

Radioaktivität in Schnecken nach Tschernobyl

Von Georg HEINRICH, Hansjörg MÜLLER und Karl OSWALD

Mit 1 Abbildung und 1 Tabelle (im Text)

Eingelangt am 2. Juni 1990

Zusammenfassung: Gammaskopimetrische Untersuchungen an *Helix pomatia* (Weinbergsschnecke) und *Arion lusitanicus* (Lusitanische Wegschnecke) zeigen, daß die Schnecken von den Radioisotopen, die zum größten Teil vom Reaktorunfall in Tschernobyl stammen, nicht nur Cäsium-137 aufnehmen, sondern auffällig viel Silber-110 m akkumulieren. Silber-110 m wird von den mehrere Jahre lebenden Weinbergsschnecken bis 690mal, von der meist nur ein Jahr alt werdenden Lusitanischen Wegschnecke bis 47mal effektiver als Cäsium angereichert. Der Ort der Silberspeicherung im Schneckenkörper ist unbekannt. Das Schneckengehäuse enthält Cäsium-137, ist aber silberfrei, der Körper der Weinbergsschnecke weist weniger Cäsium auf als der der Wegschnecke. Insgesamt sind die Cäsiumwerte der Schnecken nach Tschernobyl wesentlich höher als vorher.

1. Einleitung

Durch den Reaktorunfall von Tschernobyl am 26. April 1986 wurden radioaktive Spaltprodukte über Österreich abgelagert. Dabei erfolgte die Deposition der Aktivität auf Pflanzen und Böden größtenteils durch Auswaschen der Aerosole aus der Atmosphäre. Die Auswirkungen des Reaktorunfalles sind ausführlich dokumentiert (Bundesminister für Umwelt 1986, HORAK 1986, Umweltbundesamt 1986, HAUNOLD u. a. 1987, Bundeskanzleramt 1988, GERZABEK 1988, HEINRICH u. a. 1989, MEISEL u. a. 1990). In der vorliegenden Arbeit wird über die Kontamination von Schnecken nach Tschernobyl berichtet. Schnecken werden ebenso wie Asseln und Regenwürmer häufig als Bioindikatoren herangezogen, da sie meist nur geringe Entfernungen überbrücken und so die Flächenkontamination kleiner Areale gut wiedergeben. Landschnecken werden durch ihre Lebensweise mit der Kontamination des Bodens und der Vegetation direkt konfrontiert. *Helix aspersa* (*Helix aspersus* MÜLL.) zeichnet sich nach MARTIN und COUGHTREY (1976) durch hohe Kontaminationsfaktoren, bezogen auf die Substratkontamination für Zink und Cadmium, aus. Einige toxische Schwermetalle werden bevorzugt in der Mitteldarmdrüse gespeichert (COUGHTREY und MARTIN 1976), wobei diese eine höhere Affinität zu Cadmium als zu Zink oder Blei zu haben scheint. Auch WILLIAMSON (1979) berichtet, daß sich bei der Gartenschnirkelschnecke (*Cepaea hortensis*) 47% der Gesamtkörperbelastung an Cadmium in der Mitteldarmdrüse befinden. RUSSELL u. a. (1981) weisen auf die toxischen Effekte von Cadmium auf *Helix aspersa* hin. Neben den Regenwürmern können sowohl Gehäuseschnecken (MEINCKE und SCHALLER 1974, COUGHTREY und MARTIN 1976) als auch Nacktschnecken (IRELAND 1979) aus bleibelastetem Milieu manchmal sehr hohe Bleiwerte aufweisen. Nach OWEN (1966), PRINGLE u. a. (1968), COUGHTREY und MARTIN (1977) besitzen die Mitteldarmdrüsen der Schnecken eine bleientgiftende Funktion. Bei *Arion rufus* wurde der Einbau von Zink-65 in das viszerale System verfolgt (SCHOETTLI und SEILER 1970). Dabei zeigte sich, daß das radioaktive Zink sehr schnell in den Hepatopankreas aufgenommen und in den sogenannten Calciumzellen gespeichert wird. Dabei füllen sich die Calciumzellen vollständig mit Sphäriten, die komplett mit Zink bedeckt sind. Nach Beendigung der Zinkzufuhr beginnt eine sehr langsame, exponentiell verlaufende Elimination des Zinks. Überein-

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
stimmende Prozesse wurden bei anderen Schnecken beschrieben (MEINCKE und SCHALLER 1974). Bei Austern findet in den Speicherzellen (Cuprosomen) des Hepatopankreas eine Kupferanreicherung statt. Schnecken weisen keine Cuprosomen auf. Bei langlebigen Schnecken findet im Verlauf der Lebenszeit eine kontinuierliche Akkumulation der verschiedensten Substanzen statt, dies bedeutet, daß strenggenommen stets gleichaltrige Tiere als Biomonitororganismen herangezogen werden müßten. TATZBER und IRLWECK (1984) untersuchten das Verhalten von *Helix pomatia* und *Arianta arbustorum* (*Helicogona arbustorum* L.) gegenüber Strontium-(Sr)-90, Cäsium-(Cs)-137 und Cobalt-60. Die zwischen 1978 und 1980 gesammelten Tiere wiesen in ihren Körpern Radiocäsiumgehalte zwischen 0,02 (74 mBq/kgFG) und maximal 1,37 nCi/kg FG (51 Bq/kg FG) auf, auch die Gehäuse enthielten Cs-137 (zwischen 0,03 = 111 mBq/kg und 0,8 nCi/kg = 3 Bq/kg). Die Radiostrontiumgehalte der Gehäuse von *Arianta arbustorum* lagen zwischen 3 und 15 nCi/kg (= 111 Bq/kg und 555 Bq/kg), bei Bezug auf den Calciumgehalt zwischen 7 und 55 nCi/kg (= 260 Bq/kg und 2,04 KBq/kg). Erwartungsgemäß wiesen die Schneckenkörper nur 1/10 der Gehäusebelastung an Radiostrontium auf. Analysen der Schneckengehäuse von Weinbergschnecken aus Ungarn aus den Jahren 1960 und 1961 zeigten Werte von 63 nCi (2,3 KBq) Sr-90/g Ca (SANDI 1962), was erkennen läßt, daß der Stopp der oberirdischen Atombombenexplosionen zu einer starken Abnahme der Aktivität von Sr-90 in der Umwelt führte.

2. Methode

Für die vorliegenden Untersuchungen wurden *Helix pomatia* L. und *Arion lusitanicus* wegen ihres massenhaften Auftretens gewählt. Beide Schneckenarten leben direkt auf bzw. in den obersten Zentimetern des Erdbodens, in denen nach Tschernobyl bei höherem Humus- bzw. Tongehalt in ungestörten Böden meist über 80% der radioaktiven Kontamination anzutreffen sind. Die Weinbergschnecke erreicht ein Alter von 4-6 Jahren, während die Wegschnecke ihren Lebenszyklus meist in nur 1 Jahr durchläuft. In nicht zu trockenen Wintern können ausnahmsweise halb bis vollständig ausgewachsene Tiere überdauern. Während die Weinbergschnecke ein reiner Pflanzenfresser ist, wird von Arion neben Pflanzen auch Aas angenommen, so werden mit Vorliebe tote Artgenossen verzehrt. Für nicht in Graz Befindliche sei dazu gesagt, daß die Lusitanische Wegschnecke in den letzten Jahren eine beunruhigende Massenentwicklung zeigte. Auf steilen Wegen am Rosenberg konnte 1989 beobachtet werden, daß durch Autoreifen zerquetschte Tiere, die immer neue Artgenossen anlocken, die wiederum getötet werden, ein Durchdrehen der Autoreifen verursachen. Die Schnecken wurden im östlichen Teil von Graz an drei, nicht weiter als 5 km voneinander entfernten Orten gesammelt und in den Jahren 1986 bis 1989 untersucht. Dazu wurden die Schnecken mit kochendem Wasser abgetötet und bei *Helix* der Schneckenkörper vom Gehäuse getrennt. Die Aktivitätsbestimmung erfolgte mit einem GeLi-Halbleitermeßplatz mit angeschlossenen Vielkanalanalysator und automatischer PC-Auswertung. Die Meßzeiten variieren hierbei zwischen 30 Minuten (1986) und bis zu 70 Stunden (1989). Bei einigen Messungen ließ sich die Aktivität des Kalium-(K)-40 nicht bestimmen, da der entsprechende Gammapeak wegen der hohen Untergrundstrahlung und teilweise wegen der seinerzeitigen (1986) geringen Bleiabschirmung nicht feststellbar war.

3. Ergebnisse und Diskussion

Durch den Fallout von Tschernobyl wurde der Raum von Graz mit einer Flächenaktivität von rund 30 kBq/m² (= 811 nCi/m²) durch Cs-137 belastet. Eine detaillierte

© Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at

Aufschlüsselung der in den obersten 15 cm des Bodens auftretenden Isotope gibt Abb. 1 wieder. Die Probe stammt vom 13. Mai 1986 und wurde auf den 30. April rückgerechnet. Das Diagramm zeigt noch den dominierenden Anteil der kurzlebigen Jod- und Tellur-isotope, wobei bei Mutter-Tochter-Nukliden jeweils die Summe der Aktivitäten aufgetragen ist. Für Gras im Raum Graz ergab sich am 5. Mai 1986, also am Beginn der Vegetationsperiode, eine Aktivität von ca. 2,8 kBq/kg FG (= 76 nCi/kg FG) für Cs-137 (MEISEL u. a. 1989). In Tab. 1 sind für beide Schnecken die Meßwerte als spezifische Aktivitäten aus den angeführten Frischgewichten wiedergegeben. Die angeführten Fehlergrenzen beziehen sich auf den statistischen Meßfehler. Ein Vergleich der K-40-Aktivitäten liefert für den beobachteten Zeitraum von 1986 bis 1989 für beide Schneckenarten Werte von 40 bis ca. 60 mBq/g FG (60 Bq/kg FG). Dies steht in guter Übereinstimmung mit den Angaben von TATZBER und IRLWECK (1984). Die Cs-137-Aktivitäten der an 2 Orten gesammelten Arion lagen im Jahr 1986 bei 185 bzw. 70 mBq/g FG (= 0,05 nCi/g FG bzw. 0,02 nCi/g FG) und betrug selbst noch im Jahr 1989 51 bzw. 8 mBq/g FG (= 0,0013 nCi/g FG bzw. 0,0002 nCi/g FG). Bei der mehrjährigen Helix erfolgte ein Rückgang von 22 Bq/kg FG (= 0,59 nCi/kg FG) im Körper und 58 Bq/kg (= 1,6 nCi/kg) im Schneckengehäuse auf 7 (= 0,19 nCi) bzw. 5 Bq/kg (= 0,14 nCi/kg). Die Werte der 1- bis 1,5jährigen Schnecken unterschieden sich in diesem Falle kaum von denen der 1,5- bis 3jährigen. Silber-(Ag)-110 m weist, im Vergleich zu Cs-137, nur sehr geringe Aktivitäten im radioaktiven Fallout von Tschernobyl auf (Abb. 1). Es wird daher nur in wenigen Arbeiten, die sich mit den aus Tschernobyl stammenden Radionukliden beschäftigen, erwähnt (JONES u. a. 1986, PAPASTEFANOU u. a. 1988). Nach PAPASTEFANOU u. a. (1988) variieren in Nordgriechenland im Raum von Thessaloniki die spezifischen Aktivitäten von Ag-110 m im Oberboden von 4,5 bis 46 Bq/kg = 0,12 nCi bis 1,2 nCi/kg (Durchschnitt 14,3 Bq/kg = 0,53 nCi/kg) und im Gras von 0,2–1,5 Bq/kg FG = 0,005–0,041 nCi/kg FG (Durchschnitt 0,8 Bq/kg = 0,022 nCi/kg). Abb. 1 zeigt, daß ca. 300 Bq/m² = 8,1 nCi/m² Ag-110 m im Raum von Graz abgelagert wurden. Im Fallout des Jahres 1986 ergibt sich aus Abb. 1 ein Cs-137/Ag-110-m-Verhältnis von 100.

1986 wies der Körper der Lusitanischen Wegschnecke ein Verhältnis von 5,4 auf, die Weinbergschnecke zeigte selbst noch 1987 ein Verhältnis von 0,6. Das bedeutet, daß im Schneckenkörper Ag-110 m wesentlich stärker als Cs-137 angereichert wird. Bei Weg-

Schnecken- art bzw. Teil	Sammel- datum	Anzahl	Gew. (g)	Meßzeit (h)	¹³⁷ Cs (mBq/g)	^{110m} Ag (mBq/g)	¹³⁷ Cs/ ^{110m} Ag	⁴⁰ K (mBq/g)	¹³⁷ Cs/ ⁴⁰ K	¹³⁷ Cs/ ^{110m} Ag im Fallout	Anreicherung F S
<i>Helix</i>											
<i>pomatia</i>											
K	15. 7. 87	32	368	3	21,7±10	36,9±10	0,59	53±10	0,41	291	493
G	15. 7. 87	32	88	1,5	58,4±20	-	-	-	-	-	-
K	10. 5. 88	52	570	6,0	10,8±10	11,4±15	0,95	57±10	0,19	656	690
G	10. 5. 88	49	139	23	15,9±10	-	-	-	-	-	-
K	6. 6. 89	44	320	44	6,0±5	1,96±15	3,1	41±10	0,15	1897	612
G	6. 6. 89	43	69	70	10,4±6	-	-	-	-	-	-
K	23. 8. 89	24	162	22	7,5±10	1,1±40	6,8	51±10	0,15	2344	345
1- bis 1,5jähr.											
G "	23. 8. 89	24	40	43	5,0±20	-	-	-	-	-	-
K	23. 8. 89	36	292	22	7,0±10	1,6±25	4,4	52±10	0,14	2344	533
1,5- bis 3jähr.											
G "	23. 8. 89	36	98	70	5,7±10	-	-	-	-	-	-
<i>Arion</i>											
<i>lustransicus</i>	22. 7. 86	9	61	0,5	185,0±10	< 20	-	-	-	-	-
	28. 8. 86	16	152	1	70,0±10	27±20	2,6	-	-	122	47
	30. 6. 87	26	205	2,5	24,0±15	-	-	48±10	0,5	-	-
	23. 9. 89	74	448	23	51,0±2	0,5±40	103	49±10	1,05	2549	25
	25. 9. 89	199	1034	41	7,9±2	0,1±40	79	50±5	0,16	2564	32

Tabelle 1: Gehalte von Cs-137, Ag-110 m und K-40 aus den Jahren 1986 bis 1989 in Körper (K) und Gehäuse (G) der Weinbergschnecke und im Körper der Lusitanischen Wegschnecke. Anreicherung bedeutet: Cs-137/Ag-110 m (Fallout): Cs-137/Ag-110 m (Schnecke).

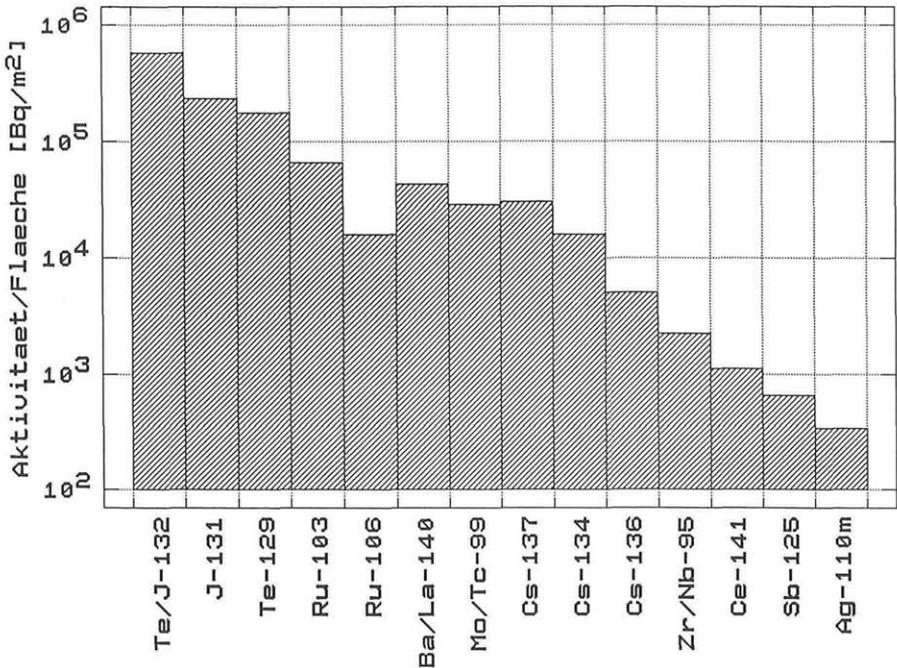


Abb. 1: Künstliche Radionuklide in Gartenerde im Raum Graz. Probenentnahme am 13. Mai 1986, Werte auf den 30. April zurückgerechnet.

schnecken findet eine maximale Anreicherung des Ag-110 m im Vergleich zu Cs um das 47fache statt. Als Anreicherung wurde das Verhältnis Cs-137/Ag-110 m im Fallout zu dem aus Cs-137/Ag-110 m in der Schnecke definiert.

Die in Tabelle 1 aufgeführten Quotienten Cs-137/Ag-110 m in den Schnecken gehen auf die tatsächlichen Meßwerte zurück, die Quotienten der beiden Isotope im Fallout werden unter Berücksichtigung der Ag-110-m-Halbwertszeit von 250 Tagen und den Anfangscäsiumgehalten im Fallout des 30. April 1986 für den jeweiligen Meßtag der Schnecken berechnet.

Untersuchungen an Schafen, die im Juli 1986 durchgeführt worden waren, zeigten, daß die Verhältnisse der beiden angeführten Isotope im Muskelgewebe über 100, im Blut über 10 lagen. In der Leber betrug das Verhältnis Cs/Ag zwischen 4 und 10, was auf eine Akkumulation des Silbers in der Leber hindeutet. Es ist bekannt, daß Schafe, die in der Nähe von Autobahnen weiden, soviel Blei in ihrer Leber anreichern, daß durch den Verzehr von 100 g Leber die von der Weltgesundheitsorganisation festgesetzten Höchstwerte um das Fünffache überschritten werden (ZUBER u. a. 1972). Für Silber gibt es bisher keine Anhaltspunkte, daß es im Lebergewebe von Säugetieren bevorzugt akkumuliert wird (PETERING 1984). Silber liegt natürlicherweise zu 42% als Ag-107 und zu 48% als Ag-109 vor. Ag-110 m ($T_{1/2} = 249,9$ Tage) wird wahrscheinlich gemäß einer $^{109}\text{Ag}(n, \gamma)$ -Reaktion erzeugt (LEDERER und SHIRLEY 1978) und nicht entsprechend $\text{Cd-110}(n, p)\text{Ag-110 m}$. Nach VAN DAM (1986) soll der Tschernobylreaktor mit ca. 200 Neutronendetektoren, die Silber enthalten, ausgerüstet gewesen sein. In Höheren Landpflanzen beträgt der Gehalt an natürlichem Silber zwischen 0,06 und 0,28 $\mu\text{g/g}$ TG. Pilze und Bakterien enthalten ca. 29 bzw. 210 $\mu\text{g/g}$. Wasserpflanzen können Silber um mehr als das Hundertfache anreichern (PETERING 1984). Ob im Schneckenkörper das Radiosilber

gehäuft vorliegt oder gleichmäßig verteilt ist, ist unbekannt. Das Gehäuse der Weinbergschnecke ist silberfrei, enthält aber, wie bereits TATZBER und IRLWECK (1984) zeigten, Radiocäsium. Die hier gemessenen sehr hohen Cäsiumgehalte im Gehäuse könnten zu einem gewissen Grad methodisch bedingt sein. Da die Schnecken durch Heißwasser getötet wurden, könnte ein Teil des Cäsiums aus dem Körper stammen, außerdem wird auf Frischgewicht bezogen, wobei der Wassergehalt des Körpers wesentlich höher als der des Schneckengehäuses ist. Das Silberion besitzt eine hohe Affinität zu Sulfhydryl-, Amino- und Phosphatgruppen und bildet mit Aminosäuren, Pyrimidinen, Purinen, Nukleotiden, Nukleosiden sowie mit DNA, RNA und Proteinen leicht Komplexe (EICHORN 1973). Außerdem hebt Silber die Aktivität von Kupfer und Selen auf, die für die Ernährung und den Stoffwechsel lebensnotwendig sind (HILL u. a. 1964, BUNYAN u. a. 1968). Da Silberverbindungen meist hoch toxisch sind, erschiene eine Entgiftung durch Akkumulation in speziellen Drüsenzellen biologisch sinnvoll, um so die Möglichkeit eines Interagierens unbekannter Art mit dem Cu zu verhindern. Cu ist als Zentralatom des Hämocyanins für die Schnecke lebensnotwendig, so daß etwa eine Störung der Cu-Einlagerung in das Hämocyanin fatale Folgen hätte. Selbstverständlich ist eine Metallgiftigkeit des Radiosilbers in der Schnecke zu vernachlässigen. Da die spezifische Aktivität des Ag-110 m $4,7 \cdot 10^3 \text{ Ci/g}$ beträgt, entspricht 1 Bq Ag-110 m $0,57 \cdot 10^{-14} \text{ g Ag}$. Ein einzelnes Tier trägt also $0,25 \cdot 10^{-14} \text{ g Silber}$ mit sich, was eine Radiosilbergewinnung aus Schnecken unrentabel erscheinen läßt. Da die spezielle Aktivität des Cs-137 98 Ci/g beträgt, 1 Bq also $0,275 \cdot 10^{-12} \text{ g Cs-137}$ entspricht, lagen die höchsten Radiocäsiumgehalte der Weinbergschnecke bei $16 \cdot 10^{12} \text{ g/kg FG}$, das bedeutet pro Tier (ca. 12 g Durchschnittsgewicht) maximal $0,19 \cdot 10^{-12} \text{ g}$. Eine genaue Lokalisation des Speicherortes könnte nur nach Verfütterung von Silber-110 m autoradiographisch vorgenommen werden.

Dank

Wir danken Frau Brigitte GRIMM für Hinweise über die bearbeiteten Schnecken und der Österreichischen Nationalbank (Jubiläumsfondsprojekt Nr. 3260 an HEINRICH) für Unterstützung.

Literatur

- BOWEN, H. J. M., 1979: Environmental chemistry of the elements. 1–238. Acad. Press. London.
- Bundeskanzleramt, Sektion VII, 1988. Die Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf Österreich. Beiträge Lebensmittelangelegenheiten, Veterinärverwaltung, Strahlenschutz, E. BOBEK (edit.), 1–291.
- BUNDESMINISTER für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl auf die Bundesrepublik Deutschland. Gemeinsamer Bericht der Leitstellen für das Jahr 1986, 1–288.
- BUNYAN, J., DILOCK, A. T., CAWTHORNE, M. A., GREEN, J. 1968. Br. J. Nutr. 22: 165–182.
- COUGHTREY, P. J., MARTIN, M. H., 1977: The uptake of lead, zinc, cadmium, and copper by the pulmonate mullusc, *Helix aspersa* Müller, and its relevance to the monitoring of heavy metal contamination of the environment. Oecologia 27: 65–74.
- COUGHTREY, P. J., MARTIN, M. H., 1976: The distribution of Pb, Cd, and Cu within the pulmonate mullusc *Helix aspersa* Müller. Oecologia 23: 315–322.
- EICHORN, G. L. (ed.), 1973: Inorgan. Biochem. 2, 1191–1243. Elsevier Sci. Publ. Amsterdam.
- HAUNOLD, E., HORAK, O., GERZABEK, M., 1987: Umweltradioaktivität und ihre Auswirkung auf die Landwirtschaft. I. Das Verhalten von Radionukliden in Boden und Pflanze. Bodenkultur 38: 95–118.

- © Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark; download unter www.biologiezentrum.at
- HEINRICH, G., MÜLLER, HJ., OSWALD, K., GRIES, A. 1989: Natural and artificial radionuclides in selected Styrian soils and plants before and after the reactor accident in Chernobyl. *Biochem. Physiol. Pflanz* 185: 55–67.
- HILL, C. H., STARCHER, B., MATRONE, G., 1964: *Br. J. Nutr.* 83: 107–110.
- HORAK, O., 1986: Der Reaktorunfall in Tschernobyl und seine Auswirkungen auf die österreichische Landwirtschaft. *ÖFZS-Ber.* 4372, LA-167: 1–13.
- IRELAND, M. P., 1979: Distribution of essential and toxic metals in the terrestrial gastropod *Arion ater*. *Envir. Pollut.* 20: 271–278.
- JONES, G. D., FORSYTH, P. D., APPLEBY, P. G., 1986: Observations of 110m Ag in Chernobyl fallout. *Nature* 322, 313.
- LEDERER, C. M., SHERLEY, V. S., 1986: Table of isotopes. 7th edn. John Wiley and Sons Inc. New York.
- MARTIN, M. H., COUGHTREY, P. J., 1976: Comparison between the levels of lead, zinc and cadmium within a contaminated environment. *Chemosphere* 5: 15–20.
- MEINCKE, K. F., SCHALLER, K. H., 1974: Über die Brauchbarkeit der Weinbergschnecke (*Helix pomatia* L.) im Freiland als Indikator für die Belastung der Umwelt durch die Elemente Eisen, Zink und Blei. *Oecologia* 15: 393–398.
- MEISEL, S., MÜLLER, HJ., GRALLER, P., KAHR, G., NINAUS, W., OSWALD, K., GERZABEK, M., MÜCK, K., STEGER, F., STREIT, S., 1990: Verteilung und Wanderung von Radionukliden in Böden und deren Aufnahme in Pflanzen nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl. Ergebnisbericht über das vom Bundeskanzleramt, Sektion VII, am 18. Oktober 1989 in Auftrag gegebene Projekt (im Druck).
- OWEN, G., 1966: Digestion. In: WILBUR, K. M., YONGE, C. M. (eds.). *Physiology of Mollusca*. Vol. 2 Acad. Press, London, New York, pp 53–96.
- PAPASTEFANOU, C., MANOLOPOULOU, M., CHARALAMBOUS, S., 1988: Silver-110 m and 125 Sb in Chernobyl fallout. *Sci. Tot. Envir.* 72: 81–85.
- PETERING, H. G., 1984: SILBER. In: MERIAN, M., GELDMACHER-v. MALLINCKRODT (edit.) *Metalle in der Umwelt. Verteilung, Analytik und biologische Relevanz*. Verlag Chemie. Weinheim, Deerfield Beach, Florida, Basel.
- PRINGLE, B. H., HISSONG, D. E., KATZ, E., MULAWKA, S. T., 1968: Trace metal accumulation by estuarine molluscs. *J. Sanit. Eng. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng.* 94: 455–475.
- Proceedings of the XIXth ESNA-Conference Vienna, 1988: 29. August bis 2. September. Papers presented on after effects of Chernobyl. M. H. GERZABEK (edit.), *ÖFZS* 4484: 1–282.
- RUSSELL, L. K., DEHAVEN, J. I., BOITTS, R. P., 1981: Toxic effects of cadmium on the garden snail (*Helix aspersa*). *Bull. Envir. Contam. Toxicol.* 26: 634–640.
- SANDI, E., 1962: Radioactivity in snail shells due to fall-out. *Nature* 193: 290.
- SCHOETTLI, G., SEILER, H. G., 1970: Uptake and localization of radioactive zinc in the visceral complex of the land pulmonate *Arion rufus*. *Experientia* 26: 1212–1213.
- TATZBER, F., IRLWECK, k., 1984: Accumulation of fallout nuclides and natural radioactivity in austrian snails. *Health Physics* 46: 448–452.
- VAN DAM, H., 1986: Silver from Chernobyl. *Nature* 324, 216.
- WILLIAMSON, P., 1979: Opposite effects of age and weight on cadmium concentrations of a gastropod mollusc. *Ambio* 8: 30–31.
- WILLIAMSON, P., 1980: Variables affecting body burdens of lead, zinc and cadmium in a roadside population of the snail *Cepaea hortensis* Müller. *Oecologia* 44: 213–220.

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

Univ.-Prof. Dr. Hansjörg MÜLLER und Ing. Karl OSWALD, Abteilung Strahlenphysik des Instituts für Theoretische Physik der Technischen Universität Graz, Steyrergasse 17, A-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: 1990

Band/Volume: [120](#)

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

Artikel/Article: [Radioaktivität in Schnecken nach Tschernobyl. 419-424](#)