

Endbericht

„Radioökologische Evaluierung der Radionuklidkontamination in Waldökosystemen 30 Jahre nach Tschernobyl“

Im Auftrag des

Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

(GZ: BMLFUW-UW.1.1.11/0027-I/7/2015)

durchgeführt von

DI Viktoria Damberger, Martin Korner, Dr. Christian Katzlberger, Dr. Claudia Landstetter, DI Eva-Maria
Lindner, Michael Zapletal

Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit,
Geschäftsfeld Strahlenschutz, Abt. Strahlenschutz und Radiochemie, Spargelfeldstr. 191, 1220 Wien

und

Veronika Exler, Maria Kocadag, Christopher Burger-Scheidlin, Andreas Baumgartner, Michael Stietka,
Franz Josef Maringer

Universität für Bodenkultur,
Low Level Counting Laboratory Arsenal, Faradagasse 3, Arsenal 214, 1030 Wien

29.02.2016

Einführung:

Die Reaktorkatastrophe in Tschernobyl am 26. April 1986 führte zur Freisetzung von Radionukliden. Vor allem die leicht flüchtigen Cäsium-Isotope und Iod-Isotope sind dabei in große Höhe gelangt und mit den Luftströmungen bis nach Österreich transportiert worden. Die Cäsium-Isotope sind aufgrund der unterschiedlichen Niederschlagsraten während der Verweildauer der „radioaktiven Wolke“ auch in unterschiedlichen Aktivitätskonzentrationen im Boden vorhanden.

Der Ursprung der Sr-90 Isotope in Österreich stammt nur in geringen Teilen von der Reaktor Katastrophe in Tschernobyl. Der Hauptteil stammt wie die Plutoniumisotope von den oberirdischen Kernwaffenversuchen im letzten Jahrhundert.

Die Bestimmung dieser Radionuklide in verschiedenen Medien ermöglicht es deren Verhalten in der Umwelt einzuschätzen. Wie bereits bekannt, ist die Aktivitätskonzentration in Waldgebieten aufgrund der Ton-Humuskomplexe im Boden besonders interessant. Während in Acker- und Wiesenflächen die Radionuklide durch den Regen in tiefere Schichten gespült und auch bei der Bearbeitung der Felder in tiefere Schichten eingearbeitet werden, bleibt im Wald die Radioaktivität in den obersten Schichten. Welcher Anteil des im Boden vorhandenen Cäsiums den Pflanzenwurzeln zur Verfügung steht, hängt von Bodenstruktur und -porosität, pH-Wert, Konzentration chemisch ähnlicher Stoffe, Bodenfeuchtigkeit und von der Aktivität der Mikroorganismen ab. Der hohe Gehalt an Ton und Mineralstoffen in Wiesen- und Ackerböden führt zu einer zunehmenden Bindung des radioaktiven Cäsiums an Tonmineralien. Es ist somit für Pflanzen nicht verfügbar und kann nicht in die Nahrung gelangen. Die organische Humusschicht über dem Mineralboden ist im Wald gut durchwurzelt und so ist das Cs-137 auch für die Pflanzen weiter verfügbar. Zudem wird durch das Abernten der angebauten Pflanzen jedes Jahr die von ihnen aufgenommene Cs-137 Aktivitätskonzentration aus dem System entfernt, während im Wald die mehrjährigen Pflanzen das Cs-137 kontinuierlich aufnehmen, speichern und später nach dem Absterben wieder an den Boden zurückgeben. Wechselwirkungen der Böden mit den Pflanzen und den Tieren sind daher im Wald gut zu untersuchen.

Anlässlich des Jahrestages 30 Jahre nach Tschernobyl wurde ein Projekt zur radioökologischen Evaluierung des Cs-137 durchgeführt. Im Zuge dieses Projektes wurden Probenahmeorte aus Österreich und aus Deutschland ausgewählt.

Es wurden vor allem Gebiete ausgesucht, die aufgrund der Reaktorkatastrophe noch besonders belastet sind. Als Probenmedien wurden Boden, Pflanzen und frei lebende nicht zu gefütterte Wildschweine ausgesucht. Durch die Nahrungsaufnahme der Wildschweine aus dem Waldboden kann die Aktivitätskonzentration in den Wildschweinen erhöhte Werte zeigen. Es wurde bereits in den Jahren 2007 und 2008 das Projekt „Erhebung der radioaktiven Belastung von Wildbret“ im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit, Familie und Jugend (GZ: BMGF-32234/0007-III/B/5/2007) durchgeführt um die durch die speziellen radioökologische Prozesse im Wald erhöhten Werte in Wildfleisch zu bestimmen [1]. Zusätzliche wurde in einem Projekt im Jahre 2012 Wildschweinfleisch aus einem österreichischen Unternehmen, das die großen Handelsketten beliefert gemessen. Dieses Fleisch gelangt über den Handel zu den Verbrauchern [2]. Da es sich dabei um Wild aus offeneren Gebieten auch mit Wiesenflächen und Feldern handelt, und hier teilweise zugefüttert bzw. es sich um Wild aus Gatterhaltung handelt, wurde bei diesen Wildfleischproben keine erhöhten Werte gemessen.

1. Probenahme

Es wurden insgesamt 362 repräsentative Bewuchsproben, Streuproben und Bodenproben im Sommer 2015 in den Untersuchungsgebieten genommen (Abb. 1). Zusammen mit den von den Jägern erhaltenen 39 Wildschweinproben aus den Untersuchungsgebieten wurden davon insgesamt 309 Proben radiometrisch, davon 283 Proben gammaspektrometrisch, analysiert.

1.1 Probenahmeorte

A...Aichach (B)

B...Wunsiedel (F)

- C...Garmisch-Partenkirchen (G)
- D...Weinsberger Wald (W)
- E...Kobernaußer Wald (K)
- F...Dunkelsteiner Wald (D)



Abbildung 1: Probenahmeorte (<http://gpsso.de/maps/>)

1.2 Methoden der Probenahme

An jedem Standort wurden 2-3 Orte ausgewählt und die folgende Methodik angewandt:

- **Bewuchsproben:** Für den Standort typische Pflanzen und Pilze wurden gesammelt und identifiziert (Abb. 2).



Abbildung 2: Bestimmung der Pflanzenart

- **Umgebungsäquivalentdosisrate:** Die Umgebungsäquivalentdosisrate wurde in 1 m Höhe gemessen (Abb.3).



Abbildung 3: Messung der Umgebungsäquivalentdosisrate

- **Bodenproben:** Einerseits wurden mit einem Spaten Ah und B Horizont Proben (Abb.4) für die Analyse der Bodenparameter genommen. Andererseits wurden mit einem Stechbohrer (Abb. 5) an jedem Standort 3 Bodenprobenprofilkerne (Tiefe 60 cm, Abstand ca. 3 m / im Dreieck) für die Bestimmung der Tiefenverteilung von Cäsium entnommen. Diese 3 Bodenprofilkerne wurden dann jeweils in Schichten (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm, 50-60 cm) geteilt und pro Schicht gemischt.



Abbildung 4: Spaten für Ah und B Horizontproben



Abbildung 5: Stechbohrer für die Cäsium Tiefenverteilung

- **Streu:** Die gesamte Streu wurde in einem 25 cm x 25 cm großen Feld eingesammelt.

2. Probenahme

2.1 Bestimmung von Cs-137 in Wildschweinfleisch

Die Wildschweinfleischproben wurden in den für die geforderte Messgeometrie passenden Gefäßen eingefüllt und eingefroren. Kurz vor der Messung mittels Gammaskpektrometrie wurden sie aus dem Gefrierfach entnommen. Die Messung erfolgte mit einem Coaxial Gammaskpektrometer von Canberra Modell GX4018 mit einer Kohlenstoffverbund-Endkappe.

Aufgrund der unterschiedlichen Mengen war auch die Füllhöhe unterschiedlich. Für die Auswertung der Messung wurde mittels des ISOCS die Efficiency für die verschiedenen aufgrund der unterschiedlichen Höhe existierenden Messgeometrien berechnet.

2.2 Bestimmung von Sr-90 in Wildschweinknochen

Die Messung des Sr-90 erfolgte durch eine Direktbestimmung mittels Flüssigszintillation. Als Messgerät wurde der Quantulus 1220 verwendet.

Zuvor erfolgte eine Probenvorbereitung und eine Abtrennung des Sr-90 von der Matrix.

Dafür wurden die Knochen zuerst bei 600°C verascht und anschließend mittels Mikrowelle und einer Säuremischung aus $\text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2$ aufgeschlossen. Die Abtrennung erfolgte mittels einer Extraktionschromatographischen Säule von Triskem (Sr-Spec). Zur Messung wurde der Szintillator Hisafe 3 verwendet. Die Bestimmung der Ausbeute erfolgte durch die Messung des Sr-88 und Sr-86 mittels ICP-MS (Perkin Elmer Elan DRC2). Es wurden sowohl die Strontiumkonzentrationen in den Aufschlüssen der Knochen gemessen als auch am Ende der Probenvorbereitung in der Messlösung. Die Üblicherweise verwendete Methode enthält vor der Säulenabtrennung noch eine Oxalatfällung. Tests diese Fällung wegzulassen und nur extraktionschromatographische Säulen für die Trennung zu verwenden waren erfolgreich. Die Ausbeuten lagen zwischen 81 und 100%.

2.3 Bestimmung der Plutoniumisotope in Wildschweinknochen

Diese Bestimmung erfolgte mit der in der Abt. STRA üblicherweise durchgeführten Bestimmungsmethode. Allerdings wurde diese Methode zum ersten Mal mittels Verwendung einer Knochenmatrix getestet.

Dafür wurde die Probe zuerst mit der Mikrowelle aufgeschlossen und anschließend das Plutonium mittels Dowex 1x8 von der Matrix abgetrennt. Das Messpräparat wurde mittels Mikropräzipitation mit Neodymfluorid hergestellt. Für die Bestimmung der Ausbeute wurde ein Pu-242 Spike zugegeben. Die Messung erfolgte mittels eines PIPS® Detektors (Passive Implanted Planar Silicon) der Firma Canberra. Der Halbleiterdetektor wird mit einer Spannung von etwa 40V betrieben.

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Pflanzen- und Streuproben

Die Ergebnisse der gammaskpektrometrischen Analysen der Streu- und Pflanzenproben sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Ergebnisse für die Pflanzen- und Streuproben; $a(\text{Cs-137})$...Cs-137 Aktivitätskonzentration; DW...Trockenmasse; EG...Erkennungsgrenze

Probe	Deutscher Name	Wissenschaftl. Name	$a(\text{Cs-137})$ Unsicherheit		$a(\text{K-40})$ Unsicherheit	
			(Bq/kg DW)	(%) in 1,65 σ	(Bq/kg DW)	(%) in 1,65 σ
W1-V1	Wiesenwachtelweizen	<i>Melampyrum pratense</i>	1700	5	510	13
W1-V2	Heidelbeeren	<i>Vaccinium myrtillus</i>	1760	5	286	19
W1-V3	Rotstengelmoos	<i>Pleurozium schreberi</i>	576	6	141	40
W1-V4	Gräser	mixed sample	1260	6	296	22
W1-V5	Ebereschen	<i>Sorbus aucuparia</i>	489	6	489	16
W1-S1	Streu	Streu	106	7	<EG (56,8 Bq/kg)	
W2-V1	Sudeten-Zackenmoos	<i>Rhacomitrium sudeticum</i>	693	6	252	18
W2-V2	Torfmoos	<i>Sphagnum sp.</i>	477	6	290	23
W2-V3	Gräser	mixed sample	355	7	850	15

Probe	Deutscher Name	Wissenschaftl. Name	α (Cs-137) (Bq/kg DW)	Unsicherheit (%) in 1,65 σ	α (K-40) (Bq/kg DW)	Unsicherheit (%) in 1,65 σ
W2-V4	Heidelbeeren	<i>Vaccinium myrtillus</i>	548	6	325	14
W2-V5	Preiselbeeren	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	272	6	242	14
W2-V6	Rotstengelmoos	<i>Pleurozium schreberi</i>	300	6	138	23
W2-S1	Streu	<i>Streu</i>	246	6	<EG (82,3 Bq/kg)	
W3-V1	Heidelbeeren	<i>Vaccinium myrtillus</i>	521	6	195	25
W3-V2	Eberesche	<i>Sorbus aucuparia</i>	148	8	591	13
W3-V3	Gräser	mixed sample	216	8	527	17
W3-V4	Dornfarn	<i>Dryopteris carthusiana</i>	548	6	324	14
W3-V5	Rotstengelmoos	<i>Pleurozium schreberi</i>	191	7	171	26
W3-S1	Streu	<i>Streu</i>	297	6	130	25
D1-V1	Gräser	mixed sample	<EG (13,4 Bq/kg)		862	14
D1-V2	Waldmeister	<i>Galium odoratum</i>	<EG (7,54 Bq/kg)		1650	8
D1-V3	Maiglöckchen	<i>Convallaria majalis</i>	<EG (5,34 Bq/kg)		1550	8
D1-V4	Dornfarn	<i>Dryopteris carthusiana</i>	<EG (11,2 Bq/kg)		873	13
D1-S1	Streu	<i>Streu</i>	28,5	11	211	16
D2-V1	Wald-Sauerklee	<i>Oxalis acetosella</i>	<EG (13,6 Bq/kg)		793	14
D2-V2	Gräser	mixed sample	<EG (7,21 Bq/kg)		1080	10
D2-V3	Himbeeren	<i>Rubus idaeus</i>	18,7	18	659	12
D2-V4	Dornfarn	<i>Dryopteris carthusiana</i>	183	8	816	15
D2-V5	Kleingabelzahnmoos	<i>Dicranella heteromalla</i>	32,2	7	761	6
D2-V6	Frauenfarn	<i>Athyrium filix-femina</i>	126	9	559	15
D2-S1	Streu	<i>Streu</i>	12,8	23	< EG (106 Bq/kg)	
D3-V1	Gräser	mixed sample	64,9	10	704	12
D3-V2	Wald-Sauerklee	<i>Oxalis acetosella</i>	20,8	19	680	13
D3-V3	Brombeeren	<i>Rubus fruticosus</i>	46,0	12	299	19
D3-V4	Sudeten-Zackenmoos	<i>Rhacomitrium sudeticum</i>	125	7	213	19
D3-V5	Heidelbeeren	<i>Vaccinium myrtillus</i>	123	8	300	21
D3-S1	Streu	<i>Streu</i>	147	6	187	14
F1-V1	Wiesenwachtelweizen	<i>Melampyrum pratense</i>	474	6	1260	8
F1-V2	Gräser	mixed sample	73,5	11	683	15
F1-V3	Sudeten-Zackenmoos	<i>Rhacomitrium sudeticum</i>	66,8	10	203	24
F1-V4	Heidelbeeren	<i>Vaccinium myrtillus</i>	125	7	231	20
F1-V5	Besen-Gabelzahnmoos	<i>Dicranum scoparium</i>	54,0	10	154	30
F1-V6	Rotstengelmoos	<i>Pleurozium schreberi</i>	64,8	11	159	26
F1-V7	Dornfarn	<i>Dryopteris carthusiana</i>	63,6	11	840	12
F1-V8	Frauenfarn	<i>Athyrium filix-femina</i>	18,7	21	723	13
F1-V9	Peitschenmoos	<i>Bazzania trilobata</i>	85,3	9	204	22
F1-S1	Streu	<i>Streu</i>	9,24	26	103	40
F2-V1	Wiesen-Wachtelweizen	<i>Melampyrum pratense</i>	115	7	798	10
F2-V2	Gräser	mixed sample	13,5	21	399	14
F2-V3	Rotstengelmoos	<i>Pleurozium schreberi</i>	24,1	15	158	28
F2-V4	Sudeten-Zackenmoos	<i>Rhacomitrium sudeticum</i>	47,7	11	228	20
F2-V5	Besen-Gabelzahnmoos	<i>Dicranum scoparium</i>	42,0	11	103	40

Probe	Deutscher Name	Wissenschaftl. Name	α (Cs-137) (Bq/kg DW)	Unsicherheit (%) in 1,65 σ	α (K-40) (Bq/kg DW)	Unsicherheit (%) in 1,65 σ
F2-V6	Frauenfarn	<i>Athyrium filix-femina</i>	<EG (15,1 Bq/kg)		1080	15
F2-V7	Heidelbeeren	<i>Vaccinium myrtillus</i>	30,1	14	141	40
F2-V8	Eichenfarn	<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	<EG (35,6 Bq/kg)		997	25
F2-S1	Streu	<i>Streu</i>	7,47	26	94,5	30
B1-V1	Gräser	mixed sample	73,8	9	788	11
B1-V2	Brombeeren	<i>Rubus fruticosus</i>	54,5	12	501	16
B1-V3	Mauerlattich	<i>Mycelis muralis</i>	93,6	9	809	12
B1-V4	Dornfarn	<i>Dryopteris carthusiana</i>	239	7	621	15
B1-V5	Eberesche	<i>Sorbus aucuparia</i>	120	7	269	16
B1-V6	Sudeten-Zackenmoos	<i>Rhacomitrium sudeticum</i>	152	7	192	21
B1-V7	Tamarisken-Thujamoos	<i>Thuidium tamariscinum</i>	70,8	9	<EG (122 Bq/kg)	
B1-V8	Rotstengelhoos	<i>Pleurozium schreberi</i>	86,5	10	<EG (156 Bq/kg)	
B1-V9	Echtes Zypressen	<i>Hypnum cupressiforme</i>				
B1-V9	Schlafmoos	<i>ssp, cupressiforme</i>	28,3	20	<EG (219 Bq/kg)	
B1-S1	Streu	<i>Streu</i>	63,6	9	<EG (82,7 Bq/kg)	
B2-V1	Brombeeren	<i>Rubus fruticosus</i>	107	9	<EG (191 Bq/kg)	
B2-V2	Dornfarn	<i>Dryopteris carthusiana</i>	806	6	<EG (215 Bq/kg)	
B2-V3	Sudeten-Zackenmoos	<i>Rhacomitrium sudeticum</i>	227	6	<EG (95,1 Bq/kg)	
B2-V4	Tamarisken-Thujamoos	<i>Thuidium tamariscinum</i>	114	8	<EG (114 Bq/kg)	
B2-V5	Heidelbeeren	<i>Vaccinium myrtillus</i>	717	6	<EG (193 Bq/kg)	
B2-V6	Rotstengelhoos	<i>Pleurozium schreberi</i>	89,4	11	<EG (201 Bq/kg)	
B2-V7	Weißmoos	<i>Leucobryum glaucum</i>	173	8	<EG (177 Bq/kg)	
B2-V8	Tannenmoos	<i>Abietinella abietina</i>	49,4	12	233	26
B2-S1	Streu	<i>Streu</i>	25,9	12	96,9	28
G1-V1	Gräser	mixed sample	50,8	11	565	13
G1-V2	Frauenfarn	<i>Athyrium filix-femina</i>	292	6	1100	10
G1-V3	Wald-Sauerklee	<i>Oxalis acetosella</i>	93,8	11	911	14
G1-V4	Tamarisken-Thujamoos	<i>Thuidium tamariscinum</i>	114	8	<EG (150 Bq/kg)	
G1-V5	Katzenpfötchen	<i>Rhytidium rugosum</i> <i>Brachythecium</i>	1880	5	89,7	27
G1-V6	Frischgrünes Kegelmoos	<i>oxycladum</i>	302	7	<EG (160 Bq/kg)	
G1-V7	Himbeeren	<i>Rubus idaeus</i>	28,1	16	607	14
G1-V8	Torfmoos	<i>Sphagnum sp.</i>	139	7	216	19
G1-V9	Waldmeister	<i>Galium odoratum</i>	47,1	14	825	13
G1-V10	Eichenfarn	<i>Gymnocarpium dryopteris</i>	453	6	801	12
G1-S1	Streu	<i>Streu</i>	65,0	8	<EG (42,6 Bq/kg)	
G2-V1	Gräser	mixed sample	103	9	539	15
G2-V2	Dornfarn	<i>Dryopteris carthusiana</i>	606	6	572	13
G2-V3	Frauenfarn	<i>Athyrium filix-femina</i>	98,0	10	950	12
G2-V4	Wurmfarn	<i>Dryopteris filix-mas</i>	150	8	741	13
G2-V5	Himbeeren	<i>Rubus idaeus</i>	22,8	16	252	20
G2-V6	Walderdbeeren	<i>Fragaria vesca</i>	10,6	28	209	40
G2-V7	Wald-Sauerklee	<i>Oxalis acetosella</i>	28,1	16	607	14
G2-V8	Tamarisken-Thujamoos	<i>Thuidium tamariscinum</i>	72,8	9	194	25
G2-S1	Streu	<i>Streu</i>	71,3	8	<EG (66,2 Bq/kg)	

Probe	Deutscher Name	Wissenschaftl. Name	$a(\text{Cs-137})$ (Bq/kg DW)	Unsicherheit (%) in 1,65 σ	$a(\text{K-40})$ (Bq/kg DW)	Unsicherheit (%) in 1,65 σ
K1-V1	Gräser	mixed sample	356	6	687	12
K1-V2	Eierschwammerl	<i>Cantharellus cibarius</i>	2080	5	1340	7
K1-V3	Wald-Sauerklee	<i>Oxalis acetosella</i>	180	9	742	16
K1-V4	Torfmoos	<i>Sphagnum sp.</i>	482	6	299	26
K1-V5	Brombeeren	<i>Rubus fruticosus</i>	39,8	14	457	16
K1-V6	Rotstengelmoos	<i>Pleurozium schreberi</i>	308	6	124	40
K1-V7	Heidelbeeren	<i>Vaccinium myrtillus</i>	723	6	164	25
K1-V8	Dornfarn	<i>Dryopteris carthusiana</i>	1110	5	663	12
K1-V9	Frauenfarn	<i>Athyrium filix-femina</i>	919	6	674	14
K1-V10	Buchenfarn Dreilappiges	<i>Thelypteris phegopteris</i>	1670	5	593	15
K1-V11	Peitschenmoos	<i>Bazzania trilobata</i>	921	5	236	19
K1-V12	Sudeten-Zackenmoos	<i>Racomitrium sudeticum</i>	368	6	153	28
K1-S1	Streu	<i>Streu</i>	93,4	8	73,6	40
K2-V1	Sudeten-Zackenmoos	<i>Racomitrium sudeticum</i>	296	6	231	20
K2-V2	Gräser	mixed sample	541	6	816	14
K2-V3	Heidelbeeren	<i>Vaccinium myrtillus</i>	1070	6	409	21
K2-V4	Dornfarn	<i>Dryopteris carthusiana</i>	1980	5	555	15
K2-V5	Frauenfarn Dreilappiges	<i>Athyrium filix-femina</i>	293	7	662	14
K2-V6	Peitschenmoos	<i>Bazzania trilobata</i>	243	7	<EG (150 Bq/kg)	
K2-V7	Rotstengelmoos	<i>Pleurozium schreberi</i>	190	8	134	50
K2-V8	Besen-Gabelzahnmoos	<i>Dicranum scoparium</i>	325	6	121	40
K2-V9	Bergfarn Einseitsw.	<i>Thelypteris limbosperma</i>	645	6	440	22
K2-V10	Kleingabelzahnmoos	<i>Dicranella heteromalla</i>	216	7	<EG (102 Bq/kg)	
K2-S1	Streu	<i>Streu</i>	130	7	<EG (56,7 Bq/kg)	

Von besonderem Interesse sind die Ergebnisse der Beeren, da sie als beliebte Speisen im Wald gesammelt werden (Abb. 6). Um die Werte mit dem gültigen EU Grenzwert der Verordnung (EG) Nr. 733/2008 des Rates vom 15. Juli 2008 von 600 Bq/kg vergleichen zu können sind die Aktivitätskonzentrationen in Bq/kg Frischgewicht angegeben.

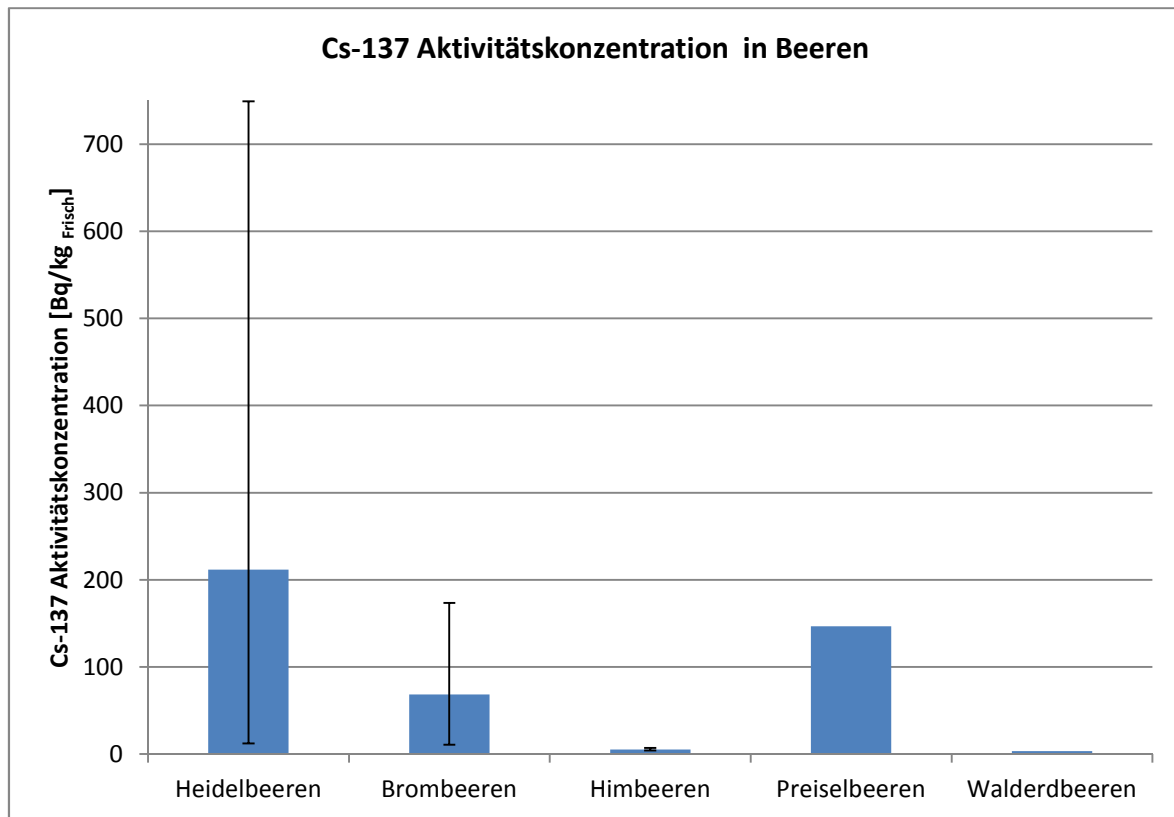


Abbildung 6: $a(\text{Cs-137})$ bezogen auf das Frischgewicht in Beeren gemittelt über alle Standorte. Mittelwerte mit Min. und Max. Werten. Keine Min. und Max. Werte bei Spezies mit nur einem Exemplar.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Genuss von Beeren unbedenklich ist. Lediglich eine Probe der Heidelbeeren überschritt den EU Grenzwert von 600 Bq/kg (Frischgewicht).

Pflanzen- und Streuproben zeigen im Vergleich zu Pilzen und Wildschweinen geringe Cs-137 Kontaminationen. Während Farne vergleichsweise hohe Cäsium Kontaminationen aufzeigen, findet sich nur wenig Cäsium in Gräsern und Streu.

3.2 Ergebnisse der Pilzproben

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der im Weinsberger Wald gesammelten Pilze aufgelistet. Zusätzlich wurde ein Exemplar im Kobernauber Wald gefunden.

**Tabelle 2: Ergebnisse für die Pilzproben; $a(\text{Cs-137})$...Cs-137 Aktivitätskonzentration;
DW...Trockenmasse**

Probe	Wissenschaftl. Name	Deutscher Name	$a(\text{Cs-137})$ (Bq/kg DW)	Unsicherheit (%) in 1.65 σ	$a(\text{K-40})$ (Bq/kg DW)	Unsicherheit (%) in 1.65 σ
K1-V2	<i>Cantharellus cibarius</i>	Eierschwammerl	2080	5	1340	7
WP1	<i>Amanita muscaria</i>	Fliegenpilz	364	6	1400	7
WP2	<i>Calocera viscosa</i>	Bärentatze	1130	5	384	16
WP3	<i>Amanita rubescens</i>	Perlpilz	1470	5	2260	7
WP4	<i>Xerocomus badius</i>	Maronenröhrling	4360	5	1130	8
WP5	<i>Boletus calopus</i>	Schönfuß Röhrling	307	5	1020	7
WP6	<i>Laetiporus conifericola</i>	Nadelholzwefelporling	1090	5	405	8
		Flockenstieler				
WP7	<i>Boletus erythropus</i>	Hexenröhrling	1600	5	796	8
WP8	<i>Russulia albonigra</i>	Mentholschwarztaubling	2950	5	481	9
WP9	<i>Cantharellus cibarius</i>	Eierschwammerl	196	6	902	9
WP10	<i>Xerocomus badius</i>	Maronenröhrling	8390	5	967	8

Dargestellt in einer Grafik ist sichtbar, dass der Maronenröhrling die höchste Cs-137 Kontamination aufweist. Dies liegt an der starken Fixierung von Cäsium durch die Hutpigmente Badien A und Norabadien A [3]. Die sehr beliebten Eierschwammerl weisen teils erhöhte Cäsiumwerte und teils sehr niedrige Cäsiumwerte auf, wie bei den zwei gemessenen Exemplaren ersichtlich ist. Auch hier war eine Überschreitung des Grenzwertes von 600 Bq/kg lediglich bei einer Probe festzustellen.

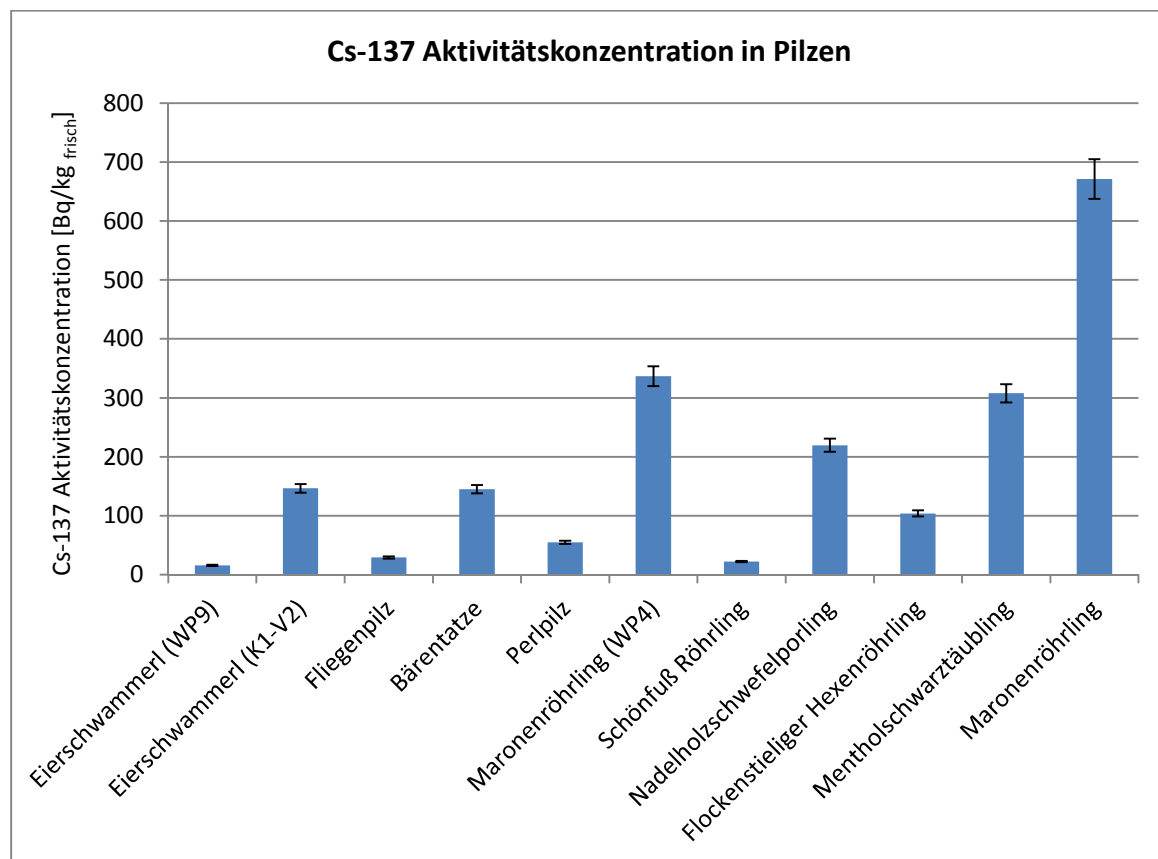


Abbildung 7: $a(\text{Cs-137})$ von den gesammelten Pilzen. Die Unsicherheitsbalken entsprechen der Messunsicherheit der Gammaskpektrometrie.

3.3 Ergebnisse der Bodenproben

Um die Tiefenverteilung von Cäsium zu bestimmen, wurden mittels Stechbohrer Bodenprobenprofilkerne (60 cm) von jedem Standort entnommen.

Tabelle 3: Ergebnisse für die Bodenprobenkerne; $a(\text{Cs-137})$...Cs-137 Aktivitätskonzentration; DW...Trockenmasse; EG...Erkennungsgrenze.

Probe	Tiefe (cm)	$a(\text{Cs-137})$ (Bq/kg DW)	Unsicherheit (%) in 1,65 σ	$a(\text{K-40})$ (Bq/kg DW)	Unsicherheit (%) in 1,65 σ
W1-01	50-60 cm	5,46	11	1270	6
W1-02	40-50 cm	6,45	10	1220	6
W1-03	30-40 cm	51,3	6	1300	6
W1-04	20-30 cm	71,4	6	1160	6
W1-05	15-20 cm	125	6	1180	6
W1-06	10-15 cm	366	5	1080	7
W1-07	5-10 cm	472	5	912	7
W1-08	0-5 cm	1860	5	243	14
W2-01	50-60 cm	2,41	18	1460	6
W2-02	40-50 cm	1,45	25	1140	6
W2-03	30-40 cm	4,94	12	1060	6
W2-04	20-30 cm	28,10	6	1130	6
W2-05	15-20 cm	118	6	1000	6
W2-06	10-15 cm	231	5	1220	6
W2-07	5-10 cm	431	5	562	9
W2-08	0-5 cm	622	6	341	17
W3-01	50-60 cm	1,12	26	856	6
W3-02	40-50 cm	1,98	17	876	6
W3-03	30-40 cm	3,72	13	773	6
W3-04	20-30 cm	16,5	7	782	6
W3-05	15-20 cm	57,8	6	853	7
W3-06	10-15 cm	113	6	625	7
W3-07	5-10 cm	300	6	450	10
W3-08	0-5 cm	248	7	550	15
D1-01	50-60 cm	<EG (0,79 Bq/kg)		975	6
D1-02	40-50 cm	<EG (0,8 Bq/kg)		1040	6
D1-03	30-40 cm	<EG (0,89 Bq/kg)		943	6
D1-04	20-30 cm	3,47	12	821	6
D1-05	15-20 cm	22,8	7	755	6
D1-06	10-15 cm	52,6	6	729	6
D1-07	5-10 cm	47,0	6	650	7
D1-08	0-5 cm	151	6	611	8
D2-01	50-60 cm	<EG (0,86 Bq/kg)		870	6
D2-02	40-50 cm	<EG (0,79 Bq/kg)		892	6
D2-03	30-40 cm	<EG (0,79 Bq/kg)		874	6
D2-04	20-30 cm	<EG (0,88 Bq/kg)		836	6
D2-05	15-20 cm	4,01	12	862	6
D2-06	10-15 cm	29,3	6	740	6
D2-07	5-10 cm	65,1	6	755	6
D2-08	0-5 cm	65,4	6	730	6

Probe	Tiefe (cm)	α (Cs-137) (Bq/kg DW)	Unsicherheit (%) in 1,65 σ	α (K-40) (Bq/kg DW)	Unsicherheit (%) in 1,65 σ
D3-01	50-60 cm	<EG (0,72 Bq/kg)		470	6
D3-02	40-50 cm	0,99	26	454	7
D3-03	30-40 cm	0,76	27	446	6
D3-04	20-30 cm	1,11	23	480	6
D3-05	15-20 cm	5,00	11	464	7
D3-06	10-15 cm	16,7	7	399	7
D3-07	5-10 cm	46,4	6	388	7
D3-08	0-5 cm	108	6	125	15
F1-01	50-60 cm	<EG (0,99 Bq/kg)		1240	6
F1-02	40-50 cm	<EG (1,15 Bq/kg)		1170	6
F1-03	30-40 cm	3,00	14	1110	6
F1-04	20-30 cm	8,91	9	1110	6
F1-05	15-20 cm	15,0	8	1060	6
F1-06	10-15 cm	21,0	7	1040	6
F1-07	5-10 cm	40,0	7	946	6
F1-08	0-5 cm	71,5	9	272	20
F2-01	50-60 cm	1,10	28	1180	6
F2-02	40-50 cm	<EG (1,02 Bq/kg)		1200	6
F2-03	30-40 cm	1,37	25	1150	6
F2-04	20-30 cm	3,77	13	1110	6
F2-05	15-20 cm	1,68	22	1140	6
F2-06	10-15 cm	4,61	13	1180	6
F2-07	5-10 cm	25,1	7	1100	6
F2-08	0-5 cm	81,1	7	564	9
B1-01	50-60 cm	1,20	23	518	12
B1-02	40-50 cm	2,20	16	524	6
B1-03	30-40 cm	1,14	25	490	6
B1-04	20-30 cm	1,24	24	449	7
B1-05	15-20 cm	1,82	20	450	7
B1-06	10-15 cm	3,59	13	443	7
B1-07	5-10 cm	19,3	7	407	7
B1-08	0-5 cm	273	5	359	7
B2-01	50-60 cm	<EG (0,74 Bq/kg)		407	7
B2-02	40-50 cm	<EG (0,75 Bq/kg)		384	7
B2-03	30-40 cm	<EG (0,7 Bq/kg)		361	7
B2-04	20-30 cm	0,83	28	325	7
B2-05	15-20 cm	2,10	16	309	7
B2-06	10-15 cm	8,83	8	361	7
B2-07	5-10 cm	71,1	6	345	7
B2-08	0-5 cm	296	5	178	10
G2-01	50-60 cm	5,16	10	365	7
G2-02	40-50 cm	12,1	9	421	7
G2-03	30-40 cm	26,0	6	324	7
G2-04	20-30 cm	43,1	6	372	7
G2-05	15-20 cm	39,5	7	324	9

Probe	Tiefe (cm)	$a(\text{Cs-137})$ (Bq/kg DW)	Unsicherheit (%) in 1,65 σ	$a(\text{K-40})$ (Bq/kg DW)	Unsicherheit (%) in 1,65 σ
G2-06	10-15 cm	27,5	7	146	10
G2-07	5-10 cm	121	6	336	9
G2-08	0-5 cm	271	6	270	13
K1-01	50-60 cm	2,31	16	397	7
K1-02	40-50 cm	2,75	15	402	7
K1-03	30-40 cm	6,57	10	405	7
K1-04	20-30 cm	11,5	9	330	7
K1-05	15-20 cm	48,4	6	263	9
K1-06	10-15 cm	158	6	255	9
K1-07	5-10 cm	346	5	215	12
K1-08	0-5 cm	339	6	99	40
K2-01	50-60 cm	2,11	16	379	7
K2-02	40-50 cm	7,05	9	406	7
K2-03	30-40 cm	8,62	9	402	7
K2-04	20-30 cm	22,7	7	364	7
K2-05	15-20 cm	28,9	7	338	8
K2-06	10-15 cm	97,7	6	252	10
K2-07	5-10 cm	258	5	210	10
K2-08	0-5 cm	769	5	221	16

30 Jahre nach dem Tschernobyl Unfall befindet sich das meiste Cäsium noch immer in den obersten Bodenschichten (Hauptsächlich 0-5 cm). Ursache für die niedrigen Migrationsraten in Waldökosystemen sind insbesondere die vorhandenen Ton-Humuskomplexe, die Cäsium effektiv fixieren [4].

Als Beispiel ist die Cäsium Tiefenverteilung vom Standort W2 im Weinsberger Wald in Abbildung 4 dargestellt.

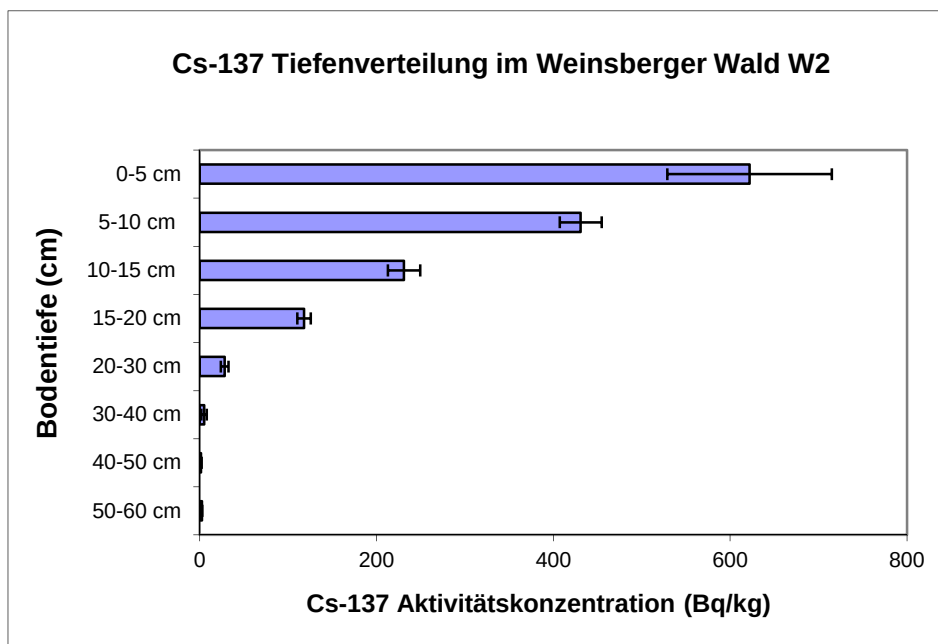


Abbildung 8: Tiefenverteilung von Cs-137 beim Standort W2 im Weinsberger Wald. Die Unsicherheitsbalken entsprechen der Messunsicherheit der Gammaskpektrometrie.

3.4 Ergebnisse der Wildschweinfleischproben

Die Abbildung 9 zeigt die gammaspektrometrischen Messergebnisse der Wildschweinfleischproben. Dafür wurden die Proben nach Herkunft zusammengefasst.

Von 39 Proben waren 26 über dem Grenzwert von 600 Bq/kg. Es wurden mehr Grenzwertüberschreitungen in Proben aus Österreich gemessen als aus Deutschland. In Österreich gab es 15 Grenzwertüberschreitungen von 16 Proben. In Deutschland waren es nur 11 von 23 Proben. Vier Proben aus Niederösterreich können nicht mehr dem genauen Probenahmeort zugeordnet werden. Sie sind entweder aus dem Weinsberger Wald oder dem Dunkelsteiner Wald. Der Höchstwert wurde mit 4710 ± 380 Bq/kg in einer Probe aus dem Dunkelsteiner Wald gemessen. Auch der niedrigste Wert aus Österreich mit 517 ± 41 Bq/kg stammt aus dem Dunkelsteiner Wald.

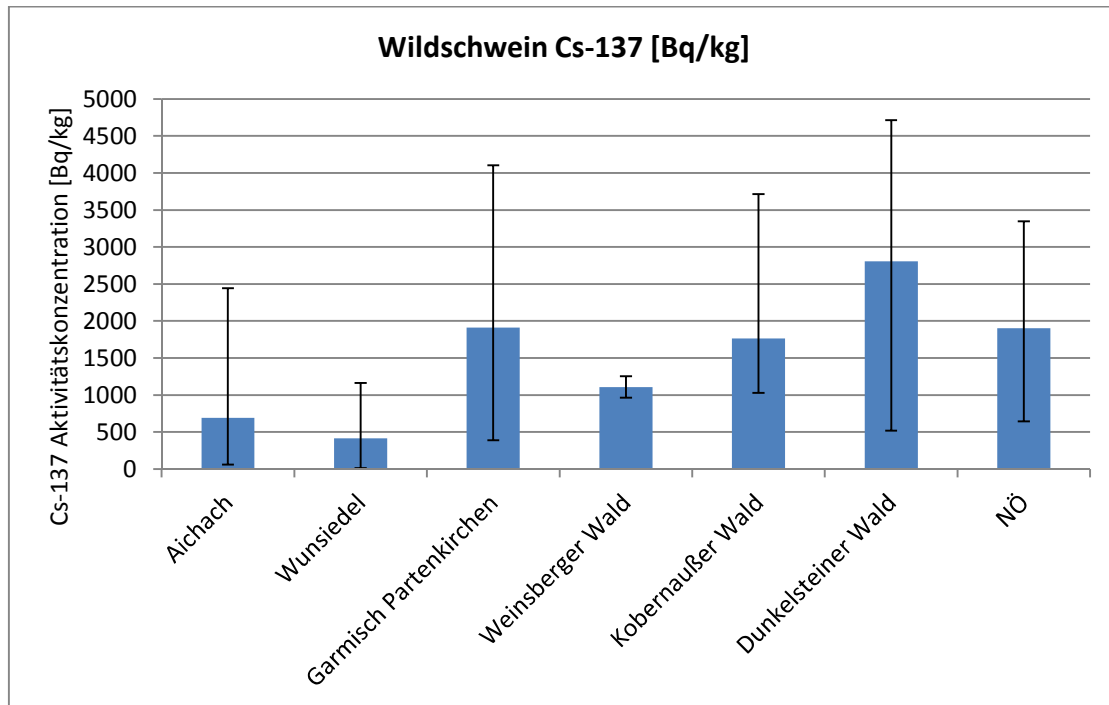


Abbildung 9: Aktivitätskonzentration bezogen auf das Frischgewicht der Wildschweinfleischproben. Die Ergebnisse der verschiedenen Standorte wurden zusammengefasst in Mittelwerte (blau) mit Min. und Max. Werten (schwarz).

Eine Korrelation der Boden Cäsiumwerte mit den Wildschweinwerten war mit diesen Ergebnissen nicht möglich. Allerdings wurde der maximale Wert bei den Bodenmessungen von 1860 ± 90 Bq/kg im Weinsberger Wald in Niederösterreich gemessen und der Maximalwert der Wildschweinproben wie bereits erwähnt im Dunkelsteiner Wald in Niederösterreich. Die Höhe der Aktivitätskonzentration hängt offenbar mehr vom Ernährungsverhalten und weniger von der Herkunft des Wildschweins ab.

3.5 Sr-90 Ergebnisse der Wildschweinknochenproben

Abbildung 10 zeigt die nach Herkunft der Proben zusammengefassten Sr-90 Messergebnisse. Ganz eindeutig wurden die höchsten Werte in Proben aus dem Kobernauber Wald gemessen. Da der Hauptteil des Sr-90 Vorkommens aus den Kernwaffenversuchen des letzten Jahrhunderts stammt, ist dessen Verteilung homogener als die des Cäsiums. Allerdings konnte schon aus Bestimmungen von Rohmilchproben eine erhöhte Konzentration in Proben von höher gelegenen Regionen festgestellt werden [5]. Der Kobernauber Wald ist jedoch nicht höher gelegen als der Weinsberger Wald. Eine weitere Erklärung könnte ein höheres Alter der Tiere sein. Da von diesen Proben aber kein Alter und kein Geschlecht bekannt ist, können dahingehen keine Zusammenhänge geschlossen werden. Allerdings gibt es einen Zusammenhang der Sr-90 Aktivitätskonzentration mit den jährlichen Niederschlagssummen an den jeweiligen Orten, die in Abbildung 11, einer Grafik der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, dargestellt sind. Die jährlichen Niederschlagssummen im Kobernauber Wald sind mit 1000 bis 1500 mm höher als im Weinsberger Wald mit 500 bis 1000 mm.

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Cs-137 und Sr-90 Messungen der einzelnen Proben aufgelistet.

Aufgrund des unterschiedlichen Ursprungs der beiden Radionuklide zeigte sich - wie zu erwarten - keine Korrelation der beiden Radionuklide.

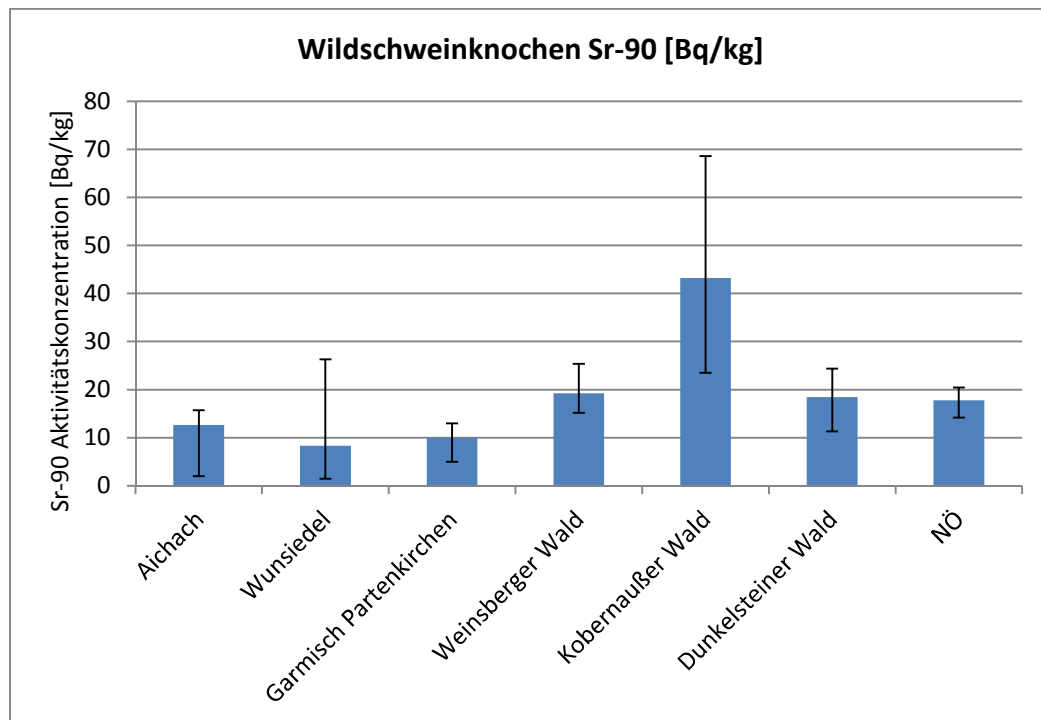


Abbildung 10: Zusammenfassung der gemessenen Sr-90 Aktivitätskonzentrationen der Wildschweinknochenproben. Der blaue Balken zeigt den Mittelwert und der schwarze Balken den Minimal- und Maximalwert

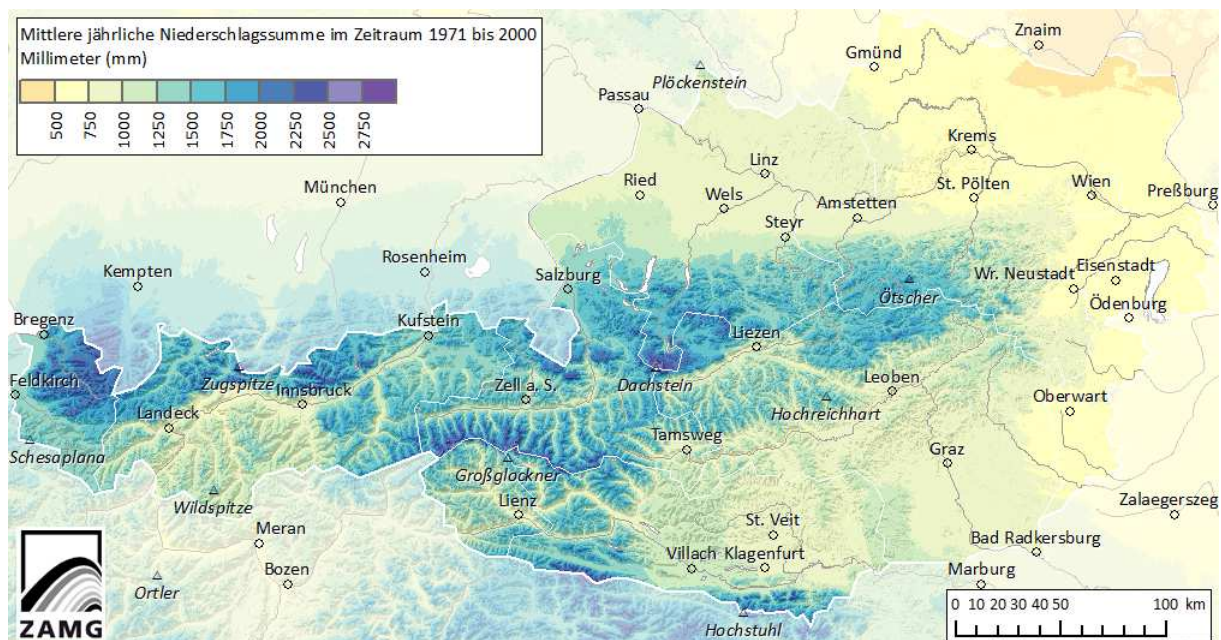


Abbildung 11: Jährliche Niederschlagssummen in Österreich. Grafik der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

Tabelle 4: Ergebnisse der Cs-137 und Sr-90 Aktivitätskonzentration in den Wildschweinproben.

Probe	Herkunft	Cs-137 [Bq/kg]	Unsicherheit [%] 1,65 σ	Sr-90 [Bq/kg]	Unsicherheit [%] 1,65 σ
A1	Aichach	1317	8	13,1	15
A2	Aichach	423	8	13,6	15
A3	Aichach	61,6	8	4,28	15
A4	Aichach	941	8	13,6	15
A5	Aichach	1371	8	2,66	17
A6	Aichach	82,6	8	2,00	18
A7	Aichach	831	8	9,78	15
A8	Aichach	2442	8	15,7	15
A9	Aichach	130	8	12,8	15
A10	Aichach	427	8	12,5	15
A11	Aichach	164	8	15,0	15
A12	Aichach	126	8	4,06	15
WS1	Wunsiedel	1161	8	6,38	15
WS2	Wunsiedel	50,2	8	6,86	15
WS3	Wunsiedel	238	8	7,28	15
WS4	Wunsiedel	65,5	8	26,3	15
WS5	Wunsiedel	962	8	1,85	15
WS6	Wunsiedel	14,9	10	1,44	15
GP1	Garmisch Partenkirchen	390	8	13,0	15
GP2	Garmisch Partenkirchen	1930	8	12,0	15
GP3	Garmisch Partenkirchen	4102	8	n.b.*	
GP5	Garmisch Partenkirchen	2502	8	n.b.*	
GP6	Garmisch Partenkirchen	641	8	4,97	15
WW9	Weinsberger Wald	964	8	15,2	15
WW10	Weinsberger Wald	1103	8	17,3	15
WW12	Weinsberger Wald	1254	8	25,4	15
K1	Kobernausser Wald	1118	8	37,2	15
K2	Kobernausser Wald	3715	8	43,5	15
K3	Kobernausser Wald	1190	8	68,6	15
K4	Kobernausser Wald	1027	8	23,5	15
WW1	Dunkelsteiner Wald	4711	8	17,9	15
WW2	Dunkelsteiner Wald	2021	8	18,2	15
WW3	Dunkelsteiner Wald	4255	8	24,4	15
WW4	Dunkelsteiner Wald	2515	8	20,3	15
WW11	Dunkelsteiner Wald	517	8	11,3	16
WW5	NÖ	2567	8	16,5	15
WW6	NÖ	646	8	20,4	15
WW7	NÖ	1052	8	20,1	15
WW8	NÖ	3346	8	14,2	15

* keine Knochen vorhanden

3.6 Plutonium Ergebnisse der Wildschweinknochenproben

Die Ergebnisse der Plutoniumbestimmungen waren alle unter der Nachweisgrenze.

Die Nachweisgrenzen der Plutonium Messungen lagen für Pu-239/Pu-240 zwischen 32 und 82 mBq/kg und für Pu-238 zwischen 19 und 63 mBq/kg. Die Ausbeute zeigte leider große Schwankungen. Mit einer Erhöhung der Probenmenge sollten niedrigere Nachweisgrenzen erreicht werden. Da allerdings

die Ausbeute auf 20 % sank, konnte keine Verbesserung der Analyse erreicht werden. Die Probleme der Analyse lagen vermutlich bei Matrixstörungen während der Abtrennung. Eine Verbesserung dieser Bestimmungsmethode ist für die Knochenmatrix auf jeden Fall noch erforderlich. Für eine Lösung der aufgetretenen Probleme müssen verschiedene Aufschlussmethoden getestet oder noch weitere Trennungsgänge vor der Säulenabtrennung durchgeführt werden.

4. Schlussfolgerung

Die Messergebnisse zeigen, dass selbst 30 Jahre nach Tschernobyl noch immer erhebliche Cs-137 Aktivitätskonzentrationen im Waldökosystem zu finden sind. Das Cs-137 befindet sich noch immer vor allem in den obersten Schichten der Böden.

Während bei den gemessenen Beeren und Pilzen nur bei einer Probe eine geringe Überschreitung des Grenzwertes von 600 Bq/kg festgestellt wurde, kann es bei Wildschweinfleisch noch immer zu einer 7 fachen Überschreitung kommen. Außerdem wurde bei fast allen Proben aus den, wegen der hohen Aktivitätskonzentrationen im Boden, ausgewählten Regionen in Österreich eine Überschreitung festgestellt. Der höchste wie auch der niedrigste Cs-137 Wert in Wildschweinfleisch, der in Österreich in diesem Projekt bestimmt wurde, stammt aus demselben Waldgebiet (Dunkelsteiner Wald). Dies verdeutlicht, dass neben dem Cs-137 Gehalt im Waldboden (v.a. bedingt durch die Deposition nach Tschernobyl) das Ernährungsverhalten der Tiere eine wichtige Rolle spielt. Auch in bereits früher durchgeführten Projekten zB: „Erhebung der radioaktiven Belastung von Wildbret“ wurden schon erhöhte Werte in Wildschweinen gemessen. Damals kam der Maximalwert von 5800 ± 520 Bq/kg von einem Wildschwein aus dem Kobernaußer Wald.

Bei der Durchführung des Projektes „Cäsium-137 - Belastung von Wildschweinen“ im Jahr 2012 konnte keine Überschreitung des Grenzwertes von 600 Bq/kg bei den Wildschweinproben festgestellt werden. Damals wurden die Proben über einen Großhändler bezogen, der das Fleisch in den Einzelhandel und in die Gastronomie liefert. Die Wildschweine stammten dabei überwiegend aus Niederösterreich und dem Burgenland.

Tabelle 5 zeigt die aus den gemessenen Cs-137 Aktivitätskonzentrationen berechnete Dosis durch den Verzehr.

Tabelle 5: Berechnung der Dosis durch den Verzehr des Wildschweinfleisches mit den höchsten gemessenen Cs-137 Aktivitätskonzentrationen

Cs-137 [Bq/kg]	Dosis durch den Verzehr von 10 Portionen im Jahr (ca. 2,5 kg) in mSv/a
4711	0,153
4255	0,138
4102	0,133
3715	0,121
3346	0,109
2567	0,083
2515	0,082
2502	0,081
2442	0,079
2021	0,066

Der Dosisgrenzwert für Einzelpersonen der Bevölkerung liegt bei 1 mSv/a. Bei einem Verzehr von 10 Portionen Wildschweinfleisch (1 Portion = 250 g) pro Jahr berechnet sich die Dosis durch den Verzehr mit dem Dosiskoeffizienten für die Ingestion von $1,3 \cdot 10^{-8}$ Sv/Bq für Cäsium-137 (gem. 96/29 EURATOM Richtlinie) mit 0,15 mSv/a beim Höchstwert von 4711 Bq/kg. Selbst bei diesem relativ hohen Verehr von Wildschweinfleisch pro Jahr beträgt die dadurch erhaltene Dosis nur 15 % des Dosisgrenzwertes der allgemeinen Bevölkerung. Die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in Österreich durch die Aufnahme von natürlichen Radionukliden mit der Nahrung beträgt ca. 0,3 mSv/a. Also das Doppelte des Dosisbeitrages vom Wildschwein mit 4711 Bq/kg.

Je nach Jahreszeit nehmen Wildtiere unterschiedliche Mengen an Cäsium auf. Generell liegt das Minimum eher im Frühjahr, das Maximum im Herbst und zu Winterbeginn. Der Abschuss der Wildschweine war Ende Mai bis Mitte August. Von Mitte Juni bis Mitte Juli wurden die höchsten Aktivitätskonzentrationen gemessen. Allerdings wurde mit der Zeit auch der Probenahmeort gewechselt. Die Proben aus Deutschland wurden zwischen Ende Mai und Ende Juni gezogen, während Proben aus Österreich Ende Juni bis Mitte August gezogen wurden. Abbildung 12 zeigt die Verteilung der Cs-137 Aktivitätskonzentration über die Monate des Abschusses.

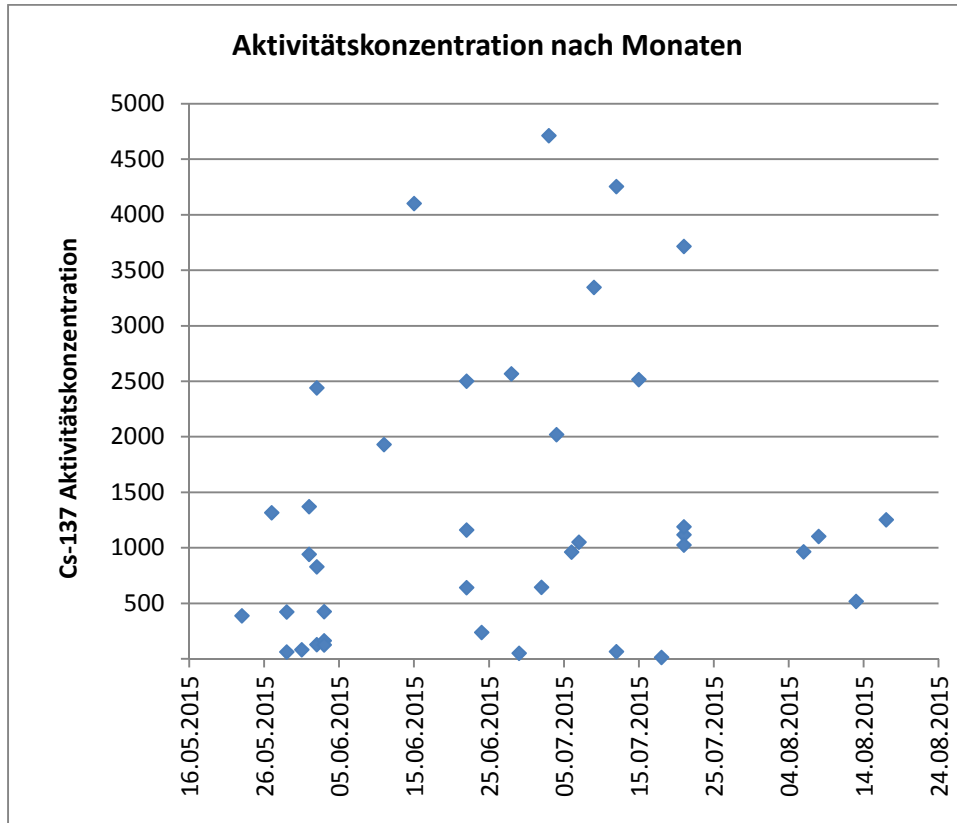


Abbildung 12: Darstellung der Cs-137 Aktivitätskonzentration in Bezug zum Monat der Probenziehung

Abbildung 13 zeigt den Verteilung der Sr-90 Aktivitätskonzentration über die Monate des Abschusses. Hier ist ein deutlicher Peak m 21.7.2016 zu erkennen. Die Proben von diesem Tag stammen alle aus dem Kobernaußer Wald.

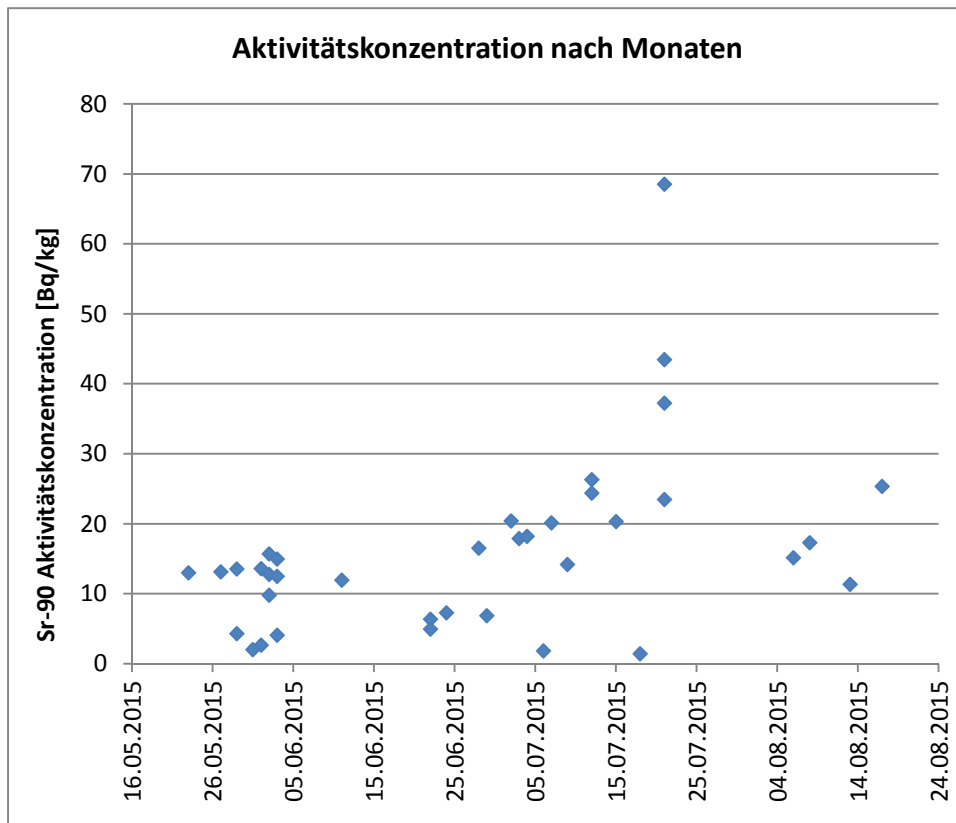


Abbildung13: Darstellung der Sr-90 Aktivitätskonzentration in Bezug zum Monat der Probenziehung

Die Erhöhung der Sr-90 Werte der Wildschweinknochen im Kobernauber Wald ist sehr deutlich festzustellen. Die Sr-90 Aktivitätskonzentrationen korrelieren mit den jährlichen Niederschlagssummen der jeweiligen Orte, die im Kobernauber Wald am höchsten sind. Leider wurden zu den Proben aus dem Kobernauber Wald keine weiteren Daten geliefert. Deshalb können auch keine Rückschlüsse auf zB. das Alter gezogen werden. Die Wildschweine aus Aichach waren 2 – 3 Jahre alt. Alle anderen in diesem Projekt gemessenen Wildschweine (außer aus Aichach und Kobernauber Wald) waren 1 Jahr alt.

Die Plutoniumwerte waren alle unterhalb der Nachweisgrenze.

Die Trennungsmethoden für Sr-90 und Plutonium wurden durch Verwendung der Knochenmatrix getestet. Für Sr-90 konnte eine schnellere Analyse durchgeführt werden, indem ein Trennungsschritt weggelassen wurde. Die Nachweisgrenzen der Plutoniumbestimmung sind mit 0,03 – 0,08 Bq/kg noch zu hoch für eine echte Bestimmung des Plutoniums im Knochen, der laut Literatur zwischen 0,015 und 0,03 Bq/kg liegt [6]. Diese Bestimmungsmethode muss noch für die Knochenmatrix optimiert werden.

5. Literaturnachweis

- [1] Katzlberger et al., *Erhebung der radioaktiven Belastung von Wildbret* (GZ: BMGF-32234/0007-III/B/5/2007), 2009
- [2] Landstetter et al., *Cäsium-137 - Belastung von Wildschweinen* (GZ: BMG-32234/0006-III/B/5/2012), 2012
- [3] Aumann, D.C., et al., *Komplexierung von Caesium-137 durch die Hutfarbstoffe des Maronenröhrlings (Xerocomus badius)*. Angewandte Chemie, Volume 101, Issue 4, April 1989, pp. 495–496.
- [4] Strebl, F., et al., *Cs-137 migration in soils and its transfer to roe deer in an Austrian forest stand*. The Science of the Total Environment 181, 1996, pp. 237-247
- [5] Ditto et al., *Radioaktivität und Strahlung in Österreich 2011 und 2012, Daten und Bewertung*, Juli 2013
- [6] Koelzer W., et al., *Plutonium*, KFK 4516 Kernforschungszentrum Karlsruhe, ISSN 0303-4003, März 1989