

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik
Prof. Dr. Ellen Kienzle

**Eine Feldstudie am Schwarzwild zum Einsatz von
Ammoniumeisenhexacyanoferrat zur Reduzierung der
Radiocäsiumbelastung**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Katja Meinel
aus Hof

München 2008

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. Braun
Berichterstatter:	Univ.-Prof. Dr. Kienzle
Koreferent:	Priv.-Doz. Dr. Breuer

Tag der Promotion: 8. Februar 2008

Meiner Familie

INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG	1
II.	SCHRIFTTUM	3
1.	FRESSVERHALTEN UND ERNÄHRUNG DER WILDSCHWEINE	3
1.1	Fressverhalten der Wildschweine	3
1.2	Nahrungskomponenten.....	10
1.3	Täglich aufgenommene Nahrungsmenge.....	27
1.4	Täglich aufgenommene Menge an Fütterungsbestandteilen.....	28
2.	RADIOCÄSIUM	30
2.1	Herkunft und Entstehungsmechanismen	30
2.2	Strahlenphysikalische Eigenschaften	33
2.3	Kontamination von Böden und Pflanzen.....	35
2.4	Aufnahme von Radiocäsium durch Pflanzen und Pilze	39
2.5	Aufnahme und Kinetik von ¹³⁷ Cäsium im Tierkörper.....	42
2.6	¹³⁷ Cs-Transfer in den Tierkörper	44
3.	¹³⁷CS-BELASTUNG VON SCHWARZWILD NACH TSCHERNOBYL	57
3.1	Messung der Cäsiumaktivität - Grenzwert	57
3.2	¹³⁷ Cs-Kontamination der Wildschweine - zeitlicher Verlauf seit Tschernobyl.....	58
3.3	Jahreszeitlicher Verlauf der Schwarzwildbretkontamination.....	59
3.4	¹³⁷ Cäsium in Nahrungsbestandteilen von Wildschweinen	60
3.5	Hirschtrüffel als Kontaminationsquelle	62
4.	AMMONIUMEISENHEXACYANOFERRAT (AEHCF)	64
4.1	Chemische und physikalische Eigenschaften.....	66
4.2	Wirkung	68
4.3	Abbau.....	70
4.4	Toxikologie	71
4.5	Einsatz und Studien mit Giese-Salz.....	72
4.6	Zulassung als Futterzusatz	79
III.	EIGENE UNTERSUCHUNGEN	81
A.	Material und Methoden	81
1.	VERSUCHSZIEL	81
2.	VERSUCHSPLAN	81
3.	AEHCF - DOSIERUNG	86
4.	VERSUCHSFUTTER	87
5.	VERSUCHSREVIERE	89
5.1	Vorversuchsreviere - Akzeptanzversuch	89
5.2	Versuchsreviere - Langzeitfütterungsversuch.....	94
6.	PROBENNAHME, AUFBEREITUNG	101
6.1	Mageninhaltsprobe.....	101
6.2	Muskelfleischprobe	102
7.	ANALYSE DER MAGENINHALTS- UND MUSKELFLEISCHPROBE	102

Inhaltsverzeichnis

7.1	Bestimmung des Gehaltes an AEHCF im Mageninhalt	102
7.2	Messung der Radiocäsiumaktivität im Muskelfleisch.....	105
8.	STATISTISCHE METHODEN	110
B.	Ergebnisse.....	111
1.	AKZEPTANZVERSUCH	111
1.1	Revier 1	111
1.2	Revier 2.....	113
2.	LANGZEITFÜTTERUNGSVERSUCH.....	113
2.1	Revier 3.....	113
2.2	Revier 4.....	125
IV.	DISKUSSION	128
1.	KRITIK DER METHODE	128
1.1	Versuchsaufbau	128
1.2	Dosierung von AEHCF.....	131
1.3	Verabreichungsform - Pellets.....	134
1.4	Ausbringungsart	135
1.5	Mastjahr.....	136
2.	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	140
2.1	Akzeptanzversuch.....	140
2.2	Futteraufnahme (Revier 3).....	141
2.3	Gebiet G4 nc.....	142
2.4	Mageninhaltsanalyse – AEHCF-Konzentration.....	144
2.5	Cäsiumbelastung	145
3.	SCHLUSSFOLGERUNG.....	147
V.	ZUSAMMENFASSUNG	149
VI.	SUMMARY	152
VII.	LITERATURVERZEICHNIS	155
VIII.	ANHANG	169
IX.	DANKSAGUNG	190

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1:	Unterschiedliche Formen des Brechens nach LEBEDEWA (zitiert nach BRIEDERMANN, 1986)	8
Tab. 2:	Anteil der Mastfrüchte an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)	14
Tab. 3:	Anteil des Getreides an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)	16
Tab. 4:	Anteil der restlichen pflanzlichen Nahrung an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)	17
Tab. 5:	Anteil der unterirdischen pflanzlichen Nahrung an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)	17
Tab. 6:	Anteil der oberirdischen vegetativen Nahrung an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)	18
Tab. 7:	Anteil der Pilze an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)	21
Tab. 8:	Anteil tierischer Nahrung an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)	22
Tab. 9:	Anteil der erdigen und sonstigen Bestandteile an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)	24
Tab. 10:	Anteil der Fütterungsbestandteile an der gesamten Nahrungsmenge	27
Tab. 11:	Täglich aufgenommene Menge an Fütterungsbestandteilen je Wildschwein sowie der prozentuale Anteil an der Gesamtnahrung	29
Tab. 12:	Strahlenphysikalische Daten von ¹³⁷ Cäsium und ¹³⁴ Cäsium	34
Tab. 13:	Biologische HWZ von ¹³⁷ Cäsium unterschiedlicher Spezies (GIESE, 1971)	46
Tab. 14:	Ausscheidungswege und -mengen in Prozent der täglich aufgenommenen Cäsiumdosis	55
Tab. 15:	Zusammenfassung der Unterschiede zwischen Monogastriern und Wiederkäuern	57
Tab. 16:	Studien mit AEHCF	77

Tabellenverzeichnis

Tab. 17:	Zugelassene Fütterungsdosen für das Bindemittel für radioaktives Cäsium ($^{137}\text{Cäsium}$ u. $^{134}\text{Cäsium}$)	79
Tab. 18:	Überblick über den geplanten Versuchsablauf der Schwarzwildfütterungsstudie	82
Tab. 19:	Zusammensetzung, Inhalts- und Zusatzstoffe des Wildschweinfutters	87
Tab. 20:	Form, Menge und Farbe des Versuchsfutters im Akzeptanz- und Langzeitfütterungsversuch	88
Tab. 21:	Übersicht über die vier ausgewählten Gebiete, die Anzahl ihrer Kirrungen, die jeweils ausgebrachte Futtercharge und das Einhalten des Studienprotokolls (Revier 3)	96
Tab. 22:	Übersicht Germanium-Detektoren	108
Tab. 23:	Übersicht Annahme der Futtertröge und aufgenommene Mengen je Trog und Futtercharge (Verum=V / Placebo=P) an Kontrolltagen	112
Tab. 24:	Übersicht Messwerte der 58 erlegten Wildschweine in Revier 3	113
Tab. 25:	Anzahl erlegter Stücke und nutzbarer Proben aus Revier 3	115
Tab. 26:	Durchschnittliche tägliche Futtermenge je KIRRUNG (laut Fütterungstagebuch)	116
Tab. 27:	Einzelwerte des AEHCF-Gehaltes in den Mageninhalten (aufsteigend) von Schwarzwild aus G1-G4 (Revier 3)	118
Tab. 28:	Mittelwerte (MW) der log-AEHCF-Konzentrationen in den Mageninhalten von Schwarzwild aus den vier Gebieten G1-G4 (Revier 3)	119
Tab. 29:	Einzelwerte der gemessenen ^{137}Cs -Aktivitäten (aufsteigend) der Muskelfleischproben von Schwarzwild aus G1-G4 (Revier 3) (\pm Fehler)	120
Tab. 30:	Vergleich der log- ^{137}Cs -Aktivitäten des Schwarzwildmuskelfleisches aus den vier Gebieten G1-G4 (Revier 3)	122
Tab. 31:	Bq-Werte der erlegten Wildschweine in Revier 4	126
Tab. 32:	AEHCF-Konzentrationen im Mageninhalt pro 1g FS u. aufgenommene Gesamtmenge an AEHCF pro Tier u. Tag (Ann. \emptyset 1500g Mageninhalt, FS)	133

Tabellenverzeichnis

Tab. 33:	Bq-MW der Wildschweine aus den Jahren 2005 und 2006, bestimmt für das gesamte Jahr und für die, zu 2007 vergleichbaren Monate (Revier 4)	138
Tab. 34	Tägliche Futteraufnahme, log-AEHCF-Konzentration (Mageninhalt) und log- ¹³⁷ Cs-Aktivität (Muskulatur) im gebietsweisen Vergleich	150
Tab. 35	Feed consumption, log AFCF concentration (stomach contents) and log ¹³⁷ Cs activity (muscle tissue) in the study areas	153

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1:	Entstehungsmechanismus von ^{137}Cs	32
Abb. 2:	Zerfallsschema von ^{137}Cs	34
Abb. 3:	^{137}Cs -Aktivität verschiedener Pilzarten (modifiziert nach FIELITZ, 2005)	41
Abb. 4:	^{137}Cs -Aktivität verschiedener Pflanzenarten (modifiziert nach FIELITZ, 2005)	42
Abb. 5:	Durchschnittlicher Beitrag einzelner Nahrungsgruppen an der ^{137}Cs -Gesamtzufuhr von 70 Wildschweinemägen (FIELITZ, 2005)	62
Abb. 6:	Hirschtrüffel (http:// www.environmental-studies.de)	63
Abb. 7:	Hirschtrüffel im Querschnitt (http:// www.schwammerlkoenig.de)	63
Abb. 8:	Strukturformel einer Einheitszelle AEHCF (modifiziert nach GIESE, 1988)	66
Abb. 9:	Granuliertes Trockenfuttermittel	83
Abb. 10:	Pelletiertes Wildschweinfutter	83
Abb. 11:	Futterpellets mit AEHCF (Verum)	88
Abb. 12:	Futterpellets mit Patentblau (Placebo)	89
Abb. 13:	Verum und Placebo in den Holztrögen	91
Abb. 14:	Futtertröge bedeckelt und beschwert	91
Abb. 15:	Verum in einer Waldlichtung	93
Abb. 16:	Placebo und Verum an Kirrplatz 2	93
Abb. 17:	Placebo und Verum an Kirrstelle 3	94
Abb. 18:	Eine Kirrung gefüllt mit pelletiertem Versuchsfutter in Revier 3	97
Abb. 19:	Abgedeckte Kirrung 1 in Revier 3	97
Abb. 20:	Abgedeckte Kirrung 2 in Revier 3	98
Abb. 21:	Pendelfass	99
Abb. 22:	Betontrog mit pelletiertem Versuchsfutter	100
Abb. 23:	Aufbau einer Gammasspektrometrieanlage	107
Abb. 24:	Geschlossenes Gammasspektrometer	108
Abb. 25:	Geöffnetes Gammasspektrometer	109
Abb. 26:	Gamma-Spektrum einer Schwarzwild-Muskelprobe aus Revier 3	110

Abbildungsverzeichnis

Abb. 27:	Blaue Losung an einer Kirrstelle in G1/P	117
Abb. 28:	Histogramme der \log - ^{137}Cs -Aktivitäten aus den Placebogebieten G1/P+G2/P sowie aus dem Verumgebiet G3/V. Berechnung der Höhe der Reduktion der Cs-Belastung	123
Abb. 29:	Histogramme der \log - ^{137}Cs -Aktivitäten der Muskelfleischproben vom non compliant Gebiet G4nc und dem Verumgebiet G3/V	124

ANHANGSVERZEICHNIS

Anhang 1	Übersicht der in Deutschland durchgeführten Mageninhaltsanalysen vom Schwarzwild	169
Anhang 2	Bodenkontamination mit Radiocäsium in Deutschland 1986 (Bq / m ²)	173
Anhang 3	Fütterungstagebuch (für jede Kurrung)	174
Anhang 4	Übersicht der Futteraufnahme in Revier 3, laut Angaben in den Tagebüchern, nach Gebieten getrennt	176
Anhang 5	Cäsiumkontamination des bayerischen Wildbrets (LGL)	178
Anhang 6	Das Gammaspektrum von ¹³⁷ Cäsium	180
Anhang 7	Cäsiumbelastung von Schwarzwild aus den Vorjahren	181
Anhang 8	Mittelwerte und Standardabweichung der analysierten AEHCF-Konzentrationen in den Schwarzwildmägen aus Revier 3 (Ausgangswerte)	188
Anhang 9	Bq-Mittelwerte und Standardabweichungen der Muskelfleischproben von Schwarzwild aus Revier 3 (Ausgangswerte)	188
Anhang 10	Auszug aus der multiplen Regressionsanalyse zur Bestimmung des Einfluss der Kovariablen auf die log- ¹³⁷ Cs-Aktivität	189

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
AEHCF	Ammoniumeisenhexacyanoferrat
AFCF	ammoniumiron-hexacyanoferrate
Ag	Ausscheidungsgeschwindigkeit
Aufl.	Auflage
β	Beta
Bq	Becquerel
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff
ca.	Circa
Ca	Calcium
CEHCF	Cäsiumeisenhexacyanoferrat
cm	Zentimeter
CN	Cyanid
CO ₂	Kohlendioxid
Cs	Cäsium
d	Tag
d.h.	das heißt
Ø	Durchschnitt
et al.	Mitautoren
etc.	et cetera
Fe	Eisen
Feb.	Februar
[Fe(CN) ₆]	Hexacyanoferrat
Fe ₄ [Fe(CN) ₆] ₃	Eisenhexacyanoferrat
FM	Frischmasse
FS	Frischsubstanz
°C	Grad Celsius
γ	gamma

Abkürzungsverzeichnis

g	Gramm
h	Stunde
ha	Hektar
HWZ	Halbwertszeit
insg.	insgesamt
K	Kalium
keV	Kilo-Elektronenvolt
$K_4[Fe(CN)_6]$	Kaliumhexacyanoferrat
$KFe[Fe(CN)_6]$	Kaliumeisenhexacyanoferrat
kg	Kilogramm
KGW	Körpergewicht
KOH	Kaliumhydroxid
L	Liter
LFU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LGL	Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
Li	Lithium
log	Logarithmus
m	Meter
m^2	Quadratmeter
max.	maximal
mg	Milligramm
Mg	Magnesium
Min	Minute
mind.	mindestens
ml	Milliliter
μg	Mikrogramm
μl	Mikroliter
μm	Mikrometer
mmol	Millimol
μS	mikroSiemens
MW	Mittelwert
n	Anzahl

Abkürzungsverzeichnis

N	Natrium
NaClO ₄	Natriumperchlorat
NaCN	Natriumcyanid
NaOH	Natriumhydroxid
NH ₃	Ammoniak
NH ₄	Ammonium
NH ₄ Cl	Ammoniumchlorid
NH ₄ Fe[Fe(CN) ₆]	Ammoniumeisenhexacyanoferrat
(NH ₄) ₄ [Fe(CN) ₆]	Ammoniumhexacyanoferrat
NH ₄ OH	Ammoniumhydroxid
nm	Nanometer
NN.	Normalnull
Nr.	Nummer
o.g.	oben genannte
Okt.	Oktober
§	Paragraf
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
P	Placebo(gruppe)
p.a.	pro analysis
pers.	persönlich
%	Prozent
R	Retention
Rb	Rubidium
RCs	Radiocäsium
t	Tonne
Tab.	Tabelle
tägl.	täglich
Tf	Transferfaktor
Tf ^{Fl}	Transferfaktor Fleisch
Tf ^{Mi}	Transferfaktor Milch
S.	Seite
s	Sekunde
s.	siehe

Abkürzungsverzeichnis

SCN	Thiocyanat
Sept.	September
s.o.	siehe oben
s.u.	siehe unten
U	Umdrehungen
u.a.	unter anderem
ü.	über
v.a.	vor allem
VO	Verordnung
z.B.	zum Beispiel

I. EINLEITUNG

Noch heute, 20 Jahre nach dem Reaktorunfall im ukrainischen Atomkraftwerk Tschernobyl (26. April 1986), ist das einheimische Schwarzwildbret in einigen regional begrenzten Gebieten Deutschlands radioaktiv mit $^{137}\text{Cäsium}$ kontaminiert. Immer noch überschreiten die gemessenen Cäsiumaktivitätswerte im Muskelfleisch des Schwarzwildes den Grenzwert von 600 Bq / kg FM (VO (EWG) Nr. 737/1990), was ein Verwerfen der Stücke zur Folge hat (LGL, 2005, 2006, s. Anhang 5; Landesjagdverband Bayern: 2. Halbjahr 2006: knapp 7 % und 1. Halbjahr 2007: 10 % der gemessenen Wildschweine oberhalb des Grenzwertes; VAN DER SANT, 2007, pers. Mitteilung).

Die Hauptkontaminationsgebiete des Schwarzwildes in Bayern sind nach Untersuchungen von HECHT (1999, 2000) in Staatsforsten, der Bayerische Wald, gefolgt vom Raum München, sowie Süd- und Ostbayern. Auch in vereinzelt Teilen Mittel- und Oberfrankens werden jedes Jahr erhöhte Cäsiumwerte verzeichnet.

Besonders betroffen ist das Schwarzwildbret (Schwarzwild > Rehwild > Rotwild, HECHT, 1999, 2000; FIELITZ, 2005; LGL, 2005, 2006, s. Anhang 5), denn im Gegensatz zu Reh- und Rotwildfleisch, das seit 1987 eine deutliche Abnahme zu verzeichnen hat, stagniert die ^{137}Cs -Kontamination der Wildschweine auf relativ hohem Niveau (FIELITZ, 2005).

Die im Vergleich höhere Kontamination der Wildschweine liegt in der unterschiedlichen Ernährung der Wildtierarten und der unterschiedlichen Belastung der einzelnen Nahrungskomponenten begründet (FIELITZ, 2005). Wildschweine nehmen im Gegensatz zu den reinen Pflanzenfressern Reh- und Rotwild, neben oberirdischer Nahrung, je nach Verfügbarkeit und Vorliebe, auch stark belastete Nahrungsbestandteile aus tieferen Bodenschichten auf. Zur Dekontamination von Tieren und damit der Lebensmittel tierischen Ursprungs, wurde bereits seit 1971 der Wirkstoff Ammoniumeisenhexacyanoferrat (AEHCF), bekannt unter dem Namen Giese-Salz, erfolgreich in vielen Labor- und

Feldversuchen mit unterschiedlichen Spezies (auch Menschen) eingesetzt. Die Wirkung von AEHCF besteht in einer Hemmung der Cäsiumabsorption im Magen-Darm-Trakt, aufgrund der Bindung der Cäsiumionen und der Ausscheidung mit dem Kot. Je nach Dosierung des oral verabreichten AEHCF, konnte die Muskelfleischbelastung verschiedener Spezies um 50-97 % reduziert werden (Tab. 16). Allerdings ist die Voraussetzung für eine Hemmung der Cäsiumabsorption das Vorhandensein (einer ausreichend hohen Dosis) an AEHCF, während der Verweilzeit der kontaminierten Nahrung im Magen-Darm-Trakt.

Da eine manuelle und regelmäßige Applikation bei Schwarzwild nicht durchführbar ist, sollte überprüft werden, ob in einem Feldversuch mit AEHCF-versetztem Kirmaterial bei einer konsekutiven Aufnahme des Versuchsfutters und kontaminierter Nahrung, eine Reduktion der Radiocäsiumbelastung erreicht werden kann.

II. SCHRIFTTUM

1. FRESSVERHALTEN UND ERNÄHRUNG DER WILDSCHWEINE

1.1 Fressverhalten der Wildschweine

Das Zusammenleben des Schwarzwildes erfolgt in Rotten (Gruppen). Eine Rotte kann aus einer Familiengruppe oder einem Familienverband bestehen (MEYNHARDT, 1989). Während sich eine Familiengruppe aus einer Bache (weibliches Stück), ihrem letzten Wurf (Frischlingsbachen, weiblich und Frischlingskeiler, männlich) sowie verbliebenen weiblichen Stücken des vorletzten Wurfes (Überläuferbachen) zusammensetzt, organisieren sich in einem Familienverband mehrere verwandte Familiengruppen (Bachen, meist Geschwister, mit dem letzten Wurf und den Überläuferbachen, im 2. Lebensjahr, des vorletzten Wurfes) gemeinsam. Die männlichen Stücke verlassen im Alter von 18 Monaten als Überläuferkeiler die Rotte und kehren nur zur Rauschzeit (Begattungszeit), zum Beschlagen der Bachen zurück. Die restliche Zeit ziehen sie als Einzelgänger.

Aufgrund ihres großen Sicherheits- und Schutzbedürfnisses, ist das Schwarzwild durch den erhöhten Freizeit- und Jagddruck überwiegend dämmerungs- und nachtaktiv (MÜLLER und MOENNIG, 1998). Nur in störungsfreien Zonen, wie z.B. Gatterrevieren oder großen, menschenleeren Waldgebieten, lässt sich noch eine ausgeprägte Tagesaktivität feststellen (HENNIG, 1981).

Als Tageseinstände werden vom Schwarzwild im Wald bevorzugt Dickungen mit dicht bewachsenen Böden oder dicken Reisigauflagen gewählt (EISFELD und HAHN, 1998). Auch sumpfige, feuchte Dickichte sind sehr beliebt (MÜLLER und MOENNIG, 1998). Den Tag verbringt die Rotte in der Regel ruhend und

verdauend im Kessel (von der Rotte gegrabenes Loch; BRIEDERMANN, 1986) bzw. das Einzelstück (alte Bachen oder Keiler) im Lager oder einer Mulde liegend (HENNIG, 1981). In den Sommer- und Herbstmonaten werden gerne Getreidefelder als Tageseinstände genutzt (EISFELD und HAHN, 1998), in denen die Wildschweine auch tagsüber mit der Nahrungsaufnahme beschäftigt sind (HENNIG, 1981).

Schwarzwild hat ein außerordentlich hohes Bewegungsbedürfnis und weist Aktivitätsphasen von insgesamt acht bis elf Stunden auf (HENNIG, 1981). Davon nimmt die Nahrungssuche mit 85 % den größten Teil ein.

Die Nahrungsaufnahme dient beim Schwarzwild zusätzlich zur Sättigung auch der Befriedigung des Bewegungsdranges (HENNIG, 1981) und des Erkundungstriebes (FRASER, 1978; MEYNHARDT, 1990).

Beim Nahrungsverzehr sind die Wildschweine ständig in Bewegung. „Meist halten sie sich nur für einige Minuten, selten länger als eine halbe Stunde, auf dem selben Feld auf, dann ziehen sie weiter, brechen hier einige Minuten, fressen dort eine Viertelstunde [...]“ (HENNIG, 1981)

Da das Schwarzwild in der Regel erst mit Beginn der Dämmerung aktiv wird (MÜLLER und MOENNIG, 1998), repräsentiert das Nachtstreifgebiet der Rotte gleichzeitig das Gebiet der Nahrungsaufnahme (EISFELD und HAHN, 1998). MEYNHARDT (1990) begleitete Rotten auf den nächtlichen Streifzügen und stellte folgendes fest: „Ihr Speiseplan richtet sich in der freien Wildbahn nach festen Regeln, wobei sich zufällig anbietende Nahrung nicht verschmäht wird“. Unter der Führung der Leitbache werden zu bestimmten Zeiten immer gleiche Orte zur Aufnahme einer bestimmten Nahrungskomponente aufgesucht (MEYNHARDT, 1989, 1990).

Mit Hilfe telemetrisch markierter Rotten konnten typische Bewegungsmuster von Schwarzwild während der Aktivitätsphase bei Nacht erforscht werden (MÜLLER, 1998). In der Abenddämmerung wird der Tageseinstand verlassen und ein erster Ort zur Nahrungsaufnahme aufgesucht (Wald, Wiese, Fütterung oder Getreidefeld). Je nach Distanz zwischen den Tageseinstandsbereichen im Wald

zur Wald-Feld-Grenze wird mehr (bei geringer Entfernung) oder weniger (bei größerer Distanz, über 1000 m) die Feldflur (Ackerland und Wiese) genutzt (EISFELD und HAHN, 1998). Besonders im Sommer und Herbst bieten landwirtschaftliche Flächen attraktive Nahrungsquellen. Die Rotte verharret eine Weile zur Nahrungsaufnahme, bis sie von der Leitbache weiter, zum nächsten Futteraufnahmeplatz, geführt wird (MÜLLER, 1998). Da die Wildschweine ständig auf Nahrungssuche sind, durchwühlen sie auch den Boden, auf dem Weg zwischen einzelnen Futterstellen, nach allem Fressbaren (MEYNHARDT, 1990). Folglich nimmt das Schwarzwild bei der nächtlichen Nahrungssuche abwechselnd Nahrung aus den Fütterungen, dem Wald und der Feldflur zu sich (MÜLLER, 1998). Diese Aktivitätsphase dauert an, bis sie in den späten Nacht- bzw. frühen Morgenstunden ihren nächsten Tageseinstand erreichen und wieder inaktiv werden.

1.1.1 Brechen als Form der Nahrungsgewinnung

Einen Großteil der Nahrung gewinnt das Wildschwein durch Wühlen in der Streu, dem Humus und den oberen Bodenschichten (BRIEDERMANN, 1986). Das dabei gezeigte Wühlen wird als Brechen bezeichnet und ist die energieaufwendigste Form der Nahrungsgewinnung. Nach FRASER (1978) wird mit der Futteraufnahme beim Brechen gleichzeitig der Erkundungstrieb befriedigt.

Auf der Suche nach Nahrung arbeitet das Schwarzwild hauptsächlich olfaktorisch (mit dem Geruchssinn), aber auch taktil (mit dem Tastsinn) mit Hilfe der an der Rüsselscheibe (Wurf) befindlichen Tastorgane (Sinushaare) (FRASER, 1978; HENNIG, 1981; BRIEDERMANN, 1986). Der Geruchssinn ist der am stärksten ausgeprägte Sinn beim Wildschwein (HENNIG, 1981; SNETHLAGE, 1982). Mit seiner Hilfe kann im Boden verborgene Nahrung, wie Mäusenester, Insektenlarven etc. aufgefunden und auf große Distanzen Jäger und anderes Wild gewittert werden. Auf oder im Boden befindliche, kleine Nahrungsteile (z.B. Getreidekörner)

werden durch die Kombination von Tast- und Geruchssinn aufgespürt (HENNIG, 1981).

Zum Brechen wird der sehr bewegliche, derbe und gummiartige Wurf eingesetzt (BRIEDERMANN, 1986). Dabei wird der obere Rand des Wurfes wie ein Keil in den Boden gedrückt und der Kopf gleichzeitig nach vorne bewegt, sodass die Erde weggeworfen wird. Zur Unterstützung scharren die Wildschweine mit den Vorderläufen oder lassen sich auf die Karpalgelenke nieder, um Widerstand leistende Nahrung aufnehmen zu können (HENNIG, 1981; BRIEDERMANN, 1986). Keiler setzen ihre Waffen (Canini / Eckzähne im Ober- und Unterkiefer) ein, um Steine wegzurollen und Wurzeln durchzureißen (BRIEDERMANN, 1986). Grobe Bodennahrung, wie Kartoffeln, wird mit den Incisivi (Schneidezähnen) abgebissen. Gefangene Tiere werden tot geschüttelt (HENNIG, 1981).

Das Brechen erfolgt gemeinsam im Rottenverband, ohne erkennbare Rangordnung (BRIEDERMANN, 1986). Fremde Artgenossen werden dabei nicht geduldet (MEYNHARDT, 1989, 1990). Auch an den Fütterungen oder im Einstandsgebiet werden sie angegriffen und verjagt (MEYNHARDT, 1990).

Mit dem Brechen wird pflanzliche Nahrung (z. B. Kartoffeln, Wurzeln etc.) aufgenommen, aber auch Pilze und tierische Nahrung (z.B. Insektenlarven, Regenwürmer, ganze Mäusenester etc.) werden aufgespürt und verzehrt (MEYNHARDT, 1990). Gerne bricht das Schwarzwild auch im Boden abgelassener Fischeiche (HENNIG, 1981).

Das Brechen kann auf unterschiedliche Arten erfolgen, abhängig vom jeweiligen jährlichen und jahreszeitlichen Nahrungsangebot, der Art des Waldbestandes und dem Bodentyp (BRIEDERMANN, 1986). Wird dem Schwarzwild genügend oberirdische Nahrung, wie Getreide oder Baumfrüchte, geboten, bricht es weniger. Generell nutzt das Schwarzwild diese Form der Nahrungsgewinnung am häufigsten im Winter und Frühjahr.

LEBEDEWA (zitiert nach BRIEDERMANN, 1986) systematisierte die unterschiedlichen Formen des Brechens der Wildschweine, abhängig von Tiefe und flächenmäßiger Ausdehnung des Wühlens (Tab. 1).

Tab. 1: Unterschiedliche Formen des Brechens nach LEBEDEWA (zitiert nach BRIEDERMANN, 1986)

Hauptform	Unterform	Tiefe	Fläche	Gewonnene Nahrung	Jahreszeit (hauptsächlich)	Ort
Oberflächenwühlen (in der Bodenstreu- schicht)		3-5 cm	großflächig	Regenwürmer, Insektenlarven, oberflächliche Rhizome und Wurzeln	Sommer	Eichen- und Hainbuchenwälder
Bodenwühlen (in tiefer gelegenen Bodenschichten)	diffuses Brechen	8-10 cm, max. bis 30 cm	platzweise bis max. 40 m ²	Wurzeln, Mollusken Regenwürmer, Maikäfer- und Insektenlarven	Winter und Früh- sommer	Wälder, Feldflächen
	flächenweises Brechen	8-10 cm, max. bis 30 cm	0,07-4 ha	Wurzelstöcke, Knollen, Insekten und Regenwürmer	Herbst bis Frühjahr	offene Flächen, ältere Hainbuchen- bestände
	stellenweises Brechen	3-15 cm	Durchmesser von 13-15 cm (oft nestweise nebeneinander)	örtlich gewitterte Einzelobjekte	Frühsommer	Überall
	Ausheben von Gruben (stellenweises Brechen intensiviert)	bis 55 cm	Durchmesser von 1,5-2 m	Wurzelstöcke, Nester und Vorratslager von Kleinnagern	Winter und Frühjahr	Misch- und Hainbuchenwälder

Einerseits bewirkt das intensive Brechen eine Bearbeitung, Belüftung und Auflockerung des Bodens sowie eine Vermischung der oberen Bodenschichten (HENNIG, 1981; BRIEDERMANN, 1986; DRESCHER-KADEN, 1998). Dies verbessert den Boden und fördert die Naturverjüngung (HENNIG, 1981; BRIEDERMANN, 1986). Eine weitere Nutzwirkung ist die Vernichtung von Mäusen und deren Vorratslager sowie von forstlichen Schadinsekten.

Andererseits entstehen durch das Brechen auch ungewünschte Forst- und Flurschäden (HENNIG, 1981). Besonders in den Monaten Mai bis September werden gerne Getreide-, Mais- und Kartoffelfelder aufgesucht. In den Wäldern können junge Forstpflanzen, Eicheln- und Buchensaat sowie Wurzeln (→ Pilzinfektion; BRIEDERMANN, 1986), beschädigt werden (HENNIG, 1981; BRIEDERMANN, 1986).

1.1.2 Weitere Formen der Nahrungsgewinnung

Wildschweine verzehren Grünfütterung (Klee, Gräser, Kräuter) weidend oder selektiv (Himbeerblätter etc., HENNIG, 1981; BRIEDERMANN, 1986). Beim Getreide beißen sie die Ähren (unverzweigter Blütenstand mit ungestielten Blüten längs der gestreckten Hauptachse) oder Rispen (reich verzweigte Blütenstände) ab oder ziehen sie, wie z.B. beim Hafer, durch das Gebrech (Maul) um die Körner abzustreifen. Die Körner werden durchgekaut, die Spelzen und Grannen ausgespuckt (BRIEDERMANN, 1986). Die Maiskörner beißen sie direkt mit den Incisivi ab. Kleininsekten, Puppen, Larven und einzelne Körner können mit Hilfe von Zunge und Unterlippe aufgenommen werden. Puppen und Kokons werden nur zerquetscht und geschluckt. Insekten in morschem Holz beißt das Schwarzwild heraus. Aus Wirbeltieren, Aufbruch und Fallwild werden mit den Incisivi Fetzen herausgerissen. Kleine Nager kauen die Wildschweine und schlingen sie dann ab.

1.2 Nahrungskomponenten

Wildschweine sind Allesfresser (Omnivoren) mit einem ausgeprägten Geruchssinn (FRASER, 1978; HENNIG, 1981; SNETHLAGE, 1982; BRIEDERMANN, 1986; DRESCHER-KADEN, 1998; MEYNHARDT, 1989; PETRAK, 1998; FIELITZ, 2005). Sie werden bei ausreichendem Nahrungsangebot sogar als Feinschmecker und als sehr wählerisch bezeichnet (SNETHLAGE; 1982; MEYNHARDT; 1889, 1990; PETRAK; 1998). Sie bevorzugen bestimmte Kartoffelsorten und können verschiedene Eichelarten unterscheiden (SNETHLAGE, 1982; BRIEDERMANN, 1986; MEYNHARDT, 1990).

Aufgrund ihres breiten Nahrungsspektrums können sie sich gut an unterschiedliche Lebensräume und das jahreszeitlich variierende Angebot anpassen (HENNIG, 1981; BRIEDERMANN, 1986; PETRAK, 1998; FIELITZ, 2005). Außer bei gefrorenen Böden und hohen Schneelagen, haben sie keine Probleme überall ausreichend Futter zu finden (BRIEDERMANN, 1986; PETRAK, 1998).

Um das Nahrungsspektrum des Schwarzwildes genauer bestimmen zu können, analysierte BRIEDERMANN (1976) in verschiedenen Wildforschungsgebieten und anderen Regionen in der intensiv bewirtschafteten Kulturlandschaft der ehemaligen DDR den Mageninhalt von 665 Wildschweinen (gesamte untersuchte Mageninhaltsmenge: 976 kg) in den Jahren von 1963 bis 1966. Die Gebiete schlossen neben Wäldern auch landwirtschaftlich genutzte Flächen ein. Die Untersuchungen erfolgten so schnell wie möglich nach Erlegung, oft direkt vor Ort. Die mengenmäßigen Anteile der Nahrungskomponenten wurden in Gewichtsprozenten (Frischsubstanz, FS) angegeben (Anhang 1, Tab. VIII.1).

Die einzelnen, von den Wildschweinen aufgenommenen Nahrungskomponenten, können nach BRIEDERMANN (1976, 1986) den im Folgenden aufgeführten Nahrungsgruppen zugeordnet werden. Die siebte Gruppe - Fütterung - wurde von EISFELD und HAHN (1998), HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004) sowie FIELITZ (2005) im Rahmen der von Ihnen jeweils durchgeführten Mageninhaltsanalysen als eigenständige Nahrungsgruppe ergänzt.

Die Zuordnung der Schwarzwildnahrung erfolgt zu folgenden Gruppen (BRIEDERMANN, 1976, 1986):

1. **Baummast, Waldsamen und Früchte** (Eicheln, Bucheckern, Kastanien, Haselnüsse, Wildäpfel, Wildbirnen, Heidelbeeren etc.)
2. **Landwirtschaftliche Produkte** (Kartoffeln, Futter- und Zuckerrüben, Getreide, Hülsenfrüchte)
3. **Restliche pflanzliche Nahrung**
 - 3.1 **Unterirdische pflanzliche Nahrung** (Wurzeln, Knollen, Zwiebeln etc.)
 - 3.2 **Oberirdische vegetative Pflanzenteile** (Gräser, Kräuter, Klee etc.)
4. **Pilze** (v.a. Hirschtrüffel)
5. **Tierische Nahrung** (Regenwürmer, Insekten, Kleinnager, Rehwild, Rotwild, Wildschweine etc.)
6. **Erdige und sonstige Bestandteile**
7. **Fütterung**¹⁾ (Mais, Getreide etc.; EISFELD und HAHN, 1998; HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004; FIELITZ, 2005)

¹⁾Dabei wurde versucht das Getreide aus Fütterungen, von dem, von landwirtschaftlichen Nutzflächen (unter Punkt 2. Landwirtschaftliche Produkte), zu unterscheiden. Nach EISFELD und HAHN (1998) wird das Fütterungsgetreide im „[...] ausgereiften und getrockneten Zustand beim Kauen gebrochen“, während das Korn des Feldgetreides „[...] in nicht ganz ausgereiftem Zustand gefressen und dabei beim Kauvorgang gequetscht“ wird.

Zudem werden, im Gegensatz zum geputzten Futtergetreide, auf dem Feld auch Spelzen, Blätter, Halme und beim Mais die Spindel mitverzehrt.

1.2.1 Baummast, Waldsamen und Früchte

Eicheln und Bucheckern stellen für die Wildschweine ganz besondere, bevorzugte Leckerbissen dar (HENNIG, 1981; BRIEDERMANN, 1986; MEYNHART, 1990; HECHT, 1999). Allerdings ist das Angebot an diesen Früchten jährlich variierend, da Eichen und Buchen zu den unregelmäßig Früchte tragenden Baumarten gehören. Man unterscheidet Jahre mit Vollmasten, Halbmasten, Teilmasten, Sprengmasten und Fehlmasten (Samenmenge nimmt in dieser Reihenfolge ab). Eichenbestände weisen alle 8-12 Jahre Vollmasten und alle 5-7 Jahre Halbmasten (KRAHL-URBAN, 1959) auf, während bei der Rotbuche alle 6-7 Jahre eine Voll- und alle 3-4 Jahre eine Sprengmast (BURSCHEL et al., 1964) eintritt.

Nach BRIEDERMANN (1976) spielt die Baummast die entscheidende Rolle bei der Nahrungswahl des Schwarzwildes. Mit der jährlich unterschiedlichen Intensität der Eichel- und Buchenmast variiert auch die weitere Nahrungswahl ganz grundsätzlich. Somit bestimmt das Mastangebot die Art und Menge der aufgenommenen Nahrungskomponenten. Daher wurde das Material von BRIEDERMANN (1976) in Abhängigkeit von der Baummast und dem Flächenanteil der masttragenden Baumarten (Eiche und Rotbuche) in zwei Gruppen geteilt, die die Verhältnisse „Mast“ und „keine Mast“ bzw. „Fehlmast“ darstellen sollen.

In einem Mastjahr werden die Eicheln und Bucheckern im Spätsommer zur Hauptnahrungskomponente, vorausgesetzt das Waldgebiet verfügt über einen ausreichenden Eichen- und Buchenbestand (BRIEDERMANN, 1976, 1986; DRESCHER-KADEN, 1998; EISFELD und HAHN, 1998; MÜLLER und MOENNIG, 1998, FIELITZ, 2005). Nach Untersuchungen BRIEDERMANNNS

(1976, 1986) beträgt der Anteil der Baumast (v.a. Stiel-, Traubeneicheln und Bucheckern) in dieser Zeit bis zu 80 % an der Gesamtnahrungsmenge. Sie sichert die Schwarzwildnahrung bis ins Frühjahr fast komplett ab (BRIEDERMANN, 1986; DRESCHER-KADEN, 1998; EISFELD UND HAHN, 1998; PETRAK, 1998; FIELITZ, 2005). BRIEDERMANN (1976) findet bis in den Juni noch Baumfrüchte mit einem Mengenanteil von 21 % und beschreibt ein Verschwinden der Nahrungskomponente erst im August. Daher definiert er eine Mastperiode auch von September bis August des darauf folgenden Jahres. Im Jahresmittel stellen die Mastfrüchte im Mastjahr 52 % der Schwarzwildnahrung (BRIEDERMANN, 1986).

EISFELD und HAHN (1998), die 430 Mageninhalte von Schwarzwild aus verschiedenen Naturräumen in Baden-Württemberg in den Jahren 1995 (170), 1996 (214) und 1997 (46) untersuchten, geben die Mastfrüchte als zweit bedeutendste Nahrungskomponente an (sie trennen nicht nach Mast- und Fehlmastjahr). Die analysierten Nahrungsbestandteile wurden von ihnen in zwölf Nahrungsgruppen zusammengefasst (hier den sieben oben genannten zugeteilt) und der jeweilige prozentuale Anteil am Gesamtfrischvolumen im Jahresdurchschnitt berechnet (Anhang 1, Tab. VIII.2). Die Mastfrüchte, neben Eicheln und Bucheckern, im geringen Umfang auch Esskastanie, Ahorn, Hainbuche und Haselnuss, hatten im Jahresdurchschnitt einen Anteil von ca. 20 % am Gesamtfrischvolumen.

FIELITZ (2005) untersuchte von Mai 2002 bis August 2004 die mittlere Nahrungszusammensetzung von 70 Wildschweinemägen im östlichen Bayerischen Wald, in unmittelbarer Nähe zu Tschechien. Er berechnete für die einzelnen neun Nahrungsgruppen den jahresdurchschnittlichen mittleren Anteil am Magenfrischgewicht sowie die Häufigkeit des Vorkommens der Gruppen in allen Mägen (Anhang 1, Tab. VIII.5). Für die Früchte (ein geringer Anteil Heidelbeeren und Eberesche enthalten) ermittelte er einen mittleren Anteil von 17,3 % am Magenfrischgewicht (ebenfalls Mast- und Fehlmastjahre nicht getrennt

berücksichtigt). Allerdings weist er daraufhin, dass die Ursache des hohen Anteils an Mastfrüchten in der starken Buchenmast im Herbst 2003 zu finden ist. Erst die Buchenmast ließ den Früchteanteil von 5,8 % auf 17,3 % steigen.

Für Fehlmastjahre oder ein Waldgebiet mit einem unbedeutenden Eichen- und Buchenanteil berechnete BRIEDERMANN (1976, 1986) im Jahresdurchschnitt nur einen Mastanteil von 1 %. Das Schwarzwild muss in diesem Fall auf andere Nahrungskomponenten ausweichen. Es werden verstärkt die Fütterungen angenommen und vermehrt landwirtschaftliche Produkte aufgenommen (BRIEDERMANN, 1976, 1986; HENNIG, 1981; DRESCHER-KADEN, 1998).

Tabelle 2 gibt einen Überblick über den analysierten, prozentualen Anteil der Mastfrüchte an der gesamten Nahrung.

Tab. 2: Anteil der Mastfrüchte an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)

Mastfrüchte	Anteil an der Gesamtnahrung Jahresdurchschnitt (Frischmasse) [%]
BRIEDERMANN (1976, 1986)	
Mast	52
Fehlmast	1
EISFELD und HAHN (1998)	20
FIELITZ (2005)	17,3

1.2.2 Landwirtschaftliche Produkte

Besonders beliebt sind die Kartoffel und andere Hackfrüchte (Feldgemüse, Futterrüben, Zuckerrüben und Mais, BRIEDERMANN, 1976, 1986; HENNIG, 1981; DRESCHER-KADEN, 1998).

Die Kartoffel gehört zur Ernährungsbasis des Schwarzwildes (BRIEDERMANN, 1986, 1976). Im Jahresdurchschnitt macht sie 14 % der Gesamtnahrung in

Mastjahren und 37 % in Fehlmastjahren aus. Bei Fehlmasten werden in den Wintermonaten die Ernterückstände der Kartoffel als Hauptnahrung (60 %) genutzt.

Futterrüben stellen nur eine winterliche Notnahrung dar. BRIEDERMANN (1976) fand sie nur in Fehlmastjahren mit einem Mengenanteil von 1 %, vor.

EISFELD und HAHN (1998) wiesen in den Wildschweinemägen in geringer Menge und nur von Oktober bis Dezember Zuckerrüben nach. Sie stammten wahrscheinlich aus Rotwildfütterungen.

Die Getreide, besonders Mais, Roggen, Hafer und Weizen sind eine wichtige saisonale Hauptnahrung (BRIEDERMANN, 1986; EISFELD und HAHN, 1998). Mais als Vorzugsnahrung und die oben genannten Getreide werden im Juli und August zu den wichtigsten Nahrungskomponenten für das Schwarzwild (HENNIG, 1981; BRIEDERMANN, 1986). Der von EISFELD und HAHN (1998) ermittelte Anteil in diesen Monaten betrug nahezu 50 %, bei BRIEDERMANN (1976, 1986) sogar 60 – 80 %.

Bei Fehlmasten bleibt das Getreide mit einem Anteil von zwei Dritteln an der Gesamtnahrung bis Oktober von herausragender Bedeutung (BRIEDERMANN, 1976, 1986). Im Winter und Frühling fehlt es in Mastjahren fast ganz, während es bei Fehlmasten zu geringem Anteil vertreten ist (BRIEDERMANN, 1976). Im Jahresdurchschnitt wird das Getreide bei BRIEDERMANN (1976) mit 25 % in Fehlmastjahren und 16 % in Mastjahren, bei EISFELD und HAHN (1998) mit durchschnittlich 7 % Beteiligung an der Schwarzwildnahrung angegeben.

Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die jeweiligen Anteile des Getreides an der Gesamtnahrungsmenge.

Tab. 3: Anteil des Getreides an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)

Getreide	Anteil an der Gesamtnahrung Jahresdurchschnitt (Frischmasse) [%]
BRIEDERMANN (1976)	
Mast	16
Fehlmast	25
EISFELD und HAHN (1998)	7

An Hülsenfrüchten wurden v.a. Erbsen, Süßlupinen und Ackerbohnen verzehrt (BRIEDERMANN, 1976). Dabei wird auch bei dieser Nahrungskomponente die Bindung an die Mastverhältnisse deutlich. In Fehlmastjahren war sie von August bis November reichlich vertreten, während sie bei Mast schon ab September nicht mehr nachgewiesen werden konnte. Im Jahresdurchschnitt war sie nur mit geringen Mengenanteilen von 1 % in Mast- und 5 % in Fehlmastjahren vertreten (BRIEDERMANN, 1976, 1986).

1.2.3 Restliche pflanzliche Nahrung

Die restliche pflanzliche Nahrung (unterirdische pflanzliche Nahrung und oberirdische vegetative Pflanzenteile), je nach Flora variierend, stellt neben den Baumfrüchten die quantitative Ernährungsgrundlage des Schwarzwildes dar (BRIEDERMANN, 1986). BRIEDERMANN (1986) berechnete durchschnittliche Anteile von 7 % (Mast-) bzw. 17 % (Fehlmastjahr). Auch die Ergebnisse von EISFELD und HAHN (1998), bei denen Gräser, Kräuter und Wurzeln insgesamt mit einem Mengenanteil von 22 % vertreten waren, sowie der von FIELITZ (2005) ermittelte Mengenanteil von durchschnittlich 44 % (Gräser, Wurzeln und Kräuter), zeigen die Wichtigkeit der Nahrungsgruppe. Tabelle 4 fasst die jeweils berechneten Anteile dieser Nahrungsgruppe an der Gesamtnahrung zusammen.

Tab. 4: Anteil der restlichen pflanzlichen Nahrung an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)

Restliche pflanzliche Nahrung	Anteil an der Gesamtnahrung Jahresdurchschnitt (Frischmasse) [%]
BRIEDERMANN (1986)	
Mast	7
Fehlmast	17
EISFELD und HAHN (1998)	22
FIELITZ (2005)	44

- **Unterirdische pflanzliche Nahrung**

Die unterirdische pflanzliche Nahrung, wie Wurzeln, Zwiebeln, Rhizome und andere unterirdische Pflanzenteile, wird durch das oben beschriebene Brechen gewonnen (BRIEDERMANN, 1986; MEYNHARDT, 1990).

Die Untersuchungsergebnisse bezüglich des Mengenanteils der unterirdischen pflanzlichen Nahrung variieren (Tab. 5).

Tab. 5: Anteil der unterirdischen pflanzlichen Nahrung an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)

Unterirdische pflanzliche Nahrung	Anteil an der Gesamtnahrung Jahresdurchschnitt (Frischmasse) [%]
BRIEDERMANN (1976)	
Mast	2
Fehlmast	7
EISFELD und HAHN (1998)	5
FIELITZ (2005)	12,2

In der ehemaligen DDR enthielten 20 % der untersuchten Mägen unterirdische Pflanzenteile allerdings nur in Spuren (BRIEDERMANN, 1976, 1986). Im Mastjahr wurde diese Komponente von August bis Dezember nicht und von Januar bis

März mit 1 - 5 % nachgewiesen (BRIEDERMANN, 1976). Der Jahresdurchschnitt betrug nur 2 %. In Fehlmastjahren wurde in einigen Mägen ab Oktober, über die Wintermonate bis in den Frühling hinein, ein erhöhter Wurzelverzehr mit größeren Wurzelmenen registriert (maximaler Mengenanteil von 20 % im Februar / März). Der ermittelte Mengenanteil lag im Jahresdurchschnitt bei 7 %.

Die Mageninhaltsanalysen von EISFELD und HAHN (1998) ergaben einen Wurzelanteil (unterirdische Pflanzenteile, auch Rhizome und Knollen, ohne Feldfrüchte) von 5 %. Auffallend waren zwei Regionen mit einem stark erhöhten Anteil im November (50 %) und Mai (30 %).

Im Bayerischen Wald ergab sich bei den Untersuchungen von FIELITZ (2005) ein Wurzelanteil von 12,2 % am Magenfrischgewicht.

- **Oberirdische vegetative Pflanzenanteile**

Auch die Angaben zu Mengenanteilen der oberirdischen vegetativen Pflanzenteile, wie Gräser, Kräuter, Farn, Klee etc. variieren erheblich (Tab. 6).

Tab. 6: Anteil der oberirdischen vegetativen Nahrung an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)

Oberirdische vegetative Nahrung	Anteil an der Gesamtnahrung Jahresdurchschnitt (Frischmasse) [%]
BRIEDERMANN (1976, 1986)	
Mast	5
Fehlmast	10
EISFELD und HAHN (1998)	17
HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004)	29 (49 Sommer; 8 Winter)
FIELITZ (2005)	31,8

Im Bayerischen Wald haben die Blätter von Kräutern, Sträuchern und Bäumen mit 13,4 % und die von Gräsern mit 20,2 % (insgesamt 33,6 %) einen großen Anteil am Magenfrischgewicht (FIELITZ, 2005).

EISFELD und HAHN (1998) ermittelten für die Nahrungskomponente Gräser und Kräuter einen durchschnittlichen Mengenanteil von 17 % im Jahr, mit Maxima in den Monaten April (51 %) und Mai (56 %).

Im Sommer durchschnittlich zur Hälfte mit „Grünem Nahrungsbrei“ (= oberirdische Pflanzenteile, zumeist Kräuter, Gräser, Laub oder Moose) gefüllte Wildschweinemägen fanden auch HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004) bei den makroskopischen Mageninhaltsanalysen 2002 / 2003 im westlichen Pfälzerwald. Es wurden die Mägen von 714 erlegten Wildschweinen gesammelt. Alle Mägen, die einen ausreichenden Inhalt aufwiesen, wurden bezüglich der Zusammensetzung ihrer Nahrungskomponenten analysiert. Ziel war es, die Ursache der erhöhten ¹³⁷Cs-Kontamination des Wildschweinfleisches aufzuklären. Die Mageninhalte wurden dabei in die Nahrungskategorien „Grüner Nahrungsbrei“, „Kirsungsmais“, „Braun-schwarzer, körniger Brei“ und „Sonstiges“ eingeteilt (Anhang 1, Tab. VIII.3) und der Mittelwert der Volumenprozent der Nahrungskategorie (bezogen auf die Frischmasse) ermittelt. Im Winter war die Kategorie „Grüner Nahrungsbrei“ nur mit ca. 8 % vertreten, während sie im Sommerhalbjahr auf 49 % stieg.

Obwohl knapp die Hälfte (49 %) aller analysierten Mägen in der ehemaligen DDR oberirdische, vegetative Pflanzenteile enthielten, ist der Anteil an der Gesamtnahrung mit 5 % bzw. 10 % im Mast- bzw. Fehlmastjahr gering (BRIEDERMANN, 1976, 1986). Dennoch zählen die frischen, grünen Pflanzenteile im Frühsommer zur Hauptnahrung (Maximum im Mai mit 20 % bzw. 40 %). Im Winter stellen sie trotz des geringen Verzehrs eine nicht unwesentliche Notnahrung dar (BRIEDERMANN, 1976).

1.2.4 Pilze

Auch Pilze gehören zum Nahrungsspektrum des Schwarzwildes. Entgegen der Meinung von MEYNHARDT (1990), „[...] dass weder giftige noch ungiftige Pilze

gefressen werden“, wurde ihr Verzehr durch verschiedene Mageninhaltsanalysen belegt.

BRIEDERMANN (1976, 1986) wies Pilzanteile in 33 Mägen (5 %) nach, die im Jahresdurchschnitt 0,1 % der gesamten Mageninhaltsmenge ausmachten. Bezüglich der Pilzarten stellte BRIEDERMANN (1976) fest: „Besonders auffällig ist das recht häufige Vorkommen der Warzigen Hirschtrüffel [...]“. In 30 Mägen waren zwischen Januar und Juli Reste des Hirschtrüffels mit Mengen bis 180 g zu finden. Bei EISFELD und HAHN (1998) lag der Anteil der Pilze durchschnittlich unter 1 %. In zwei Gebieten jedoch, konnten im Juli Mengenanteile von 13 % und 15 % nachgewiesen werden.

Im Bayerischen Wald wurden in 82,9 % aller untersuchten Mägen Pilze mit einem mittleren Anteil von 7,6 % am Magenfrischgewicht ermittelt (FIELITZ, 2005). Wie schon bei BRIEDERMANN (1976) war der Hirschtrüffel besonders häufig, in 81,4 % der analysierten Mägen, mit einem mittleren Anteil von 5,5 % am Magenfrischgewicht, vertreten (FIELITZ, 2005). Neben Hirschtrüffeln wurden in geringen Mengen auch andere oberirdisch fruktifizierende Pilze, wie Maronen, Pfifferlinge, Steinpilze etc. und unterirdisch fruktifizierende wie der Laubtrüffel, nur in Laubwäldern vorkommend, identifiziert. Bis auf eine Ausnahme, den Grauen Streifling, mit einem Mengenanteil von 1,5 %, waren diese Pilzarten mengenmäßig aber ohne Bedeutung.

HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004) untersuchten im Sommerhalbjahr 2002 zusätzlich eine Stichprobe von 38 Mägen (20 maximal belastete Mägen, mit hohem ¹³⁷Cs-Gehalt des Inhaltes und 18 mit geringer Kontamination) mikroskopisch auf Hirschtrüffel, grüne Pflanzen, Wurzeln, Mais / Getreide, tierisches Material, Baumfrüchte und Sonstiges und bestimmten die relative Frequenzverteilung und die Gewichtsanteile (Anhang 1, Tab. VIII.4). Der Hirschtrüffel war in 79 % der Mageninhalte mit einem Gewichtsanteil von 10 % vertreten. Berücksichtigt man nur die 20 stark kontaminierten Mägen, so verdoppelt sich sein Gewichtsanteil nahezu (18 %) und die Nachweishäufigkeit steigt auf 95 %. In den gering belasteten Mägen weist er nur einen Gewichtsanteil von 2 % auf, wurde aber immer noch in 62 % der Mageninhalte gefunden. Die

unterschiedlichen ermittelten Anteile der Nahrungsgruppe Pilze sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Tab. 7: Anteil der Pilze an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)

Pilze	Anteil an der Gesamtnahrung Jahresdurchschnitt (Frischmasse) [%]
BRIEDERMANN (1976, 1986)	0,1
EISFELD und HAHN (1998)	< 1 (in 2 Regionen im Juli: 13 und 15)
HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004) ¹⁾ nur Hirschtrüffel	10 (stark kontaminierte Mägen: 18 Gering kontaminierte Mägen: 2)
FIELITZ (2005)	7,6
nur Hirschtrüffel	5,5

¹⁾ HOHMANN und HUCKSCHLAG nur Sommerhalbjahresdurchschnitt

1.2.5 Tierische Nahrung

Die animalische Komponente, laut MEYNHARDT (1990) nach den Mastfrüchten die beliebteste, weist eine sehr breite Artenpalette auf (BRIEDERMANN, 1986). Allein bei den Mageninhaltsanalysen wurden 80 Tierarten bzw. Gruppen registriert (BRIEDERMANN, 1986). Es fand sich in 66 % aller untersuchten Schwarzwildmägen tierische Nahrung (BRIEDERMANN, 1976). Der ermittelte Mengenanteil dieser Nahrungskomponente an der Gesamtnahrung mit durchschnittlich 4 % bei Mast und 5 % bei Fehlmast ist allerdings im Vergleich zur hohen Nachweishäufigkeit eher gering (BRIEDERMANN, 1976, 1986).

Ähnlich geringe Mengenanteile erhielten auch EISFELD und HAHN (1998), sowie FIELITZ (2005).

EISFELD und HAHN (1998) konnten in allen Monaten Tierreste nachweisen, jedoch mit ebenfalls 4 % der Gesamtnahrung nur in geringer Menge.

FIELITZ (2005) stieß in 47,1 % aller untersuchten Mägen auf die animalische Nahrungskomponente. Allerdings war sie mit 0,9 % des Magenfrischgewichtes nur in Spuren vertreten. Einen Überblick über den Anteil der tierischen Nahrung an der Gesamtnahrung gibt Tabelle 8.

Tab. 8: Anteil tierischer Nahrung an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)

Tierische Nahrung	Anteil an der Gesamtnahrungsmenge Jahresdurchschnitt (Frischmasse) [%]
BRIEDERMANN (1976, 1986)	
Mast	4
Fehlmast	5
EISFELD und HAHN (1998)	4
FIELITZ (2005)	0,9

Im Wesentlichen handelt es sich bei der animalischen Nahrung um Larven bzw. Puppen verschiedener Insekten, um Regenwürmer, kleinere Wirbeltiere sowie Fallwild und Aufbrüche (HENNIG, 1981; BRIEDERMANN, 1986; EISFELD und HAHN, 1998; FIELITZ, 2005).

Durch den Verzehr von Schadinsekten trägt das Schwarzwild zur Schädlingsbekämpfung bei (HENNIG, 1981; BRIEDERMANN, 1986; MEYNHARDT, 1989, 1990; FIELITZ, 2005). Allerdings ist der Insektenanteil bei BRIEDERMANN'S Untersuchungen (1976) an der Gesamtnahrung mit 1,3 % eher unbedeutsam. Zwar werden in Gradationsjahren deutlich mehr Schädlinge aufgenommen, aber die Reduzierung der Schadinsekten durch Fraß ist dennoch nicht ausreichend zu deren Bekämpfung (BRIEDERMANN, 1986).

Neben gelegentlich aufgenommenen, verschiedenen Käferarten und Ameisen (BRIEDERMANN, 1976), fanden sich in geringer Menge Schnakenlarven

(FIELITZ, 2005: in 29 % der Mägen) und Regenwürmer bzw. Regenwurmborsten (EISFELD und HAHN, 1998: in 43 % der Mägen).

Reste von Großsäugern, die BRIEDERMANN (1976) in 13 % (89 Mägen) aller Mägen fand, stellten ein Drittel der tierischen Nahrung und im Jahresdurchschnitt 1 % der Gesamtnahrung. Besonders häufig war Rehwild, daneben auch Dam- und Rotwild vertreten. Fallwild, besonders im Januar / Februar (BRIEDERMANN, 1976, 1986), sowie zurückgelassene Aufbrüche, sind eine vom Schwarzwild sehr begehrte Gelegenheitsnahrung (BRIEDERMANN, 1976, 1986; DRESCHER-KADEN, 1998), „[...] deren Verzehr lediglich durch das Angebot begrenzt wird.“ (BRIEDERMANN, 1976, 1986). HENNIG (1981) und PETRAK (1998) schreiben ihnen aufgrund der schnellen Beseitigung auch eine Rolle als „Gesundheitspolizei“ des Waldes zu.

Auch werden nach BRIEDERMANN (1986) und MEYNHARDT (1990) verendete Haus- und Wildschweine vom Schwarzwild aufgenommen, jedoch keine Mitglieder des eigenen Familienverbandes. Anders sind die Erfahrungen von SNETHLAGE (1982), der nicht bestätigen kann, dass verendete Artgenossen oder Aufbrüche von Sauen in freier Wildbahn verzehrt werden.

Feldhasen werden in geringer Menge verzehrt (BRIEDERMANN, 1976, 1986; FIELITZ, 2005). BRIEDERMANN (1976, 1986) ermittelte Hasenreste in 10 Mageninhalten und FIELITZ (2005) in 2,9 % der untersuchten Mägen.

Von Kleinsäugern finden sich zu jeder Jahreszeit am häufigsten mäuseartige Nager im breiten Nahrungsspektrum des Schwarzwildes (BRIEDERMANN, 1976, 1986; EISFELD und HAHN, 1998; FIELITZ, 2005). EISFELD und HAHN (1998) und BRIEDERMANN (1986) ermittelten sie durchschnittlich in jedem fünften Magen (entspricht bei BRIEDERMANN, 1986, einer Nachweishäufigkeit von 15 %). Allerdings werden sie auch in Gebieten mit Mäuse-Massenvermehrung nicht in größerer Menge aufgenommen (laut BRIEDERMANN, 1976, 1986, verändert sich die gefundene Stückzahl von 1,3 pro Magen nicht, nur die Nachweishäufigkeit verdoppelt sich). Folglich ist nach BRIEDERMANN (1976) Schwarzwild nicht in der Lage Mäusegradationen zu beeinflussen. Ähnliche

Ergebnisse hat FIELITZ (2005) vorzuweisen, der Erdmäuse nur vereinzelt, in 18,6 % der untersuchten Mageninhalte, entdeckte.

Gelegentlich wurden auch Vogelreste in den Wildschweinemägen nachgewiesen. BRIEDERMANN (1976, 1986) gab Reste in 5 % aller untersuchten Mägen (entspricht 33 Mägen) an, FIELITZ (2005) stieß in 5 Fällen (in 8,6 % der Mageninhalte) auf Vogelreste.

Als mengenmäßig unbedeutende Zufallsnahrung konnten teils Reptilien (Blindschleichen, Zauneidechsen und Ringelnattern) und Amphibien nachgewiesen werden (BRIEDERMANN, 1976, 1986; HENNIG, 1981). Auch Fischreste werden vom Schwarzwild verzehrt und Muscheln geknackt (HENNIG, 1981).

1.2.6 Erdige und sonstige Bestandteile

Erdige und sonstige Bestandteile werden bei Aufnahme der unterirdischen Nahrung, wie Wurzeln und Hirschtrüffeln, teils unbeabsichtigt, mitverzehrt (BRIEDERMANN, 1986; FIELITZ, 2005). Die von BRIEDERMANN (1976, 1986) untersuchten Mageninhalte enthielten durchschnittlich 5 %, während FIELITZ 11 % (2005), überwiegend organischen Bodens (Humus: 10,8 %, Mineralboden = mineralischer Skelettanteil: 0,2 %), angibt (Tab. 9).

Tab. 9: Anteil der erdigen und sonstigen Bestandteile an der gesamten Nahrungsmenge (Jahresdurchschnitt)

Erdige und sonstige Bestandteile	Anteil an der Gesamtnahrung Jahresdurchschnitt (Frischmasse) [%]
BRIEDERMANN (1976, 1986)	5
FIELITZ (2005)	11

In manchen Monaten ermittelte BRIEDERMANN (1976, 1986) auch mehr als 10 % (Maxima im Februar mit 12 % und im September mit 11 %) erdige, humose, schleimige und unbestimmbare Bestandteile. Sie stellen nicht nur Ballaststoffe dar, sondern werden teilweise (organische und humose Anteile) der Verdauung zugeführt. Dabei wird auch die Losung von Wiederkäuern, laut BUBENIK (zitiert nach BRIEDERMANN, 1986) wegen des Vitamins B₁₂, in nicht unerheblichem Maße aufgenommen.

1.2.7 Fütterung

Letztlich spielt die Nahrung aus den Fütterungen der Jäger für das Schwarzwild besonders in den Wintermonaten eine bedeutende Rolle (EISFELD und HAHN, 1998; FIELITZ, 2005). Je nach Zweck dient die Fütterung als Ablenkfütterung, KIRRUNG oder Notzeitfütterung. Die Ablenkfütterung soll das Schwarzwild von den landwirtschaftlichen Flächen fernhalten (Wildschadensverhütung) und es möglichst lange im Wald binden bzw. beschäftigen (MEYNHARDT, 1990; HAHN, 1998). Bei der KIRRUNG werden die Wildschweine mit kleineren Futtermengen angelockt, um sie dann leichter erlegen zu können (EISFELD und HAHN, 1998). Mit der Notzeitfütterung wird in den Wintermonaten der Nahrungsengpass bei hohen, geschlossenen Schneedecken und gefrorenen Böden überbrückt.

Für die Schwarzwildfütterungen eignen sich insbesondere Eicheln und Körnermais, aber auch andere Getreidearten, wie z.B. Weizen, Roggen und Hafer sowie Kartoffeln und Futterrüben (MEYNHARDT, 1990). Teilweise werden auch pelletierte Industriefutter oder Obsttrester verfüttert (EISFELD und HAHN, 1998). Das Getreide aus der Fütterung (zu 33 % Körnermais) stellte sich bei EISFELD und HAHN (1998) mit einem durchschnittlichen jährlichen Anteil von 37 % (Mindestwert, da Apfeltrester, Zuckerrüben und pelletiertes Industriefutter nicht eindeutig dem Fütterungsanteil zugeordnet werden konnten und somit in dem Anteil nicht enthalten sind) an der Gesamtnahrung als dominierende

Nahrungsgruppe dar. In den Wintermonaten suchte das Schwarzwild vermehrt Fütterungen auf und der Verzehr des Fütterungsgetreides stieg nochmals deutlich an. Die untersuchten Wildschweine ernährten sich in Baden-Württemberg in den Monaten November bis Februar durchschnittlich zu 41 % von dem Fütterungsgetreide. Diese Nahrungskomponente leistete jeden Monat einen wesentlichen Anteil zur Gesamtnahrungsmenge und zeigte lediglich im August ein Verzehrminimum (11 % der gesamten aufgenommenen Nahrung), zur gleichen Zeit mit dem Maximum der Aufnahme an Feldgetreide.

FIELITZ (2005) fand Fütterungsbestandteile in 79 % der untersuchten Wildschweinmägen im Bayerischen Wald. Der ermittelte mittlere Anteil am Magenfrischgewicht betrug 17,1 % (inklusive Rübenschnitzel und Apfeltrester).

Allerdings ist die aufgenommene Nahrungsmenge an den Fütterungen stark von der verfügbaren Baumast abhängig, die vom Schwarzwild eindeutig bevorzugt wird. In einem Mastjahr ist die Annahme der Fütterungen verringert (DRESCHER-KADEN, 1998). Dies zeigte sich auch in den Untersuchungen von FIELITZ (2005), der während der starken Buchenmast im Herbst 2003 bis in den Februar des nächsten Jahres keine Fütterungsbestandteile nachweisen konnte.

Die Mägen des Schwarzwildes aus dem Pfälzerwald bestanden nach makroskopischer Beurteilung durch HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004) im Sommer (Mai bis September 2002) durchschnittlich zu einem Fünftel aus Kirmmais. Im Winter (Oktober bis Februar 2003) waren Fütterungskomponenten allerdings nur zu 8 % zu finden. Auch in diesem Fall muss der Einfluss der starken Buchenmast im Herbst 2002 im Pfälzerwald als wahrscheinliche Ursache für den starken Rückgang der Fütterungsannahme gesehen werden. Denn die vor allen anderen Nahrungskomponenten bevorzugt aufgenommenen Baumfrüchte (hier zumeist Bucheckern) füllten die Mägen der Wildschweine im Winter 2002 / 03 zu 70 %.

Einen Überblick über die analysierten Anteile der Fütterungskomponente an der Gesamtnahrungsmenge gibt Tabelle 10.

Tab. 10: Anteil der Fütterungsbestandteile an der gesamten Nahrungsmenge

Fütterungsbestandteile	Anteil an der Gesamtnahrungsmenge (Frischmasse) [%]
EISFELD und HAHN (1998)	37 (Jahresdurchschnitt)
FIELITZ (2005)	17,1 (Jahresdurchschnitt)
HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004)	
Sommer	20 (Sommerhalbjahr)
Winter	8 (Winterhalbjahr)

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das omnivore Wildschwein in der Lage ist, „[...] sich kurzfristig und nahezu vollständig auf diejenige Nahrungskomponente einzustellen, die es ihm ermöglicht, in möglichst kurzer Zeit einen hohen Energiegewinn zu erzielen.“ (BRIEDERMANN, 1986). Dies erfolgt mit einem möglichst geringen Energieaufwand. Das bedeutet, die Nahrung kann z.B. in einem Mastjahr fast ausschließlich aus Eicheln und Bucheckern, bei Zugang zu landwirtschaftlichen Nutzflächen überwiegend aus Feldfrüchten oder in Winternotzeiten aus den ständigen Fütterungen bestehen.

1.3 Täglich aufgenommene Nahrungsmenge

Nach BRIEDERMANN (1986) ist die vom Schwarzwild täglich aufgenommene Nahrungsmenge von mehreren Faktoren abhängig:

- dem „altersabhängigen Nährstoffbedarf in Verbindung mit dem Fassungsvermögen des Verdauungstraktes“
- dem „jährlichen, jahreszeitlichen und gebietsweise wechselnden Nahrungsangebot“
- „der bei seiner Gewinnung auftretenden Hindernisse“ (z. B. Störungen, Frost, Schnee etc.)

- „sowie physischer und psychischer Sonderbedingungen“ (z. B. Rausch- und Frischzeiteinflüsse, Erkrankungen etc.)

Die täglich in freier Wildbahn aufgenommene Nahrungsmenge kann ebenfalls mit Hilfe von Mageninhaltsanalysen bestimmt werden.

BRIEDERMANN (1986) leitete davon für das Schwarzwild die Aufnahme folgender Nahrungsmengen (Frischmasse, FM) pro Tag ab:

- für Frischlinge im Sommer: **2 kg**
- für Frischlinge im Herbst und Winter: **3 kg** (max. 5 kg)
- für älteres Schwarzwild: **4 kg** (max. 7 kg)

(maximal mögliche Aufnahme bei Feldfruchtreife und guter Baumast)

Allerdings weist er daraufhin, dass die Menge abhängig von der Jahreszeit und der Mast bzw. Fehlmast stark schwanken kann.

GENOV (zitiert nach BRIEDERMANN, 1986) erhielt bei seinen Analysen in Polen nur jeweils die Hälfte an Mageninhaltsmasse (FM):

- für Frischlinge: **1 kg**
- für Überläufer (im 2. Lebensjahr): **1,5 kg**
- für ältere Stücke: **2 kg** (max. 3,0 - 4,3 kg)

Die von FIELITZ (2005) untersuchten Wildschweinemägen aus dem Bayerischen Wald wiesen durchschnittlich ein mittleres Frischgewicht von **1450 g** (\pm Standardabweichung: 809 g) auf (Minimum: 395 g; Maximum: 4170 g).

HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004) ermittelten im Pfälzerwald ein mittleres Mageninhaltsgewicht (FS) von **985 g**, wobei das Maximum bei 4695 g lag.

1.4 Täglich aufgenommene Menge an Fütterungsbestandteilen

Dem Schwarzwild stehen zusätzlich Fütterungen zur Nahrungsaufnahme zur Verfügung. Diese können, wie bereits oben erwähnt, nach den unterschiedlichen Motivationen der Jäger als Kirmung, Notzeit- oder Ablenkfütterung angelegt sein.

Die von einem Wildschwein aufgenommene Menge an Fütterungsbestandteilen liegt zwischen **200 – 600 g / Tag** (Tab. 11). Zu diesem Ergebnis führen die folgenden Erfahrungswerte und Mageninhaltsanalysen.

Tab. 11: Täglich aufgenommene Menge an Fütterungsbestandteilen je Wildschwein sowie der prozentuale Anteil an der Gesamtnahrung

Quelle	Aufnahme an Fütterungsbestandteilen pro Sau und Tag [g]	Anteil der Fütterungsbestandteile an der Gesamtnahrung [%]
MEYNHARDT (1990)	300 – 500	
BAUER (2006, pers. Mitteilung)	200 – 500	
MANIA (2004)	600	
EISFELD und HAHN (1998)	~555 (Ann.:Ø Mageninhalt: 1500)	37
HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004)	~344,8 (Ann.:Ø Mageninhalt: 985)	35 (Sommerhalbjahr 2002)
FIELITZ (2005)	~ 248 (Ann.:Ø Mageninhalt: 1.450)	17,7

Folglich kann davon ausgegangen werden, dass die Futteraufnahme aus den Fütterungen **13,3 – 40 %** der Gesamtfutteraufnahme beträgt (Annahme: Ø Mageninhalt: 1,5 kg).

2. RADIOCÄSIUM

2.1 Herkunft und Entstehungsmechanismen

- **Herkunft**

Das Alkalimetall Cäsium ist ein weiches, silberweißes Metall, mit einem tiefen Schmelzpunkt bei 28.7° C und verhält sich chemisch wie Kalium (MRAZ und PATRICK, 1957; MRAZ, JOHNSON und PATRICK, 1958; MRAZ, 1959; LENGEMANN, 1969; BAILER, 1988).

1860 wurde es von Bunsen und Kirchhoff im Mineralwasser entdeckt (SMITH und ANS zitiert nach Giese, 1971; TAUBE und RUDENKO zitiert nach BAILER, 1988).

Bei dem gefundenen Isotop $^{133}\text{Cäsium}$ handelt es sich um das einzige natürlich vorkommende, stabile Isotop des Cäsiums (GIESE, 1971, 1986). Es hat keine biologische Bedeutung und ist in Spuren in der Erdrinde sowie im menschlichen und tierischen Gewebe nachweisbar (BUROVINA et al., 1965; SHANNON et al., 1965; GIESE, 1971, 1986).

Alle anderen der 35 bekannten Cäsium-Isotope sind radioaktiv (GIESE, 1971, 1986; SEELMANN-EGGEBERT et al., 1981). Sie entstehen bei Uranspaltung, Kernreaktionen im Reaktor oder bei oberirdischen Atombombenversuchen (GIESE, 1971; BAILER, 1988; MERGENTHAL, 1988).

Bereits in den Jahren zwischen 1954 – 1963 kam es durch oberirdische Kernwaffenversuche weltweit zu radioaktiven Belastungen mit Cäsium (GIESE, 1971, 1988; MERGENTHAL, 1988).

1986 wurden, durch die Explosion eines Reaktors im ukrainischen Atomkraftwerk Tschernobyl (am 26. April), große Mengen radioaktiven Materials freigesetzt (BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006). Aufgrund der damals vorherrschenden Thermik wurden die kontaminierten Luftmassen weit verteilt. Dies führte neben einem radioaktiven Fallout in der Ukraine, Russland und Weißrussland, auch zur Kontamination von Teilen Süd- (Deutschland, Österreich

und Schweiz) und Nordeuropas (England, Schweden, Norwegen und Finnland) (GIESE, 1988; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006).

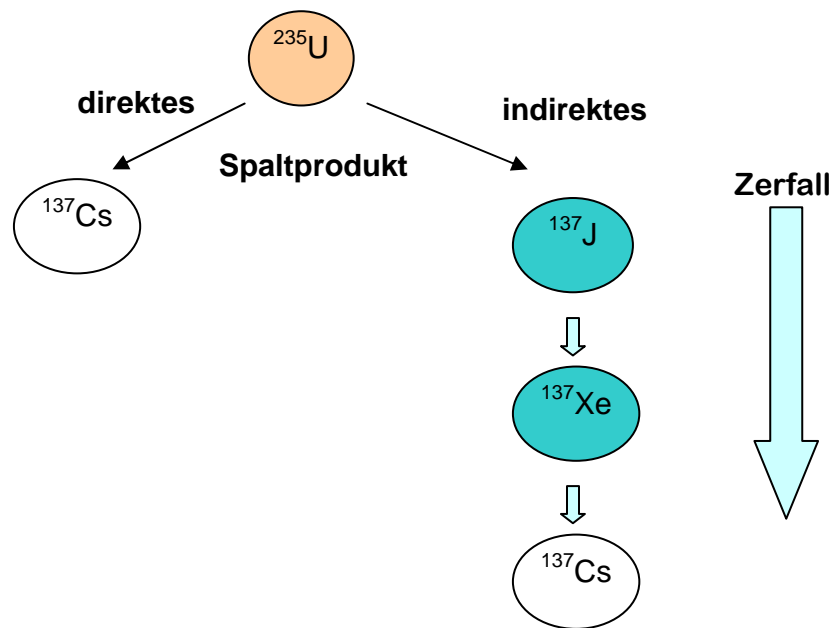
Im radioaktiven Niederschlag wurden neben weiteren kurz- (z.B. ^{131}Jod und ^{132}Jod) und langlebigen Radionukliden (z.B. $^{90}\text{Strontium}$) drei Cäsium-Isotope gefunden: $^{134}\text{Cäsium}$, $^{136}\text{Cäsium}$ und $^{137}\text{Cäsium}$ (GIESE, 1986). Obwohl alle drei durch $^{235}\text{Uran}$ -Spaltung entstehen, ist der Entstehungsmechanismus unterschiedlich (GIESE, 1971).

- **Entstehungsmechanismen**

- $^{137}\text{Cäsium}$**

Als Abfallprodukt in Kernanlagen fällt das Isotop zum einen direkt, als unmittelbares Spaltprodukt bei der Spaltung von $^{235}\text{Uran}$ an (GIESE, 1971). Zum anderen entsteht es auch mittelbar, über bei der Uranspaltung anfallendes ^{137}Jod , welches über $^{137}\text{Xenon}$ zu $^{137}\text{Cäsium}$ zerfällt (Abb. 1).

Die Spaltausbeute von $^{137}\text{Cäsium}$ bei der Uranspaltung beträgt 6,2 % (GIESE, 1971, 1986). Unter der Spaltausbeute eines Nuklids wird nach FRIEDLANDER und KENNEDY (1961) der Prozentsatz der Spaltungen verstanden, die direkt oder indirekt zu diesem Nuklid führen. Das bedeutet, dass bei 6,2 % der gespaltenen $^{235}\text{Uran}$ -Kerne ein ^{137}Cs -Isotop erzeugt wird.

Abb.1:Entstehungsmechanismus von ^{137}Cs

^{136}Cs

Das ^{136}Cs -Isotop wird mit einer nur sehr geringen Spaltausbeute von 0,007 % direkt beim Spaltprozess von ^{235}U erzeugt (GIESE, 1971; MERGENTHAL, 1988). Die indirekte Entstehung aus ^{136}J wird über das stabile ^{136}Xe verhindert (GIESE, 1971). Weiterhin entsteht im Kernreaktor ^{136}Cs durch Neutroneneinfang von ^{135}Cs , welches aus ^{135}Xe stammt (GIESE, 1971; MERGENTHAL, 1988). Aufgrund der geringen Spaltausbeute und der kurzen physikalischen Halbwertszeit (HWZ) von 12,9 Tagen ist das Isotop strahlenbiologisch nicht von Bedeutung (GIESE, 1971).

^{134}Cs

Eine explosive ^{235}U -Spaltung führt mit 0,01 % zu einer nur geringen Spaltausbeute von ^{134}Cs (GIESE, 1971; BUNZL, 1986). Zusätzlich entsteht das Isotop im Reaktor als Aktivierungsprodukt durch Neutroneneinfang von ^{133}Cs (BUNZL, 1986).

2.2 Strahlenphysikalische Eigenschaften

Die bedeutenden physikalischen Parameter der radioaktiven Isotope sind Art und Energie der Strahlung sowie die physikalische HWZ (GIESE, 1971), die für die zwei bedeutenden Isotope $^{137}\text{Cäsium}$ und $^{134}\text{Cäsium}$ dargestellt und in Tabelle 12 zusammengefasst werden. (Die physikalische HWZ ist die Zeit, in der die Hälfte der vorhandenen instabilen Kerne zerfällt. Nach einer HWZ ist noch die Hälfte der Ausgangsaktivität, nach zehn HWZ nur noch ca. ein Tausendstel vorhanden, <http://www.meduni-marburg.de/stpg/ukm/lb/nuklearmed/nukleus/main.html>).

$^{137}\text{Cäsium}$

Das Isotop zerfällt unter Aussendung von β^- -Strahlung mit einer physikalischen HWZ von 30 Jahren zu 6,5 % in stabiles $^{137}\text{Barium}$ und zu 93,5 % in das metastabile Tochterisotop $^{137\text{m}}\text{Barium}$ (GIESE, 1971, 1986; SEELMANN-EGGEBERT et al., 1981). $^{137\text{m}}\text{Barium}$, immer vergesellschaftet mit $^{137}\text{Cäsium}$ vorkommend, zerfällt unter Aussendung von γ -Strahlung und einer physikalischen HWZ von 2,5 Minuten wiederum zu $^{137}\text{Barium}$ (GIESE, 1971). Abbildung 2 zeigt das Zerfallsschema von $^{137}\text{Cäsium}$.

Aufgrund der kurzen HWZ stellt sich sehr schnell ein radioaktives Gleichgewicht zwischen $^{137\text{m}}\text{Barium}$ und $^{137}\text{Cäsium}$ ein, sodass die gammaspektrometrische Messung der γ -Aktivität von $^{137\text{m}}\text{Barium}$ gleichzeitig dem quantitativen Nachweis (Aktivität) von $^{137}\text{Cäsium}$ dient (BAILER, 1988; MERGENTHAL, 1988). Die aufwendige β^- -Messung entfällt (BAILER, 1988).

Aufgrund der hohen Spaltausbeute und der langen physikalischen HWZ spielt $^{137}\text{Cäsium}$ die größte Rolle (GIESE, 1971, 1986).

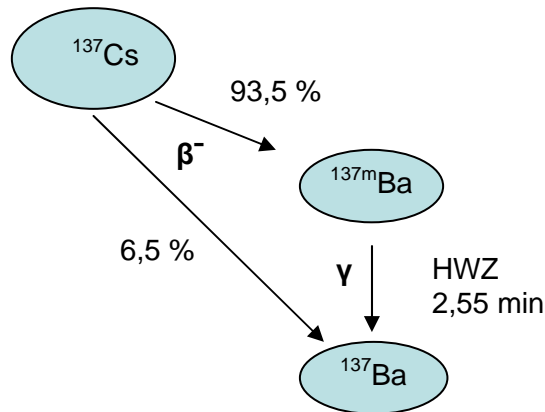


Abb. 2: Zerfallsschema von $^{137}\text{Cäsium}$

$^{134}\text{Cäsium}$

$^{134}\text{Cäsium}$ zerfällt mit einer physikalischen HWZ von 2,4 Jahren zu $^{134}\text{Barium}$. Bei seinem Zerfall kommt es zur Emission von β^- -Strahlung und γ -Strahlung (GIESE, 1971, 1986). $^{134}\text{Cäsium}$ wurde teils für Studien über das Verhalten von Cäsium im tierischen Organismus hergenommen (Giese, 1971).

Tab. 12: Strahlenphysikalische Daten von $^{137}\text{Cäsium}$ und $^{134}\text{Cäsium}$

Isotop	Strahlungsart	Ausbeute bei	Energiemaxima	Physikalische
		Uranspaltung	[MeV]	HWZ
		[%]		[Jahre]
^{137}Cs	β^- γ (aus Tochterisotop $^{137\text{m}}\text{Ba}$)	6,2	0,52; 1,18 0,66	30
^{134}Cs	β^- γ	0,01	0,65 0,6; 0,8	2,4

Die Radioaktivität ist definiert als die mittlere Anzahl der Zerfälle pro Zeiteinheit. Die Maßeinheit für die radiologische Aktivität eines Materials ist das Becquerel (Bq). Es gibt die Anzahl der Kernzerfälle pro Sekunde an. Folglich gibt 1 Bq einen Zerfall pro Sekunde an (STMLU, 1999).

2.3 Kontamination von Böden und Pflanzen

Nach Freisetzung in die Atmosphäre kommt es abhängig von der Menge der freigesetzten Radionuklide und der Thermik zu einer Ausbreitung der kontaminierten Luftmassen (MERGENTHAL, 1988). Durch die Niederschläge gelangen die radioaktiven Stoffe auf die Erdoberfläche und treten in die Nahrungskette ein (BAILER, 1988; MERGENTHAL, 1988; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006).

In Deutschland wurde aufgrund heftiger lokaler Niederschläge nach dem Tschernobyl-Unfall besonders Süddeutschland, in Bayern vor allem die östlichen Mittelgebirge und der Voralpenraum / Südbayern (HECHT, 1999, 2000; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006), mit radioaktivem Fallout stark kontaminiert (s. Bodenkontaminationskarte, Anhang 2, Abb. VIII.1) Mit dem veränderten Aktivitätsverhältnis von $^{137}\text{Cäsium}$ zu $^{134}\text{Cäsium}$, von 2 : 1 unmittelbar nach dem Unglück und 150 : 1 knapp 15 Jahre danach, wird deutlich, dass nur noch das langlebige $^{137}\text{Cäsium}$ eine Rolle spielt (HECHT, 1999, 2000; STMLU, 1999; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006). Aufgrund seiner physikalischen Halbwertszeit ist es erst zu knapp 40 % zerfallen (BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006).

- **Unmittelbare Kontamination**

Die unmittelbare Kontamination der Pflanzen erfolgt durch die oberflächliche Ablagerung des Radiocäsiums auf den Blättern und Stielen (KREUZER, 1964; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006). Durch die gute Wasserlöslichkeit der Cäsiumsalze werden diese kutan in die Pflanze absorbiert (KREUZER, 1964).

- **Langfristige Kontamination**

Langfristig wird das Radiocäsium über die Wurzeln aus dem Boden bzw. von Pilzen über deren Myzel (Pilzgeflecht) aufgenommen (FIELITZ, 2005; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006). Zur Aufnahme steht nur der Teil

des Cäsiums zur Verfügung, der nicht im Boden gebunden ist und sich im Einzugsbereich der Wurzeln und Myzelien befindet.

- **Migration der Nuklide**

Im Laufe der Zeit wandern die Radionuklide langsam aber kontinuierlich in tiefere Bodenschichten und damit außerhalb der Wurzelzone (Migration; FIELITZ, 2005). Die Migrationsrate hängt von der Zusammensetzung des Bodens ab (GIESE, 1986; STMLU, 1999; FIELITZ, 2005;).

- **Verhalten in unterschiedlichen Bodentypen (allgemein)**

Das Abwandern in tiefere Bodenschichten sowie die Fixierung und Lage der Radionuklide im Boden, sind abhängig von der Beschaffenheit des Bodens, wie Bodenart, pH-Wert und Nutzung (STMLU, 1999; FIELITZ, 2005; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006).

In Böden mit einem hohen Gehalt an Ton und Mineralstoffen, sind Tonminerale wie Vermiculit (poröse Mineralien, die durch Alkaliverlust und Wasseraufnahme aus verschiedenen Glimmerarten entstanden sind, GIESE, 1971) und Illit (SCHULZ et al. zitiert nach BAILER, 1988) in der Lage die Cäsiumionen zu fixieren (STMLU, 1999; FIELITZ, 2005; UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V., 2005).

In neutralen oder basischen Böden mit einem pH-Wert $> 5,5$ werden die Cäsiumionen so fest an Ton- und Humuspartikel gebunden, dass sie von den Wurzeln nahezu nicht mehr aufgenommen werden können (HECHT, 1999, 2000). Somit wird das Radiocäsium sehr effektiv adsorbiert (gutes Bindungsverhalten) und der Transfer der Cäsiumionen in Pflanzen oder Pilze reduziert. Allerdings verzögert sich dadurch die Migration des Nuklids in tiefere Bodenschichten und damit außerhalb des Einzugsbereichs von Wurzeln und Pilzmyzel (GIESE, 1986; STMLU, 1999; UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V., 2005).

Da sich Cäsium chemisch wie Kalium verhält, lässt sich mit der Kaliumdüngung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ein Verdrängungseffekt erreichen (Bailer, 1988; HECHT, 1999, 2000). Die Kaliumatome verdrängen bzw. ersetzen die

Cäsiumionen und werden anstelle der Radionuklide von Wurzeln und Myzelien aufgenommen (HECHT, 1999, 2000).

Folglich steigt die Pflanzenverfügbarkeit von Cäsium mit sinkendem Gehalt an Tonmineralen, sinkendem pH-Wert und zunehmender Kaliumarmut. Auch saure Humus- oder Nadelaufgaben, häufig in den Wäldern Ostbayerns, die das Radiocäsium weniger gut binden, machen das Radionuklid leicht verfügbar für Bodenorganismen, Pflanzen und Pilze (STMLU, 1999; FIELITZ, 2005; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006). Jedoch erfolgt in diesen Bodentypen, besonders auch in sandigen Böden, ein schnelleres Absinken der Radionuklide in tiefere Bodenschichten unterhalb der Pflanzenwurzelzone (GIESE, 1986; STMLU, 1999).

- **Verhalten auf landwirtschaftlichen Nutzflächen**

Auf landwirtschaftlichen Nutzflächen mit hohem Mineralboden- und niedrigem Humusanteil, einem hohem pH-Wert, Bearbeitungs- (Einarbeitung der oberen organischen Auflageschicht und Durchmischung) und Düngungsmaßnahmen (Kalkung und Mineraldüngung; Hecht 1999, 2000) spielt das Radiocäsium als Kontaminant keine Rolle mehr (HECHT, 1999, 2000; STMLU, 1999; HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004; FIELITZ, 2005; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006). Landwirtschaftliche Erzeugnisse sind demnach nur gering mit Cäsium kontaminiert (HECHT, 1999, 2000; HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006).

- **Verhalten in Wald- und Moorgebieten**

Im Gegensatz dazu, weisen Pflanzen oder Pilze aus Wald- und Moorgebieten in der Regel eine höhere Radiocäsiumbelastung auf (HECHT, 1999, 2000). Die meisten der Böden dort, zeichnen sich durch Boden-pH-Werte $< 5,5$, eine Kalium- und Mineralarmut sowie einen hohen organischen Anteil aus (HECHT, 1999, 2000; FIELITZ, 2005; UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V., 2005; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006). Dies führt zwangsläufig zu einer erhöhten

Kontamination der in diesen Gebieten lebenden und sich überwiegend von diesen Pflanzen und Pilzen ernährenden Wildtiere und ihres Wildbrets (STMLU, 1999; HECHT, 1999).

In den Wald- und Moorökosystemen bleibt das ^{137}Cs dem Biokreislauf („Aufnahme, Blattfall / Tod, Humifizierung, Mineralisation, erneute Aufnahme etc.“; HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004, S.9) sehr lange erhalten (UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V., 2005; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006).

Laut HECHT (1999, 2000) hat sich ein eigener ^{137}Cs -Kreislauf analog dem Kaliumkreislauf entwickelt. Die Böden weisen im Gegensatz zu Ackerflächen, dicke organische Auflageschichten (Humusaufgabe) auf den Mineralböden auf (FIELITZ, 2005; UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V., 2005; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006). In diesen organischen Schichten, reich an Bodenorganismen und Nährstoffen, werden die Radionuklide nach Zersetzung von Fichtennadeln, Laub, Ästen und Zapfen wieder frei (UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V., 2005; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006). Gut pflanzenverfügbar, werden sie sehr schnell erneut von Wurzeln und Myzelien aufgenommen, ein neuer Zyklus beginnt. Folglich gelangen die Radionuklide hier kaum bis in die tieferen, mineralischen Bodenschichten, in denen sie fixiert und dadurch dem Kreislauf entzogen werden könnten (BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006).

In Nadelwäldern bleibt das ^{137}Cs noch länger erhalten als in Laubwäldern (BLOCK zitiert nach HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004). Die Nadelbäume wirken durch die dichte Oberfläche als großflächige Filter (filtern mit Nadeln radioaktive Partikel aus der Atmosphäre und führen sie durch Abwurf der ältesten Zapfen / Nadeln dem Boden wieder zu), während im Laubwald die Fallout- und Ausfilterwirkungen geringer sind (HECHT, 2000; UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V., 2005).

- **Tiefenverteilung des ^{137}Cs im Waldboden**

FIELITZ (2005) entwickelte ein Modell zur Beschreibung der Tiefenverteilung von ^{137}Cs im Waldboden. Dabei wird der Boden in 2 cm Kompartimente eingeteilt, in denen Migration, Fixierung und Desorption (fixierte Radionuklide in der Wurzelzone werden desorbiert und sind für die Wurzelaufnahme wieder verfügbar) stattfinden. Die Untersuchung der verschiedenen Bodenprofile zeigte nach fast 20 Jahren eine Verlagerung des überwiegenden Teils der ^{137}Cs -Aktivität in tiefere Bodenschichten. In den ersten Jahren nach Tschernobyl wiesen hauptsächlich die oberen organischen Schichten (bis 7 cm Tiefe) eine hohe Kontamination auf. 2004 lag das Maximum der ^{137}Cs -Aktivität bei einer Tiefe von 8-12 cm (unterhalb der Humusaufgabe / organische Horizonte, bis zu einer Bodentiefe von 7 cm). Nach seinem Modell wird sich das Kontaminationsmaximum 2010 in einer Tiefe von 10-18 cm befinden und 2020 auf eine Bodentiefe von 14-22 cm absinken. Die Verteilungskurve im Bereich des Maximums wird sich weiter abflachen, d.h. es erstreckt sich über einen größeren Bodenbereich als 2004. Bezüglich der Bodenschichten wird in den ersten 10 cm 2020 nur noch ein Viertel der ^{137}Cs -Aktivität vorhanden sein, während die Veränderungen in 10-20 cm Tiefe nur sehr gering sein werden. Die Aktivität in 20-30 cm Tiefe wird um mehr als das 3fache zunehmen. Allerdings nehmen Pflanzenwurzeln in der Regel aus diesem Bodenbereich kein ^{137}Cs mehr auf, was zu niedrigeren ^{137}Cs -gehalten in den Waldbodenpflanzen führen wird.

Nach Angaben von HECHT (1999, 2000) allerdings, wird das ^{137}Cs so lange in der Äsung sein, bis es aufgrund seiner physikalischen HWZ verschwunden ist.

2.4 Aufnahme von Radiocäsium durch Pflanzen und Pilze

Es wird angenommen, dass Radiocäsium von Pflanzen und Pilzen über Ionenaustauschprozesse aktiv aufgenommen und je nach Art unterschiedlich stark angereichert wird (HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004). Auch unterscheidet

sich die Höhe der akkumulierten Menge in den einzelnen Pflanzenteilen (UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V., 2005).

Die höchste Akkumulationsleistung (10 Mal höher als höhere Pflanzen und Farne) und somit die höchsten ^{137}Cs -Konzentrationen weisen Pilze auf (HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004; UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V., 2005). Die Ursache könnte darin liegen, dass Pflanzen Radiocäsium nur aus der Bodenlösung aufnehmen, während Pilze auch gebundenes Radiocäsium über besondere Aufschluss- und Transportmechanismen mobilisieren können (HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004).

Jedoch variiert die ^{137}Cs -Aktivität mit der Pilzart (Abb. 3) abhängig vom Anreicherungsvermögen der Art und der ^{137}Cs -Konzentration in der Umgebung des Pilzgeflechts (FIELITZ, 2005; UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V., 2005; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006).

Ausgesprochene Cäsiumsammler sind Mykorrhiza-Pilze, die in Symbiose mit höheren Pflanzen leben, an sie gebunden sind und ihnen Ionen und Nährstoffe zur Verfügung stellen (HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004; UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V., 2005). Dazu zählen laut BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ (2006) Maronenröhrlinge und Semmelstoppelpilze, mit einer ^{137}Cs -Aktivität von einigen Tausend Bq / kg FS (Maronen 2.828 Bq / kg FS; FIELITZ, 2005), sowie Pfifferlinge und Steinpilze (Pfifferlinge 518 Bq / kg FS, Steinpilze ca. 800 Bq / kg FS; FIELITZ, 2005).

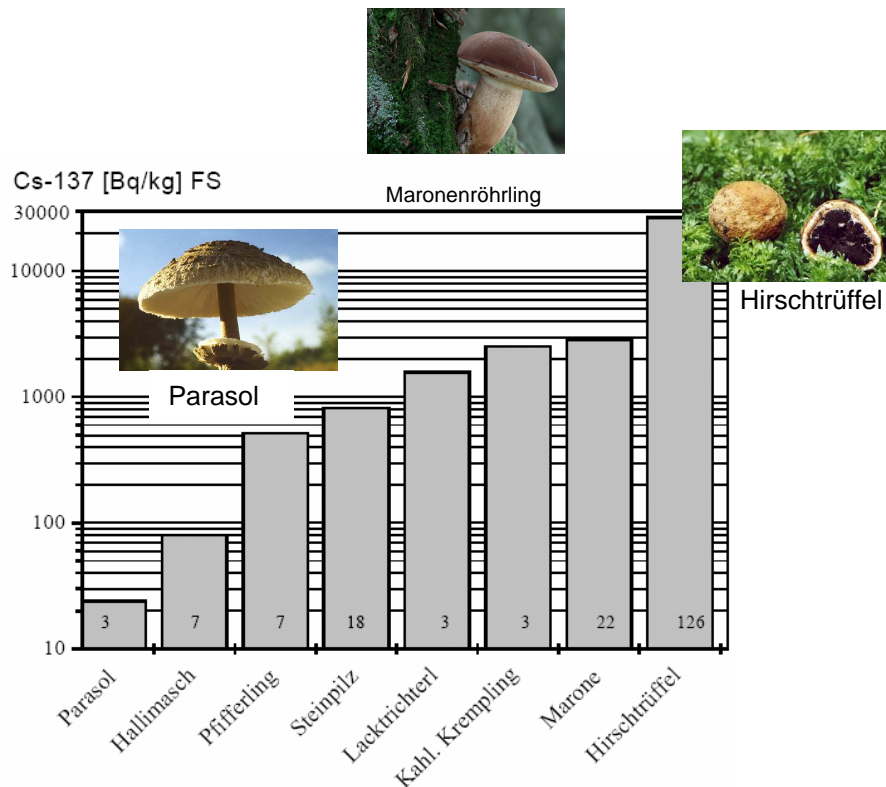


Abb. 3: ¹³⁷Cs-Aktivität verschiedener Pilzarten (modifiziert nach FIELITZ, 2005)

Sie reichern mehr Cäsium an als saprophytisch lebende (z. B. Morcheln) und diese wiederum mehr, als parasitisch lebende Pilze (z. B. Hallimasch) (UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V., 2005). Parasole, obwohl saprophytisch lebend, weisen nur eine geringe Belastung auf (bis zu 100 Bq / kg FS; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006; 24 Bq / kg FS, FIELITZ, 2005). Die höchste ¹³⁷Cs-Aktivität wurde bei den von den Wildschweinen sehr gern verzehrten Hirschtrüffeln, mit bis zu 26.800 Bq / kg FS, nachgewiesen (FIELITZ, 2005).

Auch unter den Pflanzen gibt es Arten, die Cäsium besonders stark akkumulieren (Abb. 4), wie z. B. Moose, Flechten, Farne, Sauerklee, Preiselbeeren, Moosbeeren, Heidelbeeren (FIELITZ, 2005; UMWELITNSTITUT MÜNCHEN E.V., 2005).

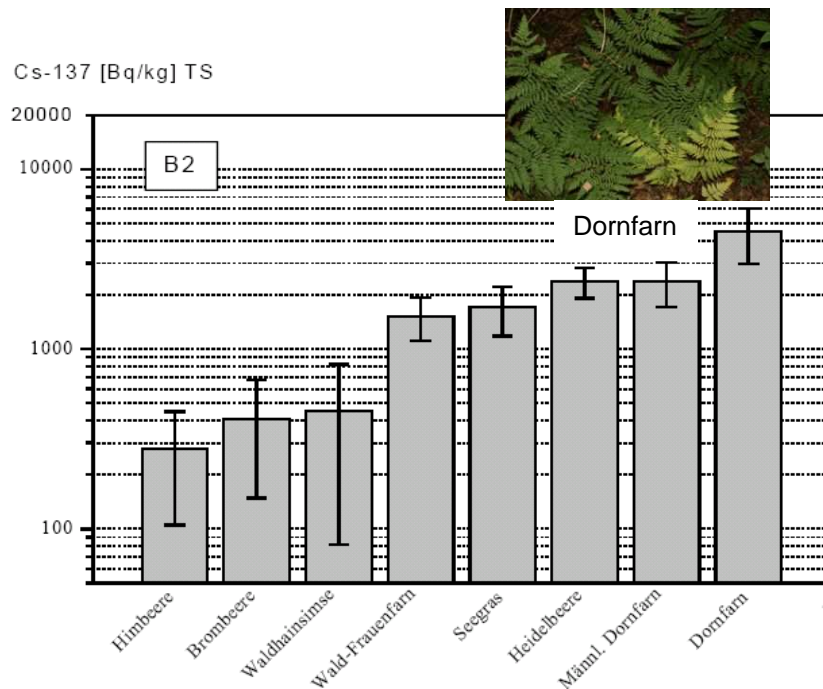


Abb. 4: ¹³⁷Cs-Aktivität verschiedener Pflanzenarten (modifiziert nach FIELITZ, 2005)

Im Gegensatz dazu sind Bäume langlebige Cäsiumspeicher, deren Anreicherung an ¹³⁷Cäsium aber vergleichsweise gering ist (UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V., 2005).

2.5 Aufnahme und Kinetik von ¹³⁷Cäsium im Tierkörper

Der Tierorganismus kann Radiocäsium über die Haut (perkutan), die Atemwege (Inhalation), wobei dieser Anteil vernachlässigbar gering ist, und über den Magen-Darm-Trakt (Ingestion) aufnehmen (GIESE, 1971, 1986; FIELITZ, 2005).

Die Hauptaufnahme erfolgt oral mit kontaminiertem Futter, während die Aufnahme über belastetes Trinkwasser kaum von Bedeutung ist (GIESE, 1971, 1986).

Das Absorptionsverhalten und die Stoffwechselwege für $^{137}\text{Cäsium}$ und $^{134}\text{Cäsium}$ sind exakt gleich (GIESE, 1986). Im Folgenden wird deshalb der Begriff Cäsium für das Radiocäsiumisotop-137 und -134 verwendet.

Nach oraler Aufnahme können die leicht wasserlöslichen Cäsiumsalze im Magen-Darm-Trakt schnell und nahezu vollständig absorbiert werden (WASSERMAN, COMAR und TWARDOCK, 1962; GIESE, 1971; FIELITZ, 2005). Den Hauptabsorptionsort stellt bei den Monogastriern der Dünndarm dar, während Radiocäsium von den Wiederkäuer zusätzlich über den Pansen aufgenommen wird (HOOD und COMAR, 1953; MOORE und COMAR, 1962).

Mit dem Blutstrom wird das Cäsium als freies Ion ins Gewebe transportiert, ohne dabei an ein Serumeiweiß gebunden zu sein (GIESE, 1971; FIELITZ, 2005). Im Gewebe wird es analog zu Kalium intrazellulär, im Zellplasma, akkumuliert (GIESE, 1971, 1986; FIELITZ, 2005). Der gleichzeitige Austritt von Natrium aus der Zelle beim Eintritt von Cäsium, lässt auf einen gemeinsamen, aktiven Transportmechanismus in der Zellmembran, mit unterschiedlicher Richtung, schließen (SJODIN und BEAUGE zitiert nach GIESE, 1971). Vermutlich erfolgt der Transport über die Natrium-Kalium-Pumpe (GIESE, 1986).

Bevorzugt verteilt sich das Cäsium, ähnlich dem Kalium, in allen Weichgeweben (HOOD und COMAR, 1953; GIESE, 1971, 1986; HOEK, 1976). Dabei ist die Verteilung im Gewebe bei allen untersuchten Spezies (Ratten, Hennen, Schweine, Lämmer, Schafe und Kühe) gleich (HOOD und COMAR, 1953).

Der Hauptteil wird im Muskelgewebe, besonders in der Skelettmuskulatur, akkumuliert, weshalb die Skelettmuskulatur als kritisches Organ gilt (HOOD und COMAR, 1953; EKMAN, 1961; GIESE, 1971, 1986; HOEK, 1976; FIELITZ, 2005). Ebenfalls ein sehr hohes Anreicherungsvermögen konnte für die Niere und ein hohes für die Leber beobachtet werden. Währenddessen ist die Ansammlung im Gehirn, Fett- und Knochengewebe sowie im Blutplasma viel geringer (HOOD und COMAR, 1953; EKMAN, 1961; GIESE, 1971), laut EKMAN (1961) im Knochengewebe und Blutplasma mit Abstand am geringsten.

2.6 ¹³⁷Cs-Transfer in den Tierkörper

- **Resorption und Akkumulation**

Die Resorption von Cäsium erfolgt rasch. Maximale Blutspiegel treten innerhalb weniger Stunden auf (FIELITZ, 2005). Im Blut tritt das Cäsium nach einer anfänglich höheren Konzentration im Plasma in die Blutzellen ein (HOOD und COMAR, 1953; EKMAN, 1961). Dies führt zu einer relativ höheren Anreicherung in den Zellen.

Im Gewebe wird die höchste Akkumulation zunächst in den stoffwechselaktivsten Organen, der Niere und der Leber sowie in den Speicheldrüsen, gemessen (HOOD und COMAR, 1953; EKMAN, 1961; VOIGT et al., 1988; FIELITZ, 2005). Das Muskelgewebe hingegen erreicht nur langsam höhere Konzentrationen, wobei unterschiedliche Muskeln differente Anreicherungsraten aufweisen (HOOD und COMAR, 1953; EKMAN, 1961; FIELITZ, 2005). EKMAN (1961) stellte eine Beziehung zwischen der Aktivität der verschiedenen Muskeln und der Akkumulationsrate fest. Er wies unmittelbar nach Cäsiumaufnahme höchste Konzentrationen in Herzmuskel und Zwerchfell nach, während die Skelettmuskulatur zunächst nur niedrige Werte erreichte. Nach zwei bis sieben Tagen kehrte sich das Verhältnis um und Spitzenwerte wurden von der Skelettmuskulatur, beim Schwein speziell vom M. longissimus dorsi und M. rectus femoris, erzielt. SZENTKUTI und SZENTKUTI und GIESE (zitiert nach HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004) wiesen im dunkleren Muskeltyp höhere Cäsiumaktivitäten nach.

Die Aufnahme erfolgt wie bereits erwähnt, hauptsächlich mit der Nahrung (GIESE, 1971, 1986; FIELITZ, 2005). Ausgeschieden wird das Radiocäsium mit dem Kot und Urin, bei laktierenden Tieren auch mit der Milch (CRAGLE, 1961; HOEK, 1976; GIESE, 1986; FIELITZ, 2005).

Neben der Absorption des Radiocäsiums unmittelbar nach Futteraufnahme, findet auch eine Reabsorption des, durch endogene Sekretion von den Intestinalzellen ins Darmlumen gelangenden Cäsiums, statt. HOOD und COMAR, 1962,

berechneten bei Ratten eine endogene Sekretionsmenge von 24,5 % ¹³⁷Cäsium der initialen Dosis.

- **biologische Halbwertszeit**

Nach Aufnahmestopp bzw. Aufnahme von nicht oder nur gering kontaminierter Nahrung (beim Wildschwein z. B. landwirtschaftliche Produkte oder Baumfrüchte; HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004) nimmt die Kontamination des Körpergewebes wieder ab, d.h. das Radionuklid wird mit seiner effektiven HWZ ausgeschieden (Zeitspanne innerhalb derer die Hälfte des Radionuklids aus dem Organismus eliminiert wurde). Dabei berücksichtigt die effektive HWZ sowohl die biologische, als auch die physikalische HWZ (GIESE, 1986)

Die in den Körper eingebrachte Radioaktivitätsmenge nimmt mit der nuklidspezifischen physikalischen HWZ ab. Zudem werden durch Stoffwechsel- und Ausscheidungsprozesse im Organismus die Radionuklide schneller eliminiert. Diese Vorgänge berücksichtigt die biologische HWZ. Sie gibt an, in welcher Zeit die Hälfte der inkorporierten Aktivitätsmenge den Organismus wieder verlassen hätte, würden nur die biologischen Abbauvorgänge berücksichtigt. (<http://www.med.uni-marburg.de/stpg/ukm/lb/nuklearmed/nukleus/main.html>.)

Für die effektive Halbwertszeit ergibt sich:

$$\text{eff. HWZ} = \frac{\text{physik. HWZ} \times \text{biol. HWZ}}{\text{physik. HWZ} + \text{biol. HWZ}}$$

Da ¹³⁷Cäsium eine sehr lange physikalische HWZ von 30 Jahren aufweist, ist der physikalische Zerfall vernachlässigbar gering und die Werte der biologischen Ausscheidung entsprechen hier der effektiven HWZ (GIESE, 1986; BAILER, 1988).

Jede Tierart besitzt eine für sie charakteristische, biologische HWZ, mit der sich ihr Gewebe entleert (Tab. 13). Die biologische HWZ vermittelt einen Eindruck über die unterschiedlichen Eliminierungsgeschwindigkeiten von Radiocäsium aus dem Körper (GIESE, 1971).

Tab. 13: Biologische HWZ von ¹³⁷Cäsium unterschiedlicher Spezies (GIESE, 1971)

Tierart	Biologische Halbwertszeit [d]
Kuh	20
Schwein	26
Schaf	17
Ziege	31
Hund	25
Huhn	27
Ratte	6,5
Maus	1,2
Rentier*	16

*LILAND, 2004

- **Transferfaktor im Äquilibrium**

Nach chronischer Aufnahme des Radiocäsiums (tägliche Aufnahme über 2-3 Wochen), stellt sich schließlich ein dynamisches Gleichgewicht (Äquilibrium) zwischen Aufnahme und Ausscheidung ein (GIESE, 1986, 2003). Trotz weiterer Cäsiumaufnahme ändert sich die Cäsiumaktivität im Gewebe nicht mehr (FIELITZ, 2005). FIELITZ (2005) spricht auch von einem Verteilungsgleichgewicht, bei dem Resorptions-, Verteilungs- und Exkretionsrate konstante Werte erreicht haben. Alle Körperkompartimente sind mit dem Isotop gefüllt (GIESE, 2003). Zu diesem Zeitpunkt zeigt die Radiocäsiumverteilung im Blut eine bis 10fach höhere Anreicherung in den Zellen als im Plasma (HOOD und COMAR, 1953; EKMAN, 1961). Misst man nun, zum Zeitpunkt des Äquilibrium, die Aktivität der einzelnen Organe, erhält man die maximale Konzentrationsfähigkeit eines jeden Organs (GIESE, 1971, 2003).

Für dieses Gleichgewicht kann ein Transferfaktor definiert werden, der beschreibt, in welcher Höhe das radioaktive Isotop aus dem Futter ins Fleisch (bzw. in die Milch) übergeht (GIESE, 1971, 2003; NALEZINSKI et al., 1996; FIELITZ, 2005). Mit Hilfe des Transferfaktors kann der zu erwartende Radionuklidgehalt im Fleisch (und in der Milch) rechnerisch vorhergesagt werden, wenn die Isotopen-

Konzentration im Futter bekannt ist (GIESE, 2003). Der Transferfaktor für Fleisch (bzw. Milch) ist definiert als der Quotient aus der Aktivität pro kg Muskelfleisch (Bq / kg) (bzw. pro l Milch: Bq / l) und der täglichen Aktivitätsaufnahme mit dem Futter (Bq / d) (GIESE, 1971, 2003; NALEZINSKI et al., 1996; FIELITZ, 2005). Es ergibt sich folgende Gleichung (modifiziert nach GIESE, 1971, 2003; NALEZINSKI et al., 1996; FIELITZ, 2005):

$$\text{Transferfaktor}^{F_i} [\text{d} / \text{kg}] = \frac{\text{RCs-Aktivität pro kg Muskelfleisch [Bq/kg]}}{\text{RCs-Aktivität im Futter [Bq/kg]} \times \text{tägl. Futtermenge [kg/d]}}$$

$$\left[\text{Transferfaktor}^{M_i} [\text{d} / \text{kg}] = \frac{\text{RCs-Aktivität pro l Milch [Bq/l]}}{\text{RCs-Aktivität im Futter [Bq/kg]} \times \text{tägl. Futtermenge [kg/d]}} \right]$$

Bei unkritischer Verwendung der Untersuchungen zum Hausschwein würde sich für ein Wildschwein mittlerer Körpermasse (ca. 30 kg Aufbruchgewicht) ein Transferfaktor von ca. 0,4 d / kg ergeben (VOIGT et al., 1988; HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004). Da Schwarzwild einen dunkleren Muskeltyp besitzt und in diesem eine höhere Cäsiumkontamination erreicht wird, könnten auch etwas höhere Transferfaktoren angenommen werden (HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004).

Die Höhe und der zeitliche Eintritt des Gleichgewichts und somit auch der Transferfaktor (Anmerkung der Autorin) werden nach GIESE (1971) von der Aufnahme-, Retentions- und Ausscheidungsrate des Isotops bestimmt. Diese werden wiederum von mehreren Parametern beeinflusst, die tierartlich unterschiedlich sind und sich auch innerhalb einer Spezies ändern (Verdauungssystem und Nahrungsart; STEWART et al., 1965; GIESE, 1971; NALEZINSKI et al., 1996; FIELITZ, 2005; Körpermasse und Alter; GIESE, 1971; NALEZINSKI et al., 1995; HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004; FIELITZ, 2005; Umwelttemperatur; FURCHNER et al., 1965; MAHLUM und SIKOV, 1968; GIESE, 1971; Laktation; WARD und JOHNSON, 1965; GIESE, 1971).

2.6.1 Einfluss der Nahrung auf die Absorption, Retention und Ausscheidung von Radiocäsium

- **Nahrung im Verdauungstrakt**

Bereits durch die Nahrungsaufnahme wird die Absorption von Radiocäsium, im Vergleich zur Absorption der Radionuklide in einem leeren Gastrointestinaltrakt, reduziert. MOORE und COMAR (1962) fütterten eine Gruppe von Ratten mit Rattenfutter und eine zweite mit einer K^+ -Mangelration, während eine dritte nüchtern blieb, bevor sie den Ratten ^{137}Cs per Magensonde verabreichten. Die nüchternen (sowie die mit dem K^+ -Defizit) zeigten eine viel schnellere und um 10 % gesteigerte Absorption im Vergleich zu den mit Rattenfutter gefütterten Tieren. Sie erklärten dieses Ergebnis mit der Adhärenz der ^{137}Cs -Ionen an Ingestapartikeln und der dadurch geringeren Absorptionsverfügbarkeit des Radiocäsiums.

- **Rohfasergehalt im Futter**

Aufgrund der hohen Adsorptionsfähigkeit organischer Futterbestandteile, genauer der unverdaulichen Rohfaseranteile, kann ein Teil der oral aufgenommenen Radionuklide im Magen-Darm-Trakt gebunden werden („Adsorptionsphänomen“, MRAZ und PATRICK, 1957; GIESE, 1971, 1986; FIELITZ, 2005). Der adsorbierte Teil des Cäsiums kann im Verdauungstrakt nicht mehr resorbiert werden und wird mit dem Kot aus dem Körper eliminiert (GIESE, 1971). Auch bereits resorbiertes und wieder in den Darm resezerniertes Radiocäsium (endogene Sekretion) kann adsorbiert und fäkal ausgeschieden werden.

In Fütterungsversuchen mit Ratten (MRAZ und PATRICK, 1957) stieg die fäkale ^{134}Cs -Ausscheidung nach Rationen mit Haferspreu, Weizenkleie und Luzerneheu (alle mit hohem Rohfaseranteil) signifikant an. Sie übertrafen in ihrer Wirkung Maisstärke, Reis, Haferflocken und Cellulose. Gleichzeitig führten die drei erstgenannten Rationen durch die Verringerung des ^{134}Cs -Urin/ ^{134}Cs -Kot-Quotienten zu einer Veränderung des Ausscheidungsmusters. Jede Verringerung des Quotienten ist als positiv zu bewerten, denn renal ausgeschieden wird nur das zuvor resorbierte. Des Weiteren ließ sich durch Zufütterung von Luzerneheu eine

lineare Steigerung der fäkalen ^{134}Cs -Ausscheidung erzielen und eine negative Korrelation zwischen dem ^{134}Cs -Urin/ ^{134}Cs -Kot-Quotienten und dem Luzerneheugehalt in der Ration nachweisen.

Ebenso beobachteten MRAZ et al. (1958) den positiven Effekt eines höheren Rohfasergehaltes in der Schweinefütterung. Gaben von Luzerneheu und Rübenschrot steigerten die fäkale und totale Ausscheidung von ^{134}Cs signifikant (sehr geringe renale Steigerung). Der Cs-Urin/Cs-Kot-Quotient wurde in beiden Fällen deutlich kleiner.

GOLDMAN et al. (1965) verglichen die ^{137}Cs -Aktivitäten von Schafen und Rehen, die nach einmaliger intraruminaler Injektion von ^{137}Cs pelletiertes Fertigfutter oder Luzerneheu erhielten. Nach 30 Tagen wies die Pelletgruppe doppelt so hohe Cs-Aktivitäten verglichen mit der Luzerneheugruppe auf.

Folglich geht eine Steigerung des Rohfaseranteils im Futter mit einer Verringerung der Radiocäsiumabsorption im Magen-Darm-Trakt, einer vermehrten fäkalen Ausscheidung von Radiocäsium, sowie einer Veränderung des Ausscheidungsmusters durch eine Verkleinerung des Cs-Urin/Cs-Kot-Quotienten einher.

Bei Milchkühen konnte eine negative Korrelation zwischen dem Rohfaseranteil im Futter und der Radiocäsiumkonzentration in der Milch aufgezeigt werden (STEWART et al., 1965). Ursächlich ist hier ebenfalls die Absorptionsbeeinflussung durch unverdauliche Rohfaseranteile (GIESE, 1971).

WARD und JOHNSON (1965) beobachteten bei den jüngsten, mit Milchaustauscher gefütterten Kälbern den höchsten Transferkoeffizienten Futter → Milch. Zudem stieg die Sekretion des Cäsiums in die Milch mit zunehmender Getreidemenge in der Ration und verringerte sich mit steigendem Rohfasergehalt.

- **Kaliumgehalt im Futter**

Fütterungsversuche mit Ratten (MRAZ und PATRICK, 1957; MOORE und COMAR, 1962; MAHLUM und SIKOV, 1968; LENGEMANN, 1969), Schweinen (MRAZ et al., 1958) und Schafen (MRAZ, 1959) bewiesen den positiven Effekt

einer Steigerung des Kaliumgehaltes in der Futtermation auf die Cäsiumausscheidung.

In Versuchen mit zunächst kaliumarmen Rationen war eine Steigerung des K^+ -Gehaltes immer mit einer höheren Radiocäsiumausscheidung verbunden (MRAZ, JOHNSON und PATRICK, 1958: Schwein; MRAZ, 1959: Schaf; LENGEMANN, 1969: Ratte). Dabei war die Auswirkung der Kaliumzufuhr auf die Cäsiumelimination umso größer, je geringer das K^+ -Angebot vor Versuchsbeginn war (GIESE, 1971).

MRAZ und PATRICK (1957) beobachteten, dass eine Erhöhung des K^+ -Gehaltes im Rattenfutter zu einer gesteigerten renalen und totalen ^{134}Cs -Ausscheidung sowie zu einer Zunahme des ^{134}Cs -Urin/ ^{134}Cs -Kot-Quotienten, bei gleichbleibender fäkaler Elimination, führte.

MOORE und COMAR (1962) zeigten in Fütterungsversuchen mit Ratten, dass die Fütterung von Rationen mit einem K^+ -Defizit zu einer schnelleren und gesteigerten Absorption von Cäsium und einer höheren Retention führt. Die Werte für Absorption und Retention waren vergleichbar mit denen von Ratten, die vor ^{137}Cs -Verabreichung (per Magensonde) 24 Stunden hungern mussten (s. o.).

LENGEMANN (1969) und MAHLUM und SIKOV (1968) beobachteten bei Ratten ebenfalls eine Reduzierung der Radiocäsiumretention und der Körperdosis mit Steigerung des K^+ -Gehaltes im Futter.

LENGEMANN (1969) untersuchte die höhere Retention und geringere Ausscheidung junger Ratten, die noch gesäugt wurden, im Vergleich zu den bereits Abgesetzten. Mit dem Absetzen, unabhängig vom Alter, kam es zu einem scharfen Knick in der Retentionskurve mit wesentlich geringeren Retentionswerten und höherer Eliminationsrate, egal ob danach mit Kuhmilch oder normalem, pelletiertem Rattenfutter weitergefüttert wurde. Als Ursache wurde der sehr geringe K^+ -Gehalt in der Rattenmuttermilch ermittelt.

Versuche mit Schafen bestätigten nach K^+ -Supplementierung zum Basalfutter eine Zunahme der totalen Ausscheidung von ^{134}Cs , hauptsächlich durch Steigerung der renalen Elimination (MRAZ, 1959).

MRAZ et al. (1958) supplementierten unterschiedliche Dosen Kalium in der Schweinefütterung. Die Gruppe ohne K^+ -Supplementierung zeigte eine gesteigerte ^{134}Cs -Akkumulation im Gewebe, besonders in Niere und Herzmuskel sowie eine geringere totale und fäkale, aber v.a. renale Elimination. Die signifikante Steigerung der totalen Cs-Ausscheidung durch zusätzliche K^+ -Gaben, war hauptsächlich eine Funktion der renal ausgeschiedenen Menge (zu geringem Anteil auch fäkal). Ab einer bestimmten K^+ -Menge konnte auch durch weitere K^+ -Zugabe keine wesentliche Steigerung der Cäsiumelimination mehr erreicht werden.

GIESE (1971) begründet letzteres wie folgt: Solange das K^+ -Angebot im Futter den physiologischen Bedarf nicht abdeckt, lagert sich vermehrt Cäsium anstelle des Kaliums intrazellulär ab. Wird die zugeführte K^+ -Menge gesteigert, wird Cäsium durch Kalium ersetzt. Es gelangt vom Intra- in den Extrazellulärraum und wird über das Plasma renal ausgeschieden. Folglich erfolgt auch eine Steigerung der Cs-Ausscheidung renal. Ist allerdings der physiologische K^+ -Bedarf (im Futter) gedeckt, kann auch eine weitere K^+ -Zufuhr die Ausscheidung von Cäsium nicht mehr wesentlich steigern.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass bei steigendem K^+ -Gehalt eine Zunahme der renalen und der totalen Cs-Ausscheidung zu verzeichnen ist, während die fäkale Elimination unverändert bleibt oder nur gering steigt. Zudem zeigen sich eine Vergrößerung des Cs-Urin/Cs-Kot-Quotienten, eine Reduzierung der Retention und Körperaktivität sowie eine langsamere und geringere Cs-Absorption.

2.6.2 Einfluss von Alter und Gewicht auf die Retention und Ausscheidung

Studien zum Einfluss von Alter und Gewicht auf die Radiocäsiumretention führten zu unterschiedlichen Ergebnissen.

- **geringeres Anreicherungs- und schnelleres Eliminationsvermögen der Jungtiere**

Für Jungtiere wurde ein geringeres Akkumulationsvermögen und eine schnellere Elimination (→ geringere Gewebskonzentrationen) von HOOD und COMAR (1953, Ratten und Schweine) und TWARDOCK und CRACKEL (1969, Rinder) beobachtet.

HOOD und COMAR (1953) stellten ein geringeres Anreicherungsvermögen für ¹³⁷Cäsium bei jungen Ratten fest. Im Vergleich zu adulten Tieren, wiesen die Jungtiere nur ein Drittel bzw. die Hälfte der Gewebskonzentration auf. Zudem beobachteten sie eine schnellere Cäsiumelimination (größere Ausscheidungsmengen) bei den Jungtieren. Die gemessenen ¹³⁷Cs-Konzentrationen in Organen adulter und noch im Wachstum befindlicher Schweine, zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Cäsiumverabreichung, zeigten ebenfalls eine schnellere Ausscheidung bei jungen Tieren.

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangten TWARDOCK und CRACKEL (1969), die den Kälbern im Vergleich zu den Rindern doppelt so hohe Eliminierungsgeschwindigkeiten attestierten.

Nach GIESE (1971) sind die geringere Radiocäsiumretention, die entsprechend kürzere, biologische HWZ und die schnellere Cäsiumausscheidung bei Jungtieren in den intensiveren Stoffwechselfvorgängen der jüngeren Organismen begründet.

- **höhere Retention bei Jungtieren**

EKMAN (1961) hingegen, stellte bei Studien mit Schweinen eine „Verdünnung“ des Cäsiums im Körper mit dem Wachsen fest. Folglich wäre dann die Retention bei jüngeren Tieren höher als bei Erwachsenen.

- **negative Korrelation von Transferfaktor und Körpermasse**

NALEZINSKI et al. (1996) beschrieben in ihrer Literaturarbeit eine enge Korrelation zwischen dem Transferfaktor Futter → Fleisch (Tf^{Fl}) und der Körpermasse. (Die Erkenntnis, dass Spezies mit einer hohen täglichen Futteraufnahme einen kleinen Tf^{Fl} aufweisen, während der von Spezies mit einer

geringen täglichen Nahrungsaufnahme groß ist und die Menge der täglichen Futtermittelaufnahme mit der Körpermasse steigt, warf bei NALEZINSKI et al., 1996, die Idee auf). Sie stellten bei den Haustieren eine negative Korrelation zwischen Körpermasse und Tf^{F1} , d.h. einen, mit zunehmender Körpermasse, abnehmenden Tf^{F1} , fest. Nach HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004) bewirkt der erhöhte Stoffwechsel eines kleineren Tieres bei gleich hoher Radiocäsiumaufnahme eine höhere Transferleistung.

Auch nach HOVE (1993) weisen kleine Wiederkäuer wie Schafe, Ziegen und Rentiere im Vergleich zu Rindern jeweils höhere Radiocäsiumkonzentrationen in Milch und Muskulatur auf. GARMO et al. und HOWARD et al. zitiert nach HOVE (1993) begründen dies, zumindest teilweise, mit den unterschiedlichen Weidegewohnheiten.

- **Tf^{F1} Monogastrier > Tf^{F1} Wiederkäuer**

Allerdings müssen nach NALEZINSKI et al. (1996) Monogastrier und Wiederkäuer aufgrund ihrer physiologischen Eigenheiten (höhere Cs-Resorption im Darm bei Monogastriern; NALEZINSKI et al., 1996, und bei den Wiederkäuern ein höherer K^+ -Gehalt der Futtermittelration; FLIEGE et al. zitiert, nach NALEZINSKI et al., 1996) getrennt betrachtet werden. Sie ermittelten für Monogastrier einen höheren Tf als für Wiederkäuer.

- **keine Korrelation bei Wiederkäuern**

Im Gegensatz dazu korrelieren nach Ansicht von WASSERMANN et al. (1962) bei Wiederkäuern Tf und Körpermasse nicht. Dieser Zusammenhang findet sich laut o.g. Autoren nur bei Monogastriern.

- **kein Zusammenhang zwischen Körpergewicht und Cäsiumbelastung bei Wildschweinen**

HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004), die u. a. den Einfluss des Gewichts auf die Radiocäsiumbelastung beim Schwarzwild untersuchten, konnten keinen allgemeinen Zusammenhang zwischen Körpergewicht und Cäsiumbelastung

feststellen. Nur die Frischlinge, mit einem geringen Aufbruchgewicht bis 10 kg wiesen eine wesentlich höhere Belastung (\emptyset 536 Bq / kg FM) gegenüber den größeren, schwereren und älteren Tieren (\emptyset 193 Bq / kg FM) auf.

2.6.3 Einfluss der Umwelttemperatur

Niedrige Umwelttemperaturen führen zu einer beschleunigten Eliminierung von Radiocäsium, wie Untersuchungen mit Ratten und Mäusen (FURCHNER et al., 1965; MAHLUM und SIKOV, 1968) zeigten. Die gemessene Cäsiumaktivität bei einer Umgebungstemperatur von 34°C gehaltenen Mäusen erwies sich als 3 Mal so hoch im Vergleich zu bei 5°C gehaltenen (FURCHNER et al., 1965). Bei Ratten konnte eine signifikante Reduzierung der ^{137}Cs -Retention bei einer Erhöhung der K^+ -Menge im Futter und einer Umgebungstemperatur von 4°C festgestellt werden, während sich die K^+ -Steigerung bei den bei Raumtemperatur gehaltenen Tieren nur gering auswirkte (MAHLUM und SIKOV, 1968).

2.6.4 Einfluss der Laktation auf die Radiocäsiumretention

Mit der Milch wird im Vergleich zum fäkalen und renalen Eliminationsweg nur ein geringer Teil der Radiocäsiumdosis aus dem Körper ausgeschieden (Tab. 14).

Tab. 14: Ausscheidungswege und -mengen in Prozent der täglich aufgenommenen Cäsiumdosis

Tierart Quelle	Ausgeschiedener Prozentsatz [%] der täglich aufgenommenen Menge Cäsium in:		
	Milch	Urin	Kot
Milchkühe CRAGLE (1961) (210 h nach 1x oraler Gabe)	10,5	30	32,7
Milchkühe STEWART et al. (1965) (im Äquilibrium)	7,4	13,51	81,5
Milchkühe SANSOM (1966) (im Äquilibrium)	7,9	25,5	54,3
Ziegen WASSERMAN et al. (1962) (im Äquilibrium)	7	40	40

Nach einmaliger Aufnahme einer Radiocäsiumdosis eliminieren laktierende Haustiere die Radionuklide in ihrem Körper durch die zusätzliche Ausscheidung mit der Milch schneller, als nicht laktierende (GIESE, 1971). Im Versuch von KRIEGEL und WEBER (zitiert nach GIESE, 1971) wiesen Ratten 20 Tage nach Laktation, infolge der zusätzlichen Ausscheidung mit der Milch, in Organen (Leber, Milz, Niere und Herz) und Femur nur 50 % der ^{137}Cs -Aktivitäten der nicht laktierenden Kontrolltiere auf.

In der Praxis muss jedoch von einer täglichen Radiocäsiumaufnahme ausgegangen werden, die zur Einstellung eines dynamischen Gleichgewichts führt (GIESE, 1971). Das Absinken der Cäsiumkonzentration im Körper unterhalb des Äquilibrium würde durch die ständige Neuaufnahme des Radionuklids verhindert werden. Folglich hat hier die Ausscheidung mit der Milch keinen signifikanten Einfluss auf die Radiocäsiumretention im Körper, wie auch WARD und JOHNSON (1965) im Vergleich an laktierenden und nicht laktierenden Kühen zeigen konnten.

2.6.5 Unterschiede zwischen Monogastriern und Wiederkäuern

1. Der Resorptionsumfang von Radiocäsium beträgt bei:

- **Monogastriern 85 – 100 %** (MOORE und COMAR, 1962: Ratte; VOIGT et al. 1988: Schwein)
- **Wiederkäuern 50 – 80 %** (MC CLELLAN et al., 1962: Schaf: 50 - 80 %); WASSERMAN et al., 1962: Ziege: mind. 60 %; SANSOM, 1966: Milchkuh: 70 – 80 %; HOEK, 1976: Schaf: 64 – 79 %)

Aufgrund der guten Verdaulichkeit der Nahrung der Monogastrier, im Vergleich zum Wiederkäuerfutter mit hohem Rohfasergehalt (→ Adsorptionsphänomen), geringer Verdaulichkeit und höherem K⁺-Gehalt ist der Resorptionsumfang bei Monogastriern höher als bei Wiederkäuern (GIESE, 1971, 1986; NALEZINSKI et al., 1996; FIELITZ, 2005).

2. **Monogastrier** weisen nach NALEZINSKI et al. (1996) einen **größeren Tf** Futter → Fleisch auf, als Wiederkäuer bei vergleichbarer Körpermasse (bezogen auf Haustiere).

3. Die Ausscheidung von ¹³⁷Cäsium ist bei Wiederkäuern und Monogastriern unterschiedlich.

- Wiederkäuer scheiden einen größeren Prozentsatz an Radiocäsium mit dem Kot aus, als Nichtwiederkäuer (HOOD und COMAR, 1953; STEWART et al., 1965). Die höhere fäkale Cs-Ausscheidung der Wiederkäuer liegt im höheren Rohfasergehalt des Futters begründet. (HOOD und COMAR, 1953; STEWART et al., 1965; GIESE, 1971)
Die fäkale Radiocäsiumelimination ist höher als die renale bei Wiederkäuern und somit die Bedeutendste (SANSOM, 1966).
- Bei Monogastriern verhält es sich umgekehrt. Cäsium wird hauptsächlich renal eliminiert und übertrifft die fäkale Elimination (HOOD und COMAR, 1953). Denn Tiere, die Futter mit geringerem Rohfaseranteil erhalten, scheiden Cäsium bevorzugt renal aus (MRAZ et al., 1958; STEWART et al., 1965). Auch bei Schweinen erfolgt „die Radiocäsiumausscheidung [...] zumeist über den Urin“ (HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004 S.11).

4. Des Weiteren beobachteten HOOD und COMAR (1953) und TWARDOCK und CRACKEL (1969) hinsichtlich der Elimination:

Bei **Wiederkäuern** eine **schnellere Ausscheidung des Radiocäsiums** als bei **Monogastriern**. (Schweine scheiden das Radiocäsium langsamer aus als Rinder und Schafe; TWARDOCK und CRACKEL, 1969.)

5. Folglich ist die **Retention** von $^{137}\text{Cäsium}$ bei **Wiederkäuern geringer** als bei Monogastriern (HOOD und COMAR, 1953).

Die Unterschiede zwischen Monogastriern und Wiederkäuern sind in Tabelle 15 zusammengefasst.

Tab. 15: Zusammenfassung der Unterschiede zwischen Monogastriern und Wiederkäuern

Unterschiede	Monogastrier	Wiederkäuer
Resorptionsumfang	85 – 100 %	50 – 80 %
Tf Futter → Fleisch	$Tf^{\text{Fl}}_{\text{Monogastrier}} > Tf^{\text{Fl}}_{\text{Wiederkäuer}}$	
Cäsiumausscheidung	renale > fäkale	fäkale > renale
Ausscheidungsgeschwindigkeit (Ag)	$Ag_{\text{Monogastrier}} < Ag_{\text{Wiederkäuer}}$	
Retention (R)	$R_{\text{Monogastrier}} > R_{\text{Wiederkäuer}}$	

3. ^{137}CS -BELASTUNG VON SCHWARZWILD NACH TSCHERNOBYL

3.1 Messung der Cäsiumaktivität - Grenzwert

Vor dem Inverkehrbringen wird die ^{137}Cs -Aktivität der Wildbretproben gemessen. Aus Gründen des Verbraucherschutzes wendet die Rechtsprechung in Deutschland den, eigentlich für die Einfuhr von landwirtschaftlichen Erzeugnissen mit Ursprung in Drittländern in die EU, festgelegten Grenzwert von 600 Bq / kg (maximale kumulierte Radioaktivität von $^{137}\text{Cäsium}$ und $^{134}\text{Cäsium}$) auch für die in

der EU erzeugten Lebensmittel an (VO (EWG) Nr. 737/1990 DES RATES vom 22. März 1990: Grenzwerte: 370 Bq / kg für Milch und Milcherzeugnisse sowie für Kleinkindernahrung; 600 Bq / kg für alle anderen Erzeugnisse). Dies gilt auch für den Handel mit Wildbret. Wildbret mit Bq-Werten über 600 Bq / kg FM darf nicht in Verkehr gebracht werden, sondern muss entsorgt werden (HECHT, 1999).

In Bayern erfolgen orientierende Messungen der Radiocäsiumaktivitäten im Wildbret von den Jägern an 33 dezentralen Messstationen des Landesjagdverbandes Bayern. Liegen die an den dezentralen Messstellen ermittelten Werte über 500 Bq / kg FM, muss eine Wiederholungsmessung an einer der acht qualifizierten (anerkannt und vom Landesamt für Umweltschutz regelmäßig überprüft) Messstationen erfolgen (VAN DER SANT, 2007, pers. Mitteilung). Bestätigt sich eine Radiocäsiumaktivität über 600 Bq / kg FM, kann der Jäger einen Antrag auf Schadensausgleich nach der Ausgleichsrichtlinie zu § 38 Abs. 2 Atomgesetz; Wildbret, stellen und erhält eine finanzielle Entschädigung (staatliche Ausgleichszahlung).

3.2 ¹³⁷Cs-Kontamination der Wildschweine - zeitlicher Verlauf seit

Tschernobyl

HECHT (zitiert nach FIELITZ, 2005) untersuchte langfristig die ¹³⁷Cs-Kontamination von Wildschweinen in ganz Bayern. In den Jahren nach dem Tschernobyl-Fallout verringerte sich die Abnahme der ¹³⁷Cs-Aktivität zunächst (1987 - 1989, FIELITZ, 2005), veränderte sich dann eine Zeit lang nicht und nahm seit 1995 trendmäßig zu.

FIELITZ (2005) begründet die Abnahme der ¹³⁷Cs-Aktivität im Schwarzwild in den ersten Jahren mit der Fixierung der deponierten Cäsiumionen in oberflächlichen Bodenschichten und einer damit verbundenen Verringerung der Kontamination des Nahrungsspektrums des Schwarzwildes (Kontamination oberirdischer Nahrungsbestandteile > Belastung unterirdischer Nahrungskomponenten). Ein

leichter Anstieg wurde bereits seit 1990 deutlich. Mit der langsamen Migration der Cäsiumionen in tiefere Bodenschichten, gelangten sie in den Einzugsbereich der Myzelien des vom Schwarzwild bevorzugten Hirschtrüffels und anderen Pilzarten. Folglich wanderten die Cäsiumionen zunehmend in die Bodenschichten ab, aus denen die Wildschweine beim Brechen ihre Nahrung aufnehmen. Die Aktivität der oberirdischen Nahrungsbestandteile nimmt zwar ab, wird aber durch die hoch kontaminierten Hirschtrüffel und andere Pilzarten, sowie den hoch belasteten Boden um dessen Myzelien, überkompensiert.

3.3 Jahreszeitlicher Verlauf der Schwarzwildbretkontamination

Nach HECHT (1999) ist seit dem Tschernobylunfall beim Wildbret ein jahreszeitlicher Zyklus mit niedrigerer Kontamination im Frühjahr und Frühsommer, sowie einem starken Anstieg zum Jahresende hin, ausgeprägt. Ursache für den Kontaminationszyklus ist die Veränderung des Äsungsspektrums. Folglich variiert mit dem jahreszeitabhängigen Fressverhalten auch die Cäsiumbelastung der Wildschweine.

In Forschungsprojekten von HECHT (1999, 2000) wurde der jahreszeitliche (1998 / 1999 und 1999 / 2000) Verlauf der Radiocäsiumkonzentration im Schwarzwildbret dargestellt. In den hoch kontaminierten Regionen Bayerns (Süden und Osten) ist nur ein leichter Anstieg von September bis Januar und ein deutlicher Abfall der Aktivität erst im Mai / Juni beobachtet worden. Die geringer belasteten Tiere aus Nord- und West-Bayern wiesen einen deutlichen Anstieg der Radiocäsiumkontamination ab September bis Januar, sowie einen steilen Abfall im Frühjahr, auf (HECHT, 2000).

3.4 ¹³⁷Cäsium in Nahrungsbestandteilen von Wildschweinen

Um die Beiträge einzelner Nahrungsbestandteile an der ¹³⁷Cs-Gesamtaufnahme von Wildtieren bestimmen zu können, wurde von FIELITZ (2005) die Aktivität der einzelnen Nahrungskomponenten untersucht.

HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004) untersuchten mit der Zusammensetzung der Wildschweinnahrung auch den Radiocäsiumgehalt des Nahrungsbreis. Ziel war es, die, für die hohe Belastung des Schwarzwildes ursächliche Hauptkontaminationsquelle zu identifizieren.

- **Fütterungsbestandteile**

Die niedrigsten ¹³⁷Cs-Aktivitäten (< 2 Bq / kg FS) wiesen Bestandteile aus den Fütterungen, wie Mais, Heu, Pellets etc., auf (FIELITZ, 2005). Entsprechend fanden sich auch in unbelasteten Mägen höhere Gewichtsanteile von „Mais / Getreide“ (Gewichtsanteil-Mittelwert: 53 %), als in maximal kontaminierten (Gewichtsanteil-Mittelwert: 20 %) (HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004; Anhang 1, Tab. VIII.4).

Die vermehrte Aufnahme von Nahrung aus den Fütterungen hat folglich einen kontaminationsmindernden Effekt.

- **Baumfrüchte**

Baumfrüchte, Bucheckern und Eicheln sind auch an hoch kontaminierten Standorten nur gering belastet (HECHT, 1999, 2000; FIELITZ, 2005). Die mittlere ¹³⁷Cs-Aktivität der Bucheckern im Bayerischen Wald lag bei nur 27 Bq / kg FS (FIELITZ, 2005). Somit führt die Aufnahme der Mastfrüchte in großen Mengen, z.B. als überwiegende Nahrungskomponente im Mastjahr, zu einer deutlichen Reduktion der aufgenommenen ¹³⁷Cs-Aktivität und dadurch zu einer Verringerung der Kontamination der Wildschweine (HECHT, 1999, 2000; FIELITZ, 2005).

- **Pflanzen**

Die ermittelten ^{137}Cs -Aktivitäten der Blätter einzelner Pflanzenarten lagen meist unter 1000 Bq / kg FS (FIELITZ, 2005). Eine Ausnahme stellte der Dornfarn dar, der mit einem durchschnittlichen Messwert von 4511 Bq / kg FS höhere Aktivitäten aufwies. Deutlich geringere ^{137}Cs -Aktivitäten zeigten Wurzeln und Rhizome, mit Ausnahme der Wurzeln vom Dornfarn (413 Bq / kg FS) und Wald-Frauenfarn (262 Bq / kg FS), die eine größere Menge an Cäsiumionen akkumulierten.

- **Waldboden**

Der von FIELITZ (2005) gemessene Waldboden, der beim Brechen vom Schwarzwild mit aufgenommen wird, wies ^{137}Cs -Aktivitäten zwischen 147-3807 Bq / kg FS auf, während der Boden, um das Hirschtrüffelmyzel mit bis zu 7304 Bq / kg FS kontaminiert war.

- **Pilze**

Mit Abstand die höchsten ^{137}Cs -Aktivitäten erreichten Pilze, allen voran der Hirschtrüffel (Mykorrhizapilz) mit durchschnittlich 17793 Bq / kg FS (FIELITZ, 2005). Auch das Pilzmyzel des Hirschtrüffels (durchschnittlich 14562 Bq / kg FS), sowie der Boden, in dem das Myzel eingebettet ist (s. o.), zeigten eine hohe Belastung. Beides wird vom Wildschwein bei der Trüffelsuche mit aufgenommen. HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004) fanden Hirschtrüffelschalenreste in den maximal belasteten Mageninhalten in signifikant höheren Gewichtsanteilen (Gewichtsanteil-Mittelwert: 18 %), als in den gering belasteten Mägen (Gewichtsanteil-Mittelwert: 2 %). Eine erhöhte Belastung des Mageninhalts ging bei ihren Untersuchungen mit dem Nachweis von Hirschtrüffelschalenresten einher.

- **Kontaminationsquellen**

Die Ergebnisse von FIELITZ (2005) zeigten, dass die unterirdischen Bestandteile, allen voran der Hirschtrüffel mit 81,5 %, ihm folgend der Boden mit 11,9 %, den größten Beitrag an der ^{137}Cs -Kontamination stellten. Von oberirdischen

Bestandteilen lieferten nur Gräser mit 2,2 %, oberirdische Fruchtkörper von Pilzen mit 2,1 % und Kräuter mit 1,1 % einen nennenswerten Anteil (Abb. 5).

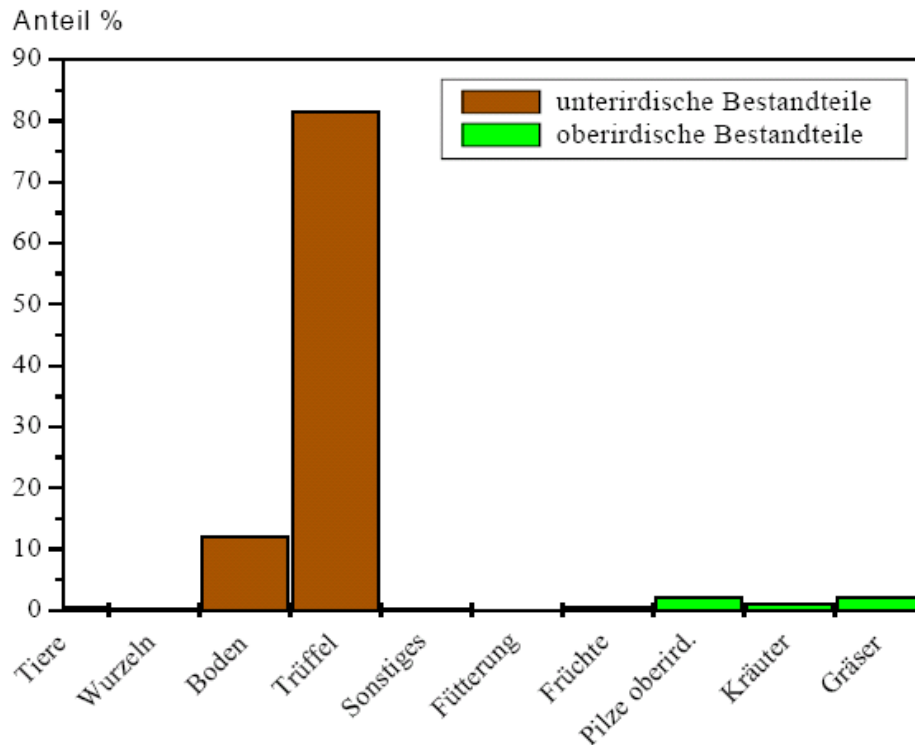


Abb. 5: Durchschnittlicher Beitrag einzelner Nahrungsgruppen an der ^{137}Cs -Gesamtzufuhr von 70 Wildschweinmägen (FIELITZ, 2005)

Allerdings waren bei HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004) die grünen Pflanzenteile in hoch belasteten Mägen mit geringeren Hirschtrüffelanteilen zu einem hohen Anteil vertreten und müssten somit als weitere potentielle Kontaminationsquelle in Betracht gezogen werden.

3.5 Hirschtrüffel als Kontaminationsquelle

Obwohl Hirschtrüffel nur einen kleinen Teil des Nahrungsspektrums der Wildschweine ausmachen, gelten sie aufgrund ihrer außergewöhnlich hohen ^{137}Cs -Aktivität als eine wesentliche bzw. als die bedeutendste Radiocäsiumquelle

für Wildschweine (HECHT, 2000; HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004; FIELITZ, 2005; BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ, 2006).

Hirschtrüffel sind beim Schwarzwild eine sehr beliebte Nahrung (HECHT, 2000; FIELITZ, 2005). Der vollständig unterirdisch (hypogäisch) wachsende und fruchtende Pilz wird von den Wildschweinen über den Geruch aufgespürt (HECHT, 2000). Durch ihre „subterrane Ernährungsweise“ und das Wühlen und Brechen haben sie einen besseren Zugang zu dieser Nahrungsquelle, als andere Huftiere (HOHMANN und HUCKSCHLAG, 2004).

Die Fruchtkörper der Hirschtrüffel, dargestellt in Abbildung 6, sind rundlich, 1 bis 5 cm groß und wiegen bis zu 18 g (FIELITZ, 2005).



Abb. 6: Hirschtrüffel ([http:// www.environmental-studies.de](http://www.environmental-studies.de))

Die Fruchtkörperhülle (Peridie) ist fein warzig bis gekörnt, hell bis rostbraun und 2 – 4 mm dick (FIELITZ, 2005). Wie Abbildung 7 zeigt, werden die zunächst hellgrauen und festen Sporen im Inneren mit Reife violett bis schwarz und pulvrig.



Abb. 7: Hirschtrüffel im Querschnitt ([http:// www.schwammerlkoenig.de](http://www.schwammerlkoenig.de))

Der Hirschtrüffel fruchtet das ganze Jahr über (HECHT, 2000). Häufig gefunden werden die Trüffel in Nadelwäldern und Nadellaubmischwäldern, in einer Bodentiefe von 1 -16 cm (in der Humusaufgabe und im Mineralhorizont; HECHT, 2000; FIELITZ, 2005). Die ^{137}Cs -Aktivität übertrifft, mit Spitzenwerten von 26800 Bq / kg FS (im Bayerischen Wald), die Kontamination aller anderen potenziellen Nahrungskomponenten von Schwarzwild um ein Vielfaches (FIELITZ, 2005). Die höchste Aktivität weist dabei die Rinde des Hirschtrüffels auf. Wie bereits erwähnt, sind ebenfalls das mitverzeherte Pilzmyzel, sowie der Boden hoch kontaminiert. Messungen der Trüffelaktivität aus den Jahren 2000 - 2004 zeigten keine signifikanten Veränderungen der Kontamination.

4. AMMONIUMEISENHEXACYANOFERRAT (AEHCF)

Bereits zur Zeit der oberirdischen Kernwaffentests in den 1950er und 60er Jahren, wurden Studien zur Aufnahme von Radiocäsium, dem Metabolismus und den Möglichkeiten zur Verringerung der Absorption im Magen-Darm-Trakt durchgeführt (GIESE, 1988).

NIGROVIČ (zitiert nach GIESE und HANTZSCH, 1970) untersuchte 1963 erstmals die Wirkung des schwerlöslichen Eisencyanidkomplexes, $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$, bekannt als klassisches Berliner Blau, auf die ^{137}Cs -Ausscheidung an Ratten. Er verminderte damit die effektive HWZ von Radiocäsium bei Ratten um 50 %.

Bei Mensch und Hund ergab sich mit Berliner Blau eine Reduzierung der effektiven HWZ um 35 % bzw. 59 % (MADSHUS zitiert nach BAILER, 1988).

Daraufhin folgten weitere Studien mit Ratten, die zeigten, dass kolloidal lösliches Berliner Blau, bzw. kolloidal lösliche Metallo-Hexacyanoferratverbindungen (Alkali-Berliner-Blau-Verbindungen) über das beste ^{137}Cs -Dekorporationsvermögen verfügen (MÜLLER, 1969; GIESE und HANTZSCH, 1970; GIESE 1971, 1995; MÜLLER et al., 1974). „Kolloidal lösliche Komplexe erreichen wegen ihrer größeren Dispergiertheit in den Ingesta die Cäsiumionen schneller als kolloidal unlösliche Komplexe“ (GIESE, 1995). Zu einem anderen Ergebnis kamen

NIELSEN et al. (1988), die in einer Studie mit Ferkeln die Wirksamkeit des schwerlöslichen, klassischen Berliner Blau / Eisencyanidkomplexes, $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$, der von kolloidal löslichem Berliner Blau, Ammoniumeisenhexacyanoferrat, $\text{NH}_4\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, und $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ gegenüberstellten und keinen signifikanten Unterschied feststellten. Nach ihrer Ansicht waren das lösliche und schwerlösliche Berliner Blau gleich effektiv in der Hemmung der Cäsiumabsorption.

Dennoch stellte sich das von GIESE (1971) entwickelte und erstmalig an Ratten eingesetzte Ammonium-Eisen(III)-Hexacyanoferrat(II) (AEHCF), im Vergleich mit mehreren löslichen Alkalieisenhexacyanoferratkomplexen, als das wirksamste Mittel zur Bindung und Eliminierung von Radiocäsium unter Bildung einer unlöslichen Cäsiumverbindung heraus (GIESE, 1971; BAILER, 1988; DRESOW et al., 1990; KOSSAKOWSKI et al., 1991).

Seitdem wurde AEHCF, bekannt unter dem Namen Giesesalz, erfolgreich zur Bindung von Radiocäsium in Haus- und Labortieren eingesetzt (früher herstellungstechnisch bedingt als $\text{NH}_4\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \times \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{Cl}$, heute als $\text{NH}_4\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \times 3\text{H}_2\text{O}$, BÖHLAND, 2007, pers. Mitteilung). Gleichzeitig wurde AEHCF radiocäsiumhaltigen Futtermitteln zugesetzt, um kontaminiertes Futter für die Tierernährung nutzen zu können, ohne die von den Tieren stammenden Lebensmittel radioaktiv zu belasten. Viele Versuche bestätigten die Wirksamkeit (z. B. GIESE und HANTZSCH, 1970; GIESE, 1971, 1987, 1988, 1989; RUDNICKI, 1988; MERGENTHAL, 1988; BAILER, 1988; HOVE et al., 1990).

Nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl wurde es verstärkt in verschiedenen Ländern, bei unterschiedlichen Tierarten, mit großem Erfolg eingesetzt (GIESE, 1994).

4.1 Chemische und physikalische Eigenschaften

- **Summen-, Strukturformel, Molekulargewicht**

AEHCF wird durch die Summenformel $\text{NH}_4\text{Fe}^{\text{III}}[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]$ und die Strukturformel (Abb. 8) definiert (GIESE, 1994). Aus der Summenformel lässt sich für das „Riesenmolekül“ ein Molekulargewicht von 285,8 Dalton errechnen. Die Struktur einer Einheitszelle wurde von KEGGIN und MILES, sowie ROBIN (zitiert nach GIESE, 1988) dargestellt (Abb. 8).

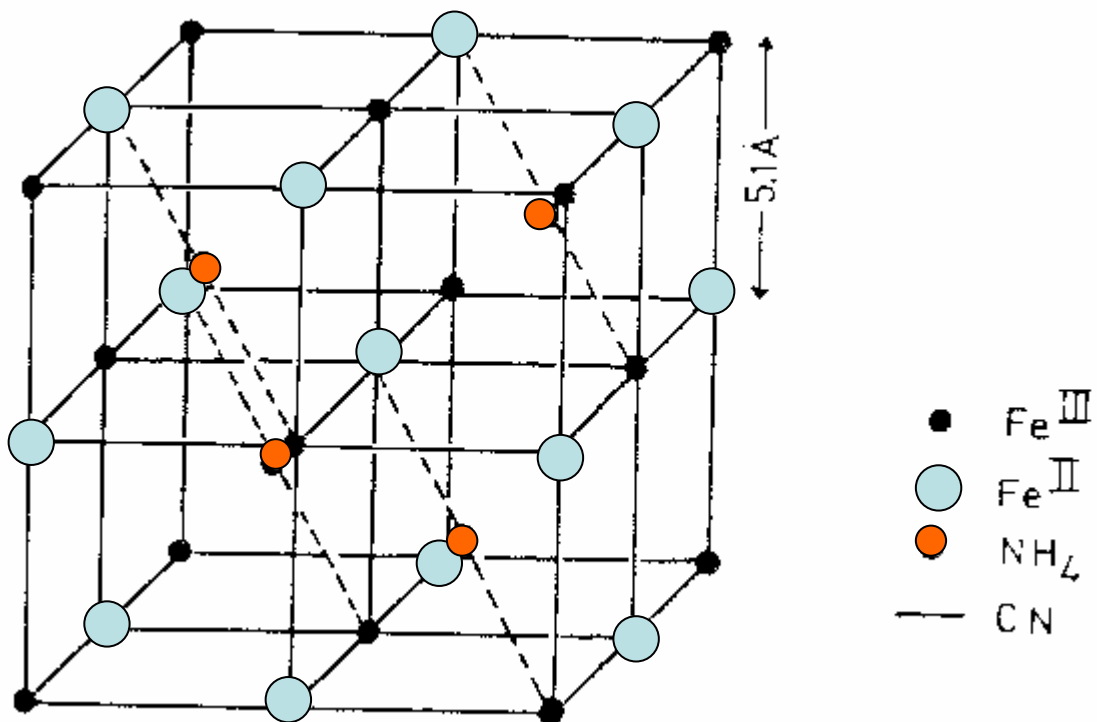


Abb. 8: Strukturformel einer Einheitszelle AEHCF (modifiziert nach GIESE, 1988)

Es handelt sich um ein mikrokristallines Komplexsalz (GIESE, 1994, 2003).

Die Struktur von AEHCF weist ein kubisches Gitter aus Eisenionen auf, die abwechselnd als Fe^{II} und Fe^{III} an den Ecken einer Einheitszelle lokalisiert sind. Dazwischen sind Cyanidionen (-liganden) entlang der Würfelkanten eingelagert (ROBIN zitiert nach GIESE und HANTZSCH, 1970; GIESE, 1988). In jedem zweiten Elementarkubus ist aus Gründen der Ladungsneutralität ein NH₄⁺-Ion lokalisiert (GIESE, 1988).

Bei anderen Alkalihexacyanoferratverbindungen ist an jedem zweiten Eisenion ein anderes Alkaliion gebunden (GIESE und HANTZSCH, 1970; GIESE, 1988). Bei der Struktur $\text{Fe}^{\text{III}}\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6$ wäre ein vollständiger Ladungsausgleich zwischen den Eisen- und Cyanidionen gegeben. Da aber die Hälfte der Eisenionen zweiwertig vorliegt, ist wegen der Ladungsneutralität in jedem zweiten Elementarkubus ein Alkaliion gebunden.

Das NH_4^+ kann leicht gegen Alkaliionen, besonders gegen Cs^+ , ausgetauscht werden (GIESE und HANTZSCH, 1970; GIESE, 1988).

GIESE und HANTZSCH (1970), die verschiedene lösliche Komplexe mit Alkalimetallen und NH_4^+ nach der Struktur $\text{MeFe}^{\text{III}}\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6$ mit $\text{Me}^+ = \text{Li}^+, \text{Na}^+, \text{K}^+, \text{NH}_4^+, \text{Rb}^+, \text{Cs}^+$ auf ihre ^{137}Cs -Bindungs- und Eliminierungsfähigkeit testeten, identifizierten den Komplex mit NH_4^+ als den wirksamsten. (Der Grund dafür liegt in den Ionenradien, Bindungskräften und der Hydrathüllen der Alkaliionen.) Innerhalb der Reihe der Alkalihexacyanoferrate wurde ein starkes Löslichkeitsgefälle zur Cs-Verbindung hin beobachtet, weshalb wohl die Bildung des schwer löslichen Cäsiumkomplexes bevorzugt stattfindet.

- **Löslichkeit, Schmelz- und Siedepunkt, Zersetzung**

In Wasser ist es kolloidal löslich (bei 20°C bis zu 10 g/l und bei 40°C bis zu 11,1 g/l, GIESE und HANTZSCH, 1970; GIESE, 1994).

Laut GIESE (1994) hat es weder einen Schmelz- noch einen Siedepunkt, sondern zersetzt sich bei 140-180°C durch Dekomposition (24 h bei 140°C reduziert das Cäsium-Bindungsvermögen durch eine Gitterstrukturveränderung von 100 % auf 33 %). Ein vollständiges Zerstören dieser stabilen Konfiguration kann nur durch Sieden in konzentrierter Salzsäure (1,125 g/ml) in Gegenwart von Kupfer(I)-Ionen erreicht werden (DIN 38405, Teil 13 vom Februar 1988 zitiert nach GIESE, 1994). Zwischen einem pH-Wert von 1 - 11 ist AEHCF in Lösungen stabil. Ab einem pH-Wert > 11, wird das Salz durch die (hohe Konzentration an) OH-Ionen zerstört. Die kolloidale blaue Lösung wird nach Zusatz von NaOH oder NH_4OH durch Zerstörung gelb.

- **sonstige physikalisch-chemische Eigenschaften und Interaktionen**

In Mineralstoffmischungen und Futtermischungen ist AEHCF inert gegenüber darin enthaltenen essentiellen Bestandteilen (Mengen- und Spurenelemente). Aus Gründen der Ladungsneutralität können nur einwertige (monovalente) Kationen gegen NH_4^+ ausgetauscht und effektiv gebunden werden, wobei die Affinität der monovalenten Ionen zu dem Salz durch ihre Größe modifiziert wird (GIESE, 1988, 1994, 1995). Die bevorzugte Bindung (Stärke der Affinität) der Alkaliionen steigt mit deren Radius ($\text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Cs}^+$).

Die pulverförmige Substanz ist selbst in kleinen Dosen homogen einmischbar (RUDNICKI, 1988).

Bei trockener und dunkler Lagerung bleibt die Wirksamkeit erhalten und die Substanz unbegrenzt haltbar, während sich in feuchter Luft Klumpen bilden (GIESE, 1994).

4.2 Wirkung

AEHCF wirkt im Magen-Darm-Trakt als anorganischer Ionenaustauscher (GIESE, 1994). Aufgrund seiner kolloidalen Löslichkeit im Wasser dispergiert es im wässrigen Magen-Darm-Inhalt so effektiv, in Form kleiner kristalliner Partikel, dass es die meisten oral mit dem Futter aufgenommenen sowie die aus dem Körper ins Darmlumen resezierten Radiocäsiumionen binden kann (GIESE UND HANTZSCH, 1970; GIESE, 1971, 1994, 2003).

Die im Wasser gelösten Partikel besitzen eine negative Oberflächenladung, die Kationen, bzw. die positiven Cäsiumionen, elektrostatisch anzieht (GIESE, 1994, 2003). Dabei verhindert die lumenseitige negative Polarität der Magen-Darm-Schleimhaut ein Festsetzen der Partikel des Giese-Salz zwischen den Schleimhautzotten (GIESE, 1994).

Im Komplex werden nun die Cäsiumionen im Austausch gegen NH_4^+ fest in das Kristallgitter eingebaut (GIESE, 1994, 2003). Abhängig von der Anzahl der zur Verfügung stehenden AEHCF-Komplexe (Dosis), kann eine bestimmte Menge an

Cäsiumionen fixiert werden (NIELSEN et al., 1988; HOVE, 1993). Dabei wird Radiocäsium selektiv unter Schonung anderer monovalenter Kationen, wie Na^+ und K^+ , gebunden (GIESE, 1994, 2003). Folglich bleibt der Mineralstoffhaushalt des Tieres unverändert, wie die gemessenen, unveränderten Na^+ - und K^+ -Konzentrationen im Blutplasma, Milch und Gewebe bewiesen (GIESE, 1971, 1994; BAILER, 1988; MERGENTHAL, 1988). Auch die Gewichtsentwicklung bleibt unbeeinflusst (RUDNICKI, 1988).

Der neu gebildete, schwerlösliche Cäsiumeisenhexacyanoferratkomplex (CEHCF-Komplex) ist im Gastrointestinaltrakt biologisch und chemisch hochstabil und wird, wie auch AEHCF, enteral nicht absorbiert, sondern mit dem Kot ausgeschieden (GIESE und HANTZSCH, 1970; GIESE, 1994, 2003).

Auf diese Weise kann zum einen die Absorption von $^{137}\text{Cäsium}$ / $^{134}\text{Cäsium}$ aus kontaminierten Futtermitteln und die Speicherung im Gewebe verhindert werden (GIESE, 1971, 1994; BAILER, 1988). Zum anderen dient es der beschleunigten Ausschleusung von bereits inkorporiertem Radiocäsium aus dem Tierkörper, d.h. die Radiocäsium-Kompartimente werden mit einer verkürzten biologischen Halbwertszeit entleert (BAILER, 1988; MERGENTHAL, 1988; GIESE, 1994). Das, mit den Verdauungssäften Speichel, Galle, Pankreassaft, Magen- und Darmsaft, aus den Radiocäsium-Kompartimenten in den Darm resezernierte Radiocäsium, wird an AEHCF gebunden und ebenfalls ausgeschieden (GIESE, 1994). Die Lebensmittel, die von solch belasteten Tieren stammen, können somit strahlungsarm erzeugt werden.

Die Wirksamkeit von AEHCF bzw. die Höhe der Reduktion der enteralen Radiocäsiumab- und Reabsorption hängt von der Konzentration des AEHCF im Gastrointestinaltrakt (Dünndarm, Pansen) ab (stöchiometrischer Effekt, NIELSEN et al., 1988; HOVE, 1993; IAEA, 1997). Je höher die zugeführte bzw. im Magen-Darm-Trakt vorhandene Menge an AEHCF, umso mehr Cäsiumionen können in einem CEHCF-Komplex gebunden und fäkal ausgeschieden werden.

4.3 Abbau

- **Stoffwechsel**

Es findet keine Metabolisierung (Verstoffwechsellung) des Wirkstoffes statt. Fast 100 % der verabreichten Menge AEHCF verlassen den Körper wieder als AEHCF bzw. CEHCF mit dem Kot (GIESE, 1994). Es existiert kein entero-hepatischer Kreislauf, da der Wirkstoff nicht enteral absorbiert wird. Auch bei Wiederkäuern, trotz Bakterien und Protozoen, bleibt der Komplex in den Vormägen stabil (GIESE, 1971).

Versuche mit ^{14}C markiertem AEHCF und ^{59}Fe markiertem AEHCF an Milchkühen deuteten auf eine Abspaltung und Absorption von Bruchteilen vernachlässigbarer Spuren von Eisen und $[\text{Fe}(\text{CN}_6)]^{4-}$ (Hexacyanoferrat) im Magen-Darm-Trakt hin (GIESE, 1994; ARNAUD et al., 1988). Milch, Urin und innere Organe wiesen vernachlässigbare Konzentrationen an ^{14}C und ^{59}Fe auf. Diese lassen auf geringste Mengen absorbierten Eisens, wahrscheinlich eine Ablösung aus dem äußeren Komplex $\text{NH}_4^{59}\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN}_6)]$ und an $[\text{Fe}(^{14}\text{CN}_6)]^{4-}$, das teils zu SCN^- (Thiocyanat) verstoffwechselt wird, schließen.

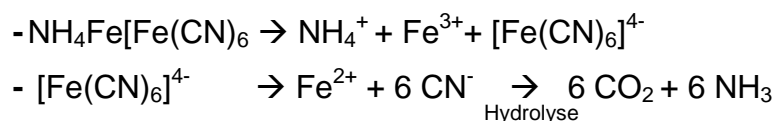
- **Rückstände in Exkrementen**

Mit der radiochromatographischen Untersuchung fäkaler Extrakte konnte AEHCF als Hauptanteil sowie Spuren von $(\text{NH}_4)_4[\text{Fe}(\text{CN}_6)]$ (Ammonium-Hexacyanoferrat) und SCN^- (Thiocyanat) im Kot nachgewiesen werden (ARNAUD et al., 1988). Ebenfalls durch Radiochromatographie analysierte Urinextrakte wiesen als metabolische Ausscheidungsprodukte $[\text{Fe}(\text{CN}_6)]^{4-}$ und SCN^- auf.

- **Abbaukinetik im Boden**

Nach GIESE (1994) wird eine sehr langsame Spaltung / Abbau des AEHCF-Komplexes in Bestandteile des äußeren (NH_4 und Fe^{III}) und in den inneren Komplex $[\text{Fe}(\text{CN}_6)]^{4-}$ erfolgen. Im inneren Komplex wird das Fe^{2+} zu Fe^{3+} oxidiert, dadurch der Komplex aufgebrochen und sukzessive CN^- freigesetzt. Diese werden

bakteriell über mehrere Redoxschritte (hydrolytische Spaltung) zu CO₂ und NH₃ umgesetzt.



Schließlich bleiben Spuren von Eisen, NH₄, CO₂ und NH₃ übrig.

- **Auswirkungen auf Pflanzen, Bodenfauna, Grundwasser**

Weder der mit dem Kot ausgeschiedene CEHCF-, noch der AEHCF-Komplex, mit kristallinen Partikeln in einer Größenordnung von 5 – 200 µm, können im Boden von Pflanzenwurzeln aufgenommen werden (GIESE, 1994). Pflanzen- und Graswachstum sowie die Verfügbarkeit wichtiger chemischer Elemente (Erdalkali- z.B. Mg² und Ca²⁺ und Spurenelemente) werden durch AEHCF oder CEHCF nicht beeinträchtigt, wie in Versuchen mit AEHCF-haltiger Rinder- bzw. Schweinegülle gezeigt werden konnte (GIESE, 1994, 1995).

Nach Giese (1994) sind ein Absickern von AEHCF ins Grundwasser und eine Zersetzung dort ausgeschlossen. Für die Komplexe wurde eine bevorzugte Bindung in den oberen Bodenschichten (3 cm) nachgewiesen.

4.4 Toxikologie

Die Toxizitätsuntersuchungen zeigten bei Schafen und Milchkühen mit einer 5-10fachen Überdosierung weder klinische, noch pathologisch-histologische oder pathologisch-physiologische Veränderungen (GIESE, 1994).

Da es nicht in den Stoffwechsel eingreift, kann es auch nicht überdosiert werden. Bezüglich der Toxikologie der Metaboliten von AEHCF lässt sich festhalten, dass als Rückstände nur in Spuren Eisen, SCN⁻ und [Fe(CN)₆]⁴⁻ vorkommen. Diese sind jedoch vernachlässigbar gering, sodass der Wirkstoff als „nicht toxisch“ bezeichnet werden kann (GIESE, 1994). Die Gewichtsentwicklung der Tiere bleibt unbeeinträchtigt (BAILER, 1988).

Im österreichischen Forschungszentrum Seibersdorf konnte keine mutagene Wirkung nachgewiesen werden (HRUBY und WOTTAWA., 1987).

4.5 Einsatz und Studien mit Giese-Salz

Die Applikation von AEHCF / Giese-Salz erfolgt als Pulver, in Kraftfuttermischungen, in Salzlecksteinen und den sog. „slow-release-boli“, die kontinuierlich AEHCF in den Vormägen freisetzen (HOVE et al., 1995; GIESE, 2003). Werden in den nachfolgenden aufgeführten Studien keine Angaben bezüglich der zugeführten Cäsiummenge bzw. der Cäsiumbelastung des Futters gemacht, wurde dazu in der Literatur keine Angabe gefunden.

- **Kraftfuttermischung / Pulver**

Die pulverförmige Substanz ist in Futtermischungen leicht homogen einmischbar und wird daher einfach bei Herstellung des Kraftfutters beigemischt (GIESE, 1994). Der Einsatz von AEHCF-haltigem Mischfutter erfolgte bei Schweinen, laktierenden Tieren und wurde auch teilweise bei weidenden Tieren als Darreichungsform gewählt.

Schwein

RUDNICKI (1988; GIESE, 1995) verfütterte in seiner Studie radiocäsiumhaltiges Molkepulver über 12 Wochen an Schweine (8 - 12 Wochen alt). Die Fütterungsgruppen sowie eine Kontrollgruppe erhielten über 12 Wochen einmal täglich ein durchschnittlich mit 762 Bq / kg belastetes Mischfutter. Dabei wurde es für Gruppe 1 mit AEHCF-Konzentrationen von 0,5 g AEHCF / kg Mischfutter versetzt und für die Gruppe 2 mit 1 g AEHCF / kg Futter. Der Mittelwert aller Reduktionsgrade lag (zweiwöchentliches Messen) gegenüber der Kontrollgruppe (alle Gewebe, alle Zeitpunkte) in Gruppe 1 bei 94,3 % und in der Gruppe 2 bei 97,1 %.

Damit erzielte RUDNICKI (1988) mit einer niedrigeren Dosis bessere Ergebnisse als LINDNER (zitiert nach Giese, 1988), durch dessen, täglich im Mischfutter verabreichte Dosis von 2 g AEHCF, bei Kälbern und Schweinen eine um 90 % verringerte Kontamination des Muskelfleisches erlangt werden konnte.

NIELSEN et al. (1988) testeten ebenfalls die Wirksamkeit von AEHCF bezüglich der enteralen Cäsiumabsorptionshemmung. Dazu wurde Ferkeln (Ø 6,2 kg KGW, Ø 26 Tage alt) ein Gemisch aus 1 ml wässriger $^{134}\text{CsCl}$ -Lösung (37 kBq) und 10 ml einer Lösung mit 97 mg AEHCF mit einer Magensonde eingeflößt und die Cäsiumretention 7 und 14 Tage nach Verabreichen in einem Ganzkörperzähler gemessen. Es konnte eine Verminderung der Radiocäsiumaktivität um mehr als 98 % im Vergleich zu den Kontrolltieren verzeichnet werden.

Weidetiere

In Feldversuchen mit Heidschnucken auf reinen Moorweiden wurde eine tägliche Dosis von 2 g AEHCF in Gelatinekapseln verabreicht. Dies bewirkte eine um 79 % geringere Cäsiumkonzentration in der Muskulatur, im Vergleich zur Kontrollgruppe (MERGENTHAL, 1988).

In Norwegen werden seit 1989 Futtermischungen mit 1 g AEHCF / kg Futter für Schafe, Ziegen und Rentiere genutzt (HOVE, 1993). Nach HOVE (1993) sind noch geringere AEHCF-Mengen (im Vergleich zu MERGENTHAL) ausreichend. 100 g / d der Futtermischung (100 mg AEHCF / d) erzielen eine Reduktion um mehr als 50 %. Bei Aufnahme von 300-500 g Futter / d (300 - 500 mg AEHCF / d) wird eine Verminderung um 90 % erreicht (HOVE, 1993). In Feldstudien mit Rentierkälbern konnte gezeigt werden, dass tägliche Dosen von 1 mg AEHCF / kg KGW (z. B. in Pulverform über die Flechten verteilt) die Cäsiumkonzentration in den Erythrozyten um 50 % reduzieren (HOVE et al., 1991).

Milchkühe

Die Verfütterung von zwei Mal täglich 1,5 g AEHCF (im Mischfutter) an Milchkühe, zog eine Verminderung der Radiocäsiumaktivität um 80 - 90 % in der Milch und um 78 % in der Muskulatur nach sich (GIESE, 1971, 1988).

Auch in Russland wurde Giese-Salz zur Dekontamination der Milch von Milchkühen eingesetzt (HOVE et al., 1995). In Pulverform und einer Dosis von 30 - 60 g / d wurde es über das Futter gestreut. Damit verminderte sich die Cäsiumaktivität in der Milch um mehr als 50 %.

- **Salzlecksteine (für Weidetiere)**

Salzlecksteine sind neben Boli die geeignetsten Cäsiumabsorptionshemmer für Weidetiere. Während im Bayerischen Wald in den Jahren 1990 bis 1994 Feldversuche mit Salzlecksteinen für Schwarz- und Rotwild mit 5 % Giese-Salz und 95 % Steinsalz durchgeführt wurden (GIESE, 1994, berichtet von den Feldversuchen, gibt aber keine Daten darüber), bevorzugte man in Norwegen eine Konzentration von 2,5 % AEHCF. Bei Konzentrationen über 5-10 % ist es schwierig die Stabilität des Lecksteins zu erhalten (HOVE, 1993).

In Norwegen wurden 1986 die Salzlecksteine mit 2,5 % AEHCF entwickelt (HOVE et al., 1990). Sie wurden erfolgreich zur Fleischproduktion bei Rindern, Schafen und Rentieren eingesetzt (HOVE, 1993; AVERIN et al., 1997). Nach Ausbringung über 3 Weideperioden, konnte eine Verringerung der Belastung im Muskelfleisch um 50 % erreicht werden. Folglich reduziert die Aufnahme von 1 g Salz / d (25 mg AEHCF / d) die Belastung um 50 % bei einem 30 - 40 kg schweren Lamm. In Norwegen werden die AEHCF-Salzlecksteine, Futterzusätze und Boli, noch immer für Rentiere (GIESE, 1994), Schafe, Rinder und Milchziegen eingesetzt (LILAND, 2004), um je nach Dosis die Radiocäsiumbelastungen in Fleisch und Milch um 50-85 % zu senken (LILAND, 2004).

Auch in der Ukraine, Russland und Weißrussland wurden Salzlecksteine sehr erfolgreich bei Milchkühen zur Verminderung der Radiocäsiumaktivität in der Milch

um mehr als 50 %, eingesetzt (HOVE et al., 1995). 1994 wurden allein in Belarus (Weißrussland) 33 t Salzlecksteine für Rinder und Milchkühe ausgebracht (HOVE et al., 1995; AVERIN et al., 1997).

- **slow-release-boli (Weidetiere)**

Die ausgereiften „slow-release-boli“ finden bei Wiederkäuern als Depotform Einsatz. Es werden ein oder mehrere, zwei oder drei, Boli appliziert (mit einem Applikator oder manuell möglichst weit hinten auf die Zunge des Wiederkäuers gelegt und von diesem geschluckt). Aufgrund der hohen Dichte der Boli (durch Bariumsulfatzusatz) verbleiben diese im Retikulumen, werden nicht regurgitiert, wandern nicht. Durch die Kontraktionen des Retikulorumens wird der Bolus langsam zerrieben und dabei AEHCF kontinuierlich über einen längeren Zeitraum freigesetzt. (Bei Gabe mehrerer Boli wird durch das gegenseitige Zerreiben täglich eine noch größere Menge frei.) Die Freisetzungsperiode kann zum einen durch die Zusammensetzung des Bolus (ohne Wachs: schnellere Freisetzung der AEHCF-Menge und schnellere Auflösung des Bolus; mit Wachs: länger haltbar und längere Freisetzungsperiode) und zum anderen durch die, den Bolus umgebenden Wachsschichten, für ein bis drei Monate bestimmt werden. Zusätzlich zur Bindung der oral aufgenommenen Cäsiumionen kann das aus den Weichgeweben wieder ins Darmlumen resezerierte Cäsium dort jederzeit gebunden und entgegen einer sonst üblichen Reabsorption mit dem Kot ausgeschieden werden (GIESE, 2003).

In Norwegen konnten PEARCE et al. (1989) die ^{137}Cs -Aktivität in der Muskulatur von Schaflämmern durch Applikation eines Bolus (20 % Giese-Salz, bestehend aus 64 % AEHCF und 36 % Ammoniumchlorid sowie Knochenmehl und gesättigten Fettsäuren) ohne Wachs, um 42 % reduzieren. (Die Freisetzungsrate entsprach 20 - 24 mg AEHCF / d.) Die Verabreichung mehrerer Boli hingegen, hatte ein sofortiges, gegenseitiges Zerreiben zur Folge. Deshalb kamen in nachfolgenden Studien Boli mit einer verbesserten Zusammensetzung (15 -20 % AEHCF, 15 % Bienenwachs und 65 % Bariumsulfat) zum Einsatz.

Bei Feldversuchen in Norwegen mit mind. zwei 15 oder 20 % -AEHCF-Boli konnte eine Reduktion der Muskelfleischbelastung bei Schafen, Rindern und Rentieren um 50 - 80 % und in Nordirland mit Schafen um bis zu 90 % erreicht werden (HOVE et al, 1990; HOVE, 1993).

Weitere Studien mit kleinen Wiederkäuern in Norwegen, führten bei Gabe zweier Boli (Dichte: 2,6 kg / l), für vier bis sechs Wochen, zu einer Verringerung des ¹³⁴Cs-Transfers in Milch und Fleisch um 80 bzw. 60 % (HOVE und HANSEN, 1993).

Um noch zehn bis zwölf Wochen nach Applikation (nach gesamter Weidesaison) niedrige Muskelcäsiumaktivitäten zu erhalten, wurden in Norwegen von HANSEN et al. (1996) Boli, mit zwei unterschiedlichen Wachsüberzügen (Schutz des Bolus für die ersten drei Wochen) versehen, zum Einsatz gebracht (Überzug Typ 1: 25 % Carnauba-, 75 % Bienenwachs ; Überzug Typ 2: 50 % Carnauba-, 25 % Bienenwachs, 25 % Colophonium). Drei Boli von Typ 1 waren geeignet, noch acht bis zwölf Wochen nach Verabreichung die Kontamination um 50 % zu verringern.

Besonders in den hoch kontaminierten Gebieten Belarus (Weißrussland), Russland und der Ukraine, wurden große (250-300 g) Boli bei Milchkühen erfolgreich eingesetzt. Drei Boli zu Beginn der Weideperiode und eine erneute Gabe nach 60 Tagen reduzierten die ¹³⁷Cs-Aktivität in der Milch um den Faktor zwei bis sechs (HOVE et al., 1995).

- **Studien mit AEHCF**

Eine Übersicht über durchgeführte Studien zur Wirksamkeit von AEHCF (Tab. 16).

Tab. 16: Studien mit AEHCF

Quelle	Spezies	Applikationsform	Dosis (AEHCF)	Reduktion der Cs-Aktivität
RUDNICKI (1988) Deutschland	Schwein	Molkepulver	I. 0,5g AEHCF/kg II. 1g AEHCF/kg	I. 94,3 % II. 97,1 % (Muskel, Niere, Leber)
LINDNER (zitiert nach GIESE, 1988) Deutschland	Schwein	Mischfutter	2g AEHCF/d	90 % (Muskel)
LINDNER (zitiert nach GIESE, 1989) Deutschland	Kalb	Milchaustauscher	2g AEHCF/d	> 90 % (Muskel)
SCHLOLAUT (zitiert nach Bailer, 1988)	Schaf	oral	1g AEHCF/d	87% (Muskel)
MERGENTHAL (1988) Deutschland	Schaf	Gelatinekapsel	2g AEHCF/d	79% (Muskel)
GIESE (1971, 1988)	Milchkuh	Mischfutter	1,5g AEHCF 2x/d	80-90% (Milch) 78% (Muskel)
HOVE (1993) Norwegen	Schaf, Ziege, Rentierkalb	Futtermischung	1g AEHCF/kg Futter	100g Futter/d > 50% 300-500g Futter/d > 90%
HOVE (1993) Norwegen	Schaf, Rentier, Rind	Bolus	15 / 20%AEHCF	50-80% (Muskel)
PEARCE (zitiert nach HOVE, 1993) Nordirland	Schaf	Bolus	15 / 20%AEHCF	bis 90% (Muskel)
HOVE et al. (1991) Norwegen	Rentierkalb	Pulver	1mg AEHCF/kg KGW	50% (Erythrozyten)
HOVE et al. (1990) Norwegen	Schaf, Rind	Salzleckstein	2,5% AEHCF (1g Salz/d)	50% (Muskel)

Schrifttum

Fortsetzung Tab. 16: Studien mit AEHCF

Quelle	Spezies	Applikationsform	Dosis (AEHCF)	Reduktion der Cs-Aktivität
PEARCE et al. (1989) Norwegen	Schafamm	Bolus ohne Wachs, ohne Wachsschicht	20-24mg AEHCF (1 Bolus)	42% (Muskel)
HOVE und HANSEN (1993)	kleine Wiederkäuer	Bolus mit Wachs, ohne Wachsschicht	15% AEHCF (2 Boli)	4-6 Wochen: 80% (Milch) 60% (Muskel)
HANSEN et al. (1996)	Schaf	Bolus mit Wachs u. Wachsüberzug	15% AEHCF (3 Boli) (ohne Überzug) (mit Überzug)	4-8 Wochen: bis 75% (Muskel) 8-12 Wochen: 50% (Muskel)
HOVE et al. (1995)	Milchkuh	Boli mit Wachs, ohne Überzug	15% AEHCF (2 od.3 Boli)	2x in 91d > 50% (Milch)
HOVE et al. (1995) Russland	Milchkuh	Pulver	30-60g/d	> 50% (Milch)
HOVE (1993)	Schaf Rind	Bolus Salzleckstein (2,5% AEHCF)	Schaf: 25-300mg/d Rind: 250-2000mg/d	50-90% (Muskel)
HOVE et al. (1995) Weißrussland, Russland, Ukraine	Milchkuh	Salzleckstein		> 50% (Milch)
UNSWORTH et al. (1989)	Milchkuh	Futtermischung	3g/d	85% (Milch)
HOVE et al. (1990) Norwegen	Milchziege Schaf	Futtermischung Salzleckstein	0,5g AEHCF/d 2,5% AEHCF	90-95% (Milch) 75% (Muskel)
NIELSEN et al. (1988) Deutschland	Ferkel	Magensonde	97 mg AEHCF	> 98% (Muskel)

- **Humanmedizin**

In der Humanmedizin wird das unlösliche Berliner Blau, $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$, oral in Dosen von 1 - 15 g täglich bei Cäsium- und Thalliumintoxikationen verabreicht (Einsatz in Ukraine und Brasilien, GIESE, 1994).

4.6 Zulassung als Futterzusatz

Im Oktober 2001 wurde mit der EU-Verordnung Nr. 2013/2001 Ammoniumeisen(III)–Hexacyanoferrat(II) schließlich von der EU-Kommission für alle EU-Staaten als Radionuklid-Bindemittel zur Verwendung als Zusatzstoff in der Tierernährung (Futtermitteladditiv) zugelassen (VO (EG) Nr. 2013/2001). Die von der EU-Kommission zugelassenen Fütterungsdosen sind in Tabelle 17 wiedergegeben.

Tab. 17: Zugelassene Fütterungsdosen für das Bindemittel für radioaktives Cäsium ($^{137}\text{Cäsium}$ u. $^{134}\text{Cäsium}$)

Tierart / Tierkategorie	Zugelassene Dosis mg / kg Alleinfuttermittel	Sonstige Bestimmungen	Geltungsdauer
Wiederkäuer (Wild- und Haustiere); Kälber, Schaflämmer und Ziegenlämmer bis zum Beginn des Wiederkäuens; Schweine (Wild- und Haustiere)	Minimum / Maximum 50 / 500	Nur f. begrenzte geografische Gebiete im Fall einer Kontamination durch Radionukleotide. Die Menge an Ammoniumeisen(III)-Hexacyanoferrat(II) i.d. täglichen Futtermittelration muss zwischen 10 mg u. 150 mg / kg KGW liegen.	unbegrenzt

Schrifttum

Quelle: Aus dem Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft L 272/24-28 vom 13.10.2001, VERORDNUNG (EG) Nr. 2013/2001 DER KOMMISSION vom 12. Oktober 2001 zur vorläufigen Zulassung eines neuartigen Verwendungszwecks eines Zusatzstoffes und zur unbefristeten Zulassung eines Zusatzstoffes in Futtermitteln.

III. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

A. MATERIAL UND METHODEN

1. VERSUCHSZIEL

Die Wirksamkeit von Giese-Salz bzw. AEHCF zur Reduzierung der Radiocäsiumbelastung bei unterschiedlichen Labor-, Heim- und Wildtierarten, konnte bereits in vielen Studien bewiesen werden (s. Kap. II. 4.5, Tab. 16). Jedoch konnten die bisher durchgeführten Laborversuche und Studien nicht auf das Schwarzwild in freier Wildbahn übertragen werden.

Zielsetzung dieser Feldstudie (praktische Fütterungsstudie) war es deshalb, die Reduktion der Radiocäsiumbelastung im Muskelfleisch von Schwarzwild durch ein Angebot von mit AEHCF versetztem Wildschweinfutter zu überprüfen, wobei das Versuchsfutter anstelle des üblichen Kirmaterials (v. a. Körnermais) an den Kirrungen ausgebracht wurde. Es ist davon auszugehen, dass das Schwarzwild, abwechselnd Nahrung aus Fütterungen und aus freier Wildbahn aufnehmend, das Versuchsfutter vor oder nach mit Radiocäsium belasteten Nahrungsbestandteilen inkorporiert. Die Fragestellung war insbesondere, ob AEHCF auch bei konsekutiver Futteraufnahme wirksam ist.

2. VERSUCHSPLAN

Einen Überblick über den geplanten Versuchsablauf der Schwarzwildfütterungsstudie gibt Tabelle 18.

Eigene Untersuchungen

Tab. 18: Überblick über den geplanten Versuchsablauf der Schwarzwildfütterungsstudie

Gliederung der Feldstudie	Dauer / Zeitraum	Anzahl der Reviere	Bezeichnung der Reviere	Ausbringungsart	Versuchsfutter	erfasste Parameter
				Ausbringung von jeweils Verum u. Placebo in jedem Revier (Revier 1-4)		
1. Akzeptanzversuch	Okt./Nov. 2006 (geplant:14 d)	2	Revier 1	Holztröge, bedeckt u. beschwert	Granuliertes Trockenfutter (blaues Verum, beiges Placebo)	1. Futterraufnahme (Menge) 2. Akzeptanzunterschied zw. Verum u.Placebo?
			Revier 2	Ausstreuen, unbedeckt		
2. Langzeitfütterungsversuch (placebo-kontrolliert, doppelblind)	01.01.- 10.05.2007	2	Revier 3 (Auswahl von 4 Gebieten, je 2 Verum- u. 2 Placebogegebiete)	Holztröge, bedeckt	Futterpellets (blaues Verum, blaues Placebo, eingefärbt)	1. Futterausbringung u.-aufnahme 2. Losung (Farbe) 3. Art (Alter, ♂ / ♀) u. Gewicht d. erlegten Stücks, Datum u. Ort d. Erlegens 4. Mageninhalt: AEHCF-Konz. 5. Muskelfleisch: ¹³⁷ Cs-Aktivität
			Revier 4 (Teilen in 2 Gebiete; je 1 Verum- u. 1 Placebogegebiet)	Pendelfässer u. Betontröge, bedeckt		

- **Akzeptanzversuch**

Im Akzeptanzversuch wurde zunächst die Annahme des Versuchsfutters, sowohl mit AEHCF (Verum), als auch ohne Wirkstoff (Placebo) durch das Schwarzwild überprüft. Dazu wurde Ende Oktober / Anfang November 2006 in zwei Revieren, Revier 1 und 2, je hälftig blaues Verum (mit AEHCF)- und beiges Placebofutter (Abb. 9) an Kirr- und Futterstellen, anstelle des herkömmlichen Kirrmaterials (Körnermais), ausgebracht. Die Aufnahme wurde regelmäßig kontrolliert. Das Versuchsfutter für den Akzeptanzversuch wurde als granuliertes Trockenfuttermittel produziert und in Revier 1 in Futtertrögen mit Abdeckung und in Revier 2 ohne Bedeckung, durch Ausstreuen auf dem Boden, ausgebracht.



Abb. 9: Granuliertes Trockenfuttermittel

- **Langzeitfütterungsversuch**

Der Langzeitfütterungsversuch wurde als placebokontrollierte, doppelblinde Feldstudie durchgeführt. Das Placebo wurde dazu mit Patentblau, ähnlich blau dem Verum, eingefärbt (Abb. 10).



Abb. 10: Pelletiertes Wildschweinfutter

Die beiden blauen, pelletierten Versuchsfutterchargen wurden mit SOMI-A und SOMI-B bezeichnet. Nur der Futtermittelhersteller hatte Kenntnis über die Zuordnung von Verum und Placebo zu den mit AF 1 SOMI-A (→ Verum) und AF 1 Somi-B (→ Placebo) gekennzeichneten Futterchargen. Zwischen der Autorin und dem Futtermittelhersteller bestand diesbezüglich kein Informationsaustausch.

Für den Fütterungsversuch wurden die Reviere 3 und 4 ausgewählt, die nach der Bodenkontaminationskarte (Anhang 2, Abb.VIII.1) und den bisher gemessenen ¹³⁷Cs-Aktivitäten im Muskelfleisch von Schwarzwild unterschiedlich hohe Belastungen aufwiesen (Anhang 7). Während in Revier 3 kaum Grenzwertüberschreitungen (Bq-Werte über 600 Bq / kg FM) auftraten, der Mittelwert der Cäsiumkontamination des Schwarzwildes (2002–2006) 161 Bq / kg FM (Anhang 7.1, Tab. VIII.13) betrug und die Bodenkontamination eher gering ist, konnte in einigen Gebieten in Revier 4 in den Vorjahren kein einziges erlegtes Stück Schwarzwild verwertet werden. Für die gemessenen Radiocäsiumaktivitäten im Muskelfleisch ergibt sich in Revier 4 für die beiden Jahre 2005 und 2006 insgesamt ein Mittelwert von 2406 Bq / kg FM (Anhang 7.2, Tab. VIII.14). Zudem wurden Spitzenwerte bis 22167 Bq / kg FM (Feb. 05) erzielt (Anhang 7.2, Tab. VIII.14).

In beiden Revieren ist das Schwarzwild Standwild, sehr standorttreu, wird regelmäßig gekirrt und ist gut an die Kirrungen gebunden. Die Wildschweine werden in beiden Revieren überwiegend durch Einzeljagd an der KIRRUNG erlegt. Um die Wirkung des Verum- und Placebofutters unter gleichen Bedingungen testen zu können, erfolgte eine Einteilung der Reviere 3 und 4 in jeweils Placebo- und Verumgebiete. In Revier 3 gab es jeweils zwei Verum- und zwei Placebogebiete, in Revier 4 jeweils eines. Die Kirrungen der Placebogebiete wurden dementsprechend mit Placebo, die der Verumgebiete mit Verum bestückt. Aufgrund der Standorttreue sowie der Beachtung der Wanderrichtung und der nächtlichen Streifgebiete der Rotten bei Einteilung der Gebiete, war nur ein geringer Wildwechsel zwischen den Verum- und Placebogebieten zu erwarten.

Die Zuordnung der Gruppen zur Versuchsfuttercharge (Verum / Placebo) geschah zufällig.

Die Versuchsperiode erstreckte sich von Januar 2007 bis zum 10. Mai 2007, entsprechend der üblichen Hauptjagdzeiten und der Kontaminationsspitzen in den ausgewählten Versuchsrevieren.

In der Anlaufphase (erste Woche) sollte zur Umgewöhnung Versuchsfutter gemischt mit dem üblichen Körnermais ausgebracht werden. Ab dem zehnten Tag war eine ausschließliche Versuchsfutterausbringung geplant.

Bei der täglichen Kontrolle der Kirrplätze wurde die ausgebrachte und aufgenommene Futtermenge je Kirrstelle in einem Tagebuch protokolliert. Nach dem Erlegen eines Stückes wurden zudem die Daten des Tieres (Geschlecht, Alter und Gewicht) mit Datum und Ort des Erlegens (Kirrplatznummer, Gebiet) im Tagebuch vermerkt. Die für jede KIRRung bzw. jedes Revier und Gebiet erstellten und verteilten Tagebücher sind in Anhang 3 zu finden. Zusätzlich wurde jedem Tier eine Identifikationsnummer zugeteilt, aus der auch der genaue Abschussort ersichtlich war.

Unmittelbar nach Verbringen des erlegten Wildschweins in den Kühlraum erfolgte die Entnahme zweier Proben:

- 1. Mageninhaltprobe:** qualitativer und quantitativer Nachweis an AEHCF (Vossen-Blau[®]C6) im Mageninhalt (μg AEHCF / g Mageninhalt)
- 2. Muskelfleischprobe:** Bestimmung der Radiocäsiumaktivität ($^{137}\text{Cäsium}$) des Muskelfleisches (Bq / kg FM)

Zudem wurden die Verum- und Placebokirrungen auf blaue Losung hin kontrolliert.

In **Revier 4** konnte der Studienplan nicht eingehalten werden, da sich das Schwarzwild bis auf einzelne, wenige Tage nicht an den Kirrungen zeigte. Aufgrund des hohen Mastfrüchtevorkommens in dem Revier waren die Kirrstellen nur von sehr geringer Attraktivität für das Schwarzwild. Folglich wurden weder

größere Mengen Versuchsfutter aufgenommen, noch war es möglich das Schwarzwild zu bejagen (zusätzlich ungünstige Witterungsverhältnisse) und Proben zu entnehmen.

Um die Wildschweine dennoch an die Kirrstellen zu locken, wurde weiterhin (bis in die Sommermonate) der übliche Körnermais vermengt mit dem Versuchsfutter (Verum / Placebo) ausgebracht. Der Studienplan bezüglich der regelmäßigen und ausschließlichen Versuchsfutterausbringung konnte in Revier 4 nicht eingehalten werden. **Damit fiel Revier 4 aus dem eigentlichen Versuchsplan.**

Die an der eigenen anerkannten Messstation der Kreisgruppe gemessenen Radiocäsiumaktivitäten, der bis zum 18.08.2007 erlegten Wildschweine, wurden der Autorin freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

3. AEHCF - DOSIERUNG

Im Anhang II der Verordnung (EG) Nr. 2013/2001 werden die Bedingungen, unter denen AEHCF bei Schweinen (Wild- und Haustieren) zugelassen ist, genauer geregelt.

Es müssen mind. 50 mg AEHCF / kg Alleinfuttermittel und es dürfen **max. 500 mg AEHCF / kg Alleinfuttermittel** eingesetzt werden. Weiterhin muss die Menge an AEHCF in der täglichen Futterration zwischen 10 mg und 150 mg je 10 kg KGW betragen.

Obige Zulassungsbedingungen beziehen sich auf **Alleinfuttermittel**. Es ist aber zu erwarten, dass das im Forschungsvorhaben als Kirrmaterial eingesetzte Wildschweinfutter nicht als Alleinfuttermittel, sondern nur zusätzlich, mit einem Anteil von 13,3 - 40 % der Gesamtnahrung aufgenommen wird (s. Kap. II. 1.4).

Bei max. 40 % Futteraufnahme aus Zufütterung sind **1250 mg AEHCF/ kg Ergänzungsfutter** erlaubt.

Der Wirkstoff AEHCF wurde daher in der Dosierung von 1250 mg AEHCF/ kg Futter in das Schwarzwildversuchsfutter eingemischt (→ Verum).

4. VERSUCHSFUTTER

Das Versuchsfutter wurde von der Fa. Fixkraft Wildfutter im Stammwerk der Fixkraft-Futtermittel GmbH & Co KG in Enns, Österreich, auf Basis des bereits eingeführten Ablenkfutters für Schwarzwild, AF 1 (Tab. 19), produziert. Um es noch attraktiver zu gestalten, wurde ein zugelassener Aromastoff zugesetzt.

- **AF 1 Wildschweinfutter: Zusammensetzung, Inhalts- und Zusatzstoffe**

Tab. 19: Zusammensetzung, Inhalts- und Zusatzstoffe des Wildschweinfutters

<p><u>deklarierte Inhaltsstoffe:</u></p> <p>14,0 % Rohprotein 5,5 % Rohasche 3,5 % Rohfaser 2,5 % Rohfett 0,75 % Lysin</p>	<p><u>deklarierte Zusatzstoffe:</u></p> <p>Vitamin A 10.000 i.E. Vitamin D3 1.400 i.E. Vitamin E 70 mg Kupfer(als Kupfer (II) Sulfat) 30 mg</p>
<p><u>Zusammensetzung:</u></p> <p>Weizen, Mais, Weizenkleie, Brotschrot, Soja(bohnen)extraktionsschrot aus geschälter Saat, dampferhitzt, Maiskrafftutter, Malzkeime, Melasse, Calciumcarbonat, Monocalciumphosphat, Natriumchlorid, L-Lysin, Vormischung</p>	

Das Versuchsfutter für den Akzeptanz- und den Langzeitfütterungsversuch unterschied sich in Form und Farbe. Dies und die produzierten Mengen, sind in Tabelle 20 zusammengestellt.

Tab. 20: Form, Farbe und Menge des Versuchsfutters im Akzeptanz- und Langzeitfütterungsversuch

Futtermittel	Form	Produzierte Menge
Akzeptanzversuch	Granuliertes	130 kg Verum (blau)
	Trockenfuttermittel	120 kg Placebo (beige)
Langzeitfütterungsversuch	Pellets	8 t Verum (blau)
	Größe: 15 x 5 x 5 mm	8 t Placebo (blau)

- **Verum**

AF 1 Wildschweinfutter + 1250 mg AEHCF / kg

Zur Herstellung des Verums wurde dem Wildschweinfutter AF 1 AEHCF ($\text{NH}_4\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) als VOSSSEN-BLAU[®]C6 der Fa. Evonik Degussa GmbH, Frankfurt, in Pulverform zugesetzt. Die Einmischrate betrug 1250 mg AEHCF / kg Wildschweinfutter. Durch das VOSSSEN-BLAU[®]C6 verfärbte sich das ursprünglich beige Futtermittel blau (Abb. 11).



Abb. 11: Futterpellets mit AEHCF (Verum)

- **Placebo**

Akzeptanzversuch: AF 1 Wildschweinfutter

Langzeitfütterungsversuch: AF 1 Wildschweinfutter + Patentblau

In das AF 1 Wildschweinfutter wurde vom Hersteller der zugelassene Lebensmittelfarbstoff E 131 / Patentblau V, wasserunlöslich, 12%ig, von der Fa. Schumann & Sohn GmbH, Karlsruhe, im Verhältnis von 0,7 kg / t (direkt in den

Vormischbehälter) eingemischt. Das Placebo erhielt dadurch eine ähnlich blaue Farbe wie das Verum (Abb.12).



Abb. 12: Futterpellets mit Patentblau (Placebo)

5. VERSUCHSREVIERE

5.1 Vorversuchsreviere - Akzeptanzversuch

5.1.1 Revier 1

Lage: Der Akzeptanzversuch wurde in einem umzäunten Großgatter von ca. 700 ha Fläche am Südrand des Nördlinger Rieses (Schwaben) durchgeführt.

Topographie, Geologie: Die Höhenlage des Revier 1 schwankt zwischen 430 und 652 m ü. NN.

Das geologische Ausgangsmaterial wird überwiegend vom Weißen Jura gebildet.

Vegetation: Die 700 ha Revierfläche gliedern sich in ca. 10,5 ha Wildwiesen und Wildäcker sowie einen bewirtschafteten artenreichen Mischwald auf der Restfläche. Der Waldtyp wird überwiegend von Laubholz, insbesondere Buche und Eiche, aber auch Esche und Ahorn, bestimmt. Als Nadelhölzer finden sich besonders Fichte, Douglasie, Lärche und Kiefer. Aufgrund des hohen

Laubholzanteils und der starken Mast, war der Herbst 2006 von einem großen Angebot an Eicheln und Bucheckern geprägt.

Wildbestand: Neben dem Schwarzwild als Hauptwildart, mit einem Bestand von ca. 350 Sauen (Sommerbestand), ist auch Dam-, Reh- und Muffelwild vertreten.

Kirren, Füttern: Das Schwarzwild wird in diesem Revier das ganze Jahr hindurch mit Mais, Kartoffeln, Futterrüben und Sonnenblumenkernen gefüttert. Aufgrund der starken Mast wurde die Zufütterung im Herbst auf einmal pro Woche reduziert.

Akzeptanzversuch: Das Revier 1 erhielt 130 kg Versuchsfutter (70 kg Verum und 60 kg Placebo).

- **Erster Tag:**
 - fünf Futterstellen mit je einem Holztrög; Ausbringung von 10 kg Versuchsfutter in jedem Holztrög
 - Futtertröge befüllt mit jeweils nur einer Futtervariante (drei mit Verum, zwei mit Placebo)
 - Futtertröge abgedeckt mit einem Brett
- **Dritter Tag und weitere Kontrolltage (alle zwei Tage, bis zum 12. Tag):**
 - Kontrolle und Wiederauffüllen der Tröge (je 15 kg)
 - alle fünf Tröge mit je hälftig Verum und Placebo (je 7,5 kg auf jeder Seite, Abb. 13) befüllt
 - Holztröge abgedeckt und mit Steinen beschwert (damit sich nur Wildschweine Zugriff auf das Futter verschaffen konnten, Abb. 14)
 - Kontrolle der Futterstellen auf:
 - Schwarzwildspuren vor und im Trög,
 - die Versuchsfutteraufnahme
 - Unterschiede zwischen der Akzeptanz von Placebo und Verum



Abb. 13: Verum und Placebo in den Holztrögen



Abb. 14: Futtertröge bedeckelt und beschwert

5.1.2 Revier 2

Lage: Das südlich von München (Oberbayern) gelegene, vollständig eingezäunte Revier 2, erstreckt sich über eine Fläche von 2.100 ha.

Topographie, Geologie: Das Gebiet liegt auf einer Schotterfläche, die nach der letzten Eiszeit (Würmszeit) entstanden ist, auf einer Höhe von 650 bis 660 m ü. NN.

Vegetation: 2.000 ha des Reviers sind fast ausschließlich mit Nadelwald, mit der Fichte als dominanter Baumart, bestockt, während der geringe (ca. 10 %) Laubholzanteil überwiegend von der Buche bestimmt wird. Die restlichen 100 ha umfassen Äsungsflächen, als extensiv genutzte Wiesen bewirtschaftet, sowie Forststraßen.

Wildbestand: Der Wildbestand weist neben Schwarzwild mit einem Grundbestand von 120 Sauen und einem jährlichen Zuwachs von 180 – 200 Frischlingen, auch Reh-, Rot- und Damwild auf.

Kirren: Der geringe Anteil an fruchtbarem Baumbestand (ca. 10 %; 95 % Buche und 5 % Eiche) und die fehlenden Feldfrüchte machen (normalerweise) eine tägliche Zufütterung notwendig (Zufütterung: 0,6 kg / Stück / d). Diese erfolgt durch großflächiges Ausstreuen von Körnermais auf die Bodenoberfläche.

Allerdings war der Herbst 2006 von einer sehr starken Mast gekennzeichnet, sodass sich dem Schwarzwild eine große Menge einer beliebten Nahrungskomponente bot.

Akzeptanzversuch: Für das Revier 2 wurden 120 kg, je hälftig Placebo und Verum, bereitgestellt.

- **Erster Tag:**

- Verteilen von 30 kg Placebo und 30 kg Verum auf drei Kirrstellen
- Ausbringen des Versuchsfutters durch Ausstreuen auf die Bodenoberfläche (in dem Revier übliche Methode) ohne Bedeckung
- erster Kirrplatz: Waldlichtung; Ausstreuen von Verum auf die linke und Placebo auf die rechte Seite, in je vier Haufen im Abstand von ca. drei Metern (Abb. 15)



Abb. 15: Verum in einer Waldlichtung

- zweite Kirrstelle: Waldschneise; Ausbringen der beiden Futterchargen in je drei Haufen direkt nebeneinander (Abb. 16).



Abb. 16: Placebo und Verum an Kirrstelle 2

- dritte Kirrstelle: Wiese mit Suhlmöglichkeiten und angelegtem Teich; Verteilung von Placebo und Verum auf je drei Haufen (Abb. 17)



Abb. 17: Placebo und Verum an Kirrstelle 3

- **Kontrolltage:** Über fünf Tage, tägliche Kontrolle der Futteraufnahme bezüglich der Menge und Bevorzugung einer Futtervariante, sowie Wiederausbringung an den Kirrstellen in gleicher Weise

5.2 Versuchsreviere - Langzeitfütterungsversuch

5.2.1 Revier 3

Lage: Das für den Langzeitfütterungsversuch ausgewählte Revier 3 liegt inmitten eines ca. 23000 ha umfassenden, eingezäunten Großreviers in der Oberpfalz.

Topographie, Geologie: Die Flächen liegen in einer Höhenlage von 315 bis 840 m ü. NN. Die geologisch vorherrschenden Formationen sind Kreide, Trias und Jura, die im Laufe der Jahrtausende unter dem Einfluss des kontinental geprägten Klimas zu trockenen Sand- und Lehmböden verwittert sind.

Vegetation: Das landschaftliche Bild wird von artenreichen Mischwäldern und Freiflächen mit einer großen Biotopvielfalt, sowie zahlreichen Seen und Gewässern, mit vom Schwarzwild sehr gerne aufgesuchten Schilfflächen, bestimmt. Auf einer Holzbodenfläche von knapp der Hälfte des gesamten Großreviers wird ein Mischwald mit einem Anteil von ca. 70 % Nadel- (Kiefer und Fichte) und ca. 30 % Laubwald (Buche, Eiche, Birke, Erle, Lärche) bewirtschaftet.

Der Herbst und Winter 2006 / 2007 war trotz des geringeren Laubholzanteils auch in diesem Revier von der Eichel- und Buchenmast gekennzeichnet.

Wildbestand: Der Wildbestand in dem Revier umfasst neben Schwarzwild auch Rot- und Rehwild.

Die Schwarzwildrotten ziehen im Großrevier hauptsächlich in östliche und westliche Richtung.

Kirren: Gewöhnlich erfolgt das Kirren des Schwarzwildes entweder täglich oder alle zwei Tage durch Ausbringen von Körnermais in ausgehöhlten Baumstämmen, die mit einem Brett abgedeckt werden. Eine Kirrung wird mit ca. 3 kg Kirrmaterial bestückt.

Bejagung, Jagdstrecke: Die Hauptjagdzeit für Schwarzwild umfasst in diesem Revier die Monate Dezember bis einschließlich März. Gejagt wird überwiegend in Einzeljagd an der Kirrung.

Die durchschnittliche Jagdstrecke (Schwarzwild) beträgt im gesamten Großrevier ca. 750 Stück, im Revierteil, in dem der Fütterungsversuch durchgeführt wurde, lag die erwartete Strecke bei mindestens 150 Stück.

Durchschnittliche Belastung der Wildschweine: Der Mittelwert der Cäsiumbelastung der Wildschweine, berechnet aus den Bq-Werten von 2002-2006 (n= 75), beträgt in diesem Revier 161 Bq / kg FM (Anhang 7.1, Tab. VIII.13).

- **Auswahl der vier Versuchsgebiete in Revier 3**

Zum Durchführen des Fütterungsversuchs wurden in Revier 3 vier Gebiete à 1000 ha ausgewählt, in denen von ähnlichen Versuchsbedingungen, soweit in freier Wildbahn möglich, ausgegangen werden konnte. In Tabelle 21 sind die vier Gebiete mit der im Versuchszeitraum ausgebrachten Versuchsfuttercharge (Placebo / Verum) und der Anzahl der jeweiligen Kirrstellen aufgeführt. Zusätzlich wird angegeben, ob das Studienprotokoll im jeweiligen Gebiet (regelmäßige Kontrolle und Ausbringung der jeweiligen Versuchsfuttercharge, sowie ausschließliche Ausbringung des Versuchsfutters) eingehalten wurde.

Eigene Untersuchungen

Tab. 21: Übersicht über die vier ausgewählten Gebiete, die Anzahl ihrer Kirrungen, die jeweils ausgebrachte Futtercharge und das Einhalten des Studienprotokolls (Revier 3)

Gruppe	Gebiet (je 1000 ha)	Anzahl der Kirrungen	Futter- Charge (Bezeichnung)	Einhalten des Studienprotokolls
Placebo	G1 / Placebo	9	Placebo (AF 1 Somi-A)	ja
Placebo	G2 / Placebo	8	Placebo (AF 1 Somi-A)	ja
Verum	G3 / Verum	10	Verum (AF 1 Somi-B)	ja
Verum	G4 non compliant (G4 nc)	10	Verum (AF 1 Somi-B)	nein

Erst während des Versuchs stellte sich heraus, dass das Gebiet **G4**, in seinen Gegebenheiten hinsichtlich der folgenden Punkte wesentlich von den drei anderen Gebieten abwich.

1. Das **Studienprotokoll** wurde hinsichtlich der ausschließlichen Versuchsfutterausgabe durch die weitere Zufütterung, u.a. von Kirrmals (bei Stichprobenkontrollen der Kirrungen durch die Autorin mehrfach festgestellt), durch die ausbringende(n) Person(en) **nicht eingehalten**.
2. G4 unterlag systematischen äußeren Störungen, bedingt durch die Nutzung des Geländes.

Da das Studienprotokoll in G4 nicht eingehalten wurde, wird es im Folgenden als **G4 non compliant**, abgekürzt als **G4 nc**, bezeichnet. Da die Studie hier unter anderen Voraussetzungen durchgeführt wurde, kann es nicht mit dem Verumgebiet G3 / V zu einer Verumgruppe zusammengefasst und der Placebogruppe gegenübergestellt werden.

Der eigentliche Vergleich von Verum und Placebo zur Beurteilung eines Effekts des Verums basiert auf der Gegenüberstellung der Placebogegebiete (G1 / P und G2 / P) und des realen Verumgebiets G3 / V.

- **Kirrung für das Versuchsfutter**

In Revier 3 wurde das Versuchsfutter in ausgehöhlten Baumstämmen ausgebracht. Eine typische Kirrung zeigt Abbildung 18.



Abb. 18: Eine Kirrung gefüllt mit pelletiertem Versuchsfutter in Revier 3

Zum Abdecken der Futtertröge wurde ein Teil des Stammes mit langen, senkrecht stehenden Ästen verwendet. Diese Art der Abdeckung konnte nur von Schwarzwild entfernt werden und verhinderte das Feuchtwerden des frischen Futters (Abb. 19 und 20).



Abb. 19: Abgedeckte Kirrung 1 in Revier 3



Abb. 20: Abgedeckte Kurrung 2 in Revier 3

- **Versuchsfuttermenge**

Die bereitgestellte Futtermenge betrug 11400 kg (davon 1500 kg Futter umgelagert aus Revier 4), jeweils hälftig Placebo und Verum.

5.2.2 Revier 4

Lage: Der Otterwald, das zweite Revier für den Langzeitfütterungsversuch (Revier 4), liegt als großes, umschlossenes Waldgebiet zwischen Babenhausen und Memmingen (Regierungsbezirk Schwaben, Landkreis Unterallgäu).

Insgesamt weist der Otterwald eine Flächenausdehnung von ca. 3000 ha auf. In westlicher, wie in südlicher Richtung, wird das Gebiet durch die Autobahnen A7 und A96 abgegrenzt.

Topographie, Geologie: Die Fläche liegt auf einem Höhenzug von 550 bis 675 m ü. NN. Das Landschaftsbild ist geprägt von der typischen mittelschwäbischen Schotter- und Riedellandschaft. Auf einem Untergrund aus Schotter und Löss finden sich Braunerdeböden (mit ausreichendem Kalkgehalt), tonige Lehme und Pseudogleye. (Stauanasse Böden, die durch einen Wechsel von starker Nässe und relativer Austrocknung geprägt sind. Ursache ist ein verdichteter Stauhorizont im Untergrund, z.B. eine Tonlage, die die Versickerung

von Schmelz- oder Niederschlagswasser hemmt. Die Böden sind sauer, meist nährstoffarm und überwiegend mit Wald bestockt.)

Vegetation: Das Waldbild wird vom Mischwald, mit einem Nadelholzanteil von 70 % bestimmt, in dem die Fichte vorherrschend ist. Daneben stehen nur vereinzelt Lärchen und Kiefern. Den Laubholzanteil von 30 % machen besonders die Buche, Esche und Ahorn aus, während Eichen seltener zu finden sind. Buchen und Eichen wiesen auch in Revier 4 im Herbst und Winter 2006/07 ein hohes Vorkommen an Mastfrüchten auf.

Wildbestand: Der Wildbestand umfasst Schwarz- und Rehwild.

Die Hege, Pflege und Bejagung des Schwarzwildes in diesem Revier wird von einem Arbeitskreis, in dem sich die einzelnen Reviere dieses Gebietes gemeinschaftlich organisieren, wahrgenommen.

Kirren: Das Kirren der Schwarzkittel erfolgt gewöhnlich mit Körnermais als Kirrmaterial in Pendelfässern (Abb. 21) und Betontrögen (Abb. 22).



Abb. 21: Pendelfass

Die Pendelfässer sind ca. einen Meter über dem Boden hängend an einem Baum oder an Seilen befestigt. Im Boden des Fasses befindet sich eine Öffnung, durch die das Futter auf den Boden fällt, sobald ein Wildschwein das ca. 30 - 40 cm lange Holzpendel betätigt („Rührwerk“). Dieses ist durch die Öffnung im Fassboden an einer großen Metallschraube im Inneren des Fasses befestigt. Das Pendelfass wird mit ca. 20 kg Körnermais gefüllt. Im Durchschnitt ist das Futter nach 10 Tagen verbraucht, d.h. die gewöhnliche Futteraufnahme beträgt durchschnittlich 2 kg / d.

Die Betontröge fassen ca. 2 kg und werden besonders zum Schutz vor Dachsen mit Betonplatten bedeckt.



Abb. 22: Betontrög mit pelletiertem Versuchsfutter

Bejagung, Jagdstrecke: Die Bejagung des Schwarzwildes findet ganzjährig zu 90 % durch Einzeljagd an der Kirmung statt. Zusätzlich werden zwei Mal im Jahr revierübergreifende Drückjagden veranstaltet. Die jährliche Jagdstrecke liegt bei ca. 120 Stück Schwarzwild.

Durchschnittliche Belastung der Wildschweine: Der Mittelwert der ^{137}Cs -Aktivität der im Zeitraum von Jan. 2005 bis Dez. 2006 erlegten Wildsauen betrug 2406 Bq / kg FM. Die Hauptkontaminationsspitzen lagen in den Monaten Dez. / Jan. bis Mai (Anhang 7.2, Tab. VIII.14).

- **Aufteilung des Reviers / der Kirrungen**

Die Fläche wurde in ein Placebo- und ein Verumgebiet geteilt, wobei die Gebiete durch eine Kreisstraße getrennt wurden. Es erfolgte die Einrichtung und Bestückung von insg. 25 Kirrungen auf der Gesamfläche. An 10 Kirrungen im Placebogegebiet wurde Versuchsfutter ohne Wirkstoff, an 15 Kirrplätzen im Verumgebiet Verum ausgebracht.

- **Versuchsfuttermenge**

Die Gesamfuttermenge für Revier 4 betrug 4500 kg (ursprünglich 6000 kg, 1500 kg wurden ins Revier 3 umgeschichtet), je hälftig Placebo und Verum.

6. PROBENNAHME, AUFBEREITUNG

6.1 Mageninhaltsprobe

Für die Bestimmung des Gehaltes an AEHCF bzw. Vossen-Blau[®]C6, $\text{NH}_4\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \times 3\text{H}_2\text{O}$ [$\mu\text{g}/\text{g}$], wurden ca. 300 g frischer Mageninhalt direkt vom Schützen, unmittelbar nach dem Erlegen und Verbringen des erlegten Stückes in den Kühl- und Zerwirkraum, entnommen. Die Probe wurde in einer reißfesten Plastikfolie eingeschweißt und eingefroren. Jeder Mageninhalt wurde mit einer Identifikationsnummer zur genauen Zuordnung zum Stück gekennzeichnet. Die weitere Aufbereitung der Proben fand am Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik, in der Außenstelle Oberwiesefeld, statt.

Das Probenmaterial wurde im Trockenschrank bei 103°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Danach wurde der Mageninhalt fein gemahlen und in einer reißfesten Tüte eingeschweißt.

Anschließend wurden die vorbereiteten Proben zum qualitativen und quantitativen Nachweis des Vossen-Blau[®]C6, $\text{NH}_4\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, in das Labor für Anorganische Analytik der AQura GmbH in Hanau verschickt.

6.2 Muskelfleischprobe

Zur Bestimmung der Radiocäsiumaktivität im Muskelfleisch wurde ebenfalls unmittelbar nach dem Erlegen eines jeden Schwarzwildes eine Muskelfleischprobe von ca. 500 g aus der Skelettmuskulatur entnommen und in einer reißfesten Plastikfolie eingeschweißt. Die Probennahme erfolgte auch hier durch den jeweiligen Schützen sofort nach Verbringen des erlegten Wildes.

Versehen mit der Identifikationsnummer des Tieres wurde die Probe zur Bestimmung der ^{137}Cs -Aktivität an das Bayerische Landesamt für Umwelt (LFU) in Augsburg versendet.

7. ANALYSE DER MAGENINHALTS- UND MUSKELFLEISCHPROBE

7.1 Bestimmung des Gehaltes an AEHCF im Mageninhalt

Der Nachweis von $\text{NH}_4\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \times 3\text{H}_2\text{O}$ [$\mu\text{g/g}$] im Wildschweinmageninhalt wurde im Labor für anorganische Analytik der AQura GmbH durchgeführt und der Autorin die Ergebnisse zur Auswertung zur Verfügung gestellt.

- **Prinzip**

Der Mageninhalt wird mit KOH behandelt. Dadurch wird das Hexacyanoferrat als $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ aus dem CEHCF- und dem AEHCF-Komplex freigesetzt (alle Cs- und NH_4 -Komplexe werden zerstört und Kaliumhexacyanoferrat frei). Nicht gelöste Mageninhaltsanteile werden abzentrifugiert. Das sehr gut wasserlösliche Kaliumhexacyanoferrat-Salz verbleibt beim Abzentrifugieren im Überstand und wird dann ionenchromatografisch bestimmt und bezogen auf den ursprünglich vorhandenen Gesamtkomplex berechnet (VENZAGO, 2007, pers. Mitteilung).

- **Probenvorbereitung**

Ca. 5 g Trockensubstanz des Mageninhalts werden auf 10 mg genau in ein 250 ml Becherglas eingewogen und mit 200 ml Reinstwasser und 10 ml $c(\text{KOH}) = 2 \text{ mol / l}$ versetzt. Das Gemisch wird auf einem beheizbaren Magnetrührer zum Kochen gebracht. Nach Abkühlen auf Raumtemperatur wird es in einen 500 ml Messkolben überführt. Dieser wird mit Reinstwasser (bis zur Marke) aufgefüllt. Danach werden ca. 50 ml der Lösung in einem Zentrifugenröhrchen bei 4500 U / min 20 min zentrifugiert, anschließend die überstehende Lösung über einen Membranfilter mit 0,2 μm Probenweite filtriert (VENZAGO, 2007, pers. Mitteilung).

- **Kalibrierung**

Es wird ein für die Analytik von AEHCF (im getrockneten Mageninhalt) relevanter Arbeitsbereich (0,1 mg / l bis 5,0 mg / l Fe^{2+}) gewählt.

Die Herstellung der Standard-Stammlösung erfolgt durch Lösen von 0,756 g $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \times 3\text{H}_2\text{O}$ p.a. (pro analysis) in wenig Reinstwasser und Auffüllen auf 100 ml. Die Konzentration des Kalibrierstandards entspricht 1000 mg / l Fe(II) (VENZAGO, 2007, pers. Mitteilung).

- **ionenchromatografische Messung**

Die Messung erfolgt bei folgenden chromatographischen Parametern:

- Vorsäule/Säule: onPac AS 5 von Dionex
- Eluent:
 - Lösung 1. 10 %
 - Lösung 2. 10 %
 - Lösung 3. 80 % v / v
- Flussrate: 1,2 ml / min
- Analysendauer: 10 min
- Detektor: Variable Wavelength Detector 215 nm
- Probenschleifenvolumen: 100 μl
- Messbereich: 0,1 bis 5,0 mg / l

Die vorbehandelte Probelösung wird so verdünnt, dass die Konzentration im gültigen Bereich der Kalibrierfunktion liegt. Die Analyse, d.h. auch die Probenvorbereitung, wird als Doppelbestimmung durchgeführt, wobei zusätzlich eine Probenlösung als Standardaddition gemessen wird.

Um Matrixeffekte auszuschließen, wird eine Probelösung der Doppelbestimmung nach der Messung mit Standard versetzt und erneut gemessen. Die Wiederfindungsrate des zudosierten Standards muss 95 % sein. Nach jeder Probe wird mit zwei Bezugslösungen unterschiedlicher Konzentration im unteren und oberen Teil des Arbeitsbereiches die Gültigkeit der Bezugsfunktion überprüft. Bei einer Abweichung von mehr als 5 % des Sollwertes muss neu kalibriert und die Messung wiederholt werden (VENZAGO, 2007, pers. Mitteilung).

- **Auswertung**

Die Auswertung erfolgt anhand der Kalibrierung automatisch durch die Software Peak Net 5.01. Die Chromatogramme müssen bezüglich der korrekten Integration geprüft werden. Der AEHCF-Gehalt errechnet sich nach:

$$w[\text{Vossen Blau } [\mu\text{g} / \text{g}]] = \frac{c_m \times V \times F}{E}$$

- c_m Konzentration Fe(II) der Messlösung in mg / l
- V Volumen der Messlösung in ml, gegebenenfalls Verdünnungsfaktor
- F Umrechnungsfaktor von Fe(II) zu $\text{NH}_4\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \times 3\text{H}_2\text{O} = 6,086$
- E Einwaage in g

(VENZAGO, 2007, pers. Mitteilung)

- **Geräte**

- Analysenwaage (Genauigkeit 0,1 mg)
- Magnetrührer mit Heizung
- Membranfiltereinheit (Porengröße 0,2 μm)
- Laborzentrifuge

- Ionenchromatograph: Dionex; Trennsäule AS-5 von Dionex; Photometrischer Detektor bei 215 nm
- Laborübliche Glasgeräte und Kolbenhub-Pipetten
- PP-Zentrifugenröhrchen

(VENZAGO, 2007, pers. Mitteilung)

- **Chemikalien**

- Reinstwasser, $< 0,1 \mu\text{S} / \text{cm}$
- Kaliumhydroxid-Plätzchen zur Analyse
- KOH, $c(\text{KOH}) = 2 \text{ mol} / \text{l}$
- $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \times 3\text{H}_2\text{O}$, p.a. z.B. Merck
- Natriumhydroxid Plätzchen reinst
- Natriumperchlorat-Monohydrat, p. a.
- Natriumcyanid
- Eluent 1, 20 mmol / l NaOH und 150 mmol / l NaCN
- Eluent 2, 20 mmol / l NaOH und 300 mmol / l NaClO_4
- Eluent 3, 20 mmol / l NaOH

(VENZAGO, 2007, pers. Mitteilung)

7.2 Messung der Radiocäsiumaktivität im Muskelfleisch

Das Forschungsvorhaben wurde freundlicherweise vom LFU durch die Bestimmung der Radiocäsiumaktivitäten der 58 Muskelfleischproben unterstützt. Die Messungen wurden im Labor in Augsburg durchgeführt.

- **Vorgehen bei der Messung im Gammaskpektrometer**

Die Muskelfleischprobe wird zunächst ohne weitere Bearbeitung in eine kalibrierte Messgeometrie (Schale) gegeben (jede Probe wurde einzeln gemessen).

Die Bestimmung der ^{137}Cs -Aktivität erfolgt in einer stationären Gammaskpektrometrieanlage mit Bleiabschirmung und einem hochauflösenden

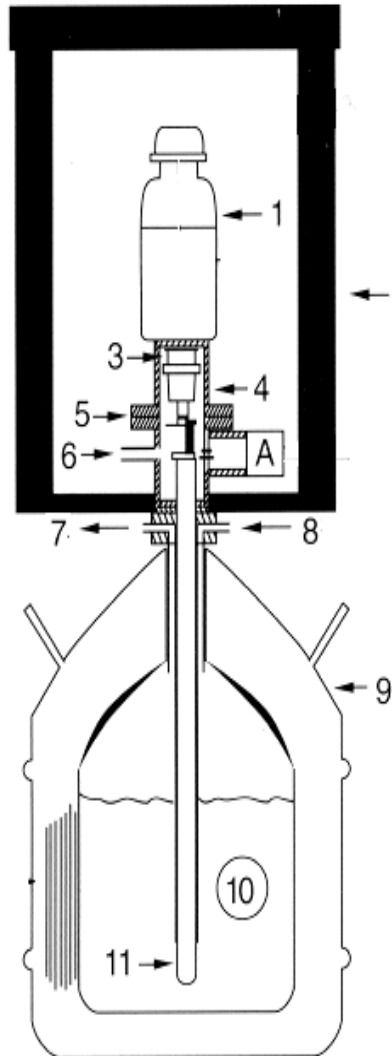
Reinstgermaniumdetektor. Die Messzeit pro Probe beträgt jeweils 50000 s. Der Aufbau und die einzelnen Komponenten der Gammaskopieranlage sind in Abbildung 23 dargestellt.

Anhand des gewonnenen Gammaskopierspektrums erfolgt sowohl die qualitative als auch quantitative Identifikation des jeweiligen Radionuklids, z. B. des natürlichen ^{40}K , sowie auch der Tschernobylnuklide ^{137}Cs und (^{137}Cs -Energienmaximum: 661,7 keV) und ^{134}Cs . Die Auswertung erfolgt softwaregestützt mit einem Programmpaket der Firma Canberra. Ein typisches Gammaskopierspektrum einer Schwarzwildmuskelfleischprobe aus dem Revier 3 zeigt Abbildung 27.

Die erhaltenen Radiocäsiumaktivitäten werden auf das Probenentnahmedatum halbwertszeitkorrigiert, wobei die kurze Periode (nur wenige Tage) zwischen Probenentnahme und Messung bei ^{137}Cs aufgrund der langen physikalischen Halbwertszeit vernachlässigbare Auswirkungen hat.

- **Messtechnische Komponenten**

Abbildung 23 zeigt den schematischen Aufbau einer Gammaskpektrometrieanlage:



1. Probenbehälter
 2. Bleiabschirmung (zur Abschirmung der Umweltstrahlung)
 3. Germanium-Reinstkristall (Detektor)
 4. Endkappe
 5. Flansch (vakuumdicht)
 6. Evakuierungsstutzen
 7. Entlüftung
 8. Einfüllstutzen für flüssigen Stickstoff
 9. Dewar (Behälter für flüssigen Stickstoff)
 10. flüssiger Stickstoff (minus 196 °C; zur Verringerung des thermischen Rauschens im Kristall)
 11. Kühlfinger (Kupfer)
- A** Vorverstärker

Abb. 23: Aufbau einer Gammaskpektrometrieanlage

Weitere benötigte Komponenten:

12. Hochspannungsversorgung
13. Haupt- (Spektroskopie-) verstärker
14. Analog zu Digital-Converter (ADC)
15. Vielkanalanalysator (VKA)
16. PC mit spezieller Software

Die verwendeten Gammaskpektrometer enthalten einen der acht in Tabelle 22 aufgeführten Detektoren:

Tab. 22: Übersicht Germanium-Detektoren

Detektor	Hersteller	Detektor-Typ	Energiebereich
Det 01	DSG	HPGe Koaxial p-Type	40 keV – 10 MeV
Det 02	EG & Ortec	HPGe Koaxial n-Type	3 keV – 10 MeV
Det 03	DSG	HPGe Koaxial n-Type	5 keV – 10 MeV
Det 04	EG & Ortec	HPGe Koaxial p-Type	40 keV – 10 MeV
Det 11	Canberra	HPGe Koaxial p-Type	40 keV – 10 MeV
Det 12	Canberra	HPGe Koaxial p-Type	40 keV – 10 MeV
Det 13	EG & Ortec	HPGe Koaxial p-Type	40 keV – 10 MeV
Det 14	EG & Ortec	HPGe Koaxial p-Type	40 keV – 10 MeV

Abbildung 24 und 25 zeigen zwei der verwendeten Gammaskpektrometer.



Abb. 24 : geschlossenes Gammaskpektrometer



Abb. 25 : geöffnetes Gammaskopiergerät

- **Prinzip der Gammaskopiermetrie**

Die gammastrahlenden Radionuklide senden bei ihrem radioaktiven Zerfall Gammaquanten (Strahlung) mit definierten Energien aus. Zum Registrieren dieser Gammaquanten wurde einer der acht (Tab. 22) hochreinen flüssigstickstoffgekühlten Germaniumkristalldetektoren verwendet. Abhängig von der Energie des Gammaquants wird im Kristall eine bestimmte Anzahl an Ladungsträgern erzeugt, die ein elektrisches Signal abgeben. Je höher die Anzahl der Ladungsträger, desto größer ist der schließlich gemessene Spannungsimpuls. Die Höhe des Spannungsimpulses ist somit proportional zur Gammaenergie.

Die Spannungsimpulse werden ihrer Höhe nach mit Hilfe eines Multi-Channel-Analyzers (MCA) elektronisch sortiert. Als Ergebnis erhält man ein Gammaskopiergramm (Impulszahl aufgetragen gegen Strahlungsenergie) anhand dessen das Radionuklid identifiziert und die Radioaktivität berechnet wird (Abb. 26 und Anhang 6, Abb. VIII.2). Die Peakfläche stellt dabei ein Maß für die Aktivität des jeweiligen Radionuklids in der Probe dar.

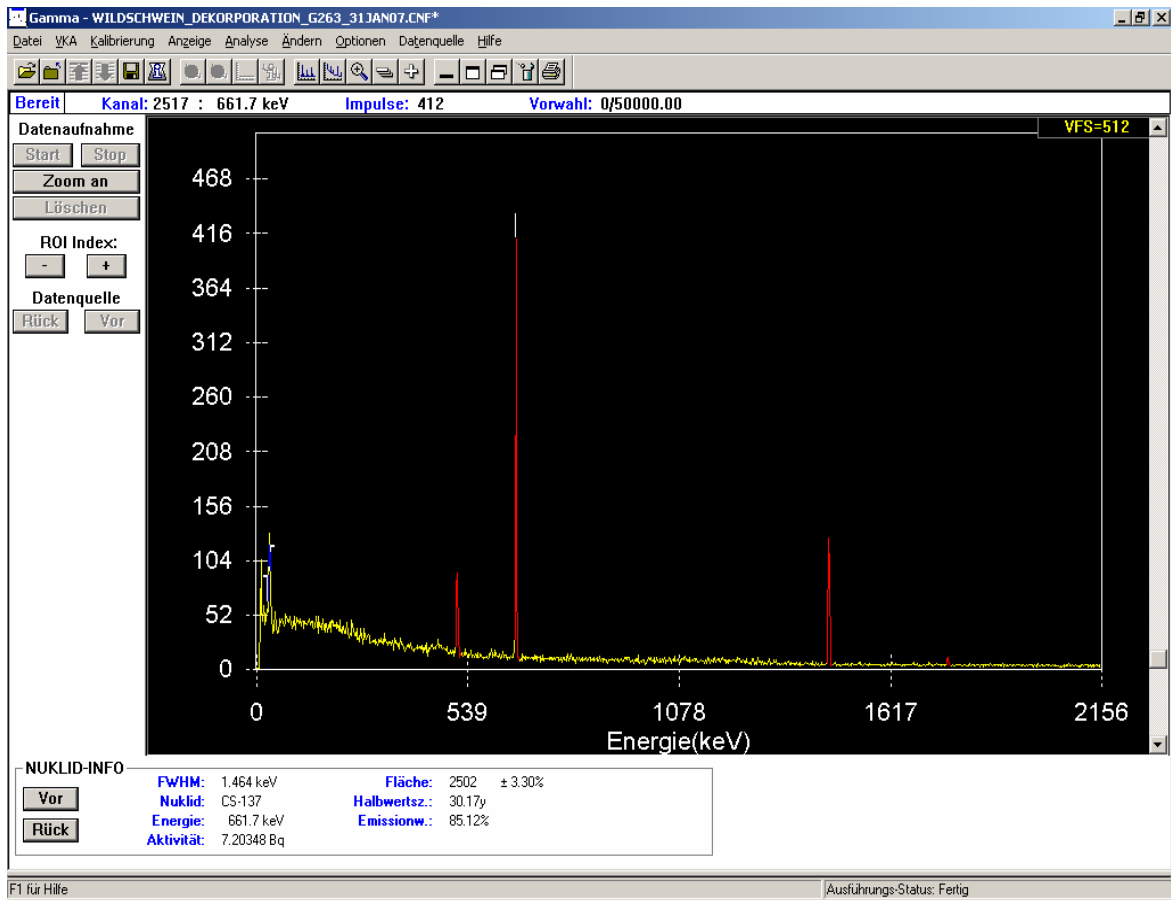


Abb. 26: Gamma-Spektrum einer Schwarzwild-Muskelprobe aus Revier 3

8. STATISTISCHE METHODEN

Die statistische Auswertung der Daten erfolgt unter Einbeziehung des Statistikprogrammes Stata Version 9.2. (StataCorp. Statistical Software: Release 9.2. College Station, TX 77840, USA: StataCorp LP, 2005) und Excel (Microsoft, 2003, www.microsoft.com)

Mit Stata Version 9.2 werden als statistische Analyseverfahren univariate t-Tests und multiple lineare Regressionsanalysen durchgeführt (BORTZ, 2004).

Es dient dazu, die Unterschiede in der Cäsiumbelastung und der AEHCF-Konzentration in den Mageninhalten zwischen in Verum- und Placebogebieten erlegten Wildschweinen sowie von Wild aus verschiedenen Verum- bzw.

Placebogebieten herauszuarbeiten. Zudem wird eine mögliche Korrelation zwischen der AEHCF-Konzentration im Mageninhalt und der Cäsiumkontamination sowie der Einfluss weiterer bekannter Kovariablen (Gewicht, Geschlecht, Lebensstadium des Stücks, Gebiete und Fütterungsdauer zum Zeitpunkt des Erlegens) auf die Cäsiumaktivität abgefragt.

Es erfolgt zunächst eine Überprüfung der Ausgangswerte (^{137}Cs -Aktivitäten, Tab. 29 und AEHCF-Konzentrationen, Tab. 27) auf Normalverteilung. Aufgrund der Rechtsschiefe werden die Werte durch Logarithmieren transformiert, um somit eine annähernde Normalverteilung zu erzielen und parametrische Tests einsetzen zu können (MATTHEWS und FAREWELL, 1988). Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze werden auf halbe Detektionsgrenze gesetzt (Detektionsgrenze AEHCF-Konzentration: $< 60 \mu\text{g AEHCF} / \text{g} \rightarrow 30 \mu\text{g AEHCF} / \text{g}$; Detektionsgrenze Muskelfleischbelastung: $< 0,907 \text{ Bq} / \text{kg FM} \rightarrow 0,45 \text{ Bq} / \text{kg FM}$). Nach Anwendung des t-Tests zum Vergleich der Mittelwerte der logtransformierten Größen werden signifikant differierende Mittelwerte ($p \leq 0,05$) in den Tabellen mit unterschiedlichen Buchstaben überschrieben.

Des Weiteren werden mit Excel der arithmetische Mittelwert (MW) und die Standardabweichung (s), ein Maß für die Streuung der Mittelwerte, bei Zusammenfassung mehrerer Einzelwerte berechnet. Die Darstellung in den Tabellen erfolgt als Mittelwert \pm Standardabweichung.

B. ERGEBNISSE

1. AKZEPTANZVERSUCH

1.1 Revier 1

(Ausbringung in bedeckten Futtertrögen)

In Revier 1 wurde die gesamte Menge des granulierten Trockenfuttermittels

Eigene Untersuchungen

(130 kg) innerhalb von 12 Tagen verzehrt. Die Vorversuchsperiode zeichnete sich durch ein hohes Mastfrüchteaufkommen im gesamten Revier 1 aus. Nicht im Versuch eingebundene Futterstellen wurden nur einmal pro Woche befüllt.

Im Futteraufnahmeprotokoll (Tab. 23) sind die Annahme der Tröge, die aufgenommene Menge je Trog und Futtercharge für jeden Kontrollgang zusammengestellt.

In der Aufnahme der beiden Futterchargen Placebo und Verum konnte kein Unterschied festgestellt werden.

Tab. 23: Übersicht Annahme der Futtertröge und aufgenommene Mengen je Trog und Futtercharge (Verum=V / Placebo=P) an Kontrolltagen

Futteraufnahme-protokoll	3.Tag (3 V und 2 P; ca.10 kg/Trog; abgedeckt)	5.Tag (häftig V u. P; ca.15 kg/Trog; abgedeckt, beschwert)	8. Tag (häftig V u P; ca.15 kg/Trog; abgedeckt, beschwert)	12. Tag (häftig V u. P; ca. 15 kg/Trog; abgedeckt, beschwert)
1. Futteraufnahme an x von 5 Trögen (V=mit Verum; P=mit Placebo)	4 3 V, 1 P	5 (häftig V / P))	5 (häftig V / P)	5 (häftig V / P)
2. aufgenommene Menge	je ein Drittel (3,3 kg)	in 3 Trögen: die Hälfte (7,5 kg) in 2 Trögen: ein Drittel (5 kg)	je die Hälfte (7,5 kg)	je ca.15 kg (jeweiliger Rest)
3. weitere Bemerkungen	1 Trog mit P unberührt, ohne Schwarzwild- spuren	Aufnahme von V u. P zu je gleichen Teilen	Aufnahme von V u. P zu je gleichen Teilen	alle 5 Tröge komplett leer gefressen am 12. Tag

1.2 Revier 2

(Ausbringung durch Ausstreuen auf den Boden, unbedeckt)

In Revier 2 war die Akzeptanz des während einer Schlechtwetterperiode auf dem Boden ohne Bedachung ausgebrachten Schwarzwildfutters sehr schlecht. Eine Kontrolle drei Tage nach der Ausbringung des Sauenfutters zeigte, dass von den stark feucht gewordenen Futtermitteln weder Verum noch Placebo in nennenswerten Mengen aufgenommen wurden. Da das Vorversuchsfutter über längere Zeit an den ausgebrachten Stellen liegen bleibt, ohne angenommen zu werden, wurde der Versuch hier vorerst abgebrochen.

Im Frühjahr 2007 wurde nach dem Verschwinden der Mastfrüchte der Rest an Versuchsfutter (wie im Herbst) ausgebracht. Es konnte vom zuständigen Betreuer eine vollständige Aufnahme des Futtermaterials innerhalb von 24 Stunden, sowie kein Unterschied in der Verum- und Placeboaufnahme, festgestellt werden

2. LANGZEITFÜTTERUNGSVERSUCH

2.1 Revier 3

Im Revier 3 konnten 58 Wildschweine erlegt und Proben entnommen werden. Tabelle 24 gibt eine Übersicht über den Ort des Erlegens, die Art und das Gewicht der Stücke, die Messwerte, sowie das Datum des Erlegens.

Tab. 24: Übersicht Messwerte der 58 erlegten Wildschweine in Revier 3

Nr.	Gebiet	Stück	¹³⁷ Cs- Aktivität [Bq / kg FM]	Menge an AEHCF im Mageninhalt [µg / g]	Gewicht [kg]	Erlegungsdatum
1	G1/P	F	138	<60	35	04.03.07
2	G1/P	F	40	<60	*	28.01.07
3	G1/P	F	34,3	830	*	25.01.07

Eigene Untersuchungen

Fortsetzung Tab. 24: Übersicht Messwerte der 58 erlegten Wildschweine in Revier 3

Nr.	Gebiet	Stück	¹³⁷ Cs- Aktivität [Bq / kg FM]	Menge an AEHCF im Mageninhalt [µg / g]	Gewicht [kg]	Erlegungsdatum
4	G1/P	FK	144	215	27	26.01.07
5	G1/P	FB	72,1	leerer Magen	30	07.02.07
6	G1/P	FK	148	<60	24	03.02.07
7	G1/P	FB	154	<60	24	01.03.07
8	G1/P	F	137	<60	31	02.03.07
9	G1/P	*	78	leerer Magen	*	*
10	G2/P	ÜB	10,7	leerer Magen	*	25.01.07
11	G2/P	ÜB	1730	<60	59	26.01.07
12	G2/P	FK	54,3	<60	24	26.01.07
13	G2/P	FK	44,6	<60	23	27.01.07
14	G2/P	ÜB	11	1260	62	26.01.07
15	G2/P	FK	11,6	<60	41	26.01.07
16	G2/P	ÜB	15,5	<60	61	26.01.07
17	G2/P	FB	2,51	<60	29	07.02.07
18	G2/P	ÜB	14,3	<60	60	28.02.07
19	G2/P	FK	52	1070	41	01.03.07
20	G2/P	FK	797	<60	27	28.02.07
21	G2/P	FB	32,8	1200	30	27.02.07
22	G2/P	FB	51,3	400	22	27.02.07
23	G2/P	FK	319	<60	35	25.03.07
24	G3/V	FK	5,7	<60	31	25.03.07
25	G3/V	FB	55,8	leerer Magen	*	31.03.07
26	G3/V	FK	13,4	1180	*	03.04.07
27	G3/V	FB	5,21	1180	13	06.03.07
28	G3/V	ÜB	< 0,907	<60	29	10.05.07
29	G3/V	ÜK	1,01	<60	33	10.05.07
30	G3/V	FK	4,12	<60	31	01.05.07
31	G3/V	F	343	260	*	28.02.07
32	G3/V	FB	74,4	120	34	25.02.07
33	G3/V	FB	*	660	38	31.03.07
34	G3/V	FB	19	620	34	24.02.07
35	G3/V	FB	13,5	1020	25	26.02.07
36	G3/V	ÜB	6,59	820	62	29.03.07
37	G3/V	ÜK	4,99	<60	63	26.03.07
38	G3/V	ÜK	63,2	<60	32	27.04.07
39	G3/V	FB	1,87	1100	30	11.03.07
40	G3/V	FK	4,16	1040	31	11.03.07
41	G3/V	FB	2,24	525	36	04.03.07
42	G3/V	FK	5,59	210	10	04.03.07
43	G3/V	FK	3,59	1120	30	14.03.07

Eigene Untersuchungen

Fortsetzung Tab. 24: Übersicht Messwerte der 58 erlegten Wildschweine in Revier 3

Nr.	Gebiet	Stück	¹³⁷ Cs- Aktivität [Bq / kg FM]	Menge an AEHCF im Mageninhalt [µg / g]	Gewicht [kg]	Erlegungsdatum
44	G3/V	FK	85,4	795	33	28.02.07
45	G4nc	F	59,6	<60	*	28.01.07
46	G4nc	ÜB	91,9	<60	*	30.01.07
47	G4nc	F	105	<60	*	30.01.07
48	G4nc	FB	488	720	23	28.02.07
49	G4nc	F	176	<60	*	25.02.07
50	G4nc	F	104	<60	*	25.02.07
51	G4nc	FB	0,764	<60	35	28.03.07
52	G4nc	ÜK	36,4	<60	37	02.05.07
53	G4nc	F	8,9	<60	*	03.03.07
54	G4nc	F	125	180	*	25.03.07
55	G4nc	ÜB	69,9	<60	45	29.03.07
56	G4nc	ÜK	44,5	<60	35	01.05.07
57	G4nc	ÜK	67,2	<60	*	28.03.07
58	G4nc	ÜK	52,8	220	47	06.05.07
<p>* fehlende Angaben</p> <p>F= Frischling ohne Geschlechtsangabe FK= Frischlingskeiler FB= Frischlingsbache ÜK= Überläuferkeiler ÜB= Überläuferbache</p>						

Die Anzahl der in den jeweiligen Gebieten G1 / P, G2 / P, G3 / V und G4nc erlegten Stücke sowie die jeweilige Anzahl an zur Verfügung stehenden Proben für die Mageninhalts- und Muskelfleischanalyse fasst Tabelle 25 zusammen.

Tab. 25: Anzahl erlegter Stücke und nutzbarer Proben aus Revier 3

Gebiet	Anzahl erlegter Stücke (Σ 58)	Mageninhalts- proben (Σ 54)	Muskelfleisch- proben (Σ 57)
G1 / P	9	7	9
G2 / P	14	13	14
G3 / V	21	20	20
G4nc	14	14	14

2.1.1 Futteraufnahme

- **aufgenommene Futtermenge**

Anhand der Aufzeichnungen in den Fütterungstagebüchern zu jedem Gebiet, konnte die ausgebrachte Futtermenge und die Futteraufnahme (pro Tag, pro Monat und während der gesamten Versuchsperiode) für jede einzelne Kirschung nachvollzogen werden (Anhang 4).

Teils konnte sofort an Tag 10, teils erst zwischen Tag 10 und Tag 20, eine regelmäßige Aufnahme verzeichnet werden.

Die durchschnittliche tägliche Futteraufnahme je Kirschung zeigt Tabelle 26.

Tab. 26: Durchschnittliche tägliche Futteraufnahme je Kirschung (laut Fütterungstagebuch)

Gebiet	Ø Futteraufnahme je Kirschung [kg / d / Kirschung]
G1 / P	2,1
G2 / P	2,6
G3 / V	2,8
G4nc	1,1

In den beiden Placebogebieten G1 / P und G2 / P sowie in dem Verumgebiet G3 / V wurde das Versuchsfutter vom Schwarzwild sehr gut aufgenommen.

Eine deutliche Abweichung verzeichnete Gebiet G4nc. Die ausgebrachte und von den Wildschweinen aufgenommene Futtermenge war hier wesentlich geringer. Sie betrug nur ein Drittel bis die Hälfte, der in den anderen Revieren ausgegebenen und vom Schwarzwild verzehrten Mengen.

- **Blaue Losung**

Bei allen drei Besuchen wurde in allen Gebieten sowohl an den Verum-, als auch an den Placebokirschungen, blaue Losung gefunden (Abb. 27).



Abb. 27: Blaue Losung an einer Kirstelle in G1 / P

2.1.2 Mageninhaltanalysen

- **Probenanzahl**

Es konnten **54 Mageninhaltspalten** auf ihren Gehalt an Vossen-Blau[®]C6, $\text{NH}_4\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \times 3\text{H}_2\text{O}$ [$\mu\text{g}/\text{g}$] (AEHCF) untersucht werden. Weitere vier Mägen (zwei aus G1 / P und jeweils einer aus G2 / P und G3 / V) wiesen keinen Inhalt auf.

- **AEHCF-Konzentration**

Die Einzelwerte der analysierten Mengen an AEHCF in den Mageninhalten sind in Tabelle 27 aufgelistet. Die Mittelwerte (MW) der AEHCF-Konzentrationen (nicht logarithmierte Ausgangswerte) für die Gebiete G1-G4 finden sich in Anhang 8, Tab. VIII.15.

Eigene Untersuchungen

Tab. 27: Einzelwerte des AEHCF-Gehaltes in den Mageninhalten (aufsteigend) von Schwarzwild aus G1-G4 (Revier 3)

G1 / P	G2 / P	G3 / V	G4nc
AEHCF [µg/g]	AEHCF [µg/g]	AEHCF [µg/g]	AEHCF [µg/g]
leerer Magen	leerer Magen	leerer Magen	<60
leerer Magen	<60	<60	<60
<60	<60	<60	<60
<60	<60	<60	<60
<60	<60	<60	<60
<60	<60	<60	<60
<60	<60	<60	<60
215	<60	120	<60
830	<60	210	<60
	<60	260	<60
	400	525	<60
	1070	620	180
	1200	660	220
	1260	795	720
		820	
		1020	
		1040	
		1100	
		1120	
		1180	
		1180	

Die ionenchromatografisch ermittelten Gehalte lagen zwischen **< 60 µg AEHCF / g** (unterhalb der Bestimmungsgrenze) und **1260 µg AEHCF / g**.

- **Vergleich der log-AEHCF-Konzentrationen in den Mageninhalten (gebietsweiser Vergleich)**

Der quantitative Nachweis der AEHCF-Konzentrationen in den Mageninhalten der Wildschweine ließ einen deutlichen Unterschied zwischen den Placebogebieten und dem non compliant-Gebiet G4nc (Fütterungsversuch fehlgeschlagen), verglichen mit dem Verumgebiet erkennen. Nachfolgende Tabelle (28) gibt die Mittelwerte der logarithmierten AEHCF-Konzentrationen in den

Mageninhaltsproben der Wildscheine aus dem jeweiligen Gebiet sowie deren Unterschiede im gebietsweisen Vergleich an (Berechnung mit Stata Version 9.2., s. Kap. III. 7.).

Tab. 28: Mittelwerte (MW) der log-AEHCF-Konzentrationen in den Mageninhalten von Schwarzwild aus den vier Gebieten G1-G4 (Revier 3)

Gebiet	MW log-AEHCF-Konzentrationen (µg/g) (n=Probenanzahl)
G1 / P	1,81 ± 0,59 (7)^a
G2 / P	1,93 ± 0,72 (13)^a
G1 / P + G2 / P	1,89 ± 0,66 (20)^a
G3 / V	2,40 ± 0,67(20)^b
G4 nc	1,69 ± 0,45(14)^a
^{a,b} Mittelwerte, die nicht mit demselben Buchstaben überschrieben werden, unterscheiden sich signifikant.	

Die ermittelten Mengen an Giese-Salz in den Mageninhalten aus den beiden Placebogebieten wiesen keinen signifikanten Unterschied auf.

Bei Vergleich der nachgewiesenen, logarithmierten AEHCF-Konzentrationen der Mageninhaltsproben aus dem Verumgebiet G3 / V mit den beiden Placebogebieten, einzeln oder beide, G1 / P und G2 / P, zusammen betrachtet, ergaben sich signifikant höhere AEHCF-Gehalte für das Verumgebiet G3 / V.

Das Gebiet G4nc, in dem zwar Verum ausgebracht wurde, der Fütterungsversuch jedoch nachweislich fehlschlug, verhielt sich bezüglich der Vossen-Blau[®]C6-Konzentrationen im Mageninhalt ähnlich den Placebogebieten. Während eine Gegenüberstellung mit den logarithmierten AEHCF-Konzentrationen aus den Placebogebieten keinen signifikanten Unterschied aufzeigte, ließ sich eine signifikante Differenz im Vergleich mit dem Verumgebiet G3 / V feststellen.

Das Verumgebiet G3 / V unterschied sich hinsichtlich den log. Giese-Salz-Konzentrationen im Mageninhalt gegenüber allen drei Gebieten G1 / P, G2 / P und

G4 nc signifikant. Es wurde eine signifikant höhere Menge an AEHCF in den Mageninhaltproben gefunden.

2.1.3 Radiocäsiumaktivität in der Muskulatur

- **Probenanzahl**

In Revier 3 konnten **57 Muskelproben** auf ihre ¹³⁷Cs-Aktivität hin untersucht werden (genaue Probenanzahl je Gebiet G1-G4, Tab. 25).

- **¹³⁷Cs-Aktivitäten (Bq-Werte)**

Die Muskelfleischproben der Wildschweine wiesen in Revier 3, bis auf zwei Ausnahmen, sehr niedrige bis mittlere Cäsiumaktivitäten auf. Einen Überblick über die Radiocäsiumbelastung eines jeden erlegten Stückes liefert Tabelle 29. Die Bq-Mittelwerte der einzelnen vier Gebiete (G1-G4), bezogen auf die nicht logarithmierten Ausgangswerte, finden sich in Anhang 9, Tab. VIII.16.

Tab. 29: Einzelwerte der gemessenen ¹³⁷Cs-Aktivitäten (aufsteigend) der Muskelfleischproben von Schwarzwild aus G1-G4 (Revier 3) (± Fehler)

G1 / P ¹³⁷ Cs- Aktivität [Bq / kg] FM	G2 / P ¹³⁷ Cs- Aktivität [Bq / kg] FM	G3 / V ¹³⁷ Cs- Aktivität [Bq / kg] FM	G4nc ¹³⁷ Cs- Aktivität [Bq / kg] FM
34,3 ± 2,47	2,51 ± 1,93	<0,907	0,764 ± 0,172
40 ± 2,04	10,7 ± 0,785	1,01 ± 0,289	8,9 ± 0,877
72,1 ± 3,5	11 ± 0,837	1,87 ± 0,267	36,4 ± 1,83
78 ± 5,41	11,6 ± 0,789	2,24 ± 0,538	44,5 ± 3,5
137 ± 6,15	14,3 ± 1,34	3,59 ± 1,05	52,8 ± 3,84
138 ± 7,1	15,5 ± 1,42	4,12 ± 0,783	59,6 ± 3,01
144 ± 11,2	32,8 ± 1,8	4,16 ± 0,609	67,2 ± 5,15
148 ± 7,16	44,6 ± 2,35	4,99 ± 0,537	69,9 ± 5,16

Eigene Untersuchungen

Fortsetzung Tab. 29: Einzelwerte der gemessenen ¹³⁷Cs-Aktivitäten (aufsteigend) der Muskelfleischproben von Schwarzwild aus G1-G4 (Revier 3) (± Fehler)

G1 / P ¹³⁷ Cs- Aktivität [Bq / kg] FM	G2 / P ¹³⁷ Cs- Aktivität [Bq / kg] FM	G3 / V ¹³⁷ Cs- Aktivität [Bq / kg] FM	G4nc ¹³⁷ Cs- Aktivität [Bq / kg] FM
154 ± 8,11	51,3 ± 4,16	5,21 ± 0,704	91,9 ± 6,56
	52 ± 3,89	5,59 ± 0,787	104 ± 5,2
	54,3 ± 3,85	5,70 ± 0,63	105 ± 7,57
	319 ± 14,8	6,59 ± 0,729	125 ± 6,25
	797 ± 54,3	13,4 ± 1,02	176 ± 12,8
	1730 ± 88,4	13,5 ± 0,982	488 ± 47,6
		19 ± 1,63	
		55,8 ± 2,93	
		63,2 ± 4,14	
		74,4 ± 3,90	
		85,4 ± 4,45	
		343 ± 15,1	

Die gemessenen Bq-Werte lagen bis auf zwei Proben im Bereich von < 0,907 Bq / kg FM bis 488 Bq / kg FM. Zwei Muskelfleischproben (fast 10 %) von Schwarzwild aus dem Placebogebiet G2 / P überschritten jedoch, mit Radiocäsiumaktivitäten von 1730 Bq / kg FM und 797 Bq / kg FM, den zulässigen Grenzwert (600 Bq / kg FM).

- **Vergleich der log-Bq-Werte des Muskelfleisches der Wildschweine aus den vier Gebieten**

Zur Überprüfung einer kontaminationssenkenden Wirkung des Verumfutters wurden in Tabelle 30 die logarithmierten Bq-Werte von Schwarzwild aus den Placebogebieten, in Vergleich zu den Werten von Schwarzwild aus dem

Verumgebiet G3 / V, mit signifikant höheren Mengen an AEHCF im Mageninhalt (Kap. III 2.1.2), gesetzt. Zusätzlich wurden auch die beiden Placebogebiete gegenübergestellt und das non compliant Gebiet G4nc mit den drei Gebieten verglichen, in denen der Studienplan eingehalten wurde (Berechnung mit Stata Version 9.2., Kap. III. 7.).

Tab. 30: Vergleich der $\log^{-137}\text{Cs}$ -Aktivitäten des Schwarzwildmuskelfleisches aus den vier Gebieten G1-G4 (Revier 3)

Gebiet	MW $\log^{-137}\text{Cs}$ -Aktivität (Bq / kg FM) (n=Probenanzahl)
G1 / P	1,96 ± 0,26 (9) ^a
G2 / P	1,63 ± 0,78 (14) ^a
G1 / P + G2 / P	1,76 ± 0,64 (23) ^a
G3 / V	0,96 ± 0,72 (20) ^b
G4nc	1,73 ± 0,66 (14) ^a
^{a,b} Mittelwerte, die nicht mit demselben Buchstaben überschrieben werden, unterscheiden sich signifikant.	

Beim Muskelfleisch von Schwarzwild aus den beiden Placebogebieten, konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Die Muskelfleischproben aus beiden Placebogebieten, einzeln oder zusammen dem Verumgebiet G3 / V gegenüber gestellt, unterschieden sich signifikant. Das Schwarzwild aus dem Verumgebiet G3 / V wies signifikant niedrigere ^{137}Cs -Aktivitäten als die Wildschweine aus G1 / P und G2 / P auf. Dies veranschaulichen auch die Histogramme in Abbildung 28.

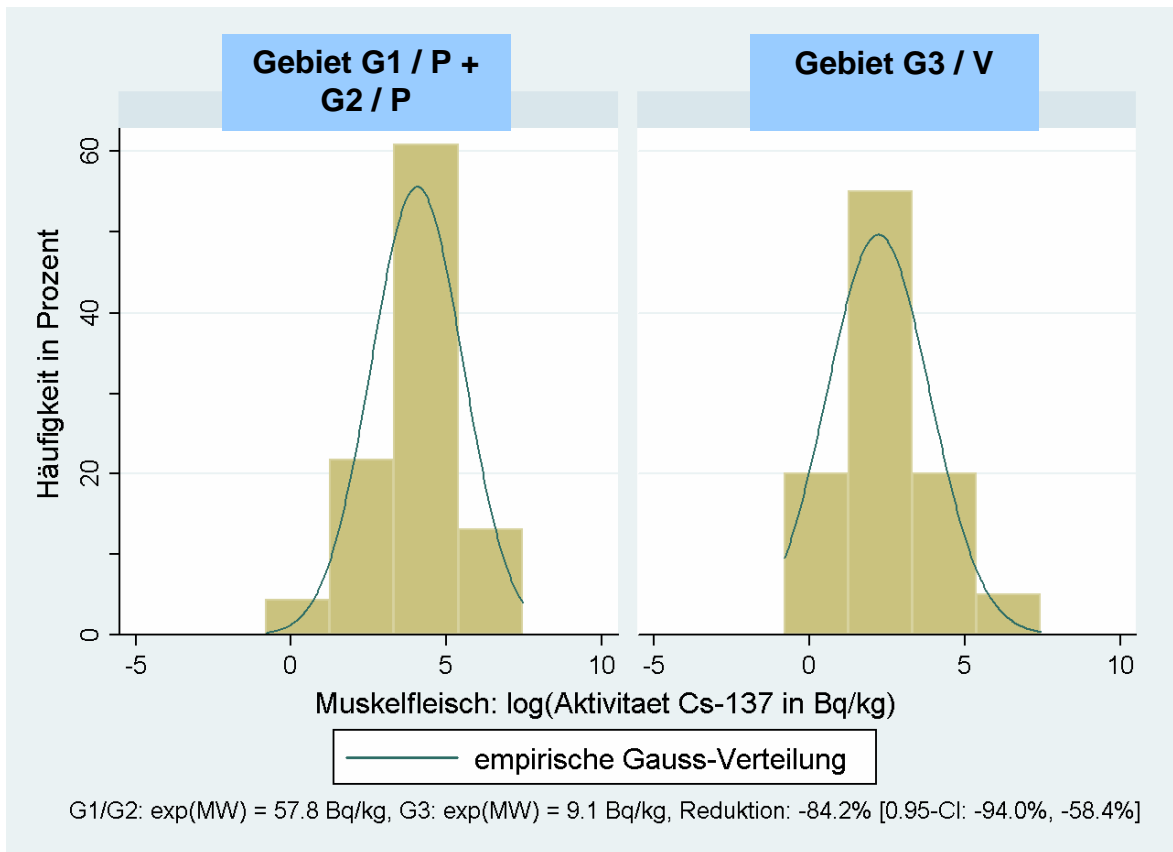


Abb. 28: Histogramme der log-¹³⁷Cs-Aktivitäten aus den Placebogebieten G1/P+G2/P sowie aus dem Verumgebiet G3/V. Berechnung der Höhe der Reduktion der Cs-Belastung (mit freundlicher Unterstützung von Herrn PD Dr. Morfeld)

Die ¹³⁷Cs-Aktivität des Wildschweinemuskelfleisches aus dem Verumgebiet G3 / V betrug nur 15,8 % der Muskelfleischaktivität in den placebogekirrtten Gebieten, d.h. die Cäsiumbelastung im Verumgebiet G3 / V war gegenüber den Placebogebieten um **84,2 %** reduziert.

Für das non compliant Gebiet G4 nc, konnte keine signifikante Differenz im Vergleich mit den Placebogebieten nachgewiesen werden, während G4nc gegenüber G3 / V, ebenfalls, wie die beiden placebogekirrtten Gebiete, signifikant höhere ¹³⁷Cs-Aktivitäten in der Muskulatur aufwies (Abb. 29).

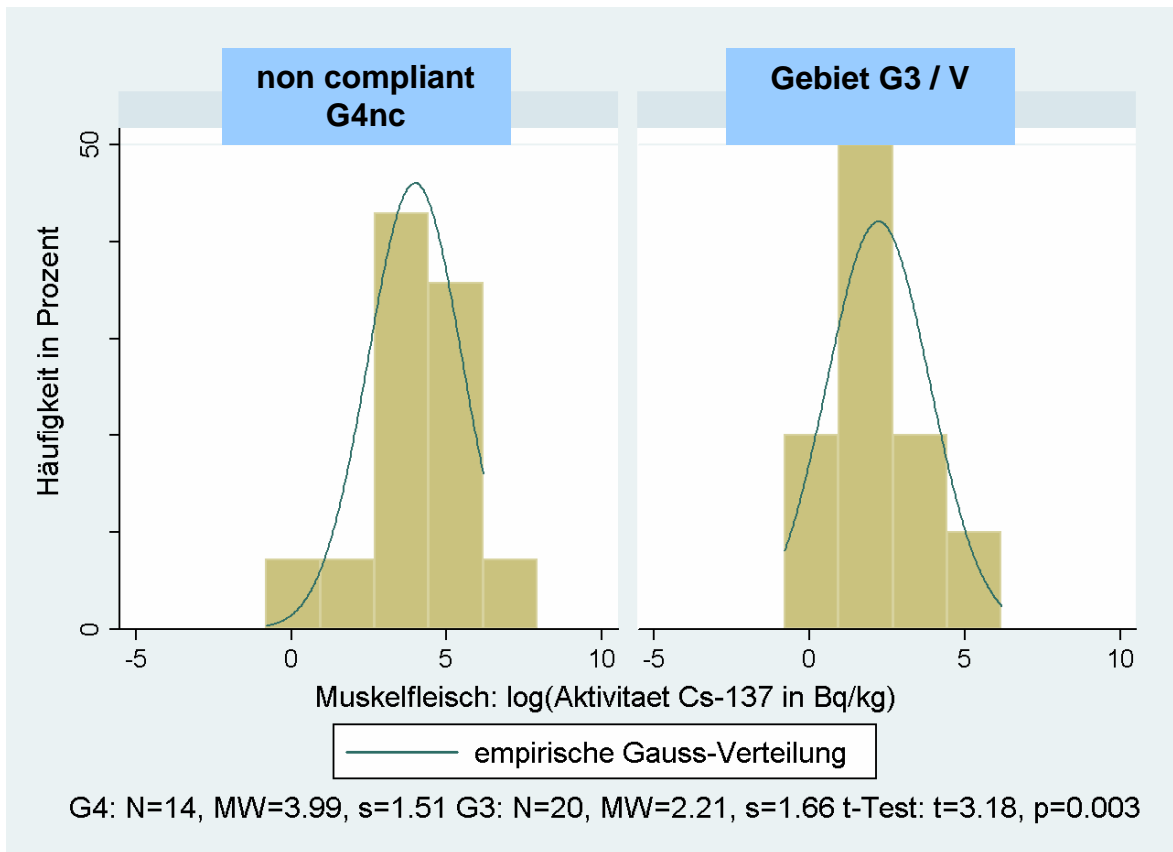


Abb. 29: Histogramme der $\log^{-137}\text{Cs}$ -Aktivitäten der Muskelfleischproben vom non compliant Gebiet G4nc und dem Verumgebiet G3 / V
(mit freundlicher Unterstützung von Herrn PD Dr. Morfeld)

- **Einflüsse auf die ^{137}Cs -Aktivität**

Alle bekannten Kovariablen, Gewicht, Geschlecht, Gebiet und Lebensstadium des Stücks, Fütterungsdauer zum Zeitpunkt des Erlegens und die Konzentration von AEHCF im Mageninhalt wurden mit multiplen linearen Regressionsanalysen (Kap. III. B.7.) hinsichtlich ihres Effektes auf die logarithmierte Cäsiumaktivität überprüft. Es zeigte sich allein eine Beeinflussung durch das Verumgebiet G3 / V. Alle anderen Kovariablen hatten keinen Effekt auf die Cäsiumkontamination (Anhang 10, Abb.VIII.3).

2.2 Revier 4

2.2.1 Futteraufnahme

Die Futteraufnahme in Revier 4 konnte nicht bestimmt werden, da aufgrund des Ausbleibens des Schwarzwildes an den Kirrungen (bis auf wenige Tage) während der Versuchsperiode kaum nennenswerte Futtermengen aufgenommen wurden. Der Versuchsfutterverbrauch begründete sich überwiegend im periodischen Erneuern / Auswechseln der Futtermaterialien an den Kirrungen, sowie der Umlagerung von 1500 kg (häufig Verum und Placebo) ins Revier 3.

2.2.2 Mageninhaltsanalyse

Es wurde nur eine Mageninhaltsprobe, des während der Versuchsperiode am 9.03.07 erlegten Stückes genommen. Der Mageninhalt des Wildschweins aus dem verumgekirrten Gebiet wies eine AEHCF-Konzentration in Höhe von 1080 µg AECHF / g Mageninhalt auf.

2.2.3 Radiocäsiumaktivität im Muskelfleisch

Für die Jäger gab es nur wenige, an einigen Kirrungen keine Bejagungsmöglichkeiten.

Innerhalb des Versuchszeitraumes konnte nur von einer Muskelfleischprobe die Radiocäsiumaktivität (von dem verumgekirrten Wildschwein, dessen Mageninhalt untersucht wurde) im LFU gemessen werden. Die ¹³⁷Cs-Aktivität betrug 412 Bq / kg FM.

Zusätzlich wurden der Autorin freundlicherweise die an der eigenen Messstation der Kreisgruppe ermittelten Bq-Werte der erlegten Wildschweine (n=24) bis zum 18.08.2007 (noch Ausbringung von Versuchsfutter gemischt mit Kirrmals) zur Verfügung gestellt.

Eigene Untersuchungen

Die Bq-Werte mit Beschreibung des Stücks, dem Gewicht, dem Monat des Erlegens und mit Benennung des Abschussortes, Placebo- oder Verumgebiet, soweit bekannt, werden in Tabelle 31 wiedergegeben. Außer dem letzten Wert, wurden die Proben an der eigenen Messstation der Kreisgruppe gemessen.

Tab. 31: Bq-Werte der erlegten Wildschweine in Revier 4

Nr.	¹³⁷ Cs-Aktivität [Bq/kg FM]	Gebiet: Verum / Placebo	Art des erlegten Stücks	Gewicht [kg]	Monat des Erlegens
1	44	V	ÜB	40	Januar 07
2	10	P	ÜK	55	Januar 07
3	48		B	80	Januar 07
4	13	P	ÜK	35	Januar 07
5	16	P	ÜK	50	Februar 07
6	31	*	ÜK	47	Februar 07
7	83	*	F	36	Februar 07
8	21	*	ÜK	43	Februar 07
9	41	*	B	55	Februar 07
10	61	V	ÜK	41	Februar 07
11	975	*	ÜB	37	April 07
12	1861	V	ÜK	44	Mai 07
13	0	P	ÜK	40	Mai 07
14	0	*	ÜK	47	Mai 07
15	50	V	ÜK	44	Mai 07
16	3030	V	K	56	Juni 07
17	361	*	ÜK	50	Juni 07
18	1069	*	ÜK	51	Juni 07
19	485	V	ÜB	40	Juni 07
20	1172	*	ÜK	45	Juni 07
21	345	V	F	16	Juli 07
22	70	*	F	12	Juli 07
23	70	*	ÜB	35	Juli 07
24	145	V	K	120	August 07
25	412	V	K. A.	K. A.	März 07

rot markierte Bq-Werte liegen über dem Grenzwert
gemessen im LFU Augsburg

* Stücke waren keinem Gebiet (placebo-/ verumgekirrt) zugeordnet

F = Frischling ohne Geschlechtsangabe
ÜB= Überläuferbache
ÜK= Überläuferkeiler
B = Bache
K = Keiler

Die gemessenen ^{137}Cs -Aktivitäten lagen im Bereich von unterhalb der Nachweisgrenze bis 3030 Bq / kg FM. Insgesamt überschritten 20 % der untersuchten Muskelfleischproben (5 von 25) den festgelegten Grenzwert.

Der Mittelwert (MW) der Bq-Werte (2007) lag bei 417 Bq / kg FM.

Aufgrund der nicht vollständigen Zuordnung des erlegten Wildes zu den beiden Placebo- oder Verumgebieten und der nicht ausschließlichen, regelmäßigen Ausbringung des Versuchsfutters, konnte die Belastung von Schwarzwild aus den verumgekirrten Teilen des Reviers der Kontamination der Tiere aus den placebogeirrten Arealen nicht gegenübergestellt werden.

IV. DISKUSSION

1. KRITIK DER METHODE

Die vorliegende, als Feldversuch angesetzte, placebokontrollierte Doppelblindstudie soll Aufschluss geben, ob durch Kurrung mit AEHCF-versetztem Wildschweinfutter unter Feldbedingungen eine Reduktion der Radiocäsiumbelastung beim Schwarzwild zu erzielen ist.

1.1 Versuchsaufbau

1.1.1 Feldstudie im Großrevier

Anstatt einer Feldstudie in „offenen“ Revieren oder Großrevieren (Langzeitfütterungsversuch), hätte auch eine Fütterungsstudie mit Schwarzwild in kleineren Wildgehegen durchgeführt werden können. Dies hätte den Vorteil gehabt, den Wildschweinen bei regelmäßiger Fütterung, ein oder mehrmals täglich eine bestimmte Dosis Giese-Salz verabreichen zu können, um einen bestimmten Wirkstoffspiegel zu erzielen. Allerdings wurde in zahlreichen Studien bereits die Wirksamkeit von Giese-Salz belegt, sodass hier nicht die Frage der Wirksamkeit bei dieser Tierart im Vordergrund stand, sondern die Effizienz des AEHCFs zur Absorptionshemmung beim typischen Fressverhalten der Wildschweine in freier Wildbahn (konsekutive Aufnahme). Es sollte überprüft werden, ob die gelegentliche, teils regelmäßige Aufnahme (abhängig von „Lust und Laune“ der Wildschweine sowie vom Angebot anderer bevorzugter Nahrungskomponenten) von Kurrmaterial mit AEHCF vor oder nach Inkorporation der cäsiumbelasteten Nahrung, die Cäsiumaktivität im Schwarzwild reduzieren kann, wobei die Aufnahme einer bestimmten täglichen Dosis nicht sichergestellt werden konnte,.

Um diesbezüglich eine Aussage treffen zu können, musste die Feldstudie in freier Wildbahn unter Praxisbedingungen durchgeführt werden.

1.1.2 Doppelblinde Placebokontrolle

Durch die doppelblinde Placebokontrolle konnten systematische Einflüsse seitens der das Versuchsfutter ausbringenden Personen reduziert werden. Eine regelmäßige, ausreichend hohe Aufnahme an Giese-Salz-Futter war essenziell für die Wirksamkeit. Dazu musste es regelmäßig und ausschließlich (ohne Alternativen) an allen Kirrungen im Revier ausgebracht werden. Insofern hatte die Ausbringung des Futters einen großen Einfluss auf die Wirksamkeit, wie der fehlgeschlagene Fütterungsversuch im non compliant Gebiet G4 nc zeigte. Das Wissen um die Futtercharge (Verum od. Placebo) hätte eine nicht studienmäßige, sprich vernachlässigte Ausbringung des Placebos nach sich ziehen können. Theoretisch hätte sich ein Effekt bzw. eine Reduktion der Cäsiumkontamination allein durch die kontinuierliche Aufnahme großer Mengen unbelasteten Versuchsfutters, auch ohne Wirkstoff, einstellen können. (In den Futteraufnahmetabellen, Tab. VIII.6-9 in Anhang 4, sind für einige Kirrungen überdurchschnittlich hohe Futteraufnahmen, im Vergleich zum gewöhnlichen Kirrmais, protokolliert.) Wäre beim Wissen um Placebo und Verum die Fütterung von wirkstofffreiem Versuchsfutter, „weil es ja nur Placebo ist“ vernachlässigt und unregelmäßig durchgeführt worden, hätte ein Effekt, allein bedingt durch die Aufnahme hoher Mengen kontaminationsfreien Schwarzwildfutters über einen längeren Zeitraum, nicht ausgeschlossen werden können. Da die aufgenommenen Futtermengen von Verum und Placebo in den Gebieten G1 / Placebo: Ø 2,1 kg, G2 / Placebo: Ø 2,6 kg und G3 / Verum: Ø 2,8 kg (Tab. 26) aber in einem ähnlichen Größenverhältnis standen, konnte die Reduktion der Cäsiumaktivität nicht auf die Aufnahme einer erhöhten Menge cäsiumfreier Futterpellets zurückgeführt werden, da sich sonst in beiden, in Verum- und Placebogebieten, die Cäsiumaktivität im Muskelfleisch hätte reduzieren müssen.

1.1.3 Teilen der Reviere – Standorttreue – Verdünnungseffekt

Um für die Wirkung von Placebo und Verum möglichst gleiche Ausgangsbedingungen zu schaffen, wurden die Reviere 3 und 4 in Placebo- und Verumgebiete geteilt. Wie die Mageninhaltsanalysen aus Revier 3 (Tab. 27) zeigten, konnte insgesamt von einer hohen Standorttreue gesprochen werden. Die im Verumgebiet G3/V erlegten Wildschweine wiesen in den Mägen eine signifikant höhere Wirkstoffmenge, im Vergleich zu den anderen Gebieten, auf (Kap. III. B. 2.1.2, Tab. 28). Allerdings konnte eine Trennung der Placebo- und Verumgebiete nicht vollständig eingehalten werden (Kap. III. B. 2.1.2, Tab. 27), obwohl die beobachtete Zug- und Wanderrichtung, sowie die nächtlichen Streifgebiete beachtet wurden und das Schwarzwild als gut an den Kirrstellen gebunden galt. Einige, der in den Placebogebieten erlegten Tiere, wiesen Verumfutter im Mageninhalt auf. Genauso musste davon ausgegangen werden, dass auch die, an den Verumkirrungen erlegten Wildschweine, teils Placebofutter zu sich genommen hatten. Dennoch war eine Teilung die einzige Möglichkeit zur Schaffung ähnlicher Ausgangsbedingungen, da eine Einheitlichkeit zweier Reviere (vergleichbare Boden- und Cäsiumkontamination beim Schwarzwild, gleicher Laubbaumanteil und sonstige gleiche Bedingungen, die die Cäsiumaktivität im Wildschwein beeinflussen) nie gegeben gewesen wäre.

Außerdem konnte trotz Futteraufnahme der Placebotiere im Verumgebiet und einer dementsprechenden Annahme von aus Placebokirrungen fressenden Verumtieren, eine hohe Wirksamkeit des Verumfutters in den Verumtieren (hohe Reduktion der Cäsiumbelastung) festgestellt werden. Somit entstand durch das gelegentliche Auswechselln des Schwarzwildes in das jeweils andere Gebiet ein Verdünnungseffekt. D.h. die Wirksamkeit (84,2 % Reduktion, Kap. III. B. 2.1.3) des Verums wurde potenziell unterschätzt. Bei einer vollständigen Trennung der Verum- und Placebogebiete wäre der deutliche Unterschied in der Cäsiumbelastung von Placebo- und Verumtieren noch größer gewesen bzw. die Reduktion der Cäsiumbelastung noch höher ausgefallen. Folglich würde eine ausschließliche (keine weitere Zufütterung mit Kirrmais, Apfeltrester etc.) und flächendeckende Ausbringung von Verumfutter im gesamten Revier noch stärkere

Effekte erwarten lassen, die Cäsiumkontamination im Schwarzwild würde noch stärker reduziert werden. Eine Überschätzung der Wirkung bei dieser Feldstudie war unmöglich.

1.2 Dosierung von AEHCF

Die Dosierung von 1250 mg AEHCF / kg Kirrfutter (Kap. III. A 3.) wurde aufgrund von Anhang II der Verordnung (EG) Nr. 2013/2001 (max. 500 mg AEHCF / kg Alleinfuttermittel) sowie der ermittelten maximalen Nahrungsaufnahme aus Zufütterung (max. 40 %, Kap. II. 1.4) gewählt.

Wie der erfolgreiche Einsatz, des mit AEHCF versetzten Schwarzwildfutters in Revier 3 zeigte, war die ausgewählte bzw. berechnete Dosierung geeignet, eine Reduktion der Cäsiumbelastung im Muskelfleisch, vergleichbar den Ergebnissen anderer Studien (50 – 97 %), zu erzielen. Geht man von einer, in der Literatur beschriebenen Aufnahme (Kap. II. 1.4) von 200-600 g / d, bzw. 13,3-40 % (Ø tägl. Gesamtnahrungsaufnahme von 1,5 kg) von Nahrung aus der Zufütterung aus, hätte Schwarzwild mit dem Versuchsfutter, bei einer täglichen Aufnahme von 200–600 g Kirrmaterial 250-750 mg AEHCF / d inkorporiert.

Die zugeführte tägliche Menge an AEHCF hätte in der Größenordnung der, in den zur Kontaminationsreduktion erfolgreich durchgeführten Studien mit Monogastriern, Schweinen (Kap. II. 4.5), verwendeten Dosierung gelegen. RUDNICKI (1988) konnte bei Schweinen (8-12 Wochen alt, ca. 20 kg KGW) mit einem täglichen Einsatz von 0,5 g AEHCF / kg Mischfutter, bei einer Radiocäsiumaktivität (Cs-137 u. Cs-134) von Ø 762 Bq / kg Mischfutter eine Reduktion von 94,3% (in Muskelfleisch, Niere u. Leber) erreichen. Bei doppelter Dosis AEHCF (1 g AEHCF / kg Mischfutter) wurde die, durch 0,5 g AEHCF erzielte, geringe Konzentration, nochmals halbiert (Reduktion um 97,1 %). Die Dosen entsprachen bei einer Futteraufnahmemenge nach KAMPHUES et al.

(2004), von ca. 1-2 kg Futter / d folgenden Mengen an AEHCF: Gruppe 1: 0,5-1 g AEHCF / d (bei 762 Bq / kg-1524 Bq / kg) und Gruppe 2: 1-2 g AEHCF / d. NIELSEN et al. (1988) applizierten Ferkeln per Magensonde 97 mg AEHCF und ermittelten eine Verringerung der Ganzkörperaktivität um mehr als 98 %. Ebenfalls eine Reduktion um 90 % der Muskelfleischaktivität verzeichnete LINDNER (zitiert nach GIESE, 1988) nach Verabreichung von Mischfutter, mit einer Dosis von 2 g AEHCF / d (keine Angabe bezüglich der Radiocäsiumbelastung).

Es stellte sich zunächst die Frage, ob in der Praxis, die, vor Beginn des Fütterungsversuches berechnete tägliche Wirkstoffmenge (250-750 mg AEHCF / d) in den Tierorganismus gelangte.

Die Mageninhaltsanalysen dieser Studie gewährten einen Einblick in die tatsächlich aufgenommenen Mengen an AEHCF (Tab. 27). Neben vier leeren Mägen und nicht nachweisbaren Konzentrationen (Gründe s. Kap. IV. 2.4), konnten jedoch in vielen Mägen bestimmbare Mengen an AEHCF ermittelt und für einen Vergleich mit der erwarteten Konzentration herangezogen werden.

Die bestimmbaren AEHCF-Konzentrationen wurden pro 1 g getrocknetem Mageninhalt, folglich Trockensubstanz (TS), ermittelt. Dabei betrug die gemessene TS des Mageninhaltes durchschnittlich 30 % der FS (Einwaage des frischen und getrockneten Mageninhaltes). Die analysierten AEHCF-Konzentrationen, bezogen auf 1 g FS, sowie die aufgenommene Gesamtmenge an AEHCF pro Tag und Tier, berechnet auf ein durchschnittliches Mageninhaltsfrischgewicht von 1500 g (s. Kap. II. 1.4), in Revier 3, stellt Tabelle 32 dar.

Diskussion

Tab. 32: AEHCF-Konzentrationen im Mageninhalt pro 1g FS u. aufgenommene Gesamtmenge an AEHCF pro Tier u. Tag (Ann. Ø 1500g Mageninhalt, FS)

G1 / P	G1 / P	G2 / P	G2 / P	G3 / V	G3 / V	G4nc	G4nc
AEHCF [µg/g FS]	AEHCF [mg/ Magen]	AEHCF [µg/g FS]	AEHCF [mg/ Magen]	AEHCF [µg/g FS]	AEHCF [mg/ Magen]	AEHCF [µg/g FS]	AEHCF [mg/ Magen]
64,5	96,75	120	180	36	54	54	81
249	373,5	321	481,5	63	94,5	66	99
		360	540	78	117	216	324
		378	567	157,5	236,25		
				186	279		
				198	297		
				238,5	357,75		
				246	369		
				306	459		
				312	468		
				330	495		
				336	504		
				354	531		
				354	531		

Die täglich aufgenommene Menge AEHCF, bezogen auf einen Mageninhalt von 1500 g FS, lag zwischen 54-567 mg AEHCF / d (MW: 327,62 mg AEHCF / d).

Da die Versuchsperiode von starker Mast geprägt war, hätten nach BRIEDERMANN (1986, Kap. II. 1.3) durchaus weit höhere Mageninhaltsmengen, für Frischlinge bis max. 5 kg und älteres Schwarzwild bis max. 7 kg, erwartet und zur Berechnung herangezogen werden können. In Anbetracht dessen beschrieb der auf 1,5 kg Mageninhalt bezogene, ermittelte MW von 327,62 mg AEHCF / d ein Aufnahmeminimum. Bei Annahme einer max. Nahrungsaufnahme eines Frischlings von 5 kg / d, ergäbe dies für die inkorporierte Menge einen MW von 1092 mg AEHCF / d (~1,1 g AEHCF / d) beim Frischling und bei älterem Schwarzwild, mit max. 7 kg / d, einen MW von 1529 mg AEHCF / d (~1,53 g AEHCF / d).

Insofern lag der tatsächliche Wert der täglich aufgenommenen Menge an Wirkstoff pro Wildschwein zwischen dem ermittelten Aufnahmeminimum, MW:

327,62 mg AEHCF / d und den Maximal-MW von ca. 1,1 g AEHCF / d (Frischling) bzw. ca. 1,53 g AEHCF / d (ältere Stücke). Folglich waren die beim Fütterungsversuch erreichten Wirkstoffmengen vergleichbar mit den applizierten Dosen an Hausschweinen (s.o.) und lagen in der Größenordnung der, anhand der Literatur berechneten und erwarteten Menge von 250-750 mg AEHCF / d. Die Fütterungsstudie zeigte hiermit deutlich, dass mit der Dosis von 1250 mg AEHCF / kg Schwarzwildfutter auch bei nur konsekutiver Aufnahme von Futter und kontaminierter Nahrung, sowie einem großen, alternativen Nahrungsangebot (Mastfrüchte), eine ausreichend hohe Menge Wirkstoff, vergleichbar mit manuell applizierten Dosen, im Tierorganismus erzielt wird. Je nach Fressverhalten des Schwarzwildes, kann bei hoher Aufnahme an Fütterungsbestandteilen die Obergrenze der futtermittelrechtlichen Dosierung erreicht werden.

1.3 Verabreichungsform - Pellets

Das Versuchsfutter wurde in Form von Pellets produziert. Da bei pelletiertem Futter, im Gegensatz zu granuliertem Trockenfuttermittel, eine Entmischung verhindert werden konnte, Pellets eine bessere Akzeptanz beim Schwarzwild aufwiesen und ihnen auch hinsichtlich der Ausbringung in Futtertrögen und Pendelfässern eindeutig der Vorzug zu geben war, wurden sie als Futtermittelform gewählt. Beim Fütterungsversuch hätten theoretisch auch Salzlecksteine mit AEHCF zum Einsatz kommen können. GIESE (1994) berichtete von Feldversuchen mit Salzlecksteinen, u.a. mit Schwarzwild, beschrieb eine Zusammensetzung des Lecksteins aus 5 % Giese-Salz und 95 % Steinsalz, gab aber keine weiteren genauen Daten zum Versuch, weder zur Cäsiumkontamination, noch zum Verlauf und der Wirksamkeit. Über viele Studien, zum erfolgreichen Einsatz von 2,5 % AEHCF-Lecksteinen bei Weidewiederkäuern wurde bereits berichtet (Kap. II. 4.5, Tab. 16). Allerdings wurde von einer regelmäßigen, täglichen Aufnahme ausgegangen. So wurde beschrieben (HOVE,

1993; AVERIN et al., 1997), dass die Aufnahme von 1 g Salz / d die Cäsiumbelastung im Muskelfleisch bei einem 30-40 kg schweren Lamm um 50 % senke. Jedoch wäre sehr fraglich gewesen, ob Wildschweine täglich Salzlecksteine aufgesucht und dazu noch mind. 1 g Salz aufgenommen hätten. Bei einer Erhöhung der Konzentration des Giese-Salzes im Leckstein (> 5-10%), hätte nach HOVE (1993) die Stabilität nicht mehr gewährleistet werden können. Insofern war die Einmischung des Wirkstoffs in Pellets zur Ausbringung an der Kirsung die geeignetste Methode, um eine ausreichend hohe Menge an AEHCF einigermmaßen regelmäßig dem Schwarzwild zuzuführen.

1.4 Ausbringungsart

In der Durchführung hatte sich gezeigt, dass die tägliche Ausbringung in bedeckten (Steine in Revier 1, besondere Abdeckung s. Revier 3) Holztrögen eine praktikable Methode war. Das Futter wurde vor feuchter Witterung geschützt und die Aufnahme durch ausschließlich Schwarzwild aufgrund der besonderen Bedeckung gewährleistet. Andere Wildtierarten waren nicht in der Lage die Steine und Bretter zu entfernen, um sich Zugang zum Futtermaterial zu beschaffen. Anhand der Schwarzwildfährte um die Futtertröge und der blauen Schwarzwildlosung konnte sicher von der Futteraufnahme durch Wildschweine ausgegangen werden. Dass sich andere Wildtierarten in größeren Mengen von aufgedeckten Trögen in Revier 3 bedienten, war nahezu auszuschließen, da jeweils nur die durchschnittliche, täglich aufgenommene Menge, ca. 2,5 kg / d, ausgebracht wurde und Schwarzwild die Kirsung im Normalfall erst verließ, wenn es diese leer gefressen hatte.

Auch die Pendelfässer in Revier 4 verhinderten einen Zugriff weiterer Wildtierarten auf das Versuchsfutter und schützten das Futter ebenfalls vor Witterungseinflüssen. Einerseits machten sie eine tägliche Kontrolle nicht mehr zwingend notwendig (zwecks Auffüllen), andererseits war die Einschätzung der täglichen Futteraufnahme aus den Pendelfässern sehr schwierig. Zudem wurde

beobachtet, dass bei Nichtaufnahme des Futters über eine längere Periode (z. B. Mast) die Pellets unter feuchter Witterung dennoch an Attraktivität verloren und ausgewechselt werden mussten. Da die Fässer ein großes Fassungsvermögen aufwiesen, wurde durch das Erneuern des Futtermaterials jeweils eine große Futtermenge verbraucht. Insofern sind Pendelfässer bei guter, regelmäßiger Kirmaterialaufnahme durch das Schwarzwild durchaus zu empfehlen, sollten bei geringerer Annahme der Kirmung aber mit weniger Futter bestückt und dafür regelmäßig kontrolliert, ausgewechselt und nachgefüllt werden.

1.5 Mastjahr

Die vorliegende Fütterungsstudie wurde während eines Mastjahres durchgeführt. Diese Baumfrüchte stellen für das Schwarzwild ganz besondere „Leckerbissen“ dar, wie in Kap. II. 1.2.1 beschrieben wurde. Ihr Angebot spielt nach BRIEDERMANN (1976) sogar die entscheidende Rolle bei der Nahrungswahl des Schwarzwildes. Somit hat die verfügbare Baumast einen großen Einfluss auf die aufgenommene Nahrungsmenge an den Fütterungen (Kap. II. 1.2.7) und damit, bei dieser Feldstudie, auf die Inkorporation des Wirkstoffs.

Der Anteil der Mastfrüchte an der Gesamtnahrung (FM) im Jahresdurchschnitt wurde von BRIEDERMANN (1986) mit 52 % fürs Mastjahr angegeben. Mehrere Autoren beschrieben eine fast komplette Absicherung der Schwarzwildnahrung durch die Mastfrüchte bis ins Frühjahr (Kap. II. 1.2.1). BRIEDERMANN (1976) konnte sogar bis Juni noch einen Mengenanteil von 21 % nachweisen. EISFELD und HAHN (1998) und FIELITZ (2005), die nicht nach Mast und Fehlmast trennten, gaben Anteile von 20 % bzw. 17,3 % an.

Gleichzeitig bedeutet dies für die anderen Nahrungskomponenten, dass sie in geringeren Mengen aufgenommen werden. Die Aufnahme an Fütterungsbestandteilen ist nach DRESCHER-KADEN (1998) und FIELITZ (2005), stark reduziert oder fällt ganz weg (FIELITZ, 2005). Für den Fütterungsversuch hätte dies zur Folge haben können, dass das Wild mit der geringen Menge an

Versuchsfutter nur geringen Dosen AEHCF inkorporiert. Dennoch wurde die Studie unter diesen Bedingungen durchgeführt, da die Wirkung von AEHCF unter Feldbedingungen überprüft werden sollte und in der Natur neben Fehlmasten auch Jahre mit unterschiedlichem Mastaufkommen (Voll-, Sprengmast etc.) immer häufiger auftreten. Hätte man für die Fütterungsstudie ein Fehlmastjahr gewählt, hätte sich umgekehrt die Frage nach dem Effekt in einem Mastjahr gestellt.

Baumfrüchte sind auch an hoch kontaminierten Standorten nur sehr gering belastet (HECHT, 1999, 2000; FIELITZ, 2005), wie FIELITZ (2005) mit einem Bq-MW von 27 Bq / kg FM für Bucheckern im stark belasteten Bayerischen Wald aufzeigte. Folglich hat die Aufnahme großer Mengen Baumfrüchte im Mastjahr einen kontaminationsmindernden Effekt (Kap. II. 3.4). Diese kontaminationssenkende Wirkung wurde bei FIELITZ (2005) im Bayerischen Wald durch die Buchenmast im Herbst 2003/Frühling 2004 deutlich. Im Dezember 2003 betrug die mittlere ¹³⁷Cs-Aktivität nur 876 Bq / kg FM und unterschied sich damit stark von dem langjährigen Mittelwert im Dezember in Höhe von 4128 Bq / kg FM. Auch HECHT (1999) konnte in Bayern im Herbst 1998/99 den Effekt der Mastfrüchte durch Vergleich der niedrigen Bq-Werte im Mastjahr mit den deutlich höheren Werten aus dem folgenden Fehlmastjahr 1999/2000 aufzeigen. Er ist der Ansicht, ein starkes Mastjahr gäbe „[...] keinen eindeutigen Aufschluss über die wahre Situation“. Die Cäsiumkontaminationen im Wildbret täuschen eine „zu gute Situation“ vor.

Folglich würden in einem Mastjahr hohe Mengen gering kontaminierter Mastfrüchte (HECHT, 1999, 2000; FIELITZ, 2005) und nur wenig Futter aus Fütterungen und somit wenig Wirkstoff aufgenommen werden, doch die kontaminationssenkende Wirkung der Mastfrüchte würde von Haus aus nur eine geringe Cäsiumkontamination erwarten lassen. Während in Jahren geringen Mastvorkommens eventuell ein höherer Anteil kontaminierter Nahrung, dafür aber auch mehr Futter aus Fütterungsbestandteilen und somit höhere Dosen Wirkstoff aufgenommen werden würden.

Eine weitere Folge der Mast beschrieb auch FIELITZ (2005). Aufgrund der geringeren Futteraufnahme aus den Kirrungen halten sich die Wildschweine nicht bzw. wenig an den Fütterungen auf und können nur in geringer Anzahl erlegt werden.

Durch die Mast und all ihrer in Revier 4 auftretenden Folgen schlug der Fütterungsversuch hier fehl. Neben der kaum nennenswerten Kirmaterialaufnahme zog das Fernbleiben des Schwarzwildes von den Kirrungen nur geringe Bejagungsmöglichkeiten und eine daraus resultierende, geringe Pobenanzahl (da Bejagung an KIRRUNG) mit sich. Allerdings waren die erlegten Wildschweine im Mastjahr 2007 deutlich geringer kontaminiert, 417 Bq / kg FM (Kap. III. B 2.2.3), als in den beiden Vorjahren ohne Mast (Tab. 33), obwohl sie nur geringe Mengen Versuchsfutter, vermengt mit Kirrmais, aufgenommen hatten. (Die Einzelwerte der Cäsiumaktivitäten, gemessen an der eigenen Messstation der Kreisgruppe, sind in Anhang 7, Tab. VIII.13, aufgelistet.)

Tab. 33: Bq-MW der Wildschweine aus den Jahren 2005 und 2006, bestimmt für das gesamte Jahr und für die, zu 2007, vergleichbaren Monate (Revier 4)

Jahr	Bq-Werte gesamtes Jahr [Bq / kg FM] (n)	Bq-Werte vergleichbare Monate [Bq / kg FM] (n)
2005	2248,10 ± 4222,62 (n=122)	2954,69 ± 5028,72 (n=78)
2006	2901,87 ± 3992,06 (n=39)	3327,15 ± 4110,69 (n=34)

Vermutlich leistete in Revier 4 die Mast einen erheblichen Beitrag zur Reduktion der Cäsiumkontamination. Denn die aufgenommene Versuchsfuttermenge in Revier 4 lag noch deutlich unter der geringen verzehrten Verumfuttermenge im non compliant Gebiet, G4 nc, im Revier 3. Da bereits die geringe Futteraufnahme

in G4 nc keinen Effekt zeigte, ist davon auszugehen, dass auch die noch wesentlich geringere inkorporierte Menge in Revier 4 keine Wirkung hatte.

Jedoch macht Revier 4 deutlich, dass die Tatsache, dass Schwarzwild in Mastjahren selten Fütterungen aufsucht und sehr wenig mit AEHCF versetztes Kirmaterial aufnimmt, nicht erheblich ist, da die Wildschweine bei Verzehr großer Mengen gering belasteter Mastfrüchte sowieso nur gering kontaminiert sind.

In Revier 3 konnte der Fütterungsversuch trotz Mastjahr erfolgreich durchgeführt werden. Die Versuchsfutteraufnahme war trotz der Baumfrüchte bei dem gut an die Kirrungen gebundenem Schwarzwild sehr gut (Tab. 26). In Betracht zu ziehen wären die Möglichkeiten, dass das Vorkommen an Baumfrüchten in Revier 3 nicht ganz so ausgeprägt war wie in Revier 4, oder dass das Wild eine bessere Bindung an die Fütterungen zeigte. In Revier 3 wurde die Reduktion der Cäsiumkontamination der Wildschweine im Gegensatz zu Revier 4 eindeutig durch die Verumaufnahme bedingt. Denn wäre der Effekt durch die Mast hervorgerufen worden, dann hätten auch die Placebotiere niedrigere Cäsiumaktivitäten aufweisen müssen und es hätte kein signifikanter Unterschied zwischen Placebo- und Verumtieren bestanden.

Folglich macht es keinen Unterschied, ob Schwarzwild in Mastjahren durch den kontaminationsmindernden Effekt der Baumfrüchte, ohne nennenswerte Mengen Kirmaterial aufzunehmen, gering belastet ist, oder ob sie in Fehlmastjahren einen größeren Anteil kontaminierter Nahrungskomponenten zu sich nehmen und durch die Aufnahme von Kirmaterial ihre Cäsiumkontamination reduzieren.

Witterungsbedingt (keine geschlossene Schneedecke, viel Nebel und Regen, sodass nur die wenigen Vollmondtage während der Versuchsperiode genutzt werden konnten) waren die Bejagungsmöglichkeiten in Revier 3 etwas eingeschränkt, sodass sich eine geringere Probenanzahl (57 Muskelfleischproben, Tab. 25) ergab, als für die vier Gebiete (mind. 150 Stück Schwarzwild) insgesamt erwartet werden konnte. Dennoch war sie ausreichend (23 Placebotiere aus

G1 / P und 20 Verumtiere aus G3 / V, die Tiere aus G4 nc fielen für den Vergleich weg), um einen statistischen Effekt, eine Reduktion der Cäsiumaktivität um 84,2 %, abzusichern.

2. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

2.1 Akzeptanzversuch

Während der Akzeptanzversuche in Revier 1 und 2 konnte kein Unterschied in der Futteraufnahme der beiden Futterchargen Verum und Placebo festgestellt werden (Kap. III. B 1.1 u. 1.2). Weder die farbliche (blau), noch die geschmackliche Komponente des mit Giese-Salz versetztem Futtermaterial hatten Einfluss auf die Akzeptanz des Futters. Auch in der Literatur sind keine Akzeptanzprobleme beschrieben. Futtermittel, wie AEHCF-haltige Mischfutter (GIESE, 1971, 1988: Milchkühe; RUDNICKI, 1988: Schweine; HOVE, 1993: Schafe, Ziegen, Rentiere), Salzlecksteine mit 2,5 % AEHCF (HOVE, 1993: Rinder, Schafe, Rentiere; HOVE et al., 1995: Milchkühe) und Giese-Salz in Pulverform, über das Futter von Milchkühen (HOVE et al., 1995) und über von Rentieren aufgenommenen Flechten (HOVE et al., 1991) gestreut, verzeichneten eine gute An- und Aufnahme. Da Wildschweine jedoch als ganz besondere Feinschmecker bekannt sind (Kap. II. 1.2), hätte man eine geringere Akzeptanz oder eine längere Umgewöhnungsphase erwarten können. Insofern sollte durch diesen Vorversuch eine gute Verumfutteraufnahme beim Schwarzwild abgesichert und eventuelle Bedenken der Revierbetreuer ausgeräumt werden.

Es zeigte sich, dass die Art der Ausbringung des Futtermittels deutliche Auswirkungen auf die Futteraufnahme hatte. Bei Verwendung von bedeckten Futtertrögen konnte eine gute Akzeptanz des, vor Regen und Feuchtigkeit geschützten Futters, erreicht werden (Kap. III. B 1.1). Hingegen beeinträchtigte in Revier 2 das ungeschützte Ausstreuen des granulierten Trockenfuttermittels auf den Erdboden bei feuchter Witterung und somit ein feuchtes und klumpendes

Futtermittel, die Futteraufnahme beider Futterchargen beträchtlich (Kap. III. B. 1.2). Schon der Hersteller des Schwarzwildfutters AF 1-Pellets verwies darauf, dass es nur für Sauen zugänglich und abgedeckt auszubringen ist. Des Weiteren wiesen beide Reviere ein hohes Mastfrüchtevorkommen auf, das in Revier 2 sicherlich, neben der nicht fachgerechten Futterausbringung, ursächlich für die zunächst schlechte Versuchsfutteraufnahme (Placebo und Verum) an den Kirrstellen war. Dies zeigte sich deutlich bei der erneuten Ausbringung des Futterrestes, nach Verschwinden der Baumfrüchte im Frühjahr 2007. Bereits 24 Stunden nach Futterausstreuung war das Versuchsfutter komplett aufgenommen worden. Auch in der Literatur wurde von DRESCHER-KADEN (1998) die im Mastjahr verringerte Annahme der Zufütterung beschrieben (Kap. II. 1.2.7). FIELITZ (2005) konnte bei seinen Analysen während einer starken Buchenmast vom Herbst bis ins nächste Frühjahr hinein keine Fütterungsbestandteile im Mageninhalt nachweisen (Kap. II. 1.2.7). HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004) ermittelten bei Mageninhaltsanalysen während einer Mastperiode einen Rückgang der Bestandteile aus Zufütterung um 60 % (Kap. II. 1.2.7).

Folglich reduzierte das, neben dem Kirrmaterial verfügbare, weitere Nahrungsangebot im jeweiligen Revier, allen voran Mastfrüchte, die Aufnahme des Kirrfutters und damit auch die Akzeptanz in Revier 2.

2.2 Futteraufnahme (Revier 3)

Die durchschnittliche tägliche Futteraufnahme je Kirrstelle in den Gebieten G1 / P: 2,1 kg / d; G2 / P: 2,6 kg / d und G3 / V: 2,8 kg / d (G4nc wird im nächsten Punkt 2.3 gesondert behandelt), dargestellt in Tabelle 26, zeigte deutlich die gute Akzeptanz der beiden pelletierten Versuchsfutterchargen vom Schwarzwild in Revier 3 (konform gehend mit den Ergebnissen des Akzeptanzversuches). Beide Chargen wurden in großen Mengen aufgenommen.

Die drei Gebiete in Revier 3, G1 / P, G2 / P und G3 / V, in denen das Studienprotokoll eingehalten wurde, ließen bei einer Gegenüberstellung der

Futteraufnahme in den Placebogebieten (\emptyset 2,4 kg / d / Kurrung) und dem Verumgebiet G3 / V (2,8 kg / d / Kurrung), wie erwartet, keinen Unterschied in der Akzeptanz der beiden Futterchargen feststellen.

Eine tägliche Kontrolle der Kurrungen sowie ein regelmäßiges Wiederauffüllen des Schwarzwildfutters an allen Kurrungen, konnte von der Autorin nicht selbst durchgeführt werden. Um dennoch eine tägliche Überprüfung sicherzustellen, musste der jeweilige Betreuer täglich für jede Futterstelle, die fehlende (= vom Schwarzwild aufgenommene) und neu ausgebrachte Kurrmenge protokollieren. Anhand der Tagebuchaufzeichnungen sowie der bereits verbrauchten Versuchsfuttermengen, konnte eine regelmäßige Futterausbringung überprüft, weitestgehendst sichergestellt und damit die Voraussetzung zur Möglichkeit einer regelmäßigen Kurrmaterialaufnahme durch das Schwarzwild geschaffen werden.

Dass die „fehlende“ Kurrmaterialmenge tatsächlich von den Wildschweinen aufgenommen worden ist, sollte zum einen bereits durch die Ausbringungsart (Kap. IV. 1.4) sichergestellt werden. Zum anderen wurde von der Autorin bei den Besuchen in Revier 3 in allen Gebieten an Placebo- und Verumkurrungen blau gefärbte Schwarzwildlosung aufgefunden, was neben den Mageninhaltsanalysen die Aufnahme des Versuchsfutters durch die Wildschweine bewies.

2.3 Gebiet G4 nc

Im non compliant Gebiet G4nc lag die aufgenommene Versuchsfuttermenge mit durchschnittlich 1,1 kg / d und Kurrung weit unter den ermittelten Mengen der drei anderen Gebiete (Kap. III. B. 2.2.1, Tab. 26). Blaue Losung konnte auch bei Kontrollgängen an den Kurrungen in G4nc nachgewiesen werden. Allerdings wurden dort, neben den abgedeckten Holztrögen mit dem Versuchsfutter, auch Holzkisten, mit u.a. größeren Mengen des üblichen Kurrmaises, vorgefunden. Hier wurde das Studienprotokoll hinsichtlich der ausschließlichen Versuchsfutterausbringung nicht eingehalten, wie sich bei mehreren Besuchen herausstellte, sondern dem Schwarzwild zusätzlich weiterhin der gewohnte Mais angeboten. Die

Auswirkung der Zufütterung zusätzlich zum Versuchsfutter zeigte sich bei Gegenüberstellung der aufgenommenen Versuchsfuttermengen in den vier Gebieten. Sie resultierte in einer wesentlich niedrigeren Versuchsfutterraufnahme in G4 nc, im Vergleich zu den Gebieten, in denen eine ausschließliche Versuchsfutterausbringung eingehalten wurde.

Zudem stellte sich erst im Verlauf des Versuches heraus, dass das Gebiet G4 nc systematischen Störungen, begründet in der Nutzung des Gebiets, unterlag. Damit ließ sich auch das periodische Fortbleiben der Schwarzkittel von den Kirrungen, jeweils für ein paar Tage (gefolgert aus Tagebuchaufzeichnungen) begründen.

Zusammengefasst schlug der Fütterungsversuch in Gebiet G4 nc fehl. Das Versuchsfutter wurde aus oben geschilderten Gründen nicht regelmäßig und nicht in üblicher (2-2,5 kg / d und KIRRUNG) bzw. mit in anderen Gebieten vergleichbarer Menge, aufgenommen. Folglich gelangte kaum Giese-Salz in den Tierorganismus. Die Resultate der Mageninhaltsanalysen unterstrichen das Ergebnis der fehlgeschlagenen Kirmaterialaufnahme. Nur in drei von 14 (21,3 %) Mageninhaltsproben aus G4 nc konnten nachweisbare AEHCF-Konzentrationen ermittelt werden. Der Vergleich der AEHCF-Konzentrationen in den Mägen aus G4 nc mit denen aus den Placebogeieten, zeigte keinen signifikanten Unterschied (Kap. III. B. 2.1.2, Tab. 28), obwohl in G4 nc Verum gefüttert wurde und es sich in G1 / P und G2 / P nur um Ausreißer handelte. Das Schwarzwild aus G4 nc wies signifikant niedrigere AEHCF-Konzentrationen im Mageninhalt auf, als die Tiere aus dem Verumgebiet G3 / V. Folglich verhielt sich das eigentlich verumgekirte G4 nc aufgrund des nicht aufgenommenen Versuchsfutters, wie die beiden Placebogeiete.

Dies spiegelte sich letztlich auch in den Bq-Werten der Muskelfleischproben bzw. der Radiocäsiumkontamination wieder. Im non compliant Gebiet, wie in beiden Placebogeieten, wurde eine signifikant höhere Radiocäsiumbelastung der Schwarzwildmuskulatur ermittelt, verglichen mit den Bq-Werten der Wildschweine aus dem Verumgebiet G3 / V. Die Cäsiumbelastung der Muskelproben aus G4 nc und den Placebogeieten wiederum unterschied sich nicht wesentlich; alle drei wiesen im Vergleich zu G3 / V signifikant höhere Bq-Werte auf.

Folglich minderte die Zufütterung die Aufnahme der Verumfuttermittel und verhinderte die regelmäßige Inkorporation einer wirksamen Dosis AEHCF. Als Konsequenz aus den Ergebnissen in G4 nc kann ein signifikanter Effekt durch die Kurrung mit AEHCF versetzten Futtermitteln nur bei strikter Einhaltung des Studienprotokolls und der regelmäßigen und ausschließlichen Ausbringung von Schwarzwildfutter mit AEHCF erwartet werden.

2.4 Mageninhaltsanalyse – AEHCF-Konzentration

Neben vier leeren Mägen, ohne jeglichen Inhalt, konnten in einigen Mageninhaltsproben keine nachweisbaren AEHCF-Konzentrationen analysiert werden (Kap. III. B. 2.1.2, Tab. 27).

Die leeren Mägen konnten auf die Probengewinnung, d.h. Probennahme nach Einzeljagd an der Kurrung, und dem Fressverhalten der Wildschweine zurückgeführt werden. Es war durchaus möglich, dass das Wild beim Aufsuchen seines ersten Fressplatzes (in diesem Fall Kurrung) gleich zu Beginn seiner Aktivitätsphase (Kap. II. 1.1.) erlegt worden ist und die letzte Nahrungsaufnahme in der vorherigen nächtlichen Aktivitätsperiode stattfand. Keine nachweisbaren AEHCF-Konzentrationen, unterhalb der Detektionsgrenze, konnten unterschiedliches bedeuten:

- 1) es wurde kein Versuchsfutter aufgenommen
- 2) es wurde kein Verumfutter aufgenommen, aber Placebo
- 3) es wurde nur eine sehr geringe Menge Verumfutter inkorporiert (27 mg AEHCF / d)
- 4) vom nicht vermischten Mageninhalt wurde bei Probennahme (ca. 300 g) nur ein kleiner Anteil der gesamten Masse entnommen, in dem sich nur eine geringe Menge Wirkstoff oder keiner befand

Dennoch war die Probenanzahl ausreichend, um die AEHCF-Konzentrationen der Wildschweine aus den einzelnen Gebieten vergleichen zu können und

aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten. Diese gingen konform mit den gebietsweise ermittelten, aufgenommenen Mengen an Versuchsfutter.

Die Ergebnisse der gebietsweisen Vergleiche der Mageninhaltsanalysen stellten sich wie erwartet dar (Kap. III. B. 2.1.2, Tab. 28). Schwarzwild aus dem Verumgebiet G3 / V, in dem ausschließlich und regelmäßig Verum gefüttert wurde und für das eine hohe Versuchsfutteraufnahme protokolliert war, wies signifikant höhere Mengen an AEHCF im Mageninhalt auf, verglichen mit den Placebotieren, von denen nur einzelne „Ausreißer“ Verum aufgenommen hatten. Auch zeigten sich in G3 / V signifikant höhere AEHCF-Konzentrationen, als im non compliant Gebiet G4 nc. Aufgrund des nicht Einhaltens des Studienplans und der systematischen Störungen (Kap. IV. 2.3) schlug die Verumfutteraufnahme in G4 nc, nun nachgewiesen durch die Mageninhaltsanalysen, fehl. So wurden hier niedrige AEHCF-Konzentrationen im Mageninhalt festgestellt, vergleichbar mit den Placebotieren, die nur „ausnahmsweise“ Verum aufnahmen.

Folglich zeigten die Mageninhaltsanalysen eine signifikant höhere Wirkstoffkonzentration im Magen-Darm-Kanal der Schweine aus dem Verumgebiet G3 / V, im Vergleich zu denen aus den Placebo- und dem non compliant Gebiet, auf.

Anhand der Mageninhaltsanalysen wurde aber auch deutlich, dass eine vollständige Trennung der Placebo- und Verumgebiete nicht erreicht werden konnte (Kap. IV. 1.1.3).

2.5 Cäsiumbelastung

Ziel dieser Studie war es nachzuprüfen, ob sich die Cäsiumkontamination von Schwarzwild durch konsekutive Aufnahme von Schwarzwildfutter mit AEHCF und kontaminierter Nahrung reduzieren lässt.

Die berechneten täglich inkorporierten Mengen an AEHCF (MW: 327,62 mg AEHCF / d bis 1,1 g AEHCF / d, Frischling bzw. 1,53 g AEHCF / d, ältere Stücke) zeigten, dass die Wildschweine mit ihrem charakteristischen Fressverhalten (konsekutive Aufnahme) AEHCF-Mengen aufgenommen hatten,

die in der Größenordnung der wirksamen Dosen aus o.g. Studien lagen (Kap. IV. 1.2). Ob die aufgenommenen Mengen Giese-Salz auch bei nicht gleichzeitiger Inkorporation cäsiumbelasteter Nahrungsbestandteile die Cäsiumionen effektiv binden konnten, eine Absorption verhindert und eine Reduktion der Muskelfleischbelastung erreicht wurde, klärten die ermittelten Bq-Werte.

Die Muskelfleischproben vom Schwarzwild aus dem Verumgebiet G3 / V wiesen signifikant niedrigere ^{137}Cs -Aktivitäten, im Vergleich zu den Placebotieren auf, während sich die Belastung des Muskelfleisches des Schwarzwildes zwischen den Placebotieren nicht signifikant unterschied (Kap. III. B. 2.1.3, Tab. 30). Die Cäsiumbelastung im non compliant Gebiet G4 nc war zur Kontamination in den Placebogeblieten nicht wesentlich different, unterschied sich jedoch signifikant zum Verumrevier G3 / V. Die erhaltenen Ergebnisse stimmten wiederum mit denen der Mageninhaltsanalysen überein.

Das Schwarzwild aus dem Verumgebiet konnte eine Verringerung der Cäsiumkontamination gegenüber den Placebotieren um 84,2 % aufweisen (Kap. III. B. 2.1.3, Abb. 29). Unter Berücksichtigung des in Kap. IV. 1.1.3 beschriebenen „Verdünnungseffekts“, war die Annahme berechtigt, dass bei strikter Trennung der Placebo- und Verumgebiete, eine noch höhere Reduktion mit dem Einsatz von Kirrfutter mit 1250 mg AEHCF / kg erreicht hätte werden können.

Die ermittelte Reduktion der Cäsiumkontamination war, besonders bei Berücksichtigung des Verdünnungseffektes, mit der Höhe der Cäsiumreduktion erfolgreich durchgeführter Studien vergleichbar (NIELSEN et al., 1988 :> 98%; LINDNER, zitiert nach GIESE, 1988: 90 %; RUDNICKI, 1988: 94,3 % bzw. 97,1 %).

Für die Praxis bedeutet dies, dass für Schwarzwild mit Muskelfleischaktivitäten bis knapp unter 3800 Bq / kg FM Bq-Werte unterhalb des Grenzwertes erwartet werden können. Eine Belastung von 3800 Bq / kg FM in hoch kontaminierten Gebieten ließe sich auf eine Kontamination um den Grenzwert reduzieren.

Um zu prüfen, ob weitere bekannte Kovariablen Einfluss auf die Cäsiumaktivität im Muskelfleisch hatten, wurden Effekte vom Körpergewicht, Geschlecht, Gebiet (G1-G4), Lebensstadium des Stücks, sowie der Fütterungsdauer zum Zeitpunkt des

Erlegens und der Konzentration von AEHCF im Mageninhalt, untersucht. Nach statistischer Analyse konnte in dieser Feldstudie nur ein Einfluss des Gebietes G3 / V auf die Höhe der Cäsiumbelastung nachgewiesen werden. Für alle anderen o.g. Variablen konnte eine Einflussnahme ausgeschlossen werden.

HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004) überprüften ebenfalls den Einfluss von Geschlecht und Körpergewicht auf die Fleischbelastung. Auch sie konnten keinen Unterschied in der Fleischbelastung der beiden Geschlechter feststellen. Ebenso zeigte sich auch bei ihnen keine allgemeine Korrelation der Cäsiumbelastung mit dem Körpergewicht. Beim Vergleich der kleinsten Gewichtsklasse (bis 10 kg Aufbruchgewicht) mit allen anderen, schwereren Tieren, war eine höhere Belastung des Fleisches der kleinen Frischlinge gegenüber den restlichen Tieren nachweisbar. In der vorliegenden Feldstudie gab es allerdings keine ausreichend große Anzahl (nur 2) erlegter Stücke in dieser Gewichtsklasse, um sie den anderen gegenüberstellen zu können.

3. SCHLUSSFOLGERUNG

Aufgrund des sehr vielversprechenden Resultates der vorliegenden, durchgeführten Fütterungsstudie, erscheint es sinnvoll, diesen Fütterungsversuch in einem größeren Umfang unter Praxisbedingungen umzusetzen. Dabei wäre es nicht notwendig, noch einmal ein Gebiet als Kontrollgruppe zu führen.

Um effektiv mit AEHCF versetztem Schwarzwildfutter zu kirren, muss bei der Durchführung darauf geachtet werden, dass:

1. das Schwarzwild **gut** an die Kirrungen **gebunden** ist und
2. die Ausbringung betreffend,
 - das Kirrmaterial **ausschließlich** (Vermeidung jeder weiteren Zufütterung von z.B. Mais),
 - **regelmäßig** (täglich),
 - **bedeckt** (vor Witterung geschützt),

- und **flächendeckend** (an allen Kirtungen im Revier, bestenfalls in allen Nachbarrevieren in und aus denen Schwarzwild ein- und auswechseln kann) ausgebracht wird.

Da die Kosten für das mit AEHCF versetzte Schwarzwildfutter nur gering über dem üblichen Marktpreis für Körnermais liegen (ein paar Cent pro kg Futter), würde es sich lohnen für einen geringen Mehreinsatz zu überprüfen, ob die Zahl der verzehrbaren Stücke Schwarzwild unter Praxisbedingungen nicht erhöht werden könnte.

V. ZUSAMMENFASSUNG

Katja Meinel

Eine Feldstudie am Schwarzwild zum Einsatz von Ammoniumeisenhexacyanoferrat zur Reduzierung der Radiocäsiumbelastung

In der vorliegenden, placebokontrollierten Doppelblindstudie wurde untersucht, ob eine Reduktion der Cäsiumbelastung beim Schwarzwild auch bei konsekutiver Aufnahme von mit Ammoniumeisenhexacyanoferrat (AEHCF) versetztem Kirmmaterial und kontaminierter Nahrung erreicht werden kann.

Akzeptanzversuch: In zwei Revieren, Revier 1 und Revier 2, erfolgte zunächst eine Überprüfung der Akzeptanz von Verum (Dosierung: 1250 mg AEHCF / kg Schwarzwildfutter) und Placebo über 12 Tage. Beide Futterchargen wurden gut aufgenommen, ohne einen Unterschied in der Akzeptanz.

Langzeitfütterungsversuch: In zwei weiteren Revieren, Revier 3 und Revier 4, wurde vom 1.01.-10.05.2007 Verum und Placebo (mit Patentblau eingefärbt) an den Kirrungen, anstelle des herkömmlichen Kirrmaises, ausgebracht. Dafür wurde Revier 3 in 4 Gebiete, 2 Placebo- (G1/P, G2/P) und 2 Verumgebiete (G3/V, G4 nc) und Revier 4 in je ein Placebo- und ein Verumgebiet eingeteilt. In den Gebieten wurde ausschließlich und regelmäßig mit der jeweiligen pelletierten Futtercharge (V/P) gekirrt. Die Futteraufnahme an jeder KIRRung wurde täglich kontrolliert und protokolliert. Die KIRRungen wurden auf blaue Losung untersucht. Von jedem erlegten Stück Wild wurde eine Mageninhaltprobe zur Bestimmung der AEHCF-Konzentration und eine Muskelfleischprobe zur Ermittlung der ¹³⁷Cs-Aktivität genommen.

Die **Ergebnisse** stellten sich in **Revier 3** wie folgt dar:

- Sehr gute Aufnahme beider Futterchargen (Tab. 34).

- Auffinden blauer Losung an Kirrungen in allen Placebo- und Verumgebieten.
- G4 nc (non compliant Gebiet): In einem Verumgebiet wurde der Studienplan durch Zufütterung von Mais u.a. nicht eingehalten. Zudem traten in G4 nc systematische äußere Störungen auf. Aufgrund nur sehr geringer Versuchsfutteraufnahmen (Tab. 34) schlug der Fütterungsversuch hier fehl. Erlegte Stücke aus diesem Gebiet unterschieden sich nicht signifikant von solchen aus den Placebogebieten (Tab. 34).
- Es wurden signifikant höhere Konzentrationen an AEHCF in den Wildschweinemägen der Verumgruppe G3 / V, im Vergleich zu den Mägen aus den Placebogebieten G1 / P und G2 / P (Tab. 34) nachgewiesen. Allerdings wurde keine vollständige Trennung der Verum- und Placebogebiete erreicht.
- Für Schwarzwild aus dem Verumgebiet G3 / V wurden um 84,2 % reduzierte ¹³⁷Cs-Aktivitäten im Muskelfleisch ermittelt, im Vergleich zu den Placebotieren (G1 / P u. G2 / P).

Tabelle 34 zeigt die durchschnittliche tägliche Futteraufnahme in den einzelnen Gebieten und vergleicht die AEHCF-Konzentrationen im Mageninhalt sowie die Muskelfleischbelastung der einzelnen Gebiete.

Tab. 34: Tägliche Futteraufnahme, log-AEHCF-Konzentration (Mageninhalt) und log-¹³⁷Cs-Aktivität (Muskulatur) im gebietsweisen Vergleich

Gebiete	Ø Futteraufnahme [kg / d / KIRRUNG]	log-[AEHCF] im Mageninhalt (n) [µg/g]	log-¹³⁷Cs-Aktivität im Muskelfleisch (n) [Bq / kg FM]
G1/P	2,1	1,81 ± 0,59 (7)^a	1,96 ± 0,26 (9)^a
G2/P	2,6	1,93 ± 0,72 (13)^a	1,63 ± 0,78 (14)^a
G1/P+G2/P	2,4	1,89 ± 0,66 (20)^a	1,76 ± 0,64 (23)^a
G3/V	2,8	2,40 ± 0,67 (20)^b	0,96 ± 0,72 (20)^b
G4nc	1,1	1,69 ± 0,45 (14)^a	1,73 ± 0,66 (14)^a

^{a b} Mittelwerte, die **nicht** mit demselben Buchstaben überschrieben werden, unterscheiden sich signifikant.

In **Revier 4**, das eine starke Mast, kaum Versuchsfutteraufnahme und fehlende Bejagungsmöglichkeiten verzeichnete, schlug der Fütterungsversuch fehl.

Fazit: Bei einer regelmäßigen, ausschließlichen (alternative Zufütterung vermeiden), abgedeckten (vor feuchter Witterung schützen) und flächendeckenden (an allen Kirtungen im Revier, Nachbarrevier) Ausbringung von mit AEHCF versetztem Schwarzwildfutter, kann eine effektive Reduktion der ¹³⁷Cs-Aktivität im Muskelfleisch um mindestens 84,2 % erreicht werden.

VI. SUMMARY

Katja Meinel

A field trial on the use of ammonium iron hexacyanoferrate to reduce the radiocaesium burden in wild boar

A placebo-controlled double-blind study was carried out to test whether a reduction of the radiocaesium burden in wild boar could be achieved by a consecutive intake of feed supplemented with ammonium iron hexacyanoferrate (AFCF) and contaminated natural food.

Acceptability trial: First the acceptability of verum (dosage: 1250 mg AFCF/kg wild boar feed) and placebo was tested in two territories, territory 1 and territory 2, over the course of 12 days. Both were accepted well, with no significant difference between verum and placebo

Long-term trial: In two further territories, territory 3 and territory 4, verum and placebo (dyed with patent blue) were provided in place of the maize normally used for feeding from 1st January to 10th May 2007. Territory 3 was divided into four, two placebo areas (A1/P, A2/P) and two verum areas (A3/V, A4 nc), and territory 4 into two, one placebo area and one verum area. No feed other than the pelleted verum and placebo was provided. The consumption at each feeding point was checked and recorded daily. The feeding points were examined for blue droppings. From every animal shot by hunters, a sample of the stomach contents was taken for measurement of AFCF concentration and a sample of muscle tissue for determination of ^{137}Cs activity.

Results: In **territory 3** the results were as follows:

- Both verum and placebo were consumed in high quantities.
- Blue droppings were found at feeding points in all placebo and verum areas.

Summary

- A4 nc (non-compliant area): In one verum area the protocol was not adhered to, i.e. extra maize and other feedstuffs were provided. Furthermore, A4 nc experienced systematic disruption by external factors. Consumption of the trial feed was very low (Table 35) and the experiment failed in this area. Animals shot in this area did not differ significantly from those in the placebo areas (Table 35).
- Significantly higher concentrations of AFCF were demonstrated in the stomachs of animals from the verum area A3/V than in those from the placebo areas A1/P and A2/P (Table 35). However, complete separation of the verum and placebo areas was not achieved.
- The ¹³⁷Cs activity in wild boar from the verum area A3/V was 84.2% lower than that in animals from the placebo areas (A1/P and A2/P).

Table 35 shows the mean daily feed consumption, the stomach AFCF concentration and the muscle ¹³⁷Cs activity in the individual areas.

Table 35: Feed consumption, log AFCF concentration (stomach contents) and log ¹³⁷Cs activity (muscle tissue) in the study areas

Area	Mean consumption [kg/day/feeding point]	log [AFCF] in stomach contents (n) [µg/g]	log ¹³⁷Cs activity in muscle tissue (n) [Bq/kg feed]
A1/P	2.1	1.81 ± 0.59 (7)^a	1.96 ± 0.26 (9)^a
A2/P	2.6	1.93 ± 0.72 (13)^a	1.63 ± 0.78 (14)^a
A1/P+A2/P	2.4	1.89 ± 0.66 (20)^a	1.76 ± 0.64 (23)^a
A3/V	2.8	2.40 ± 0.67 (20)^b	0.96 ± 0.72 (20)^b
A4 nc	1.1	1.69 ± 0.45 (14)^a	1.73 ± 0.66 (14)^a
^{a,b} means which are not indicated by the same letter differ significantly			

Territory 4 was characterized by high quantities of naturally occurring food, extremely low consumption of trial feed and limited hunting potential. The experiment failed in this territory.

Conclusions: Regular, exclusive (avoid alternative feeds), covered (protect from rain / weatherproof) and exhaustive (all feeding points in target and neighbouring territories) provision of wild boar feed supplemented with AFCF can achieve a reduction of at least 84.2% in the ^{137}Cs activity of muscle tissue.

VII. LITERATURVERZEICHNIS

ARNAUD, M.J., C. CLEMENT, F. GETAZ, F. TANNHAUSER, R. SCHOENEGGE, J. BLUM und W. GIESE (1988)

Synthesis, effectiveness and metabolic fate in cows of the caesium complexing compound ammonium ferric hexacyanoferrate labelled with ^{14}C .

J. of Dairy Research 55, 1-13

AVERIN, V.S., S.K. VIRSAKOVA, V.V.GURKOV, P. ASSIMAKOPOULOS, K. HOVE, L. SKUTERUD, P. STRAND, R.M. ALEKSAKHIN, N. ASTASHEVA, A. RATNIKOV, I. TRAVNIKOVA, A. SOBOLEV, B.S. PRISTER, V. PRONEVICH, J. PEARCE, M. CRICK und J.I. RICHARDS (1997)

The use of Prussian Blue to reduce radiocaesium contamination of milk and meat produced on territories affected by the Chernobyl accident.

IAEA, Vienna. 80 S.

BAILER, B. (1988)

Zur beschleunigten Ausscheidung von Radiocäsium bei Schafen durch Zufütterung von Ammonium-Eisen-Hexacyanoferrat.

Diss., Tierärztliche Hochschule Hannover. 74 S.

BORTZ, J. (2004)

Statistik: Für: Human- und Sozialwissenschaftler.

6. Auflage, Springer Verlag, Berlin

BRIEDERMANN, L. (1976)

Ergebnisse einer Inhaltsanalyse von 665 Wildschweinemägen.

Zool. Garten 46 (3), 157-185

BRIEDERMANN, L. (1986)

Schwarzwild.

VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 43, 174-224

BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ (2006)

Tschernobyl – 20 Jahre danach.

Informationsbroschüre des Bundesamts für Strahlenschutz, Salzgitter. 40 S.

BUNZL, K. (1986)

Künstliche Radioaktivität in Luft, Niederschlag und Boden.

Mensch und Umwelt, Magazin der Strahlen- und Umweltforschung München,

Dez. 1986, 29-38

**BUROVINA, J. V., D.G. FLEISHMAN, V.P. NESTEROV, M.N. SHMITKO und
J.A. SKUSKY (1965)**

Concentration of common Cs in animal and human muscles.

Nature 205, 1116-1117

BURSCHEL, P., J. HUSS und R. KALBHENN (1964)

Die natürliche Verjüngung der Buche.

Sauerländer Verlag, Frankfurt (Main)

CRAGLE, R.G. (1961)

Uptake and excretion of cesium-134 and potassium-42 in lactating dairy cows.

J. Dairy Sci. 44, 352-357

DRESCHER-KADEN, U. (1998)

Zur Physiologie des Schwarzwildes.

Schriftenreihe des Landesjagdverbandes Bayern e.V. 6, 97-106

DRESOW, B., P. NIELSEN und H.C. HEINRICH (1990)

Efficacy of different hexacyanoferrates(II) in inhibiting the intestinal absorption of radiocaesium in rats.

Z. Naturforsch. 45c, 676-680

EISFELD, D. und N. HAHN (1998)

Raumnutzung und Ernährungsbasis von Schwarzwild.

Abschlußbericht an das Ministerium Ländlicher Raum Baden-Württemberg. Arbeitsbereich Wildökologie und Jagdwirtschaft, Forstzoologisches Institut, Universität Freiburg. 61 S.

EKMAN, L. (1961)

Distribution and excretion of radio-caesium in goats, pigs and hens.

Acta Vet. Scand. 2, Supplementum 4, 31-58

FIELITZ, U. (2005)

Untersuchungen zum Verhalten von Radiocäsium in Wildschweinen und anderen Biomedien des Waldes.

Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben StSch4324 im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 101 S.

FRASER, A. (1978)

Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere.

Ulmer Verlag, Stuttgart, 59-61

FRIEDLANDER, G. und J. W. KENNEDY (1961)

Lehrbuch der Kern- und Radiochemie.

Verlag Karl Thiemig, München, 63

FURCHNER, J.E., C.R. RICHMOND und G.A. DRAKE (1965)

Effects of environmental temperature on retention of chronically administered cesium-137.

Health Physics 11, 623-628

GIESE, W. und D. HANTZSCH (1970)

Vergleichende Untersuchungen über die Cs-137-Eliminierung durch verschiedene Eisenhexacyanoferratkomplexe bei Ratten.

Beiheft 11 z. Zbl. Vet. Med., 185-190

GIESE, W. (1971)

Das Verhalten von Radiocaesium bei Laboratoriums- und Haustieren sowie Möglichkeiten zur Verminderung der radioaktiven Strahlenbelastung. Habilitationsschrift, Tierärztliche Hochschule Hannover. 99 S.

GIESE, W. (1986)

Veterinärmedizinisch wichtige Isotope des radioaktiven Niederschlags und deren Ausscheidung mit der Milch.

Der Praktische Tierarzt 67, 561-569

GIESE, W. (1987)

Der fütterungsabhängige Radiocäsium-Expositionspfad für nutzbare Haustiere sowie Möglichkeiten zur Verminderung der radioaktiven Strahlenbelastung.

Übers. Tierernähr. 15, 113-114

GIESE, W. (1988)

Ammonium-Ferric-Cyano-Ferrate(II) (AFCF) as an effective antidote against radiocaesium burdens in domestic animals and animal derived foods.

Br. vet. J. 144, 363-369

GIESE, W. (1989)

Countermeasures for reducing the transfer of radiocesium to animal derived foods.
Sci. Tot. Environ. 85, 317-327

GIESE, W. (1994)

Antrag auf Zulassung von Ammonium-Eisen(III)-Hexacyano-Ferrat(II) (AEHCF) als Futterzusatzstoff bei der EG-Kommission gemäß der Richtlinie des Rates vom 16.2.1987 (87 / 153 / EWG)

GIESE, W. (1995)

Über den Einsatz von Ammonium-Eisen(III)-Hexa-Cyanoferrat (II) (AEHCF) bei der Verfütterung Radiocäsiumhaltigen Molkepulvers an Schweine.
Wien. Tierärztl. Mschr. 82, 310-315

GIESE, W. (2003)

Praktische Maßnahmen zum Erhalt der Funktion nutzbare Haustiere als Nahrungsmittellieferant für den Menschen in radioaktiven Notstandssituationen. Einweisungslehrgang des BMVEL für Führungskräfte aus Bund und Ländern über im Krisenfall nach ABC-Ereignissen wahrzunehmende Aufgaben im Ernährungs-, Landwirtschafts- und Veterinärbereich vom 07.10. bis 10.10. 2003 an der ABC- und Selbstschuttschule der Bundeswehr in Sonthofen.

GOLDMANN, M., W.M. LONGHURST, R.J. DELLA ROSA, N.F. BAKER und R.D. BARNES (1965)

The comparative metabolism of strontium, calcium and cesium in deer and sheep.
Health Physics 11, 1415-1422

HAHN, N. (1998)

Ohne wildbiologische Grundlegendaten keine sinnvolle Bewirtschaftung: Raumnutzung und Nahrungswahl von Schwarzwild in Baden-Württemberg. Schriftenreihe des Landesjagdverbandes Bayern e.V. 6, 81-96

HANSEN, H.S., K. HOVE und K. BARVIK (1996)

The effect of sustained release boli with ammoniumiron(III)-hexacyanoferrate(II) on radiocesium accumulation in sheep grazing contaminated pasture.

Health Physics 71, 705-712

HECHT, H. (1999)

Bestimmung der flächenmäßigen Verteilung der staatlichen Jagdgebiete Bayerns, in denen Radiocäsiumsaktivitätskonzentrationen > 600 Bq/kg frische Masse (FM) in Rot-, Reh-, Schwarz- und Gamswildbret auftreten können.

Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach. 118 S.

HECHT, H. (2000)

Bestimmung der Änderungen der flächenmäßigen Verteilungen der staatlichen Jagdgebiete Bayerns, in denen Radiocäsiumaktivitätskonzentrationen > 600 Bq/kg frische Masse (FM) in Rot-, Reh-, Schwarz- und Gamswildbret auftreten können.

Bundesanstalt für Fleischforschung, Kulmbach. 112 S.

HENNIG, R. (1981)

Schwarzwild: Biologie – Verhalten – Hege und Jagd.

BLV Verlagsgesellschaft mbH, München, 16-34, 201-204

HOEK VAN DEN J. (1976)

Cesium metabolism in sheep and influence of orally ingested bentonite on cesium adsorption and metabolism.

Z. Tierphysiol., Tierernähr. u. Futtermittelkunde 37, 315-321

HOHMANN, U. und D. HUCKSCHLAG (2004)

Grenzwertüberschreitende Radiocäsiumkontamination von Wildschweinfleisch in Rheinland-Pfalz. Forschungsbericht.

Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz

HOOD, S.L. und C.L. COMAR (1953)

Metabolism of ^{137}Cs in rats and farm animals.
Arch. Biochem. Biophys. 45, 423-433

HOVE, K (1993)

Chemical methods for reduction of the transfer of radionuclides to farm animals in semi-natural environments.
Sci. Total Environ. 137, 235-248

HOVE, K., P. STRAND, B. SALBU, D. OUGHTON, N. ASTASHEVA, A. SOBOLEV, A. VASILIEV, A. RATNIKOV, R. ALEKSAKHIN, T. JIGAREVA, V. AVERIN, S. FIRSAKOVA, M. CRICK und J.I. RICHARDS (1995)

Use of caesium binders to reduce radiocaesium contamination of milk and meat in Belarus, Russia and Ukraine.
Environmental Impact of Radioactive Releases (Proc. Int. Symp. Vienna, 1995)
IAEA-SM-339 / 153, 539-547

HOVE, K. und H.S. HANSEN (1993)

Reduction of radiocesium transfer to animal products using sustained release boli with ammoniumiron(III)-hexacyanoferrate(II).
Acta vet. scand. 34, 287-297

HOVE, K., H.S. HANSEN und P. STRAND (1990)

Experience with the use of caesium binders to reduce radiocaesium contamination of grazing animals. Environmental Contamination follows a major nuclear accident. International Atomic Energy Agency, Vienna, IAEA-SM-306/36, 181-189

HOVE, K., H. STAALAND und Ø. PEDERSEN (1991)

Hexacyanoferrates and bentonite as binders of radiocaesium for reindeer.
Rangifer, 11, 43-48

HRUBY, E. und A. WOTTAWA (1987)

Prüfung von Giese-Salz (Cäsiolax) im Mutagenitätstest nach Ames. Abschlußbericht zum Forschungsauftrag des Bundeskanzleramtes laut Werkvertrag § 1 Pkt 1 vom 1987 09 04. Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf. 6 S

IAEA (1997)

The use of prussian blue to reduce radiocaesium contamination of milk and meat produced on territories affected by the Chernobyl accident.
International Atomic Energy Agency, Vienna, IAEA-TECDOC-926

KAMPHUES, J., M. COENEN, E. KIENZLE, J. PALLAUF, O. SIMON und J. ZENTEK (2004)

Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung.
10., überarbeitete Auflage, Verlag M. & H. Schaper Alfeld-Hannover, 252-275

KOSSAKOWSKI, S., A. DZIURA und A. GROSICKI (1991)

Decontamination effectiveness of ferric ferrocyanide and ammonium-ferric-cyano-ferrate in rats contaminated with radiocaesium.
Isotopenpraxis 27, 30-33

KRAHL-URBAN, J. (1959)

Die Eichen.
Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

KREUZER, W. (1964)

Zum Einfluß von Haltung und Fütterung auf die Kontamination des Fleisches von Rindern mit Cs-137 und zur Methodik ihrer Feststellung.
In 1. Symposium Radioaktivität und Strahlenbiologie im Rahmen der Veterinärmedizin, München, Ber., 44-51

LENGEMANN F.W. (1969)

Retention of radiocesium by rats before and after weaning.
J. Nutr. 99, 419-424

LILAND, A (2004)

Norway`s ongoing, long-term management of Chernobyl affected rural areas.
http://www.irsn.org/document/site_1/fckfiles/File/dossiers/tchernobyl/norway_s_ongoing_long_term_management_of_chernobyl_affected_rural_areas.pdf

LGL (2005)

LGL Jahresbericht 2004, Erlangen, 166

LGL (2006)

LGL Jahresbericht 2005, Erlangen, 168

MAHLUM, D.D und M.R. SIKOV (1968)

Effect of environmental temperature and potassium consumption on cesium-137 metabolism in the rat.
Health Physics 15, 541-543

MANIA, A. (2004)

Bejagung des Schwarzwildes in der Praxis unter „kontrollierten Bedingungen“. Schriftenreihe des Landesjagdverbandes Bayern e.V.12, 71-76

MC CLELLAN, R.O., J.R. MC KENNEY, L.K. BUSTAD (1962)

Metabolism and dosimetry of ¹³⁷Cs in male sheep.
AEC research and development report HW-72511. Hanford Atomic Products Operation. Richland, Washington

MERGENTHAL, A. (1988)

Fütterungsversuch zur Erprobung von Ammonium-Eisen-Hexacyanoferrat für die Dekorporation von Radiocäsium bei Moorschnucken.

Diss., Tierärztliche Hochschule Hannover. 75 S.

MATTHEWS, D.J. und V.T. FAREWELL (1988)

Using and understanding medical statistics.

2. Aufl., Karger Verlag

MEYNHARDT, H. (1989)

Biologie und Verhalten.

Verlag J. Neumann-Neudamm GmbH & Co. KG, Melsungen, 24-54

MEYNHARDT, H. (1990)

Schwarzwild-Report: Mein Leben unter Wildschweinen.

8. Aufl., Neumann Verlag Leipzig, Radebeul, 54-64, 173-190

MOORE, M. und C.L. COMAR (1962)

Absorption of caesium 137 from the gastro-intestinal tract of the rat.

Int. J. Rad. Biol. 5, 247-254

MRAZ F.R. (1959)

Influence of dietary potassium and sodium on cesium-134 and potassium-42 excretion in sheep.

J. Nutr. 68, 655-662

MRAZ, F.R. und H. PATRICK (1957)

Organic factors controlling the excretory pattern of potassium-42 and cesium-134 in rats.

J. Nutr. 61, 535-546

MRAZ, F.R., A.M. JOHNSON und H. PATRICK (1958)

Metabolism of cesium and potassium in swine as indicated by cesium-134 and potassium-42.

J. Nutr. 64, 541-548

MÜLLER, H. und B. MOENNIG (1998)

Die Bewertung von Schwarzwildschäden in Feld und Grünland.

Schriftenreihe des Landesjagdverbandes Bayern e.V. 6, 141-151

MÜLLER, W.H. (1969)

Cs¹³⁷-Dekorporation mit kolloidal-löslichem Berliner Blau bei der Ratte.
Strahlentherapie 137, 705-707

MÜLLER, W.H., R. DUCOUSSO, A. CAUSSE und C. WALTER (1974)

Long-term treatment of cesium 137 contamination with colloidal and a comparison with insoluble prussian blue in rats.

Strahlentherapie 147, 319-322

MÜLLER, P. (1998)

Raum-Zeit-Verhalten telemetriertes Wildschweine unter Jagddruck.

Schriftenreihe des Landesjagdverbandes Bayern e.V. 6, 25-58

NALEZINSKI, S., W. RÜHM, und W. WIRTH (1996)

Development of a general equation to determine the transfer factor feed-to-meat for radiocesium of the basis of the body mass of domestic animals.

Health Physics 70, 717-721

NIELSEN, P., R. FISCHER, H.C. HEINRICH und A.A. PFAU (1988)

Prevention of enteral radiocesium absorption by hexacyanoferrates(II) in piglets.

Experientia 44, 502-504

PEARCE, J., E.F. UNSWORTH, C.H. MCMURRAY, B.W. MOSS, E. LOGAN, D. RICE und K. HOVE (1989)

The effects of prussian blue by indwelling rumen boli on the tissue retention of dietary radiocaesium by sheep.

Sci. Tot. Environ. 85, 349-355

PETRAK, M. (1998)

Schwarzwildbejagung als Herausforderung: Biologische Grundlagen – Konsequenzen für die Jagdpraxis.

Schriftenreihe des Landesjagdverbandes Bayern e.V. 6, 5-15

RUDNICKI, S. (1988)

Zur Verminderung der Radiocäsiumbelastung in Muskulatur und inneren Organen von Mastschweinen nach Zufütterung von Ammonium-Eisen-Hexacyanoferrat.

Diss., Tierärztliche Hochschule Hannover

SANSOM, B.F. (1966)

The metabolism of caesium-137 in dairy cows.

J. Agric. Sci. 66, 389-393

SEELMANN-EGGEBERT, W., G. PFENNIG, H. MÜNZEL und H. KLEWENEBENIUS (1981)

Karlsruher Nuklidkarte.

5. Aufl., Kernforschungszentrum Karlsruhe

SHANNON, R.O., R.O. MC CLELLAN, C.R.WATSON und L.K. BUSTAD (1965)

Public health aspects of Cs-137 in ruminants.

J. Am. Vet. Med. Assoc. 147, 1488-1491

SNETHLAGE, K. (1982)

Das Schwarzwild.

7. Aufl., Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 41-49, 66-69

STEWART, H.F., G.M. WARD und J.E. JOHNSON (1965)

Availability of fallout ¹³⁷Cs to dairy cattle from different types of feed.

J. Dairy Sci. 48, 709-713

STMLU (1999)

Strahlenschutz. Radioaktivität und Strahlenschutzvorsorge.

Informationsbroschüre des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen, München. 72 S.

TWARDOCK, A.R. und W.C. CRACKEL (1969)

Cesium-137 retention by cattle, sheep and swine.

Health Physics 16, 315-323

UMWELTINSTITUT MÜNCHEN E.V. (2005)

Pilze und Wild. Tschernobyl noch nicht gegessen.

Informationsbroschüre des Umweltinstituts München e.V., Verein zur Erforschung und Verminderung der Umweltbelastung

VERORDNUNG (EG) Nr. 2013/2001 der Kommission vom 12. Oktober 2001 zur vorläufigen Zulassung eines neuartigen Verwendungszwecks eines Zusatzstoffes und zur unbefristeten Zulassung eines Zusatzstoffes in Futtermitteln.

<http://eur-lex.europa.eu/de/index.htm>

VERORDNUNG (EWG) Nr. 737/1990 des Rates vom 22. März 1990 über die Einfuhrbedingungen für landwirtschaftliche Erzeugnisse mit Ursprung in Drittländern nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl.

<http://eur-lex.europa.eu/de/index.htm>

VOIGT, G., K. HENRICHS, G. PRÖHL und H.G. PARETZKE (1988)

The transfer of ^{137}Cs and Co-60 from feed to pork.

J. Environ. Radioactivity 8, 195-207

WASSERMAN, R.H., C.L. COMAR und A.R. TWARDOCK (1962)

Metabolic behaviour of ^{137}Cs - ^{137}Ba in the lactating goat.

Int. J. Rad. Biol. 4, 299-310

WARD, G.M. und J.E. JOHNSON (1965)

The cesium-137 content of beef from dairy and feed-lot cattle.

Health Physics 11, 95-100

VIII. ANHANG

ANHANG 1

Übersicht der in Deutschland durchgeführten Mageninhaltsanalysen vom Schwarzwild

1. BRIEDERMANN (1976)

Tab. VIII.1: Prozentualer Anteil der jeweiligen Nahrungskomponenten an der Gesamtnahrung (FS), für Mast- und Fehlmastjahr getrennt dargestellt

Nahrungsgruppe	Anteil der Nahrungskomponente an der Gesamtnahrung im Jahresdurchschnitt (Frischsubstanz) [%]	
	Mastjahr	Fehlmastjahr
1. Baumast (Stiel-, Traubeneicheln, Bucheckern)	52	1
2. landwirtschaftliche Produkte	32	70
o Kartoffel	14	37
o Rüben	0	1
o Getreidefrucht (Mais, Roggen, Hafer etc., auch Ähren)	16	25
o Hülsenfrucht (Erbse, Süßlupine, Ackerbohne etc.)	1	5
o sonstige landwirtschaftliche Produkte	1	2
3. sonstige pflanzliche Nahrung	7	18
o oberirdische vegetative Nahrung	5	10
o unterirdische pflanzliche Nahrung	2	7
o Früchte, Beeren, Pilze	0	1
4. animalische Nahrung	4	5
5. erdige, schleimige, unbestimmbare Bestandteile	5	5

2. EISFELD und HAHN (1998)

Tab. VIII.2: Prozentualer Anteil der einzelnen Nahrungsgruppen am Gesamtfrischvolumen

Nahrungsgruppe		Anteil am Gesamtfrischvolumen im Jahresdurchschnitt [%]	
1. Getreide aus Fütterung	Getreidemais, Weizen, Gerste, Hafer	37	(nur Nov. - Feb.: Ø 41%)
2. Mast	Früchte v. Eiche, Hain-, Buche, Ahorn, Haselnuss, Esskastanie	20	(zu 95% Bucheckern u. Eicheln)
3. Gräser, Kräuter	grüne, unverholzte Pflanzenteile	17	(Maxima im April: 51% u. im Mai: 56%)
4. Getreide aus der Feldflur	Früchte v. Mais, Hafer u. Weizen	7	(Maximum im Juli/August: fast 50%)
5. Wurzeln	unterirdische Pflanzenteile (auch Rhizome u. Knollen)	5	(Rheinebene: im Mai: 30%; Schönbuch: im Nov.: 50%)
6. Tiere	Insekten, Käfer, Regenwürmer, kleine Wirbeltiere, Fallwild, Aufbrüche	4	
7. Apfeltrester	aus Fütterungen für anderes Schalenwild	3	
8. Streu / Holz		2	
9. Pilze		<1	(im Juli: Hochschwarzwald: 15%; Schwarzwald-Bar: 13%)
10. Obst	Himbeeren etc.	<1	(nur im Juni bis Sept. vorkommend)
11. Zuckerrüben	aus Fütterung od. Feldflur	k. A.	(nur im Okt. bis Dez. nachgewiesen)
12. Sonstiges	unbestimmbare Nahrungsreste	k. A.	

k. A. : keine Angabe zur Menge

3. HOHMANN und HUCKSCHLAG (2004)

Tab. VIII.3: Makroskopische Analyse von 696 Mageninhalten (FS):

Nahrungskategorie		Mittelwert der Volumenprozente der Nahrungskategorie	
		[%]	
		Sommer (Mai-Sept. 2002)	Winter (Feb-Okt. 2003)
1. Grüner Nahrungsbrei	oberirdische Pflanzenteile, Kräuter, Gräser, Laub, Moose	49	8
2. Sonstiges	Restliche Nahrungsbestandteile, wie Baumfrüchte, Getreidespelzen, Tiere etc.	23	77
3. Kirsungsmais		20	8
4. Braun-schwarzer, körniger Brei	Wurzeln u. Pilze, vermutlich meist unterirdischen Ursprungs	8	7

Tab. VIII.4: Mikroskopische Analyse von 38 Mageninhalten (FS)

Belastung Magen	Mittelwert [%]	Grüne Pflanzen	Mais / Getreide	Tiere	Hirsch-Trüffel	Wurzeln	Baumfrucht	Sonst.
maximal	Frequenz	100	80	75	95	10	5	65
	Gewichtsanteil	38	20	1	18	3	0,3	52
gering	Frequenz	100	89	94	61	5	6	61
	Gewichtsanteil	30	53	2	2	3	1	36
alle	Frequenz	100	84	84	79	8	5	63
	Gewichtsanteil	34	35	2	10	3	0,5	45

Mittelwerte der relativen Frequenzverteilung und der Gewichtsanteile von sieben Nahrungskategorien in 20 maximal und 18 gering belasteten Wildschweinmägen aus dem Sommerhalbjahr 2002. Maximal belastete Mägen weisen Inhalte mit einer ¹³⁷Cs-Aktivität von 345-1749 Bq / kg FM auf; gering belastete eine ¹³⁷Cs-Aktivität <199 Bq / kg FS.

4. FIELITZ (2005)

Tab. VIII.5: Mittlerer prozentualer Anteil der einzelnen Nahrungsgruppen am Magenfrischgewicht und Häufigkeit des Vorkommens der einzelnen Nahrungsgruppen

Nahrungsgruppen / Arten		Mittlerer Anteil am Magenfrisch- gewicht (Jahresdurchschnitt) [%]	Häufigkeit des Vorkommens in allen Mägen (Jahresdurchschnitt) [%]
1. Gräser	Süß-, Ried- gräser, Binsengewächse	20,2	78,6
2. Früchte	Bucheckern, Heidelbeere etc.	17,3	41,4
3. Fütterung	Mais, Getreide, Rübenschnitzel, Apfeltrester	17,1	79,0
4. Kräuter/ Sträucher/ Bäume	Blätter von Weidenröschen, Heidelbeere etc.	13,4	52,9
5. Wurzeln	Gräser, Farn etc.	12,2	40,0
6. Boden	Humus (org.), Mineralboden	11,0	90,0
7. Pilze	Hirschtrüffel, Grauer Streifling etc.	7,6	82,9
8. Tierische Bestandteile	Mäuse, Hasen etc.	0,9	47,1
9. Sonstiges	Fichtennadeln, Moose etc.	0,3	2,9

ANHANG 2

Bodenkontamination mit Radiocäsium in Deutschland 1986 (Bq / m²)

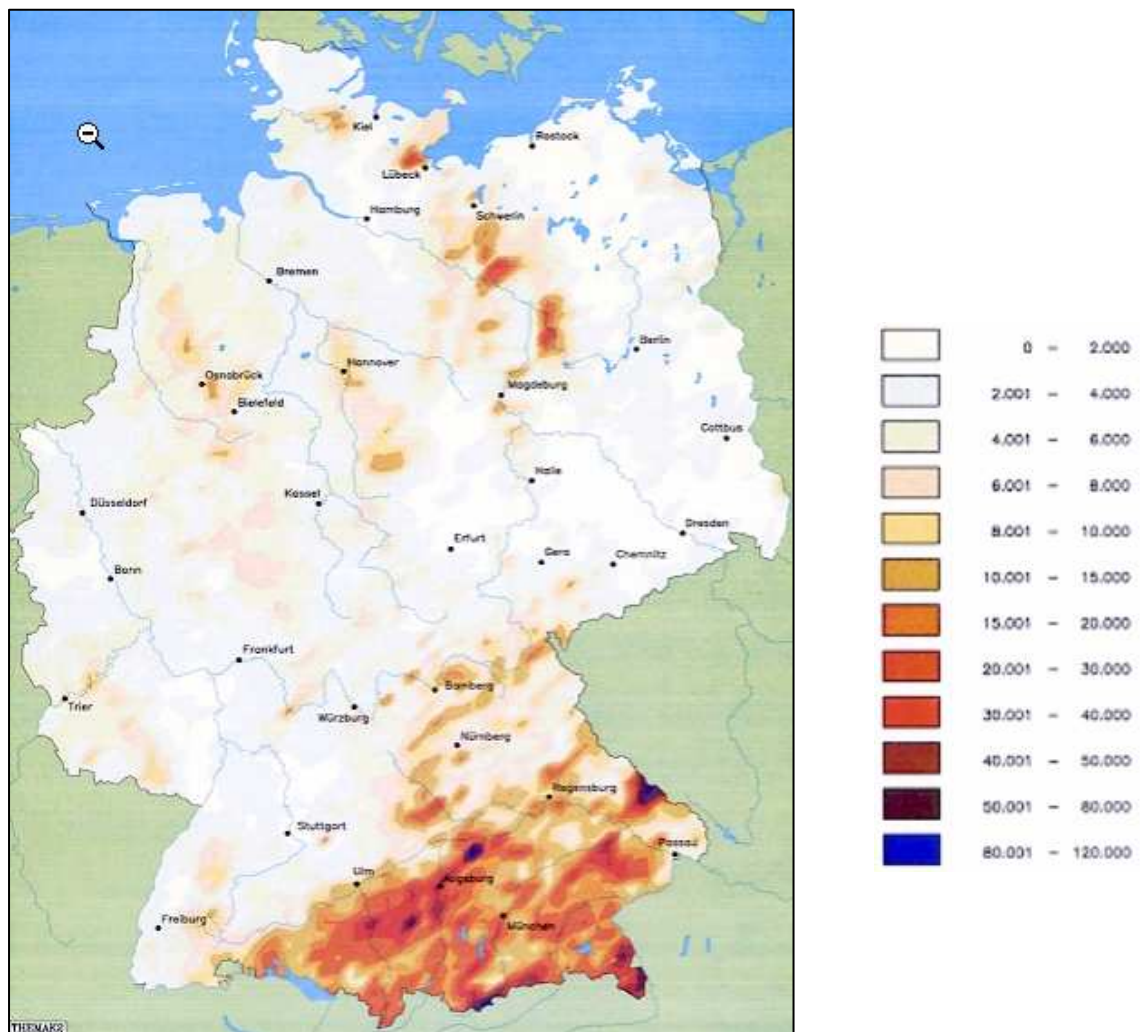


Abb. VIII.1: Bodenkontaminationskarte Deutschland 1986 (aus IAEA_ege_report 2006_08.pdf)

ANHANG 3

Fütterungstagebuch (für jede Kirmung)

Revier:

Kirrplatznummer:

Ausbringung von Futter der Gruppe:

Datum	gefütterte Menge	Kontrolle	an Kirmung erlegtes Schwarzwild	im Revier erlegtes Schwarzwild	Identifikationsnummer des erlegten Stücks	Mageninhaltsanalyse (AEHCF-Konz.)	Bq-Wert (Wert u. Messort: LFU/MM)
Monat		Futteraufnahme, ja / nein, Menge	(Art, Geschlecht, Gewicht u. Anzahl)	(Art, Geschlecht, Gewicht, Anzahl u. Ort)		[µg/g]	[Bq/kgFM]
2007	[kg]	[j/n; kg]					
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							
11.							
12.							
13.							
14.							
15.							
16.							
17.							
18.							
19.							
20.							
21.							
22.							

Anhang

Datum	gefütterte Menge	Kontrolle	an Kirmung erlegtes Schwarzwild	im Revier erlegtes Schwarzwild	Identifik. nummer des erlegten Stücks	Mageninhaltsanalyse	Bq-Wert
Monat 2007	[kg]	Futteraufnahme, ja / nein, Menge [j/n; kg]	(Art, Geschlecht Gewicht u. Anzahl)	(Art, Geschlecht Gewicht, Anzahl u. Ort)		(AEHCF-Konz.) [µg/g]	(Wert u. Messort: LFU/MM) [Bq/kgFM]
23.							
24.							
25.							
26.							
27.							
28.							
29.							
30.							
31.							

sonstige Anmerkungen:

ANHANG 4

Übersicht der Futteraufnahme in Revier 3, laut Angaben in den Tagebüchern, nach Gebieten getrennt.

Tab. VIII.6: G1 / P: Monatl. Futteraufnahme je KIRRUNG, sowie Ø tägl. Aufnahme je KIRRUNG in G1 / P

G1 / P	Futteraufnahme [kg]					
	KIRRUNG	Jan.	Feb.	März	April	Mai
1		27,5	57	66	62,5	25
2		52,5	75	84	62,5	25
3		25	48	60	67,5	25
4		25	45	51	67,5	25
5		35	52,5	60	62,5	25
6		32,5	35	47,5	62,5	25
7		30	37,5	77,5	67,5	25
8		42,5	47,5	72,5	72,5	25
9		52,5	60	77,5	47,5	25
Σ pro Monat		322,5	457,5	596	572,5	225
Ø tägl. Futteraufnahme je KIRRUNG:					2,1 kg	
(Berechnug mit 116d)						

Tab.VIII.7: G2 / P: Monatl. Futteraufnahme je KIRRUNG, sowie Ø tägl. Aufnahme je KIRRUNG in G2 / P

G2 / P	Futteraufnahme [kg]					
	KIRRUNG	Jan.	Feb.	März	April	Mai
1		48	75	63	77	25
2		28,5	84	66	72	25
3		4,5	79,5	82	80,5	27
4		34	84	91,5	92	30
5		29,5	84	87	85	28
6		55,5	70,5	87	86	26,5
7		51	84	84	85	27,5
8		42	57	59,5	58	23
Σ pro Monat		293	618	620	635,5	212
Ø tägl. Futteraufnahme je KIRRUNG:					2,6kg	
(Berechnug mit 116d)						

Anhang

Tab. VIII.8: G3 / V: Monatl. Futteraufnahme je Kirtung, sowie Ø tägl. Aufnahme je Kirtung in G3 / V

G3 / V Kirtung	Futteraufnahme [kg]				
	Jan.	Feb.	März	April	Mai
1	1,5	76,5	70	64	22
2	1	76	126	104	36
3	7	44	78	80	27
4	32	150	175	119	45
5	33	91	98	94	32
6	42	124	137	67	30
7	57	139	114	110	37
8	10	18	42	66	22
9	42	62	138	97	43
10			17	46	17
11			41	82	27
∑ pro Monat	225,5	780,5	1036	929	338
Ø tägl. Futteraufnahme je Kirtung: (Berechnug mit 116d)					2,8 kg

Tab. VIII.9: G4 nc: Monatl. Futteraufnahme je Kirtung, sowie Ø tägl. Aufnahme je Kirtung in G4 nc

G4 nc Kirtung	Futteraufnahme [kg]				
	Jan.	Feb.	März	April	Mai
1	19	28,5	28,5	28	10
2	18,5	30	37,5	35	13
3	21	39	35	38	12
4	19	18,5	28,5	30	8
5	12	22,5	20,5	21	8
6	26,5	55	36,5	47	17
7	19	53,5	27,5	45	16,5
8	10,5	9,5	10	8	3,5
9	21,5	37	44,5	46,5	14
10	14,5	30,5	49	47	16,5
∑ pro Monat	181,5	324	317,5	345,5	118,5
Ø tägl. Futteraufnahme je Kirtung: (Berechnug mit 116d)					1,1 kg

ANHANG 5

Cäsiumkontamination des bayerischen Wildbrets (LGL)

Die Ergebnisse der Untersuchungen des Bayerischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) von bayerischem Wildbret in den Jahren 2004-2006

Tab. VIII.10: Cäsiumbelastung von bayerischem Wildbret im Jahr 2004, Untersuchungen des LGL ([http:// www.lgl.bayern.de/lebensmittel/radioaktivitaet.htm](http://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/radioaktivitaet.htm))

Wildart	Probenanzahl	Radiocäsiumgehalt in Bq/kg Fleisch		
		Min.	Max.	Mittelwert
Rehfleisch	82	n.n. (<1)	492	33
Hirschfleisch	16	n.n. (<1)	42	9
Wildschwein	91	n.n. (<1)	17.646	587
Sonst. Wildbret	12	n.n. (<1)	36	11

Tab. VIII.11: Cäsiumbelastung von bayerischem Wildbret im Jahr 2005, Untersuchungen des LGL ([http:// www.lgl.bayern.de/publikationen/doc/jahresberichte/2005](http://www.lgl.bayern.de/publikationen/doc/jahresberichte/2005))

Wildart	Probenanzahl	Radiocäsiumgehalt in Bq/kg Fleisch		
		Min.	Max.	Mittelwert
Rehfleisch	53	n.n. (<1)	250	20
Hirschfleisch	6	n.n. (<1)	3	<1
Wildschwein	129	n.n. (<1)	12.750	1.492
Sonst. Wildbret	2	n.n. (<1)	<1	<1

Anhang

Tab. VIII.12: Ausschnitt aus der Jahresübersicht 2006 der durch das LGL untersuchten Radioaktivitätsproben ([http:// www.lgl.bayern.de/lebensmittel/radioaktivitaet.htm](http://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/radioaktivitaet.htm))

Wildart	Probenanzahl (Inland)	Radiocäsiumgehalt in Bq/kg Fleisch		
		Min.	Max.	Mittelwert
Rehfleisch	52	n.n. (<1)	548	20
Hirschfleisch	20	n.n. (<1)	134	12
Wildschwein	91	n.n. (<1)	16.586	961
Feldhase	4	n.n. (<1)	<1	<1

ANHANG 6

Das Gammaspektrum von ^{137}Cs

Impulse / Minute

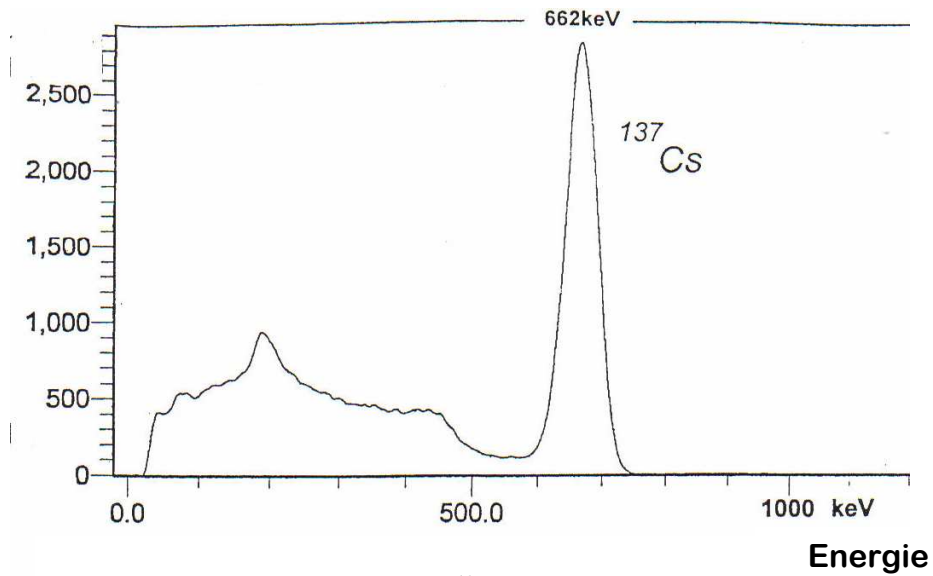


Abb. VIII.2: Gammaspektrum von ^{137}Cs (GIESE, 2003)

ANHANG 7

Cäsiumbelastung von Schwarzwild aus den Vorjahren

7.1. ¹³⁷Cs-Aktivitäten von Schwarzwild aus den Jahren 2002-2006 in Revier 3

Tab. VIII.13: Ermittelte ¹³⁷Cs-Aktivitäten der Wildschweine aus Revier 3 von 2002-2006

¹³⁷ Cs-Aktivität [Bq / kg FM]	Monat u. Jahr des Erlegens
102	Februar 02
166	Februar 02
251	Februar 02
137	Juni 02
54	Juni 02
63	Juni 02
62	Juni 02
63	Juni 02
304	Juli 02
132	Juli 02
147	Juli 02
103	Juli 02
118	Juli 02
214	Juli 02
302	Juli 02
127	November 02
203	November 02
36	Januar 03
48	Februar 03
37	Februar 03
31	Februar 03
123	März 03
246	März 03
117	März 03
337	März 03
181	März 03
196	März 03
188	März 03
202	März 03
108	Juli 03
36	Juli 03
74	Juli 03
83	Juli 03
154	Juli 03
135	Juli 03
182	Juli 03
678	Juli 03
48	Oktober 03

Anhang

Fortsetzung Tab. VIII.13: Ermittelte ¹³⁷Cs-Aktivitäten der Wildschweine aus Revier 3 von 2002-2006

¹³⁷ Cs-Aktivität [Bq / kg FM]	Monat u. Jahr des Erlegens
51	Oktober 03
32	Oktober 03
127	November 03
95	November 03
122	November 03
161	November 03
63	Januar 04
54	Juli 04
55	Juli 04
54	Juli 04
24	Juli 04
116	Oktober 04
143	Oktober 04
162	November 04
171	November 04
209	Dezember 04
387	Februar 05
395	Februar 05
182	August 05
78	August 05
87	November 05
71	November 05
103	November 05
107	November 05
98	November 05
107	November 05
147	November 05
482	Januar 06
441	Januar 06
56	Januar 06
357	Dezember 06
242	Dezember 06
396	Dezember 06
212	Dezember 06
207	Dezember 06
316	Dezember 06
198	Dezember 06

7.2 ¹³⁷Cs-Aktivitäten von Schwarzwild aus den Jahren 2005-2007 in Revier 4

Tab. VIII.14: Ermittelte ¹³⁷Cs-Aktivitäten der Wildschweine aus Revier 4 von Jan. 2005 bis Aug. 2007

¹³⁷ Cs-Aktivität [Bq / kg FM]	Gebiet: Placebo / Verum	Art des erlegten Stücks	Monat u. Jahr des Erlegens
28	*	K	Januar 05
5130	V	ÜB	Januar 05
7738	*	ÜK	Januar 05
0	*	ÜB	Januar 05
1771	*	F	Januar 05
2409	*	ÜK	Januar 05
1638	*	ÜB	Januar 05
9203	V	F	Januar 05
19597	V	ÜK	Januar 05
1960	P	ÜB	Januar 05
1931	P	ÜK	Januar 05
2884	P	ÜB	Januar 05
1024	P	ÜK	Januar 05
857	*	F	Januar 05
1124	P	F	Februar 05
4331	*	ÜK	Februar 05
850	P	F	Februar 05
520	P	F	Februar 05
1212	P	F	Februar 05
905	P	F	Februar 05
18122	V	F	Februar 05
17722	V	ÜK	Februar 05
1877	*	K	Februar 05
3932	V	F	Februar 05
17638	V	ÜK	Februar 05
1154	P	K	Februar 05
282	P	ÜK	Februar 05
226	*	F	Februar 05
145	*	K	Februar 05
789	*	ÜK	Februar 05
612	*	ÜK	Februar 05
1312	*	ÜK	Februar 05
1073	P	ÜB	Februar 05
172	P	B	Februar 05
9740	V	ÜB	Februar 05
6591	V	ÜB	Februar 05
22167	V	ÜK	Februar 05
8224	P	ÜB	Februar 05
1515	*	ÜB	Februar 05
1604	*	ÜK	Februar 05
1415	*	ÜK	Februar 05
2850	*	F	Februar 05

Anhang

Fortsetzung Tab. VIII.14: Ermittelte ¹³⁷Cs-Aktivitäten der Wildschweine aus Revier 4 von Jan. 2005 bis Aug. 2007

¹³⁷ Cs-Aktivität [Bq / kg FM]	Gebiet: Placebo / Verm	Art des erlegten Stücks	Monat u. Jahr des Erlegens
1211	*	ÜK	Februar 05
151	P	K	März 05
3247	P	ÜK	März 05
1582	*	ÜK	März 05
2020	*	F	März 05
16120	V	ÜB	März 05
3138	V	ÜK	April 05
282	*	ÜK	Mai 05
4201	V	ÜK	Mai 05
1122	*	B	Mai 05
938	*	ÜB	Mai 05
1325	V	ÜB	Mai 05
1492	V	ÜK	Mai 05
2494	*	ÜB	Mai 05
278	*	ÜK	Mai 05
3246	V	ÜB	Mai 05
232	*	ÜK	Mai 05
52	P	ÜK	Mai 05
89	V	ÜK	Juni 05
194	*	ÜK	Juni 05
706	V	ÜK	Juni 05
0	V	ÜK	Juni 05
738	*	ÜB	Juli 05
115	*	F	Juli 05
191	*	F	Juli 05
101	*	F	Juli 05
204	*	F	Juli 05
0	V	ÜB	Juli 05
92	*	F	September 05
95	*	F	September 05
67	*	F	September 05
37	*	F	September 05
46	*	F	September 05
138	*	F	September 05
248	P	F	September 05
0	P	F	September 05
48	V	F	Oktober 05
31	P	K	Oktober 05
48	P	ÜB	Oktober 05
10	P	ÜB	Oktober 05
139	V	B	Oktober 05
135	V	F	Oktober 05
99	*	F	November 05
31	V	K	November 05
270	V	ÜB	November 05

Anhang

Fortsetzung Tab. VIII.14: Ermittelte ¹³⁷Cs-Aktivitäten der Wildschweine aus Revier 4 von Jan. 2005 bis Aug. 2007

¹³⁷ Cs-Aktivität [Bq / kg FM]	Gebiet: Placebo / Verm	Art des erlegten Stücks	Monat u. Jahr des Erlegens
963	V	F	November 05
1298	P	F	November 05
666	P	F	November 05
546	V	B	November 05
293	V	B	November 05
543	V	F	November 05
184	*	ÜB	November 05
15	V	ÜK	November 05
467	V	ÜK	November 05
86	*	K	November 05
2405	V	ÜK	November 05
1045	V	ÜB	November 05
1005	V	ÜB	November 05
140	*	F	November 05
0	V	B	November 05
2881	V	F	November 05
630	*	ÜK	November 05
375	V	ÜK	Dezember 05
2431	V	F	Dezember 05
65	V	K	Dezember 05
287	*	ÜB	Dezember 05
7765	V	F	Dezember 05
423	P	ÜK	Dezember 05
0	*	ÜK	Dezember 05
5617	V	B	Dezember 05
480	*	ÜB	Dezember 05
822	P	F	Dezember 05
185	V	K	Dezember 05
1046	P	F	Dezember 05
1281	P	F	Dezember 05
66	*	B	Dezember 05
3302	V	ÜK	Dezember 05
1595	P	ÜB	Dezember 05
2935	P	ÜK	Dezember 05
1149	P	ÜK	Dezember 05
407	P	ÜK	Januar 06
0	V	ÜK	Januar 06
859	*	K	Januar 06
2063	*	ÜK	Januar 06
1921	*	F	Januar 06
5816	V	ÜK	Januar 06
7462	V	F	Januar 06
20044	V	ÜB	Januar 06
796	*	ÜB	Januar 06
8080	V	ÜB	Januar 06

Anhang

Fortsetzung Tab. VIII.14: Ermittelte ¹³⁷Cs-Aktivitäten der Wildschweine aus Revier 4 von Jan. 2005 bis Aug. 2007

¹³⁷ Cs-Aktivität [Bq / kg FM]	Gebiet: Placebo / Verm	Art des erlegten Stücks	Monat u. Jahr des Erlegens
1762	*	ÜB	Januar 06
1681	*	F	Januar 06
7931	V	ÜB	Februar 06
3315	V	ÜK	Februar 06
5514	V	ÜB	Februar 06
2903	V	ÜK	Februar 06
33	V	ÜK	Februar 06
459	P	ÜK	Februar 06
816	P	ÜB	Februar 06
5087	*	F	Februar 06
3717	P	ÜB	Mai 06
3642	V	F	Mai 06
3959	V	F	Mai 06
3192	V	F	April 06
469	*	ÜK	April 06
645	*	ÜK	April 06
257	*	F	April 06
12317	V	F	April 06
489	*	ÜK	April 06
3031	V	F	Mai 06
2532	P	F	Mai 06
901	V	ÜK	Mai 06
387	V	ÜB	Juni 06
636	P	F	Juni 06
12	*	F	Oktober 06
23	*	F	Oktober 06
0	*	ÜK	Oktober 06
15	P	K	November 06
0	*	K	Dezember 06
44	V	ÜB	Januar 07
10	P	ÜK	Januar 07
48	*	B	Januar 07
13	P	ÜK	Januar 07
16	P	ÜK	Februar 07
31	*	ÜK	Februar 07
83	*	F	Februar 07
21	*	ÜK	Februar 07
41	*	B	Februar 07
61	V	ÜK	Februar 07
975	*	ÜB	April 07
1861	V	ÜK	Mai 07
0	P	ÜK	Mai 07
0	*	ÜK	Mai 07
50	V	ÜK	Mai 07
3030	V	K	Juni 07

Anhang

Fortsetzung Tab. VIII.14: Ermittelte ¹³⁷Cs-Aktivitäten der Wildschweine aus Revier 4 von Jan. 2005 bis Aug.2007

¹³⁷ Cs-Aktivität [Bq / kg FM]	Gebiet: Placebo / Verm	Art des erlegten Stücks	Monat u. Jahr des Erlegens
361	*	ÜK	Juni 07
1069	*	ÜK	Juni 07
485	V	ÜB	Juni 07
1172	*	ÜK	Juni 07
345	V	F	Juli 07
70	*	F	Juli 07
70	*	ÜB	Juli 07
145	V	K	August 07
412	V	K. A.	März 07
* Stücke waren keinem Gebiet Verum oder Placebo zugeordnet			
F= Frischling ohne Geschlechtsangabe ÜB= Überläuferbache ÜK= Überläuferkeiler B= Bache K= Keiler			

ANHANG 8

Mittelwerte und Standardabweichung der analysierten AEHCF-Konzentrationen in den Schwarzwildmägen aus Revier 3 (Ausgangswerte)

Tab. VIII.15: Gebietsweise Darstellung der AEHCF-Konzentrationen in den Mageninhalten der Wildschweine aus Revier 3

Revier	MW AEHCF-Konzentrationen (µg/g) (n)
G1 / P	170,71 ± 298,78 (7)
G2 / P	323,08 ± 498,64 (13)
G1 / P + G2 / P	269,75 ± 436,79 (20)
G3 / V	541,5 ± 461,02(20)
G4 / Vnc	103,57 ± 187,89(14)

ANHANG 9

Bq-Mittelwerte und Standardabweichungen der Muskelfleischproben von Schwarzwild aus Revier 3 (Ausgangswerte).

Tab. VIII.16: Gebietsweise Darstellung der Bq-Werte des Muskelfleisches der Wildschweine aus Revier 3

Revier	MW ¹³⁷ Cs-Aktivität (Bq / kg FM) (n)
G1 / P	105,04 ± 48,63 (9)
G2 / P	224,76 ± 483,16 (14)
G1 / P + G2 / P	177,91 ± 377,33 (23)
G3 / V	35,66 ± 77,15 (20)
G4 / Vnc	102,14 ± 120,29 (14)

ANHANG 10

Auszug aus der multiplen Regressionsanalyse zur Bestimmung des Einflusses der Kovariablen auf die log-¹³⁷Cs-Aktivität

```

reg log_caes gewicht bache frischling G1 G2 G3 tag berl_blau_konz

```

Source	SS	df	MS	Number of obs = 39		
Model	52.434956	8	6.5543695	F(8, 30) = 2.21	Prob > F = 0.0555	
Residual	89.010286	30	2.96700953	R-squared = 0.3707	Adj R-squared = 0.2029	
Total	141.445242	38	3.72224321	Root MSE = 1.7225		

log_caes	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
gewicht	-.0103434	.0340602	-0.30	0.763	-.0799036	.0592168
bache	-.7489956	.6105637	-1.23	0.229	-1.995933	.4979419
frischling	-.4439368	1.075946	-0.41	0.683	-2.641311	1.753438
G1	.3760908	1.496989	0.25	0.803	-2.681169	3.433351
G2	-.5239407	1.121292	-0.47	0.644	-2.813925	1.766043
G3	-1.963034	.8784908	-2.23	0.033	-3.757152	-.1689168
tag	-.017956	.0151584	-1.18	0.245	-.0489136	.0130016
Berl.blau.-z	.0000183	.0007295	0.03	0.980	-.0014714	.0015081
cons	5.863037	2.415803	2.43	0.021	.9293096	10.79676

Abb.VIII.3: Multiple lineare Regressionsanalyse der log-Cäsiumaktivität
(mit freundlicher Unterstützung von Herrn PD Dr. Morfeld)

IX. DANKSAGUNG

An erster Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei Frau Prof. Dr. Ellen Kienzle für die Überlassung des interessanten und abwechslungsreichen Themas sowie für ihre sehr freundliche und hilfsbereite Betreuung bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. rer. silv. Joachim Reddemann vom Landesjagdverband Bayern e.V. für sein Interesse an dieser Arbeit. Durch sein großes Engagement, den Anregungen und Hinweisen aus seinem reichen Erfahrungsschatz, hat er ganz wesentlich zum Gelingen dieser Doktorarbeit beigetragen. Des Weiteren möchte ich auch Herrn Dr. rer. nat. Dirk van der Sant, vom Landesjagdverband Bayern e.V., ganz herzlich für die Beschaffung von Mageninhaltspuren vor Versuchsbeginn sowie seine wertvollen Ratschläge und sein allzeit offenes Ohr danken.

In diesem Zusammenhang ein großes Dankeschön an den Verein zur Förderung der freilebenden Tierwelt für die großzügige finanzielle Unterstützung, die die Produktion des Versuchsfutters in dieser Menge erst ermöglichte.

Gleichermaßen danke ich Herrn Dr. rer. nat. Thomas Böhland von der Evonik Degussa GmbH, sowie Herrn Dr. med. vet. Nils Krüger, ebenfalls von der Evonik Degussa GmbH, die zusammen mit Herrn Dr. rer. silv. Joachim Reddemann diese Doktorarbeit erst initiiert haben. Vielen Dank für die Unterstützung und die angenehme Zusammenarbeit.

Bei der Evonik Degussa GmbH, Frankfurt, bedanke ich mich für das zur Verfügung stellen des Wirkstoffes.

Ebenfalls möchte ich Herrn Thomas Hau, von Fixkraft Wildfutter Deutschland, Bessenbach, für die Bereitstellung von Schwarzwildfutter, Übernahme der Transportkosten und die sehr nette und unkomplizierte Zusammenarbeit danken.

Danksagung

Der Fixkraft Futtermittel GmbH & Co. KG, Enns Österreich, vielen Dank für die Produktion der Versuchsfuttermittel.

Ein großer Dank gebührt Herrn Cornel Venzago vom Labor für Anorganische Analytik der AQura GmbH, Hanau-Wolfgang, und seinen Mitarbeitern, für die Analyse der Mageninhaltsproben, die zügige Datenübermittlung und die gute Kooperation.

Weiterhin möchte ich Herrn PD Dr. Peter Morfeld, Institut für Arbeitswissenschaften, Fachbereich Epidemiologie, Evonik Services GmbH, Dortmund, für seine große Hilfe bei der statistischen Auswertung und seine wertvollen Anregungen danken.

Für die Analyse der Muskelfleischproben und die freundliche Zusammenarbeit möchte ich mich bei Herrn Dr. Herbert Hellmann und seinem Team, vom LFU in Augsburg, vielmals bedanken.

Bei Frau E. Stadler von der Außenstelle Oberwiesenfeld des Lehrstuhls für Tierernährung, bedanke ich mich für ihre Ideen und den wertvollen Ratschlägen zur Probenvorbereitung.

Ebenfalls für das Mitwirken bei der Fütterungsstudie danke ich dem Revierjagdmeister Herrn Alexander Mania.

Bei seiner Durchlaucht Moritz Fürst zu Oettingen-Wallerstein und dem fürstlichen Revierleiter, Herrn Xaver Bayer, möchte ich mich ganz herzlich für die Unterstützung der Studie bedanken.

Ebenfalls ein großes Dankeschön gebührt Herrn Andreas Ruepp, für seine allzeit große Hilfsbereitschaft und sein Engagement sowie seine vielen wertvollen

Danksagung

Hinweise, Ratschläge und umfassenden Schilderungen über „Jagd und Forst“, die ich mitnehmen durfte.

Der ganzen Arbeitsgruppe Otterwald gilt mein Dank für das Interesse und die Bereitschaft an dem Projekt mitzuwirken.

Ohne die Mithilfe und tatkräftige Unterstützung von Forstdirektor Herrn Ulrich Maushake und seinem gesamten Team, hätte der Fütterungsversuch nicht durchgeführt werden können. Deshalb meinen ganz besonderen Dank für das große Engagement und das Mitwirken aller Mitarbeiter und Jäger, sowie die wirklich nette Aufnahme. Besonders hervorheben möchte ich Herrn Ulrich Maushake für die gute Organisation und Herrn Albert Holl für das immer rasche und zuverlässige Versenden der Proben.

Ein ganz liebes Dankeschön an die Familie Visser.

Von ganzem Herzen möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die immer hinter mir standen, mich in meinen Ideen unterstützten und versuchten, mir im Leben alles zu ermöglichen. Ich wünsche mir, es euch eines Tages doppelt zurückgeben zu können.

Ganz herzlich möchte ich meinen Geschwistern Nina und Florian danken. Nina besonders für ihr „offenes Ohr“, das sowohl die schönen Momente, als auch die „Hilfeschreie“ - wenn die Schwarzkittel mal wieder nichts fressen wollten - im Doktorarbeitsjahr zu hören bekam und immer noch offen ist, für Anliegen der großen Schwester.

Schließlich gilt mein ganz spezieller Dank Willy Bleuel, der mich in allem unterstützte und mir bei allen Problemen zur Seite stand.