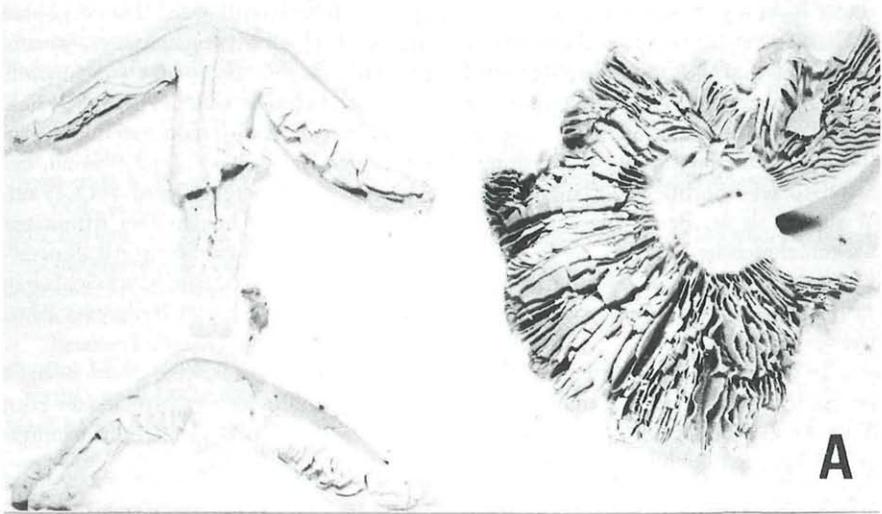


Abb. 1: *Rozites caperata* (Reifpilz). A. 2 mm dicke Schnitte durch gefriergetrocknete Pilze von der Weinebene, Sammeldatum August 1987. B. Autoradiogramm, drei Monate Exposition mit AGFA-GAEVERT Structurix D4. Natürliche Größe.

Bei den meisten Pilzen sind die Lamellen oder Röhren am stärksten kontaminiert, gefolgt vom Hutfleisch und dem Stiel.

Wissenschaftlich interessant ist das Faktum, daß manche Pilze Cäsium akkumulieren, andere es dagegen diskriminieren. Der Maronenröhrling soll deshalb soviel ^{137}Cs enthalten, weil Pulvinsäurederivate, wie z. B. Badion A und Norbadion, die normalerweise Kalium binden, auch mit Cäsium einen 1:1-Komplex bilden. Daß eine Attraktion von Cäsium durch ein Attraktionszentrum zu erhöhter Cäsiumaufnahme aus dem Boden führt, läßt sich mit folgendem Beispiel belegen. Ein von *Xerocomus parasiticus* (Schma-

rotzer-Röhrling) befallener *Scleroderma vulgare* (Kartoffelbovist) weist 2,6mal höhere ^{137}Cs -Werte auf als die nicht befallenen Exemplare desselben Myzels, und dies, obwohl der Schmarotzer-Röhrling dem Kartoffelbovist seinerseits ^{137}Cs entzieht. Der Schmarotzer-Röhrling weist 2,3fach höhere Werte als der Kartoffelbovist auf, bei dem die Hülle kontaminiert als das Innere war. In diesem Fall steigen die Transferfaktoren Boden-Pilz (bei Bezug auf Pilzfrischgewicht) durch den Parasiten-Befall von 0,2 auf 0,64 an, der Schmarotzer-Röhrling weist einen Transferfaktor (auf den Boden bezogen) von 1,39 auf. Wichtiger als der Besitz Cs-bindender Substanzen im Pilz erscheinen aber Affinitäten Cs-aufnehmender Pumpen, die in den Hyphen lokalisiert sind, zu diesem Alkalimetall. Es ist wahrscheinlich, daß Cäsiumionen, vergleichbar mit Kaliumionen, hauptsächlich in Vesikeln bzw. im Cytoplasma, besonders in den am besten ernährten Teilen der Pilze, frei vorliegen.

In welchem Maß ein künstliches Radionuklid in Pilzen angereichert wird, belegen am eindrucksvollsten Autoradiogramme 2 mm dicker Schnitte gefriergetrockneter Pilze (Abb. 1). Es wurde der Reifpilz, *Rozites caperata*, herangezogen, der im Untersuchungsgebiet August 1987 folgende Werte aufwies:

	nCi kg TG			nCi kg FG		
	L	H	S	L	H	S
Herkhütte	13592	6114	2796	979	418	223
	13012	4711	4034	941	380	292
Filzmoos	1347	616	387	60	28	17
	2083	1454	569	130	57	42
Hebalpe	4860	2283	958	675	376	98
	–	3467	1567	–	469	201

Auch aus dem Autoradiogramm ist zu ersehen, daß die Lamellen am meisten radioaktive Substanzen gespeichert haben, gefolgt vom Hutfleisch und vom Stiel.

6. Schlußwort

An ausgewählten Beispielen wurde gezeigt, daß nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl die Radioaktivitätswerte des Bodens und der Pflanzen im Untersuchungsgebiet drastisch zugenommen haben. Während die Radioaktivität der nicht nadelwerfenden Nadelbäume nur geringfügig abgenommen hat, ist die künstliche, zum größten Teil auf ^{137}Cs -Kontamination beruhende Radioaktivität der Blätter der Laubbäume bereits geringer als die natürliche, hauptsächlich durch die ^{40}K -Gehalte verursachte Radioaktivität. Die sehr hoch kontaminierten Flechten weisen wahrscheinlich meist noch längere biologische Halbwertszeiten des ^{137}Cs als die meisten Moose auf. Manche Flechten werden, unter der Voraussetzung, daß sich keine neuerliche ^{137}Cs -Zufuhr in größerem Stil ereignet, erst in ca. 10 Jahren auf die halbe Aktivität zurückgefallen sein. Während also bei den vorher genannten Pflanzen die Radioaktivitätsgehalte mehr oder minder schnell abnehmen, nahmen sie bei vielen Pilzen in den Vegetationsperioden nach Tschernobyl laufend zu. Es ist zu erwarten, daß die Höchstwerte noch nicht erreicht sind und es noch Jahre dauern wird, bis die Werte merklich zurückgehen. In nicht bearbeiteten Böden wird der größte Teil des Cäsiums in den obersten Schichten gebunden bleiben und wird nur sehr langsam in tiefere Bodenschichten gelangen.

Dank

Wir danken Frau Sylvia KAISER, Herrn Doz. Dr. J. HAFELLNER und Herrn M. SUANJAK für vor Tschernobyl gesammelte Pflanzen und der Oesterreichischen Nationalbank für apparative Unterstützung (Jubiläumfondsprojekt Nr. 3260).

Literatur

- CAMBRAY, R. S., PLAYFORD, K. & G. N. J. LEWIS (1985): Radioactive Fallout in air and rain: results to the end of 1984. Harwell Lab., Oxfordshire. AERE-R 11915:1-17.
- ECKL, R. HOFMANN, W. & R. TÜRK (1986): Uptake of natural and man-made radionuclides by lichens and mushrooms. Radiat. Environ. biophys 25:43-54.
- GERZABEK, M., HAUNOLD, E. & H. HORAK (1988): Radioaktivität in Pilzen. Bodenkultur 39:37-52.
- GRÜTER, H. (1967): Verhalten einheimischer Pilzarten gegenüber dem Spaltprodukt Cäsium 137. Z. Lebensmitt.-Untersuchung 134:173-179.
- GRÜTER, H. (1971): Radioactive fission product ^{137}Cs in mushrooms in West Germany during 1963-1970. Health Phys. 20:655-656.
- HASELWANDTER, K. (1978): Accumulation of the radioactive nuclide ^{137}Cs in fruit-bodies of basidiomycetes. Health Phys. 34:713-715.
- HAUNOLD, E., HORAK, O. & M. GERZABEK (1987): Umweltradioaktivität und ihre Auswirkung auf die Landwirtschaft. I. Das Verhalten von Radionukliden in Boden und Pflanze. Bodenkultur 38:95-118.
- HEINRICH, G. (1987): Zur radioaktiven Belastung verschiedener Pflanzen in Graz nach dem Reaktorunglück von Tschernobyl. Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark 117:7-25.
- HEINRICH, G., MÜLLER HJ., OSWALD, K. & A. GRIES (1989): Natural and artificial radionuclides in selected Styrian soils and plants before and after the reactor accident in Chernobyl. Biochem. Physiol. Pflanzen 185:55-67.
- HORAK, O. & M. GERZABEK (1988): Basisdaten zur regionalen Prognose der Strahlenbelastung des Menschen nach dem Modell ECOSYS. 1. Teilb. OEFZS 4447 LA 198:1-19.
- KAMPE, W. (1986): Strahlenbelastung, was erreicht uns über den Nahrungspfad. Ärztl. Praxis 38:1809-1812.
- KIEFER, H. & R. MAUSHART (1965): Erhöhter Cs-137-Gehalt im menschlichen Körper nach Pilzgenuß. Atompraxis: Direct information 15.
- SANSONI, B. & W. MATTHES (1985): Gebiete mit erhöhter natürlicher Radioaktivität. III. Strahlungs-, Uran- und Radonanomalien im Fichtelgebirge. Jül. Speiz. 334:1-62.

Anschrift der Verfasser: Univ.-Prof. Dr. Georg HEINRICH, Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Graz, Schubertstraße 51, A-8010 Graz, Österreich.

Prof. Dr. Hansjörg MÜLLER und Ing. Karl OSWALD, Staatlich autorisierte Versuchsanstalt f. Strahlenschutz und Strahlenmeßtechnik am Reaktorinstitut Graz, Steyrergasse 17, A-8010 Graz, Österreich.

Dr. Anna GRIES, Physiologisches Institut, Harrachgasse 21, 8010 Graz.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark](#)

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: [119](#)

Autor(en)/Author(s): Heinrich Georg, Gries Anna, Müller Hansjörg, Oswald Karl

Artikel/Article: [Drei Jahre nach Tschernobyl. 5-13](#)