

Reduktion der ^{137}Cs -Aktivität in Wildschweinen durch Zusatz von Ammonium-Eisen-Hexacyanoferrat („Berliner Blau“) zum Kirrfutter

P. Morfeld^{1,2}; J. Reddemann³; P. Schungel³; E. Kienzle⁴

¹Institut für Epidemiologie und Risikobewertung in der Arbeitswelt (IERA) der Evonik Industries AG, Essen; ²Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin, Umweltmedizin und Präventionsforschung der Universität zu Köln, Köln; ³Landesjagdverband Bayern e. V., Feldkirchen; ⁴Veterinärwissenschaftliches Department, Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik der Ludwig-Maximilians-Universität München, Oberschleißheim

Schlüsselwörter

Feldstudie, ^{137}Cs -Dekontamination, Radioaktivität, Wildschweine, Berliner Blau, bayerische Jagdreviere

Zusammenfassung

Gegenstand und Ziel: Diese Replikationsstudie prüfte, ob unter Feldbedingungen die Kontamination von Wildschweinen mit ^{137}Cs durch Zugabe von Ammonium-Eisen-Hexacyanoferrat (AFCF, „Berliner Blau“) zum ausgelegten Futter relevant verringert werden kann. **Material und Methoden:** Bei 285 Wildschweinen, die zwischen dem 01.11.2010 und dem 10.12.2011 während der Jagdsaison (November bis Mai) in sechs bayerischen Jagdrevieren erlegt worden waren, erfolgte eine Analyse der ^{137}Cs -Aktivität. Von diesen Tieren stammten 35 aus zwei Revieren, in denen das ausgelegte Futter mit 1250 mg AFCF/kg Futter supplementiert worden war. **Ergebnisse:** Die Kontrolltiere wiesen eine durchschnittliche ^{137}Cs -Aktivität von 522 Bq/kg Muskelfleisch auf. In direkten (univariablen) Gegenüberstellungen der zwei Versuchsreviere mit den vier Kontrollrevieren zeigte sich durch die Gabe von Berliner Blau eine mittlere Verminderung der ^{137}Cs -Aktivität um -211 Bq/kg ($p < 0,001$). Nach Berücksichtigung potenzieller Störeinflüsse durch relevante Kovariablen (Alter, Gewicht, Geschlecht, Tötungsdatum, Revier) in multivariablen Modellen ergab sich eine Effektschätzung von -344 Bq/kg ($p < 0,05$). **Schlussfolgerung und klinische Relevanz:** Diese Replikationsstudie bestätigt den Befund einer in anderen Revieren durchgeführten Feldstudie von Kienzle et al. aus dem Jahr 2013.

Key words

Field study, $^{137}\text{caesium}$ decontamination, radioactivity, wild boars, prussian blue, Bavarian hunting territories

Summary

Objective: This replication study investigated whether the $^{137}\text{caesium}$ (^{137}Cs) contamination of wild boars could be relevantly reduced under field conditions by adding ammonium-iron-hexa-cyanoferrate (AFCF; Prussian blue) to the food. **Material and methods:** In 285 wild boars that had been shot in six Bavarian hunting territories during the season (November until May) between 01 November 2010 and 10 December 2011 ^{137}Cs contamination was analysed. Thirty-five animals originated from two hunting territories in which offered food had been supplemented with 1250 mg AFCF per kilogram food. **Results:** The control animals showed a mean ^{137}Cs contamination of 522 Bq/kg lean skeletal muscle meat. Direct (univariable) comparisons of the two experimental territories with the four control territories yielded a mean reduction in ^{137}Cs contamination due to Prussian bluefeeding by -211 Bq/kg ($p < 0.001$). Multivariable models that took potential confounders into account (age, weight, sex, hunting date, territory) estimated the effect to be -344 Bq/kg ($p < 0.05$). **Conclusion and clinical relevance:** This replication study confirmed the finding of Kienzle et al. (12) who described a statistically significant reduction in ^{137}Cs contamination by -380 Bq/kg due to the feeding of Prussian blue in other territories.

Korrespondenzadresse

PD Dr. Peter Morfeld
Institut für Epidemiologie und Risikobewertung
in der Arbeitswelt (IERA)
der Evonik Industries AG
Rellinghauser Straße 1–11
45128 Essen
E-Mail: peter.morfeld@evonik.com

Reduction of $^{137}\text{caesium}$ contamination in wild boars by supplementing of-fered food with ammonium-iron-hexa-cyanoferrate

Tierärztl Prax 2014; 42 (G): ■■■

<http://dx.doi.org/10.15653/TPG-140231>

Eingegangen: 7. März 2014

Akzeptiert nach Revision: 20. Mai 2014

Epub ahead of print: 6. Oktober 2014

Einleitung

Auch mehr als 25 Jahre nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl im Jahre 1986 ist das Fleisch von Wildschweinen in einigen bayerischen Gebieten hochgradig mit ^{137}Cs kontaminiert (physikalische Halbwertszeit von ^{137}Cs : 30,7 Jahre).

Der Grenzwert für eine Kontamination von Lebensmitteln beträgt 600 Bq/kg (2, 3, 20). Bei Überschreitung darf das Fleisch nicht in den Verkehr gebracht werden. Seit dem Unfall in Fukushima ist das Thema einer ^{137}Cs -Kontamination erneut aktuell (21).

Das radioaktive Cäsium wird von den Wildschweinen über die Nahrungskette aufgenommen. Ammonium-Eisen-Hexacyanofer-

rat (AFCF, „Berliner Blau“) bindet radioaktives Cäsium. Dabei erfolgt keine Aufnahme von Berliner Blau in den Körper des Wildschweins, sondern es wirkt im Darm als Ionenaustauscher, wobei Ammoniumionen bevorzugt gegen Cs-Ionen ausgetauscht werden. Dies verhindert die Absorption der Cs-Ionen, die dann mit dem Kot ausgeschieden werden. Die bereits im Körper vorhandenen Cs-Ionen verhalten sich ähnlich wie Kaliumionen, sodass ihre Exkretion mit relativ kurzer biologischer Halbwertszeit von wenigen Wochen nach und nach stattfindet (1, 4, 5, 14). Berliner Blau kann ausgelegtem Futter beigemischt werden. Die Effektivität wurde bei Hausschweinen demonstriert, die Alleinfuttermischungen mit Zusatz von AFCF und ¹³⁷Cs erhielten (1, 5–10, 16, 18).

Eine plazebokontrollierte, in einem geschlossenen Gehege mit einer geringen Anzahl an Tieren durchgeführte Doppelblindstudie, ergab, dass Futter mit AFCF, das zusätzlich zur natürlichen Nahrung aufgenommen wurde, die ¹³⁷Cs-Kontamination von Wildschweinen effektiv reduzieren kann (15). Hierbei ließ sich grundsätzlich zeigen, dass auch unter diesen Feldbedingungen mit unvermeidlich konsekutiver Aufnahme von Berliner Blau und ¹³⁷Cs-kontaminierten Futters (statt einer gleichzeitigen Aufnahme wie unter Laborbedingungen) eine Reduktion der ¹³⁷Cs-Absorption und damit der ¹³⁷Cs-Kontamination bei Wildschweinen erfolgt. In einer umfangreicheren Studie wurde die Effizienz dieser Maßnahme unter Feldbedingungen an einer großen Anzahl von Wildschweinen überprüft, die in offenen Revieren lebten, in denen eine Zu- und Abwanderung möglich war (12). Diese Feldstudie von Kienzle et al. (12) ergab eine statistisch signifikante Reduzierung der Cäsiumaktivität im Muskelfleisch der untersuchten Tiere um –380 Bq/kg ($p = 0,003$), auch nach Berücksichtigung relevanter Kovariablen. Da sich diese Untersuchung auf das Revier Gumpenberg im Landkreis Aichach beschränkte, sollte mit der vorliegenden Replikationsstudie geprüft werden, ob dieses Ergebnis

durch eine Analyse von Daten aus anderen Revieren und aus anderen Landkreisen mit differierenden naturräumlichen Verhältnissen bestätigt werden kann.

Material und Methoden

Versuchsaufbau

Bei den Versuchstieren handelte es sich um alle Wildschweine, die in den Revieren Friedenfels und Grafenwöhr zwischen dem 19.11.2010 und 24.11.2011 bzw. 10.12.2011 erlegt wurden. Sie alle galten als interveniert (exponiert). In diesen beiden Revieren fand ein Zusatz von Berliner Blau zum ausgelegten Futter statt (1250 mg AFCF/kg Futter). Ausgehend von einem Kिरrfutteranteil von etwa 13–40% nach einer Zusammenstellung von Schriftumsangaben zur Zusammensetzung der Nahrung von Wildschweinen (15) ergibt sich die Konzentration von 163–500 mg/kg in der Gesamtration, sodass die futtermittelrechtliche Vorgabe von 50–500 mg AFCF/kg Futter eingehalten wurde. Bei der täglich erfolgenden Kिरrung wurde jeweils ca. 1 kg Futtermittel ausgebracht (Wildschweinfutter AF1 von Fixkraft Wildfutter, Bessenbach, Deutschland; zur Zusammensetzung siehe Kienzle et al. [12]). Die Gabe von Berliner Blau startete ca. 40 Tage vor Beginn der Jagdsaison.

Als Kontrollgruppe fungierten die in den folgenden Messstationen überprüften Wildschweine, die in Revieren erlegt wurden, in denen keine Zusätze zum Futter stattfanden: Cham (02.11.2010 bis 23.03.2011), Oberviechtach (01.11.2010 bis 31.03.2011), Rehauselb (02.11.2010 bis 28.03.2011) und Wunsiedel (02.11.2010 bis 30.03.2011). In diesen Kontrollbereichen wurde nicht überall systematisch gekirrt. Alle Erlegungen fanden ausschließlich während der Saison statt, also von November bis Mai.

Die beiden Versuchsreviere, Friedenfels und Grafenwöhr, befinden sich in der Oberpfalz im nordöstlichen Bayern. Das Revier Grafenwöhr liegt ca. 40 km südwestlich von Friedenfels im Oberpfälzer Hügelland. Ein Überblick zu den Jagdrevieren gibt ▶ Tab. 1. Als Referenzgrößen wurden Daten aus Radiocäsium-Messstationen von Kreisgruppen des Landesjagdverbandes Bayern verwendet. Um einen Vergleich zu ermöglichen, stammen alle Referenzdaten aus unmittelbar benachbarten Regionen (Landkreise Wunsiedel, Hof, Schwandorf und Cham), also aus dem Oberpfälzer und oberfränkischen Naturraum.

Bei allen erlegten Wildschweinen erfolgte eine Untersuchung auf ¹³⁷Cs (Messwerte in Becquerel pro Kilogramm Muskelfleisch). Als Messgerät diente ein LB200, Seriennummer 1885, 2038 der Fa. Berthold. Magerfleisch (500 g) wurde auf Gammastrahlung von ¹³⁷Cs mit einem Becquerel-Monitor untersucht, der mit einem Natrium-Iodid-Szintillator-Kristall ausgerüstet war. Die Nachweisgrenze lag bei 20 Bq/kg Muskelfleisch. Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze wurden auf 10 Bq/kg gesetzt.

Tab. 1 Beschreibung der Versuchsreviere

Table 1 Description of experimental territories.

	Friedenfels	Grafenwöhr
Größe (ha)	5184	ca. 23000
Höhenlage (m über NN)	450–946	315–840
Waldfläche (%)	67	ca. 50
Hauptbaumarten	ca. 75% der Waldfläche mit Fichte bestockt	ca. 70% der Waldfläche mit Fichte und Kiefer bestockt
Agrarfläche (ha)	1700 (davon 680 ha Ackerland, 1020 ha Grünland)	keine landwirtschaftliche Nutzung, prärieähnliche Grasflächen
Hauptwildarten	Rehwild, Schwarzwild, Rotwild, Muffelwild, Sikawild	Rehwild, Schwarzwild, Rotwild
Zahl der Kिरrungen	10	12

Tab. 2

Anzahl der Wildschweine, gegliedert nach Zusatz von Berliner Blau (nein/ja) zum Kirrfutter und Revieren/Messstationen

Table 2

Number of wild boars, grouped by feeding with Prussian blue (yes/no) and territories/measuring stations.

Berliner Blau	Versuchsreviere		Messstationen/Kontrollen				Summe
	Friedenfels	Grafenwöhr	Cham	Oberviechtach	Rehau-Selb	Wunsiedel	
nein	0	0	81	43	90	36	250
ja	20	15	0	0	0	0	35
Summe	20	15	81	43	90	36	285

Statistische Auswertung

Die Aktivität von ¹³⁷Cs stellt die Zielgröße dieser Studie dar. Als wesentliche Einflussvariable fungiert die Zugehörigkeit zu Revieren mit Zusatz von Berliner Blau zum Kirrfutter (Versuchsgruppe, Exposition EXP) oder ohne Zusatz von Berliner Blau (Kontrolle CON). Folgende Kovariablen wurden erhoben und in die Analyse einbezogen:

- Wildart
 - Geschlecht: Keiler, Bache; Referenz in den Analysen: Keiler
 - Alter: Frischling, Überläufer, Alttier (über 2 Jahre alt); Referenz: Frischling
- Gewicht des Tieres in Kilogramm nach Ausweidung
- Kalenderzeit (Datum der Erlegung); Zeitabhängigkeit: vergangene Tage seit dem 01.11.2010
- Revier/Messstation: Friedenfels, Grafenwöhr, Cham, Oberviechtach, Rehau-Selb, Wunsiedel. Referenz: Cham; Friedenfels entfällt in den Analysen als Kovariable wegen der Kollinearität zur Gabe von Berliner Blau bei gleichzeitiger Berücksichtigung des Reviers Grafenwöhr.

Zur Deskription der Daten wurden Tabellen und Histogramme zur Beschreibung der Variablenverteilungen erstellt. Die ¹³⁷Cs-Aktivität wurde zwischen exponierten Tieren und Kontrolltieren mittels t-Tests univariabel statistisch auf Signifikanz geprüft. Eine Auswertung der ¹³⁷Cs-Messwerte fand mit und ohne Logarithmierung statt. Eine Logarithmierung der Werte wirkt der Rechtsschiefe der Verteilung entgegen. Lineare und log-lineare multivariable Regressionsmodelle zur ¹³⁷Cs-Aktivität im Muskelfleisch (Bq/kg) wurden zur Effektanalyse eingesetzt. Multivariabel bedeutet die

gleichzeitige Berücksichtigung verschiedener Kovariablen, wie z. B. „Gewicht des Wildtiers“ oder „Alter des Wildtiers“ bei der Bestimmung des Effekts der „Gabe von Berliner Blau“. Die Ergebnisse werden den Befunden von Meinel (15) und Kienzle et al. (12) gegenübergestellt. Zu den eingesetzten statistischen Verfahren siehe Kleinbaum et al. (13) und Rothman et al. (17). Alle Auswertungen wurden mit Stata13 durchgeführt (19). Das Signifikanzniveau lag bei 5%.

Ergebnisse

Deskriptive Befunde

Zur Auswertung gelangten die Daten von 285 erlegten Wildschweinen, von denen 35 (12,3%) Kirrfutter mit Zusatz von Berliner Blau erhielten. ► Tab. 2 gibt einen Überblick zur Verteilung der untersuchten Wildschweine über die Reviere/Messstationen.

Bei den 285 erlegten Wildschweinen handelte es sich um 85 Frischlinge (29,8%), 168 Überläufer (59,0%) und 32 Alttiere (11,2%). Dokumentiert wurden 119 Keiler und 118 Bachen. Für 48 Tiere lag keine Geschlechtsangabe vor, wobei diese meist bei Frischlingen fehlte. Das Tiergewicht nach Ausweidung variierte von 9 kg bis 100 kg und betrug im Mittel 37,9 kg (Standardabweichung = 16,4 kg).

► Tab. 3 gibt einen Überblick zur Verteilung der ¹³⁷Cs-Aktivität im Muskelfleisch der Wildschweine. Die exponierten Tiere wiesen eine deutlich geringere Kontamination auf als die Kontrolltiere. Von den 250 Kontrolltieren überschritten 87 (34,8%) den Grenzwert für die ¹³⁷Cs-Aktivität in Lebensmitteln von 600 Bq/kg, jedoch keines der Versuchstiere.

Tab. 3

Verteilung der Aktivität von ¹³⁷Cäsium (Bq/kg) im Muskelfleisch der erlegten Wildschweine in Abhängigkeit von einer Gabe von Berliner Blau

Table 3

Distribution of ¹³⁷caesium activity in lean muscle meat (Bq/kg) of the hunted wild boars depending on supplementation of Prussian blue.

Berliner Blau	Messungen (n)	¹³⁷ Cs-Aktivität im Muskelfleisch			
		Mittelwert	Standardabweichung	Minimum*	Maximum
nein	250	522,3	508,3	10	2421
ja	35	211,2	137,7	10	541
Summe	285	484,1	489,1	10	2421

* Bei 19 Messungen unterschritt der Messwert die Nachweisgrenze von 20 Bq/kg (16 ohne Zusatz von Berliner Blau zum Kirrfutter, drei mit Zusatz von Berliner Blau). Diese Werte wurden auf die halbe Nachweisgrenze von 10 Bq/kg gesetzt.

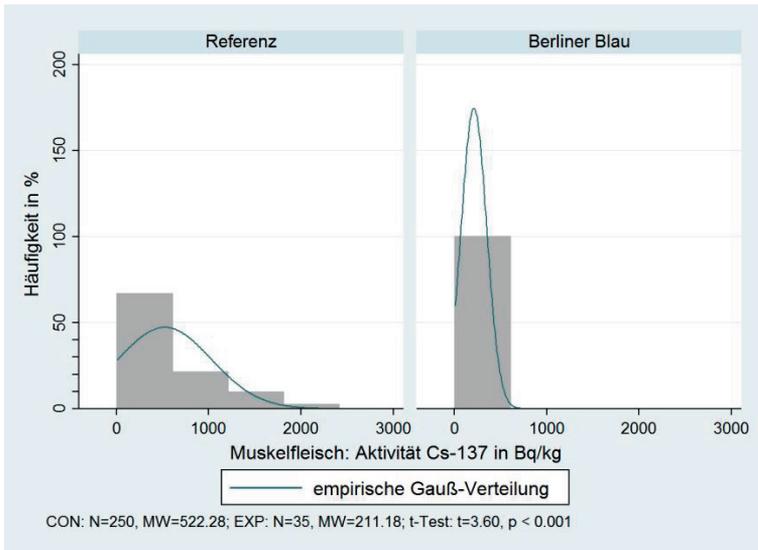


Abb. 1
Gegenüberstellung der Cäsiumaktivität in Kontrolltieren (Referenz) und exponierten Tieren (Berliner Blau), t-Test und p-Wert zur Differenz. (CON = Kontrollgruppe, EXP = Versuchsgruppe, MW = Mittelwert).

Fig. 1
Comparison of caesium contamination in control animals ("Referenz") and exposed animals ("Berliner Blau" [Prussian Blue]), t test and p value of the difference. (CON = control group, EXP = exposed group, MW = mean value).

Univariable Analysen

► Abb. 1 veranschaulicht einen univariablen Vergleich der ¹³⁷Cs-Aktivität in den beiden untersuchten Tiergruppen. Der Unterschied von 311 Bq/kg ist statistisch hochsignifikant (p < 0,001).
 ► Abb. 2 stellt einen Vergleich der Verteilungen nach vorheriger Logarithmierung der Werte dar. Durch die Logarithmierung kehrt sich die Schiefe der Verteilungen um. Die geometrischen Mittelwerte betragen 278,7 Bq/kg für die Kontrollen und 146,9 Bq/kg für die exponierten Tiere, was einer Änderung (Reduktion) um -47,3% entspricht. Das 95%-Konfidenzintervall zur relativen Änderung reicht von -66,8% bis -16,4%. Auch in diesem Vergleich ist die Differenz statistisch hochsignifikant (p = 0,007).

Multivariable Analysen

In ► Tab. 4 sind die Koeffizientenschätzungen in einem multivariablen linearen Modell angegeben. Das Modell wertete Daten zu allen Tieren der Studie aus, ohne das Geschlecht zu berücksichtigen, da dies unvollständig erhoben wurde. Die Effizienz wird durch den Regressionskoeffizienten der Variablen „Berliner Blau“ gemessen: Im Durchschnitt lag die Cäsiumaktivität bei einem Zusatz von Berliner Blau zum Kirrfutter um 345 Bq/kg Muskelfleisch niedriger. Diese Differenz war statistisch hochsignifikant (p = 0,003) und das geschätzte 95%-Konfidenzintervall zum Effekt reichte von -573 Bq/kg bis -116 Bq/kg. Überläufer und Alttiere zeigten im Vergleich zu Frischlingen höhere Belastungen (ob-

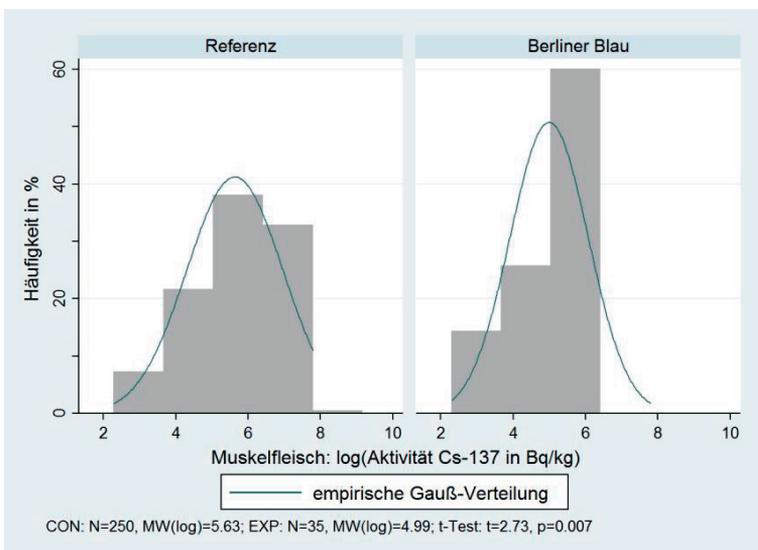


Abb. 2
Gegenüberstellung der logarithmierten Cäsiumaktivität in Kontrolltieren (Referenz) und exponierten Tieren (Berliner Blau), t-Test und p-Wert zur Differenz. (CON = Kontrollgruppe; EXP = Versuchsgruppe, MW = Mittelwert).

Fig. 2
Comparison of the logarithms of caesium contamination in control animals ("Referenz") and exposed animals ("Berliner Blau" [Prussian blue]); t-test and p-value of the difference. (CON = control group, EXP = exposed group, MW = mean value.)

Tab. 4

Schätzung der Effizienz des Zusatzes von Berliner Blau zum Kirrfutter im multivariablen Modell (ohne Berücksichtigung des Geschlechtsangaben): lineares Modell zu 285 Beobachtungen

Table 4

Estimate of efficiency of feeding Prussian blue in a multivariable analysis. Linear model, 285 observations, no adjustment for sex.

Cäsiumaktivität	Koeff.	Std.Err.	t-Statistik	p-Wert	95%-Konfidenzintervall	
Berliner Blau	-344,7	116,0	-2,97	0,003	-573,1	-116,3
Gewicht	-9,3	2,5	-3,78	< 0,0005	-14,2	-4,5
Alttier	60,9	138,4	0,44	0,660	-211,5	333,3
Überläufer	72,0	77,0	0,94	0,351	-79,6	223,7
Zeittrend	-0,6	0,7	-0,85	0,396	-2,0	0,8
Grafenwöhr	-167,6	151,3	-1,11	0,269	-465,4	130,2
Oberviechtach	-154,4	83,3	-1,85	0,065	-318,4	9,6
Rehau-Selb	-14,9	70,9	-0,21	0,833	-154,6	124,7
Wunsiedel	-153,0	89,4	-1,71	0,088	-329,0	23,1
Konstante	-1060,6	124,9	8,49	< 0,0005	814,6	1306,5

Koeff.: Regressionskoeffizient in Bq/kg bzw. in Bg/kg² (Gewicht) und in Bg/(kg*d) (Zeittrend), Std.Err.: Standardfehler des Regressionskoeffizienten, t-Statistik, zugehöriger p-Wert, [95%-Konfidenzintervall] zum Regressionskoeffizienten

wohl nicht statistisch gesichert). Pro zusätzlichem Kilogramm Tiergewicht fiel die Cäsiumaktivität hochsignifikant um 9 Bq/kg. Diese Aussage bezieht sich im Wesentlichen auf einen Vergleich innerhalb der Altersgruppen. Die ¹³⁷Cs-Aktivität verringerte sich im Mittel pro Tag um 0,6 Bq/kg (allerdings statistisch sehr unsicher: p = 0,4). Die Durchschnittsbelastung nach Ausschluss des Effekts von Berliner Blau variierte zwischen den Revieren/Messstellen, wenn auch nicht signifikant (globaler Test: p = 0,13). Für die beiden Versuchsreviere ergaben sich keine auffälligen Absenkungen in den geschätzten Ausgangswerten (d. h., als wäre kein Berliner Blau zugesetzt worden).

► Tab. 5 gibt ebenfalls Koeffizientenschätzungen in einem multivariablen linearen Modell an, allerdings mit Berücksichtigung

der vorhandenen Geschlechtsangaben und somit einer beschränkten Auswertung auf 237 Tiere. Die Schätzung des Effekts auf die Cäsiumaktivität durch den Zusatz von Berliner Blau zum Kirrfutter lag fast identisch zu dem in Tab. 4 angegebenen Resultat bei 344 Bq/kg Muskelfleisch, ebenso eindeutig signifikant (p = 0,014). Unabhängig hiervon beschreibt das Regressionsmodell, ähnlich wie in ► Tab. 4, einen hochsignifikanten Rückgang um 11 Bq/kg Muskelmasse je Kilogramm Tiergewicht. Diese Aussage bezieht sich hier wiederum auf einen Vergleich innerhalb der Altersgruppen. Alttiere und Überläufer wiesen auch in dieser Analyse nicht signifikant höhere Belastungen auf als Frischlinge. Für Bachen ergaben sich um etwa 70 Bq/kg höhere Cäsiumaktivitäten, doch lässt sich dieser Unterschied zur Belastung der Keiler nicht statistisch

Tab. 5

Schätzung der Effizienz des Zusatzes von Berliner Blau zum Kirrfutter im multivariablen Modell (mit Berücksichtigung des Geschlechtsangaben): lineares Modell zu 237 Beobachtungen.

Table 5

Estimate of efficiency of feeding Prussian blue in a multivariable analysis. Linear model, 237 observations, with adjustment for sex.

Cäsiumaktivität	Koeff.	Std.Err.	t-Statistik	p-Wert	95%-Konfidenzintervall	
Berliner Blau	-343,6	138,8	-2,48	0,014	-617,2	-70,0
Gewicht	-10,8	2,5	-4,37	< 0,0005	-15,6	-5,9
Alttier	125,1	174,1	0,72	0,473	-217,8	468,1
Überläufer	114,4	120,3	0,95	0,343	-122,7	351,4
Bache	70,2	56,3	1,25	0,214	-40,7	181,1
Zeittrend	-0,2	0,8	-0,24	0,812	-1,8	1,4
Grafenwöhr	-160,5	147,8	-1,09	0,279	-451,8	130,7
Oberviechtach	-84,6	91,4	-0,92	0,356	-264,8	95,6
Rehau-Selb	-48,0	76,7	-0,63	0,532	-199,3	103,2
Wurmsiedel	-152,3	99,6	-1,53	0,127	-348,6	43,9
Konstante	979,6	172,0	5,70	< 0,0005	640,7	1318,6

Koeff.: Regressionskoeffizient in Bq/kg bzw. in Bg/kg² (Gewicht) und in Bg/(kg*d) (Zeittrend), Std.Err.: Standardfehler des Regressionskoeffizienten, t-Statistik, zugehöriger p-Wert, [95%-Konfidenzintervall] zum Regressionskoeffizienten

Tab. 6 Auswertung zu 35 Versuchs- und 250 Kontrolltieren: Schätzung der Effizienz des Zusatzes von Berliner Blau zum Kirrfutter auf die ¹³⁷Cäsium-Aktivität relativ (%) und absolut (Bq/kg Muskelfleisch) in den multivariablen Modellen, stets adjustiert für Tiergewicht, Kalenderzeit und Revier

Table 6 Analysis of 35 experimental animals and 250 control animals. Estimate of the efficiency of feeding Prussian blue on the ¹³⁷caesium contamination relative (%) and absolute (Bq/kg lean muscle meat) in multivariable models, always adjusted for animal weight, hunting date, and territory.

Modell	Log-lineares Modell	Lineares Modell
ohne Geschlecht	-56%, p = 0,007	-344 Bq/kg, p = 0,003
mit Geschlecht	-49%, p = 0,07	-344 Bq/kg, p = 0,014

p: p-Wert zum Effekt eines Zusatzes von Berliner Blau zum Kirrfutter

Tab. 7 Schätzung der Effizienz des Zusatzes von Berliner Blau zum Kirrfutter auf die Cäsiumaktivität relativ (%) und absolut (Bq/kg Muskelfleisch) in bisherigen Studien. Meinel (15) berücksichtigte keine Kovariablen. In der Studie von Kienzle et al. (12) wurde wie in dieser Studie nach relevanten Kovariablen adjustiert.

Table 7 Estimate of the efficiency of feeding Prussian blue on the ¹³⁷caesium contamination relative (%) and absolute (Bq/kg lean muscle meat) in previous studies. Meinel (15) did not adjust for covariables. In the study of Kienzle et al. (12) as well as in the present study an adjustment for relevant covariables was performed.

	Log-lineares Modell	Lineares Modell	Versuchsrevier
Meinel (15) (20 EXP vs. 23 CON)*	-86%, p = 0,02	-114 Bq/kg, p = 0,096	Grafenwöhr
Kienzle et al. 2013 (45 EXP vs. 2844 CON)*	-36%, p = 0,01	-380 Bq/kg, p = 0,003	Gumpfenberg
Diese Studie (35 EXP vs. 250 CON)*	ca. -50%	-344 Bq/kg, p < 0,015	Friedenfels, Grafenwöhr

p: p-Wert zum Effekt eines Zusatzes von Berliner Blau zum Kirrfutter
 *Anzahl Wildschweine, EXP = Tiere mit Gabe von Berliner Blau, CON = Kontrolltiere

sichern. Der Zeittrend und die Unterschiede zwischen den Revieren waren nach Berücksichtigung des Geschlechts geringer ausgeprägt als bei geschlechtsunabhängiger Auswertung (► Tab. 4).

Ein log-lineares multivariablen Modell ermittelte – ohne Berücksichtigung des Tiergewichts als Kovariable (n = 285) – eine relative Änderung der Cäsiumaktivität um -56% durch den Zusatz von Berliner Blau zum Kirrfutter (95%-Konfidenzintervall: -75% bis -20%, p = 0,007). Mit Berücksichtigung des Tiergewichts (n = 235) waren es -49% (95%-Konfidenzintervall: -75% bis +5%, p = 0,07). Die Einflüsse der Kovariablen stellten sich in den log-linearen Auswertungen ähnlich dar wie im linearen Auswertungsansatz (► Tab. 4, ► Tab. 5). Der Unterschied zwischen den Messstationen erwies sich in den multiplikativen Modellen als signifikant.

In allen Auswertungen ließen sich zwischen allen Messstationen (ohne Berliner Blau) und den beiden Versuchsrevieren (mit Berliner Blau) ausgeprägte Differenzen in der Cäsiumaktivität nachweisen.

Diskussion

Diese Untersuchung stellt eine Replikationsstudie zur Effizienz des Zusatzes von Ammonium-Eisen-Hexacyanoferrat (AFCF, „Berliner Blau“) zum ausgelegten Futter für Wildschweine in Bezug auf die Reduktion der ¹³⁷Cs-Aktivität im Muskelfleisch der Wildtiere dar (1250 mg AFCF/kg Futter). Wir werteten die Daten von 285 während der Saison (November bis Mai) zwischen dem 01.11.2010 und dem 10.12. 2011 erlegten Wildschweinen aus, von denen 35 (12,3%) in zwei Revieren getötet wurden, in denen dem ausgelegten Futter Berliner Blau zugegeben worden war. Bei den Kontrolltieren wurde eine durchschnittliche ¹³⁷Cs-Belastung von 522 Bq/kg Muskelfleisch bis hin zu einem Maximum von 2421 Bq/kg festgestellt. Den Grenzwert für die ¹³⁷Cs-Aktivität in Lebensmitteln von 600 Bq/kg überschritten 87 Kontrolltiere (34,8%), doch keines der Versuchstiere. In direkten (univariablen) Gegenüberstellungen der zwei Versuchsreviere mit den vier Kontrollrevieren zeigte sich eine mittlere Absenkung der ¹³⁷Cs-Aktivität durch die Zufütterung von mit Berliner Blau versetztem Futter um -47,3% (p = 0,007) bzw. -211 Bq/kg (p < 0,0005). ► Tab. 6 gibt einen Überblick zu den geschätzten Effekten und Signifikanzen in multivariablen Auswertungen, also bei Berücksichtigung relevanter Kovariablen wie Tiergewicht, Geschlecht, Kalenderzeit und Revier als potenzielle Störgrößen.

Nach Kontrolle der Störeinflüsse durch Kovariablen sind die geschätzten Effekte durch die Gabe von Berliner Blau stärker ausgeprägt als in den direkten Gegenüberstellungen. Durch den Einbezug der Kovariablen Tiergewicht, Geschlecht, Kalenderzeit und Revier sinkt die Power der Analysen ab, sodass die p-Werte ansteigen. Insgesamt sind die beobachteten Absenkungen der ¹³⁷Cs-Aktivität aber ausgeprägt und statistisch signifikant. Ein Vergleich mit Ergebnissen bisheriger Studien bietet ► Tab. 7.

Das in dieser Studie herangezogene Versuchsrevier Grafenwöhr verwendete bereits Meinel (15), wobei diese eine niedrigere absolute Wirkung des Einsatzes von Berliner Blau feststellte. Der von ihr ermittelte geometrische Mittelwert betrug in Grafenwöhr 9,1 Bq/kg Muskelfleisch (arithmetisch: 35,7 Bq/kg) und in den Kontrollrevieren 57,8 Bq/kg (arithmetisch: 177,9 Bq/kg). Für die Versuchstiere in Grafenwöhr ermittelten wir einen geometrischen Mittelwert von 147,2 Bq/kg (arithmetisch: 173,9 Bq/kg), für die Kontrolltiere lag er bei 279,8 Bq/kg (arithmetisch: 522,3 Bq/kg) (► Abb. 3). Die Studie von Meinel (15) fand in einem Jahr mit starker Eichelmast statt, was den quantitativen Unterschied bei gleich gerichteten Ergebnissen erklären könnte. In Jahren mit reichlichem Vorkommen von Eicheln ist die Nahrung der Wildschweine weniger kontaminiert, da Eicheln und Bucheckern deutlich geringere Cäsiumbelastungen aufweisen als andere Nahrungsbestand-

teile, insbesondere Hirschrüffelpilze oder Ähnliches. Zudem muss bei reichlichem natürlichem Nahrungsangebot durch Eicheln auch von einer geringeren Futtermittelaufnahme an der Kirrung ausgegangen werden.

In der Pilotstudie von Meinel (15) wurde in den Kontrollrevieren ein blau eingefärbtes Plazebokirrfutter ausgelegt, das von dem mit Berliner Blau versetzten Verum nicht zu unterscheiden war. Dies sollte sicherstellen, dass in den Versuchs- und Kontrollrevieren gleichermaßen Kirrfutter ausgebracht wurde. Dadurch ließ sich der Effekt von Berliner Blau unabhängig von einem eventuellen Effekt der Kirrfütterung per se (geringerer Anteil natürlicher, kontaminierter Nahrung) demonstrieren. Eine Plazebokontrolle war in der vorliegenden Replikationsstudie ebenso wie in der Studie von Kienzle et al. (12) aus logistischen Gründen nicht möglich. Neben dem sich jährlich verändernden natürlichen Nahrungsangebot ist nicht auszuschließen, dass eine weniger regelmäßige Kirrung in den Kontrollrevieren in der vorliegenden Studie den Effekt der AFCH-Fütterung verstärkt hat. Nach den Resultaten von Meinel (15) ist allerdings auszuschließen, dass die Wirkung der AFCH-Fütterung überwiegend ein Effekt des Kirrens an sich ist.

Der in der vorliegenden Studie ermittelte mittlere absolute Effekt ist mit dem Befund der Feldstudie von Kienzle et al. (12) vergleichbar. Beide Analysen ergaben einen Rückgang der ¹³⁷Cs-Aktivität durch die Gabe von Berliner Blau um ca. 350–400 Bq/kg Muskelfleisch. Der relative Effekt lag in dieser Arbeit etwas höher aufgrund des niedrigeren Ausgangsniveaus bei den Kontrolltieren (522,3 Bq/kg) im Vergleich zu Kienzle et al. (12), die eine Cäsiumaktivität von 563 Bq/kg Muskelfleisch (arithmetisches Mittel) für die Kontrolltiere angaben, die in demselben Zeitraum erlegt wurden wie die Versuchstiere.

Diese Replikationsstudie analysierte weitgehend übereinstimmende Erlegungszeiträume von Versuchs- und Kontrolltieren und in einem engeren Zeitfenster als in der Studie von Kienzle et al. (12). Erwartungsgemäß ließ sich im Unterschied zur genannten Studie (12) kein zeitlicher Trend der ¹³⁷Cs-Aktivität feststellen und die Auswertungen wurden nicht durch überlagerte Zeitmuster erschwert. Allerdings reduzierte diese Abstimmung der Erlegungszeiträume die Zahl der eingeschlossenen Kontrolltiere (Kienzle et al. [12]: n = 2844, diese Untersuchung: n = 250), wodurch sich die Power der Studie verringerte, Effekte der Kovariablen zu messen.

Da alle Daten dieser Studie während der Saison von November bis Mai gewonnen wurden, war der von Kienzle et al. (12) beschriebene, ausgeprägte Saisoneffekt nicht prüfbar. Allerdings entfiel damit auch die Notwendigkeit, für den Saisoneffekt in den Analysen zu adjustieren.

In dieser Studie standen keine Vorjahreswerte zur Verfügung. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass die ¹³⁷Cs-Aktivität von Wildschweinen in den Versuchs- und Kontrollrevieren bereits in den Vorjahren differierte und der beobachtete Unterschied nicht allein durch die Zufütterung mit Berliner Blau entstand. Es gibt allerdings keine Hinweise auf eine höhere Ausgangsbelastung in den Kontrollrevieren.

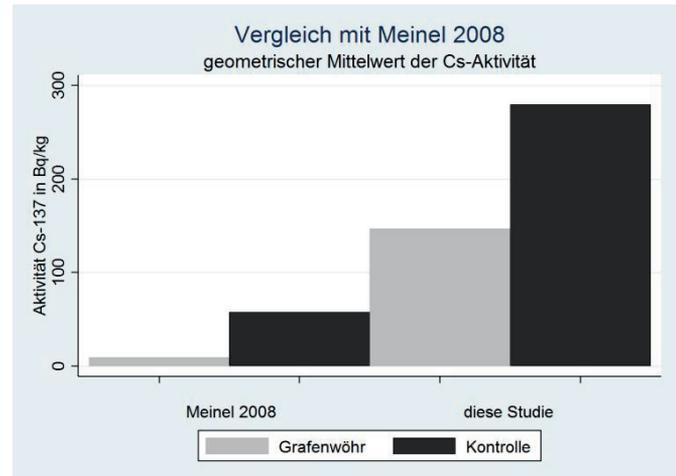


Abb. 3 Vergleich der Ergebnisse zum Versuchsrevier Grafenwöhr und zu den Daten von Meinel (15), erhoben in einem Jahr mit starker Eichelmast

Fig. 3 Comparison of the results in the Grafenwöhr territory with the control animals of Meinel (15), which were obtained in a year with a pronounced acorn fattening.

Als weitere Ergebnisse dieser Untersuchung lassen sich festhalten:

Die Belastung sank signifikant mit zunehmendem Tiergewicht um ca. 10 Bq/kg Muskelfleisch je Kilogramm Körpermasse. Kienzle et al. (12) ermittelten einen statistisch signifikanten Rückgang um 5 Bq/kg je Kilogramm Körpermasse.

Bachen wiesen höhere Belastungen auf als Keiler (um ca. 70 Bq/kg, nicht signifikant). Kienzle et al. (12) fanden bei weiblichen Tieren um 80 Bq/kg Muskelfleisch signifikant höhere ¹³⁷Cs-Werte. Sie erklärten diesen Effekt mit einem höheren Energie- und damit Futterbedarf der Bachen während der Reproduktion, der bei vergleichbar kontaminiertem Futter zu höherer ¹³⁷Cs-Aufnahme führt, die durch eine laktogene Ausscheidung nicht vollständig kompensiert wird. Außerdem diskutierten sie einen reproduktionsbedingt geringeren Fettgehalt im Körper der Bachen und damit einen relativ größeren Verteilungsraum für das wasserlösliche ¹³⁷Cs.

Überläufer und Alttiere zeigten in dieser Studie höhere Belastungen als Frischlinge (um ca. 100 Bq/kg, nicht signifikant). Kienzle et al. (12) ermittelten für Frischlinge niedrigere Werte als für erwachsene Tiere, aber für Überläufer wiederum höhere. Der Unterschied zwischen Überläufern und Frischlingen war statistisch signifikant (+120 Bq/kg Muskelfleisch). Eine geringere Akkumulation und raschere Exkretion von ¹³⁷Cs bei Jungtieren wurde bereits 1953 von Hood und Comar (10) beschrieben. Dies könnte mit einem höheren Wasser-Turnover zusammenhängen. Im Vergleich Überläufer versus Frischlinge ist allerdings infolge des Entschädigungssystems für kontaminiertes Schwarzwild ein systematischer Fehler möglich. Die Entschädigung für einen Frischling liegt unter der für einen Überläufer. Somit ist es denkbar, dass Tiere, die sich im Übergangsstadium zwischen Frischling

Fazit für die Praxis

Berliner Blau reduziert die ¹³⁷Cs-Kontamination von Wildschweinen unter Feldbedingungen signifikant um durchschnittlich ca. 350 bis 400 Bq/kg Muskelfleisch. Die größte Wahrscheinlichkeit, eine ¹³⁷Cs-Kontamination unter den Grenzwert von 600 Bq/kg für Genussauglichkeit zu senken, ergibt sich somit, wenn die Ausgangskontamination der Wildschweine nicht höher liegt als ca. 1000 Bq/kg. Dem Futter wurden 1250 mg Berliner Blau pro Kilogramm zugesetzt und pro Kirrung wurde ca. 1 kg Futtermittel pro Tag ausgebracht. Entsprechend der biologischen Halbwertszeit von ¹³⁷Cs muss mit der Gabe von Berliner Blau etwa 40 Tage vor Beginn der Jagdsaison begonnen werden.

und Überläufer befanden, im Fall einer hohen Kontamination häufiger als Überläufer dokumentiert wurden als im Fall einer geringen Kontamination.

Die vorliegende Studie repliziert die in Kienzle et al. (12) ermittelte Effizienz des Zusatzes von Berliner Blau zum Kirrfutter, sowohl in ihrer quantitativen Ausprägung als auch hinsichtlich der statistischen Signifikanz, und bestätigt gleichzeitig die Richtung und Stärke der in von diesen Autoren festgestellten Einflüsse von Kovariablen auf die ¹³⁷Cs-Aktivität im Muskelfleisch der untersuchten Wildschweine.

Danksagung

Wir bedanken uns bei den Herren Revierjagdmeister Jens Ullmann und Forstdirektor Ulrich Maushake für die Versuchsbetreuung vor Ort in den Versuchsrevieren sowie bei Herren Dr. Hermann Meiler (Betreiber der BJV-Messstation in Hof), Severin Wejborra (Messstation BJV-Landesjagdschule Wunsiedel), Gerhard Luckner (Messstation Cham) und Hans-Dieter Haas (Messstation Oberviechtach). Die Studie wurde gefördert durch das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (vormals Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit).

Interessenkonflikt

P. M. ist Mitarbeiter von Evonik Industries, die bis vor 5 Jahren Berliner Blau herstellten. Es besteht kein Interessenkonflikt. Alle anderen Autoren erklären ebenfalls, dass sie keinen Interessenkonflikt haben.

Literatur

- Bailer B. Zur beschleunigten Ausscheidung von Radiocäsium bei Schafen durch Zufütterung von Ammonium-Eisen-Hexacyanoferrat. Diss., Tierärztliche Hochschule Hannover 1988.
- Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. LGL Jahresbericht 2004, Erlangen, 2005; 166.
- Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. Jahresbericht 2005, Erlangen, 2006; 168.
- Dresow B, Nielsen P, Heinrich HC. Efficacy of different hexacyanoferrates(II) in inhibiting the intestinal absorption of radiocaesium in rats. *Z Naturforsch C* 1990; 45: 676–680.
- Giese W. Das Verhalten von Radiocäsium bei Laboratoriums- und Haustieren sowie Möglichkeiten zur Verminderung der radioaktiven Strahlenbelastung. Habilitationsschrift, Tierärztliche Hochschule Hannover 1971.
- Giese W. Der fütterungsabhängige Radiocäsium-Expositionspfad für nutzbare Haustiere sowie Möglichkeiten zur Verminderung der radioaktiven Strahlenbelastung. *Übers Tierernähr* 1987; 15: 113–114.
- Giese W. Ammonium-ferric-cyano-ferrate(II) (AFCF) as an effective antidote against radiocaesium burdens in domestic animals and animal derived foods. *Br Vet J* 1988; 144: 363–369.
- Giese W. Countermeasures for reducing the transfer of radiocesium to animal derived foods. *Sci Total Environ* 1989; 85: 317–327.
- Giese W, Hantzsch D. Vergleichende Untersuchungen über die Cs-137-Eliminierung durch verschiedene Eisenhexacyanoferratkomplexe bei Ratten. *Zbl Vet Med* 1970; Beiheft 11: 185–190.
- Hood SL, Comar CL. Metabolism of ¹³⁷Cs in rats and farm animals. *Arch Biochem Biophys* 1953; 45: 423–433.
- Hove K. Chemical methods for reduction of the transfer of radionuclides to farm animals in semi-natural environments. *Sci Total Environ* 1993; 137: 235–248.
- Kienzle E, Reddemann J, Swart D, Swart A, Draxler B, Morfeld P. Effect of ammonium-iron-hexa-cyanoferrate and of the covariates age, gender, weight, season and calendar time on radiocaesium contamination of wild boars living in the wild in Bavaria. *J Anim Physiol Anim Nutr* 2013; 97 (3): 495–501.
- Kleinbaum DG, Kupper LL, Muller KE. *Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods*, 2nd edn. Boston, USA: PWS-Kent Publishing 1988.
- Kossakowski S, Dziura A, Grosicki A. Decontamination effectiveness of ferric ferrocyanide and ammonium-ferric-cyanoferrate in rats contaminated with radiocaesium. *Isotopenpraxis* 1991; 27: 30–33.
- Meinel K. Eine Feldstudie am Schwarzwild zum Einsatz von Ammonium-eisenhexacyanoferrat zur Reduzierung der Radiocäsiumbelastung. Diss., Ludwig-Maximilians-Universität München 2008.
- Mergenthal A. Fütterungsversuch zur Erprobung von Ammonium-Eisen-Hexacyanoferrat für die Dekorporation von Radiocäsium bei Moorschnucken. Diss., Tierärztliche Hochschule Hannover 1988.
- Rothman KJ, Greenland S, Lash TL. *Modern Epidemiology*, 3rd edn. Philadelphia, USA: Lippincott Williams & Wilkins 2008.
- Rudnicki S. Zur Verminderung der Radiocäsiumbelastung in Muskulatur und inneren Organen von Mastschweinen nach Zufütterung von Ammonium-Eisen-Hexacyanoferrat. Diss., Tierärztliche Hochschule Hannover 1988.
- StataCorp. *Stata: Release 13.1 Statistical Software*. College Station, TX: StataCorp LP 2013.
- 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>.
- Yasunari TJ, Stohl A, Hayano RS, Burkhart JF, Eckhardt S, Yasunari T. Cesium-137 deposition and contamination of Japanese soils due to the Fukushima nuclear accident. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2011; 108: 19530–19534.