

Das Verhalten von Radiocäsium in Weiderasen der Hohen Tauern (Salzburg, Austria)

Thomas Peer und Margareta Pintaric

Synopsis

Five years after the contamination with radionuclids originated from the Chernobyl reactor accident considerably high levels of radiocesium - up to 10.000 Bq/kg dry weight and higher - were recorded in soil and plant samples from alpine pastures of Naßfeld (Gasteinertal, 1600 - 1660 m above sea level). In comparison samples from a lowland site near Salzburg (Ursprung, Elixhausen, 545 m above sea level) were considerably less contaminated.

Detailed plant analysis gives information about the ^{137}Cs accumulation pattern in the studied plants. The highest amounts of radiocesium were found in root-segments located immediately below the soil surface (0-3 cm depth) and in shoot segments near soil surface. The uptake of radiocesium in plants seems to be little affected by the chemistry and mineralogy of the soil.

Tschernobyl, Radiocäsium, Almen, Naßfeld, Hohe Tauern.

Chernobyl, radiocesium, alpine pastures, Naßfeld, Hohe Tauern.

1. Einleitung

Nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl im April 1986 wurde vom Österreichischen Forschungszentrum Seibersdorf in verschiedenen Regionen Österreichs die Radioaktivität gemessen (HAUNOLD & al. 1986). Dabei wurden speziell in den höher gelegenen Almregionen am Nordrand der Hohen Tauern hohe ^{137}Cs -Belastungen in den Böden und Pflanzen festgestellt, die auch in den Folgejahren anhielten. Da auch die Milch davon betroffen war (LETTNER 1990, MÜCK & al. 1990), wurde zunächst in einem vom Bundeskanzleramt geförderten Projekt der mineralogisch-pedogene Aspekt geprüft (KIRCHNER 1989). Die Untersuchungen zeigten nur eine geringe ^{137}Cs -Bindung an den Mineralbestand, hingegen einen deutlichen Einfluß durch die im Boden vorhandenen Pflanzenwurzeln. In den entsprechend präparierten Proben nehmen die Cs-Aktivitäten vom "Boden ohne Wurzeln" über "Boden mit Wurzeln" zu den Wurzeln deutlich zu. Dies veranlaßte das Amt der Salzburger Landesregierung und das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung in einem weiteren Forschungsprojekt den Einfluß der Pflanzen auf das Langzeitverhalten von Radiocäsium zu untersuchen (KIRCHNER & PEER 1992).

2. Untersuchungsgebiet

Im Sommer 1990 wurden auf der Naßfeld-Alm im hinteren Gasteinertal (1600 bis 1660 m ü. M.) vier Flächen und in Ursprung/Elixhausen bei Salzburg (545 m ü. M.) eine Fläche im Ausmaß von 4 x 4 m abgegrenzt. Den Untergrund bilden im Naßfeld Gesteine der oberen Schieferhülle, vor allem Glimmerschiefer, Kalkglimmerschiefer und Gneise mit einem geringen chemischen Verwitterungsgrad. Entsprechend hoch ist der Anteil an detritären Mineralphasen in den durchwegs jungen und durch Vergleyungsmerkmale gekennzeichneten Böden. Durch die Lage der Untersuchungsflächen am Hangfuß, sind die Profile von Migrationsschutt durchsetzt bzw. weisen eine charakteristische Bänderung durch fluviale Ablagerungen auf. Folgende Bodentypen wurden erfaßt (FAO-Nomenklatur):

Fläche I: Gleyi-Umbric Leptosol (O: 2-0 cm, Ag:0-6 cm, AgCg: 6-15/20 cm, Cg: 15/20-30/35 cm).

Fläche II: Gleyic Cambisol (O: 2-0 cm, Ah: 0-5 cm, Ag: 5-10/15 cm, Bg1: 10/15-30/35 cm, Bg2: 30/35-50 cm, Cg: 50-60 cm).

Fläche III: Epi-Gleyic Cambisol (A: 0-2/3 cm, Ag: 2/3-4/5 cm, Bg: 4/5-17/18 cm, BCg: 17/18-50 cm, Cg: 50-80 cm).

Fläche IV: Gleyi-Dystric Fluvisol (O: 4/5-0 cm, Ag1: 0-5/6 cm, Ag2: 5/6-10/15 cm, Cg1: 10/15-40/50 cm, Cg2: 40/50-70/80 cm).

Typisch für die untersuchten Alböden ist eine Zonierung des Humushorizontes in eine stark verfilzte, grobmoderreiche obere Schicht und in eine dunkel gefärbte, amorphe Feinmoderschicht. Die Bodenoberfläche ist von Feinstreu - Reste abgestorbener Blattscheiden - durchsetzt.

In Ursprung (Fläche V) bilden quarzreiche Sedimente des Flysch das Ausgangsmaterial für einen tiefgründig verwitterten Boden. Es handelt sich um einen Gleyic Cambisol mit der Horizontabfolge: A1 (0-5/7 cm), A2 (5/7-22/23 cm), Bw (22/23-50 cm), BgCw (50-80 cm) und Cw (80-120 cm).

Die Vegetation, die nach der Methode von BRAUN-BLANQUET (1964) erfaßt wurde, entspricht in der Fläche I einem feuchten "Carici-Nardetum" (*Nardus stricta*, *Carex stellulata*, *C. nigra*), in Fläche II einem artenarmen "Nardo-Deschampsietum" (*Nardus stricta*, *Deschampsia cespitosa*), in Fläche III einem hochstaudenreichen "Deschampsietum" (*Deschampsia cespitosa*, *Festuca nigrescens*, *Ranunculus acris*, *Trollius europaeus*, *Geranium sylvaticum*, *Veratrum album*), in Fläche IV einem zwergstrauchreichen "Nardetum" (*Nardus stricta*, *Calluna vulgaris*, *Vaccinium vitis-idaea*, *V. gaultherioides*, *V. myrtillus*) und in Fläche V einer mehrschürigen Fettwiese (*Arrhenatherum elatius*, *Cynosurus cristatus*, *Agrostis tenuis*, *Deschampsia cespitosa*, *Holcus lanatus*, *Plantago lanceolata*). Nomenklatur nach EHRENDORFER (1973).

3. Methoden

Aus jeder Fläche wurden mehrere, etwa 30 x 30 cm große Bodenblöcke bis zum mineralischen Untergrund ausgehoben. Für die Bestimmung des Tiefengradienten wurden sie in die Abschnitte 0-3 cm, 3-6 cm und 6-9 cm getrennt und die Wurzeln weitgehend ausgesiebt. Die oberirdischen Pflanzenteile wurden knapp an der Basis abgeschnitten und so wie die Boden- und Wurzelproben, luftgetrocknet. Für die Radioaktivitätsmessung standen somit folgende Proben zur Verfügung:

- Boden mit Wurzeln (BmW)
- Boden ohne Wurzeln (BoW)
- Wurzeln (W)
- Pflanzensprosse inkl. Horste (Sp)

Für die Erfassung der Cs-Aktivität in den ober- und unterirdischen Pflanzenteilen wurde aus den Blöcken zunächst die gesamte Wurzelmasse grob und fein herausgewaschen, entflochten und luftgetrocknet. Einige ausgewählte Pflanzen wurden vollständig präpariert, skizziert und anschließend in verschiedene Wurzel- und Achsenabschnitte unterteilt (Abb. 1).

Zusätzlich wurden aus jeder Fläche die häufigsten Pflanzen getrennt gesammelt. Die Messung der Radionuklide erfolgte mittels Gammaskpektrometrie am Institut für Allgemeine Biologie, Biochemie und Biophysik der Universität Salzburg. Es standen zwei hochauflösende Reinstgermanium-Detektoren der Firma EG & G ORTEC in Verbindung mit einem Vielkanalanalysator und einer PC-Auswerteeinheit zur Verfügung. Aus dem Verhältnis ^{134}Cs zu ^{137}Cs wurde ein "Kernwaffenanteil" von weniger als 10 % berechnet. Je nach Probenmenge dauerten die Meßzeiten 900 bis 10.000 Sekunden. Ergänzend wurden im Boden der pH-Wert (ÖNORM L 1083), die organische Substanz (ÖNORM L 1080), das pflanzenverfügbare Kalium (ÖNORM L 1088) und die Rohdichte bestimmt.

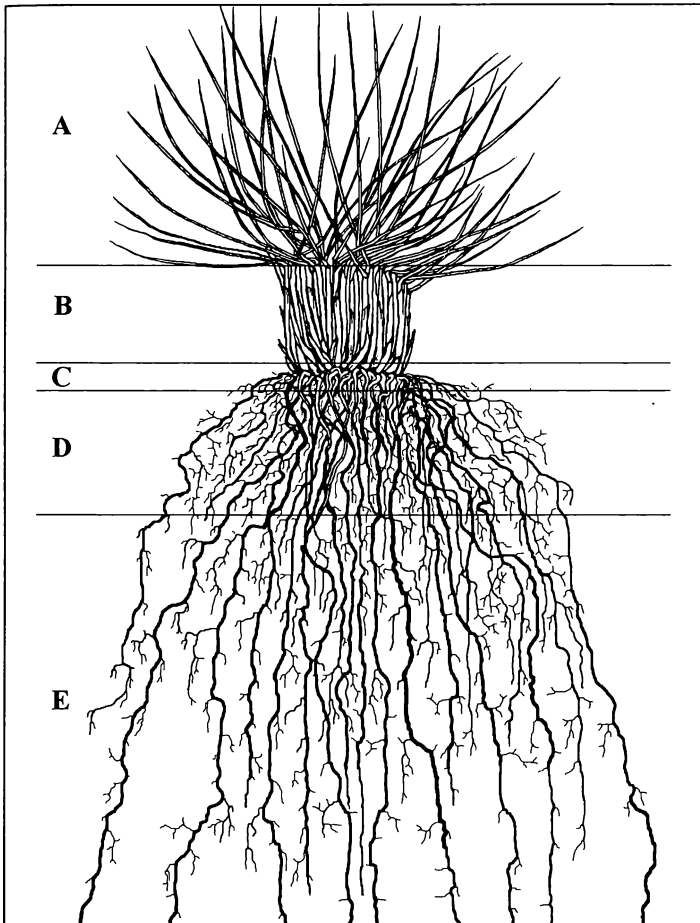


Abb. 1: Präparierte Abschnitte von *Nardus stricta*. A: Blätter, B: Horst, C: Ausläufer mit Blattbasen und Wurzeln, D: dichter Wurzelfilz, E: auslaufende Wurzeln.

Fig. 1: Detailed sampling of *Nardus stricta*. A: leaves, B: dense tuft of shoots, C: runners with shoot-bases and roots, D: compact rootmass, E: deep growing roots.

4. Ergebnisse

Alle Proben aus dem Naßfeld weisen trotz enormer Schwankungen innerhalb der einzelnen Untersuchungsflächen eine wesentlich höhere Cs-Aktivität auf als jene von Ursprung. Am auffälligsten sind die Unterschiede in den Pflanzen mit z. T. mehr als 100-fach höheren Gehalten (Tab. 1).

Die Rolle der Wurzeln als Anreicherungsorgane zeigt sich im Naßfeld im Vergleich "Boden ohne Wurzeln" zu "Boden mit Wurzeln" und "Wurzeln" am deutlichsten: In allen Fällen liegt der Quotient Boden ohne Wurzel/Wurzel in 0-3 cm Tiefe z. T. beträchtlich unter 1,0 ("Wurzeleffekt"), in Ursprung über 1,0 ("Bodeneffekt"). Ähnliches gilt für den Quotienten Boden ohne Wurzel/Boden mit Wurzel. Die Wurzeln sind im Naßfeld jeweils die am stärksten angereicherten Kompartimente. Die Transferraten (Verhältnis der ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration im Sproß zu der im Boden mit Wurzel) liegen im Naßfeld zwischen 0,60 und 1,55, in Ursprung bei 0,05 (Tab. 1). Mit zunehmender Bodentiefe sinken die Aktivitäten in den Almböden rasch ab und erreichen, mit Ausnahme der Wurzeln, sogar niedrigere Werte als in Ursprung. Die starke biogene Cs-Fixierung im Oberboden hat bisher einen Transport in die Tiefe verhindert. In Ursprung ist die Cs-Verteilung im Bodenprofil wesentlich homogener, wobei die Unterschiede zwischen den einzelnen Kompartimenten gering sind.

Tab. 1: Minima, Maxima und Mittelwerte (x) der ¹³⁷Cs-Aktivität (Bq/kg TM) in den Probestellen I - V, Transferfaktoren (TF) und Quotienten BoW/W und BoW/BmW (Erläuterungen im Text).

Tab. 1: Min., max. and mean (x) of the ¹³⁷Cs-activity (Bq/kg dry matter) in the sampling sites I-V, transfer factors (TF) and activity ratios soil without roots/roots and soil without roots/soil with roots.

Fläche	Tiefe	Boden oW			Boden mW			Wurzel			Sproß			TF	BoW/W	BoW/BmW
		Min	Max	x	Min	Max	x	Min	Max	x	Min	Max	x			
I	0-3cm	687	1607	1104	1575	5593	3550	5579	10131	7980	4280	4520	4431	1,25	0,138	0,311
	3-6cm	77	472	212	139	863	400	391	898	699					0,303	0,530
	6-9cm	38	198	63	49	244	127	422	783	652					0,097	0,496
II	0-3cm	1407	1619	1513	1510	3785	2427	2802	8655	4926	3709	3873	3764	1,55	0,307	0,623
	3-6cm	139	826	460	112	402	263	612	1136	811					0,567	1,749
	6-9cm	30	219	105	43	94	60	514	743	601					0,170	1,750
III	0-3cm	2731	2971	2882	3066	4628	3953	3950	4720	4416	2214	2600	2356	0,60	0,653	0,729
	3-6cm	194	642	394	95	389	259	557	1665	1109					0,358	1,521
	6-9cm	64	80	74	58	73	66	199	257	355					0,208	1,121
IV	0-3cm	2099	2926	2340	2309	5578	3808	4025	5865	4994	3367	3539	3451	0,91	0,469	0,614
	3-6cm	100	512	278	71	473	261	220	1479	773					0,360	1,065
	6-9cm	36	132	101	30	138	94	176	798	394					0,256	1,074
V	0-3cm	181	987	666	424	770	647	161	1037	620	28	35	32	0,05	1,074	1,029
	3-6cm	145	726	375	200	683	356	353	470	400					0,938	1,053
	6-9cm	86	295	182	124	324	186	135	487	238					0,765	0,978

Die Messung der Einzelpflanzen, getrennt nach krautigen Species und Gräsern, Wurzeln und Sproß, zeigt ein ähnliches Bild wie die über die Fläche integrierte Messung (Tab. 2): Die höchsten Aktivitäten treten im Naßfeld mit durchschnittlich über 2000 Bq/kg TM und Einzelwerten von über 10000 Bq/kg TM (*Homogyne alpina*, *Viola biflora*, *Luzula multiflora*) auf. Die Wurzeln sind im Durchschnitt cäsiumreicher als die Sprosse (Wurzel/Sproßverhältnis: 1,0 - 1,5), die Kräuter sind deutlich höher belastet als die Gräser. Eine Ausnahme bilden die verholzten Zwergsträucher mit einem Wurzel/Sproßverhältnis von 0,5, d. h. hier ist in den langlebigen Sprossen bedeutend mehr radiogenes Cäsium gespeichert als in den Wurzeln.

Tab. 2: Mittlere ¹³⁷Cs-Aktivität (Bq/kg TM) und Wurzel/Sproß-Verhältnisse verschiedener Kräuter, Sträucher und Gräser aus den Untersuchungsflächen I - V. CoV = Variationskoeffizient.

Tab. 2: Average ¹³⁷Cs-activities (Bq/kg dry matter) and activity ratio root/shoot for several herbaceous species, heathers and gramineae in the sampling sites I - V. CoV = coefficient of variation.

Fläche	Kräuter						Gräser						Zwergsträucher								
	W		CoV	Sp		W/Sp	W		CoV	Sp		W/Sp	W		CoV	Sp		W/Sp			
	n	x		n	x		n	x		n	x		n	x		n	x				
I	5	12186	0,29	12	9163	0,23	1,33	8	5334	0,52	13	4996	0,56	1,07							
II	5	8249	0,82	13	6460	0,75	1,28	14	3566	0,30	15	3555	0,34	1,00							
III	11	3165	0,58	38	3071	0,45	1,03	12	2468	0,70	24	2482	0,57	0,99							
IV	6	7005	0,72	12	5851	0,60	1,20	11	5018	0,58	14	3315	0,87	1,51	2	2846	0,18	7	5692	0,68	0,50
V	14	104	0,50	23	43	0,62	2,44	10	226	0,75	27	41	0,55	5,47							

Innerhalb einer Untersuchungsfläche sind die Unterschiede zwischen Individuen gleicher Species wesentlich geringer als zwischen Individuen gleicher Species in verschiedenen Flächen. Am stärksten belastet sind die Pflanzen in Fläche I, am wenigsten in Fläche III. Die Cs-Konzentrationen in Ursprung heben sich nicht nur hinsichtlich der Größenordnung - Sprosse durchwegs unter 100 Bq/kg TM -, sondern auch hinsichtlich der Wurzel/Sproßverhältnisse - Kräuter: 2,4, Gräser: 5,5 - von denen im Naßfeld ab.

Ein interessantes Ergebnis brachte die Cs-Verteilung in den einzelnen Pflanzenabschnitten. So wurden die höchsten Cs-Aktivitäten jeweils in den Sproßabschnitten an bzw. knapp unterhalb der Bodenoberfläche gemessen. In dieser Schicht entspringen nicht nur die meisten Feinwurzeln, hier befindet sich auch ein großer Anteil an Nekromasse - vor allem sind es abgestorbene Blattstängel - die überdies noch reichlich mit mineralischen

Ablagerungen durchsetzt sind. In 3 bis 5 cm Bodentiefe gehen die Aktivitäten sprunghaft zurück, wobei je nach Fläche und Bodentiefe unterschiedliche Werte erreicht werden. Je flachgründiger der Boden, desto geringer ist die Verteilungsmöglichkeit der Radionuklide und desto höher ist das Konzentrationsniveau in der obersten Bodenschicht. Achsen, Blätter und Blüten sind in der Regel nur schwach kontaminiert (Abb. 2). In Ursprung ist das Verteilungsmuster ein völlig anderes: Es fehlt die für das Naßfeld typische starke Anreicherung in der Schicht 0 - 3 cm, dafür steigen die Konzentrationen allmählich mit der Bodentiefe an (Abb. 3).

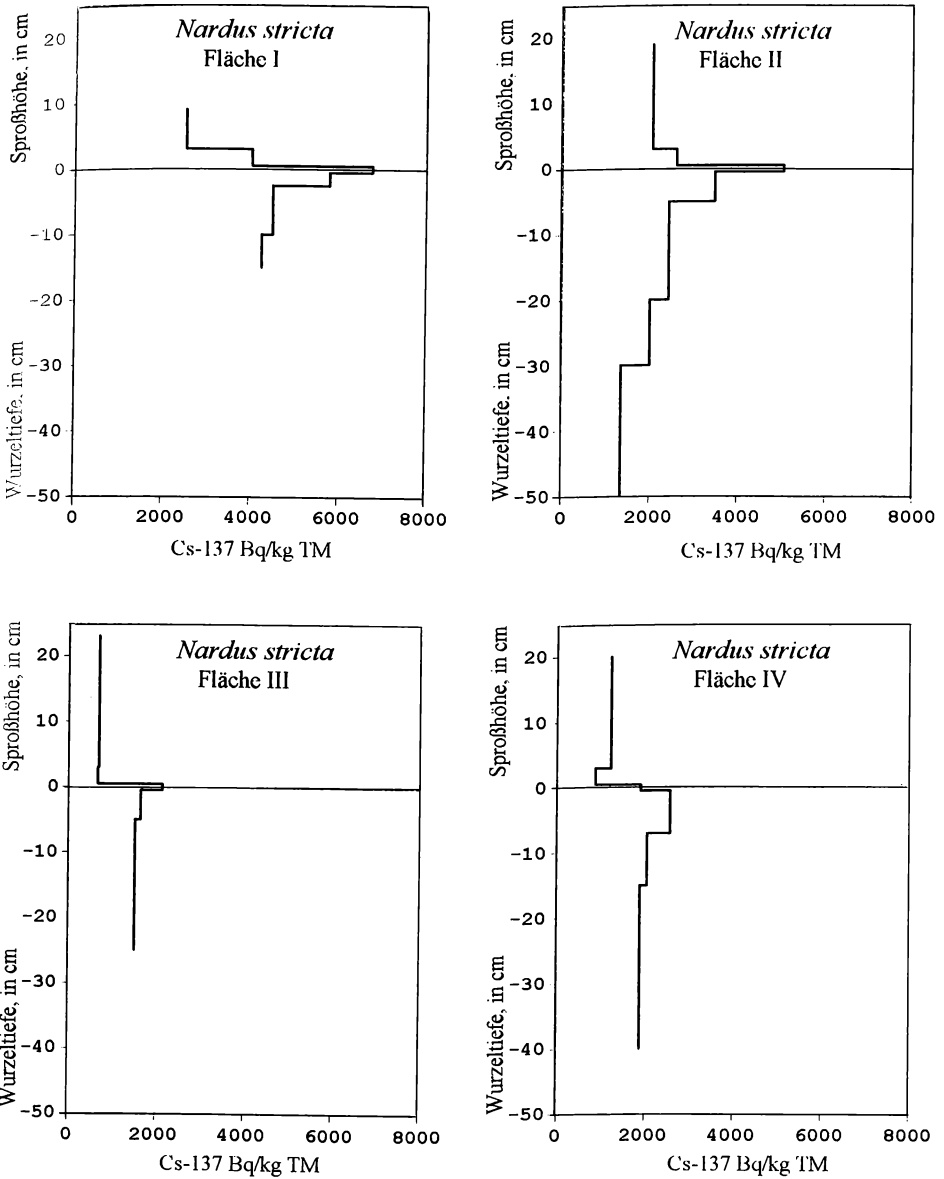


Abb. 2: ^{137}Cs -Aktivität in verschiedenen Abschnitten von *Nardus stricta* in den Flächen I, II, III und IV.

Fig. 2: ^{137}Cs -activity in different segments of *Nardus stricta* in the sampling sites I, II, III and IV.

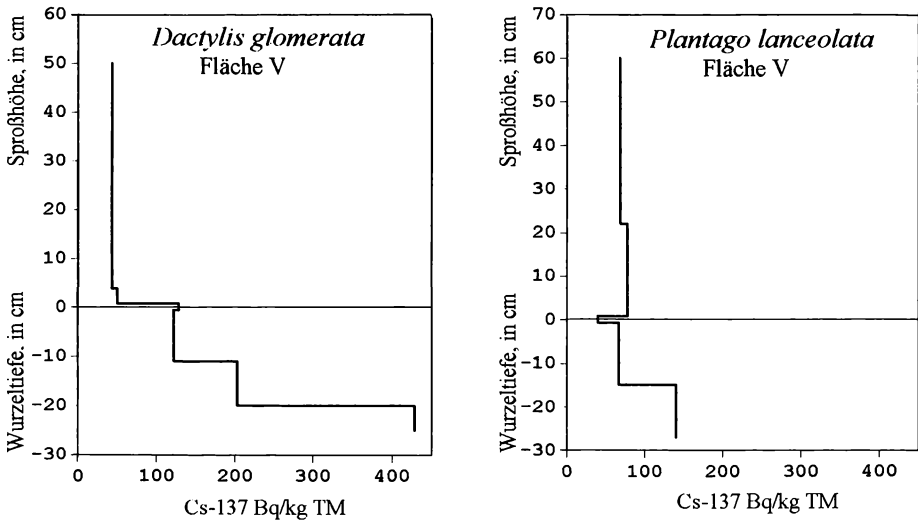


Abb. 3: ^{137}Cs -Aktivität in verschiedenen Abschnitten von *Dactylis glomerata* und *Plantago lanceolata* in Fläche V.

Fig. 3: ^{137}Cs -activity in different segments of *Dactylis glomerata* and *Plantago lanceolata* in the sampling site V.

4. Diskussion

Für den anhaltend hohen Aktivitätsspiegel von ^{137}Cs in den Gebirgsalmen kommen mehrere Ursachen in Frage. Wesentlich sind zunächst die Depositionsraten, die im Naßfeld mit 20 - 25 kBq/m^2 rund doppelt so hoch waren wie in Ursprung (MÜCK & al. 1990). Eine weitere wichtige Rolle spielt der Zustand der Vegetation, die zum Zeitpunkt des Fallout Ende April im Naßfeld noch nicht entwickelt war, in Ursprung hingegen stoffwechselaktiv war, sodaß das eingetragene Radiocäsium mit dem Assimilatstrom in die tief hinunterreichenden Wurzeln transportiert werden konnte und sich entsprechend gut verteilte (BUKOVAC & al. 1965). Dazu kommt, daß mit der ersten Mahd in Ursprung ein Großteil der kontaminierten Pflanzen aus dem Kreislauf entfernt wurde.

In den Almen des Naßfeldes war der Boden Ende April noch gefroren, weshalb keine Tiefenverlagerung stattfinden konnte und sich das Radiocäsium zusammen mit dem mineralreichen Schmelzwasser in den Blattscheiden anreichte bzw. die oberflächennahe, hauptsächlich aus Wurzelmasse bestehende Humusschicht durchtränkte. Sowohl die faserigen, abgestorbenen Blattscheiden (Strohtuniken) als auch das Streumaterial enthalten sehr viel Cs, wobei durch die Ablagerung mineralischer Staubpartikel eine zusätzliche Anreicherung erfolgte (vgl. CAPUT & al. 1990). Dieser Umstand wird in Fläche I, die in einer Talsohle gelegen immer wieder von Sedimenten überschüttet wird, besonders deutlich. Für die geringe Cs-Bindung im Boden sind sowohl dessen schlechte Ausstattung mit quellfähigen Schichtmineralen (Vermiculit, Montmorillonit) als auch die durchwegs tiefen pH-Werte (3,8 - 5,5) und die allgemein gute Kaliversorgung (11,0 - 45,9 $\text{mg}/100\text{ g}$ Boden) verantwortlich (vgl. NISHITA & al. 1960, COLEMAN & al. 1963, JACKSON & al. 1965, HAISCH & al. 1985). Was die Mineralzusammensetzung der Böden betrifft, so bestehen nach den Untersuchungen von KIRCHNER (i.c.) einige wesentliche Unterschiede zwischen den einzelnen Flächen: Während in Fläche I wenig zersetzte Glimmer und Quarze überwiegen, besitzt Fläche III einen höheren Anteil an quellfähigen Tonmineralen (Vermiculit, Chlorit, Illit). Da hier auch der pH-Wert relativ hoch ist, sind bessere Bedingungen für eine Cs-Sorption gegeben. Tatsächlich beträgt in dieser Fläche die Cs-Transferrate nur 0,60. In der sehr sauren Fläche IV sind die Minerale zwar stark zersetzt (der einzige Boden mit Montmorillonit und Kaolinit), die Böden sind jedoch sehr humusreich und die Kaliversorgung ist außerordentlich gut, wodurch schlechte Bindungsmöglichkeiten für das Radiocäsium gegeben sind; die Transferrate ist mit 0,91 entsprechend hoch.

5. Ausblick

Dadurch, daß das radiogene Cäsium hauptsächlich in der Wurzelmasse und in den Blattscheiden fixiert ist, sich weitgehend im biogenen Kreislauf befindet und vom mineralischen Unterboden abgekoppelt ist, können Düngungsmaßnahmen nur wenig zur Verbesserung der Situation beitragen. Dies auch deshalb, weil der Anteil der Böden an quellfähigen Mineralen gering, die Kaliversorgung jedoch gut ist. Nach ANDERSEN (1967), COLEMAN & al. (1963) und MIDDLETON & al. (1960) ist die hemmende Wirkung des Kaliums auf die Cs-Aufnahme nur auf Böden mit niedrigem K-Ausgangsgelhalt beschränkt. Weiters müssen die in alpinen Regionen nur sehr langsam ablaufenden biologischen Umsatzzraten berücksichtigt werden, wodurch eine rasche Freisetzung und Auswaschung des Cs verhindert werden. Es muß daher noch für längere Zeit mit einer erhöhten radiogenen Belastung in den Almregionen gerechnet werden.

Danksagung

An dem vorliegenden Cs-Projekt haben folgende Institutionen mitgewirkt: Institut für Mineralogie der Universität Salzburg, Institut für Allgemeine Biologie, Biochemie und Biophysik der Universität Salzburg, Amt der Salzburger Landesregierung (Ref. 4/5 und 6/5), Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf (Agrarforschung und Biotechnologie) und Bundesanstalt für Bodenwirtschaft in Wien. Für die Klassifizierung der Bodentypen danken wir Herrn Univ.Prof. Dr. Othmar Nestroy (Technische Universität Graz).

Literatur

- ANDERSEN, A.J. 1967: Investigations on the plant uptake of fission products from contaminated soils. - II. The uptake of radioactive strontium placed at different depth in the soils. - Risø Report No. 174, Risø, Denmark.
- BUCOVAC, M. J., WITTWER, S. H. & H. B. TURKEY, 1965: Aboveground plant parts as a pathway for entry of fission products into the food chain with special reference to Sr 89-90 and Cs-137. - In: FOWLER, E. B. (ed.): Radioactive fallout, soils, plants, food, men. - Elsevier, New York.
- BRAUN-BLANQUET, J., 1964: Pflanzensoziologie. - Springer, Wien-New York: 865 S.
- CAPUT, C., CAMUS, H. & Y. BELOT, 1990: Observations on the behaviour of radiocesium in permanent pastures after the Chernobyl accident. - In: DESMET, G., NASSIMBENI, P. & M. BELLI (eds.): Transfer of radionuclides in natural and seminatural environments. - Elsevier, London: 283-291.
- COLEMAN, N. T., CRAIG, D. & R. J. LEWIS, 1963: Ion-exchange reactions of cesium. - Soil Sci. 27: 287-289.
- EHRENDORFER, F. 1973 (Hrsg): Liste der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. - G. Fischer, Stuttgart: 310 S.
- HAISCH, A., CAPRIEL, P. & S. FORSTER, 1985: Cäsiumverfügbarkeit für Pflanzen auf drei verschiedenen Böden. Transferfaktoren Boden-Pflanze. - Landw. Forsch. 38: 229-236.
- HAUNOLD, E., HORAK, O. & M. GERZABEK, 1986: Umweltradioaktivität und ihre Auswirkung auf die Landwirtschaft. - I. Das Verhalten von Radionukliden in Boden und Pflanze. - Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf Nr. 4369, LA-163/86: 48 S.
- JACKSON, W. A., CRAIG, D. & H. M. LUGO, 1965: Effects of various cations on cesium uptake from soils and clay suspensions. - Soil Sci. 99: 345-353.
- KIRCHNER, E., 1989: Langzeitverhalten der Kontamination durch das aus dem Reaktorunfall stammende Radiocäsium in Almböden. - Institut für Geowissenschaften, Universität Salzburg: 19 S. (unveröffentl.).
- KIRCHNER, E. & T. PEER, 1992: Endbericht zum Forschungsauftrag "Langzeitverhalten von Radiocäsium in Almböden Salzburgs". - Institut für Mineralogie der Universität Salzburg: 154 S. (unveröffentl.).
- LETTNER, H., 1990: Post Chernobyl distribution of the Cs-137 concentration in soil and environmental samples in mountainous and plain areas of the province of Salzburg/Austria. - In: IAEA: International symposium on environmental contamination following a major nuclear accident. - Intern. Atom. Ener. Agency, Vienna: 193-203.
- MIDDLETON, L. J., HANDLEY, R. & R. OVERSTREET, 1960: Relative uptake and translocation of potassium and cesium in barley. - Plant Physiol. 35: 913-918.
- MÜCK, K., GERZABEK, H. M. & F. STEGER, 1990: ¹³⁷Cs-activity concentration in milk two years after the Chernobyl accident compared to deposition rates. - In: DESMET, G., NASSIMBENI, P. & M. BELLI (eds.): Transfer of radionuclides in natural and seminatural environments. - Elsevier, London: 575-582.
- NISHITA, H., ROMNEY, E. M., ALEXANDER, G. V. & K. H. LARSON, 1960: Influence of K and Cs on release of Cs¹³⁷ from three soils. - Soil Sci. 89: 167-176.

Adresse

Univ. Doz. Dr. Thomas Peer und Dr. Margareta Pintaric, Institut für Botanik der Universität Salzburg, Hellbrunnerstraße 34, A-5020 Salzburg.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1994

Band/Volume: [23_1994](#)

Autor(en)/Author(s): Peer Thomas, Pintaric Margareta

Artikel/Article: [Das Verhalten von Radiocäsium in Weiderasen der Hohen Tauern \(Salzburg, Austria\) 105-111](#)