

Aus dem Department für Nutztiere
und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin
der Veterinärmedizinischen Universität Wien
(Departmentsprecher: Univ.-Prof. Dr.med.vet. Michael Hess)

Institut für Lebensmittelsicherheit, Lebensmitteltechnologie
und Öffentliches Gesundheitswesen
Abteilung für Hygiene und Technologie von Lebensmitteln
(interimistischer Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. vet. Martin Wagner)

Blei- und Kupfergehalte in der Umgebung der Schusswunde bei Schalenwild

DIPLOMARBEIT

Veterinärmedizinische Universität Wien

Vorgelegt von

Mathias Mair

Wien, Dezember 2020

Betreuer/in

a.o. Univ.-Prof. Dr. med. vet. Peter Paulsen

Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin
der Veterinärmedizinischen Universität Wien, Institut für Lebensmittelsicherheit,
Lebensmitteltechnologie und Öffentliches Gesundheitswesen, Abteilung für Hygiene und
Technologie von Lebensmitteln

Begutachter/in

Univ. Doz. Dr. Armin Deutz

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
1.1.	Geschichtlicher Hintergrund	5
1.1.1.	Entstehung von Jagdgeschossen	5
1.2.	Wann kam Blei in die Kritik	8
1.2.1.	Alternativen zu Bleigeschossen	8
1.3.	Geschosse aus meiner Arbeit	9
1.3.1.	Aufbau von bleihaltigen Geschossen mit Beispielen aus dem Versuch	9
1.3.1.1.	RWS Kegelspitz	9
1.3.1.2.	RWS H-Mantel	9
1.3.2.	Aufbau von bleifreien Geschossen mit Beispielen aus dem Versuch	10
1.3.2.1.	Ibex Viper	10
1.3.2.2.	Barnes XLC	10
1.3.2.3.	RWS Evo Green	11
1.4.	Expositionswege für Geschossteile	11
1.5.	Grundlagen	12
1.5.1.	Blei im Allgemeinen	12
1.5.2.	Blei im menschlichem Körper	12
1.5.3.	Blei in Wildfleisch	13
1.5.4.	Kupfer im Allgemeinen	14
1.5.5.	Kupfer im menschlichem Körper	14
1.5.6.	Kupfer in Wildfleisch	14
2.	Material und Methoden	15
2.1.	Proben und deren Entnahme	15
2.2.	Angaben zu den Proben	16
2.3.	Übersicht zu den Bleigehalten	18
2.3.1.	Bleigehalte der Proben mit 1 g Einwaage	18
2.3.2.	Bleigehalte der Proben mit Mehrfacheinwaagen oder Einwaagen >1 g	18
2.3.3.	Vergleich der Bleigehalte von Ein- und Ausschuss bzw. von verschiedenen Entfernungen vom Schussrand	20
2.4.	Übersicht zu den Kupfergehalten	20
2.4.1.	Kupfergehalte der Proben mit 1 g Einwaage	20
2.4.3.	Vergleich der Kupfergehalte von Ein- und Ausschuss bzw. von verschiedenen Entfernungen vom Schussrand	22
3.	Diskussion	23
3.1.	Probenmaterial	23
3.2.	Metallgehalte in Abhängigkeit von der Geschossezusammensetzung	23
3.3.	Metallgehalte in Abhängigkeit von der Entfernung vom Schusswundenrand	24
3.4.	Metallgehalte in Mehrfachbestimmungen mit unterschiedlichen Einwaagen	24
3.5.	Lebensmittelrechtliche Bewertung	25
4.	Zusammenfassung und Summary	27
5.	Abkürzungsverzeichnis	29
6.	Literaturverzeichnis	30
7.	Abbildungs-/Tabellenverzeichnis	33
8.	Danksagung	34

1. Einleitung

Mein Name ist Mathias Mair und ich studiere Veterinärmedizin an der Veterinärmedizinischen Universität Wien. Zu unserer Ausbildung gehört auch das Verfassen einer Diplomarbeit und so durfte ich mir die Frage stellen, über welches Thema ich diese verfassen möchte. Da das Jagen und der Schießsport zu meinen größten Hobbys zählen, war mir schnell klar, ich möchte dies irgendwie in meine Arbeit einbinden und etwas zum Thema Wildbrethygiene verfassen. Da auch das Wiederladen von Büchsenpatronen zu meinen Hobbys zählt und ich regelmäßig einen Nachmittag auf dem Schießstand verbringe, wo oft zahlreiche Diskussionen über bleihaltige und „bleifreie“ Geschosse stattfinden, war das Thema schon fast gefunden. Viele sind der Meinung, dass die Tötungswirkung von „bleifreien“ Büchsenpatronen unzureichend ist, andere wiederum sind der Meinung, dass der Verzehr von Fleisch von mit bleihaltigen Geschossen erlegtem Wild wegen der geschosßbedingten Bleiablagerungen in den Geweben schädlich für unseren Organismus sei und genau das wollte ich in meiner Diplomarbeit genauer beleuchten. Ist es möglich, genau sagen zu können, wie viel Wildbret um den Schusskanal entfernt werden muss, um einen erhöhten bzw. bedenklichen Bleieintrag zu vermeiden und ob sich dies überhaupt eindeutig klären lässt.

Meine Hypothesen:

- a)** Bei Wild, das mit bleihaltigen Geschossen erlegt wurde, kann ein Umschneiden des Wundrandes in 5 cm Entfernung zu einer wesentlichen Verringerung der Bleikontamination beitragen.
- b)** Bei Wild, das mit „bleifreien Geschossen“ erlegt wurde, sind die Bleigehalte am Wundrand signifikant niedriger (bzw. unter der Nachweisgrenze) sind als bei der Verwendung bleihaltiger Geschosse.
- c)** Es wird weiteres erwartet, dass sich die Kupfergehalte bei Verwendung bleifreier und bleihaltiger Geschosse nicht unterscheiden, da auch die bleihaltigen Geschosse eine Oberfläche (Mantel) aus Kupferlegierungen besitzen.

1.1. Geschichtlicher Hintergrund

1.1.1. Entstehung von Jagdgeschossen

Ab ca. dem Jahre 1420 wurde in Europa erstmalig begonnen mit ca. 33–52,5 g schweren, einigermaßen runden Bleikugeln zu schießen. Die Präzision war damals noch sehr schlecht und unregelmäßig, da die Geschosse durch das simple Fertigungsverfahren oft Luftlöcher enthielten und so einen exzentrischen Schwerpunkt aufwiesen. Zudem wurden die Kugeln noch aus glatten Läufen verschossen, welche die Kugel nicht sauber führten, da diese einen größeren Durchmesser als die Kugel hatten und so nicht sauber abdichteten („Rollkugeln“). Erst gegen Ende des 15. Jahrhunderts wurden gezogene Läufe verwendet, um das Verkrusten der Verbrennungsrückstände im Lauf zu vermeiden (<https://www.dhm.de/archiv/magazine/jagdwaffen/HTMLs/renaissance2.html> (Zugriff am 05.12.2020)). Die Vertiefungen werden dabei als Züge, die erhabenen Teile als „Felder“ bezeichnet. Das funktionierte so aber auch nicht zufriedenstellend und zudem ließen sich die Geschosse auch schwerer von vorne laden. Dann aber bemerkte man, dass sich der etwas kleinere Felddurchmesser im Lauf positiv auf die Präzision auswirkt, da sich die Felder in das Geschoss drücken, ihm so eine gute Führung geben und auch gegen vorbei strömendes Gas abdichten. Zur weiteren Verbesserung der Präzision wurde (wie auch heute noch bei Vorderladerschützen) ein einfaches Hilfsmittel angewandt, die sogenannte Pflasterkugel. Dabei wurde die Bleikugel in ein gefettetes Leinen eingepackt. Beim Hineinschieben des Geschosses fettete das Leinen den Lauf, wodurch beim Abfeuern weniger Schwarzpulver Rückstände hängen blieben. Nebenbei wurde das Geschoss festgehalten und es konnten so damalige Fertigungstoleranzen ausgeglichen werden. Die Pflasterkugel konnte so den Lauf verlassen, ohne sich hin und her zu bewegen, wodurch auch die Präzision gesteigert wurde. Um die Wende des 16. Jahrhunderts kam ein süddeutscher Laufschnied auf die geniale Idee und ordnete die Züge & Felder spiralförmig an. Somit versetzte er die Bleikugel in eine Rotationsbewegung, den „Drall“. Die Schussleistung wurde wesentlich besser, aber es reichte noch nicht für eine regelmäßige und wiederholbare Trefferleistung, da die Geschosse noch sehr ungünstig in Bezug auf die Aerodynamik waren und durch das Laden von vorne eine mehr oder weniger starke Deformierung erfuhren. Es dauerte noch rund 100 Jahre bis das Langgeschoss begann die Rundkugel abzulösen. Die Langgeschosse, die in der Regel mit kegeligen, ovalen oder konischen Kopfformen ausgestattet sind, flogen nach Austritt aus der Laufmündung wesentlich besser, da der Luftwiderstand geringer war. So konnte man auch auf weitere Entfernungen damit schießen. Der „Führungszylinder“, der zylindrische Teil hinter der Spitze, der den Zughdurchmesser des Laufes aufweist, ist verhältnismäßig groß, so dass sich das Geschoss in den etwas kleineren Felddurchmesser einpresst und so der Drall auf das ganze

Projektil übertragen wird. Dadurch erhält das Geschoss eine gute Führung und kann sich durch die Drehbewegung auch nach Verlassen des Laufes noch gut über weite Strecken stabilisieren. Durch die längliche Form und damit die Möglichkeit, durch Geschoßgeometrie und Materialwahl den Masseschwerpunkt zu variieren, ergab sich neben der Drallstabilisierung noch eine zweite Möglichkeit zur Stabilisierung des Geschoßflugs.

Trotzdem gab es aber noch etliche Probleme, da man die Geschosse immer noch von vorne lud und dadurch die Spitze beschädigte, was wieder zu Präzisionsverlusten führte. So experimentierte man mit Vorläufern des heutigen Flintenlaufgeschosses „Brenneke“, sogenannten Expansionsgeschossen, die etwas kleiner als der Felddurchmesser waren, dafür aber eine Expansionskammer im Hinterteil hatten. Diese sollte die Verbrennungsgase auffangen und so die Hohlraumwand des Geschosses etwas nach außen drücken, sodass das Geschoss in die Felder eingepresst wird und dadurch dem Drall folgen kann. Dadurch war ein leichteres Laden und eine trotzdem gute Führung gewährleistet. Anfänglich war dies nur ein Hohlraum im Geschossboden, später ein eingepresster Blechnapf.

1855 wurde dies vom preußischem Militär durch einen Expansionspfropfen aus Papier ersetzt. Im selben Jahr führten die Briten einen Expansionspfropfen aus Buchsbaumholz ein, der in die Kammer dringen soll. Schlussendlich entstand dann in Belgien im Jahre 1854 anstatt beweglicher Expansionsstarter ein in der Mitte des Expansionsraums konischer Zapfen, der die Verbrennungsgase radial an die Hohlraumwand lenkt und so die Expansion bewirkt. Dieses Prinzip entstand nach Vorschlägen des Büchsenmacher Jan Peeters und Oberst Timmerhans. Um diesen Zeitraum erfolgte schon der langsame Umstieg von den von vorne (durch die Mündung zu ladenden) Gewehren zu von hinten zu ladenden Gewehren, bei denen die Treibladung in Papier und später in Metallnöpfchen mit hinten eingebautem Zündsatz und vorne aufgesetztem Geschoß eingebracht war.

Zur Erhöhung der Munitionsleistung (V_0 , Energie und Reichweite) fing man ab ca. 1865 an große bzw. lange Patronenhülsen zu verwenden, die mehr Treibladung (Schwarzpulver) fassen. Aufgrund der stärkeren Beschleunigung kam es zu weiteren geschossbedingten Problemen, denn durch die Geschwindigkeit rutschte das weiche Bleigeschoss über die Felder und Züge einfach hinweg, ohne dessen Drehrichtung präzise aufzunehmen. So wurde von den Geschossherstellern wieder die Pflaster Methode angewandt und der Geschosszylinder-Teil mit Papier umwickelt und mit Gleitmittel und Feuchtigkeitsschutz (Wachs) bepinselt. Sie wirkte auch dem lästigen Verbleien entgegen und wurde so zwischen 1870 und 1880 generell eingeführt. Doch bei Geschwindigkeiten von über 650 m/s zerfiel die Papierwicklung und so kam das blanke Geschoss ohne Führung aus der Mündung. Aber 1886 revolutionierten die Franzosen das Munitionswesen indem sie die Patrone 8x51 R Lebel veröffentlichten, die mit rauchlosem Treibmittel und einem Vollmantelgeschoss

ausgestattet war. Dies führte dazu, dass kurz vor der Wende zum 20. Jahrhundert eher kleinkalibrige (6,5-8 mm Geschoßdurchmesser) Büchsenmunition eingeführt wurde.

Nur bei Waffen mit glattem Lauf hielten die stärkeren Kaliber noch etwa 100 weitere Jahre durch. Auch Jäger profitierten von den Neuerungen und Entwicklungen des Militärs. Das Hauptproblem lag nun darin, dass die Gewehre auf Bleigeschosse und Schwarzpulver ausgelegt waren und daher die Läufe tiefe Züge aufwiesen. Diese konnten aber die neuartigen Geschosse nicht ganz ausfüllen, da deren radiale Verformung dafür nicht ausreichte. Durch die fehlende Liderung, wie man das Anliegen in der Fachsprache bezeichnet, kommt es zu Gasschlupf und Lauferosion. Daher entwickelte man von 1895–1915 spezielle Übergangslösungen. Um nur ein Beispiel zu nennen wurde das sogenannte Schuhgeschoss entwickelt. Hier setzte man auf übliche Bleigeschosse, eine dünne Kappe aus Eisen, Kupfer oder Aluminiumblech auf das Heck des Geschosses. Diese Kappe staucht das Geschoss beim Abfeuern axial und presst es in die Züge. Die Kappe selber sorgt für die Gasabdichtung und somit für eine gute Drallübertragung. Dies soll angeblich vom Frankfurter Büchsenmacher Wilhelm Collath erfunden worden sein, der das Geschoss unter der Handelsbezeichnung TESCO (Teschner & Collath) vertreiben ließ. Dieses Prinzip kommt bei Revolvergeschossen heute noch zur Anwendung und wird als „Gas Check“ (Gasabdichtung) bezeichnet. Andere nahmen nur einen Kupferreifen unterhalb der Geschossspitze, der das gleiche Ergebnis liefern soll, das sogenannte „Reifringgeschoss“. Andere Geschosshersteller verlängerten den Schuh immer mehr, bis schlussendlich nur noch die Bleispitze herausschaute. So war das Prinzip der uns heute bekannten Teilmantelgeschosse geboren. Eine spezielle Konstruktion für jagdliche Anforderungen ist das 1892 von der Firma Sauer & Sohn patentierte „Sauersche Jagdgeschoss“. Der zylindrische Teil des harten Stahlkerns wurde von einem weichen Kupfermantel umgeben. Diese beiden Materialien wurden durch eine am Geschossboden aufgeschraubte Stahlplatte verbunden. Der vordere Teil des Kupfermantels hatte vier eingefräste Schlitze. Durch die Trägheit des Kupfermantels sollte der Stahlkern beim Auftreffen auf das Ziel nach vorne rutschen und den Kupfermantel aufreißen. So entstehen vier Fahnen, die den Querschnitt des Geschosses vergrößern. Eine geniale Konstruktion für damalige Verhältnisse.

Ab dem 19. Jahrhundert ungefähr richteten sich alle europäischen Jagdwaffenhersteller auf Munition mit Mantelgeschossen und rauchlosem Pulver ein und stellten so Läufe mit flacheren Zügen her. Durch Weiterentwicklungen, die bis heute andauern, werden die Geschosse immer wieder hinsichtlich Präzision, Wirkungsweise und Windschlüpfrigkeit (ballistischer Koeffizient, BC-Wert) verbessert. So werden Geschosse für weitere Entfernungen z.B. im Gebirge mit einer hitzestabilen Kunststoffspitze ausgestattet oder das Geschoss erhält am Heck ein sogenanntes Boat Tail, welches auf weitere Distanzen Vorteile

bezüglich Luftverwirbelung bringt und so zu einer höheren Präzision auf weiter Entfernungen führt (Klups 2013).

1.2. Wann kam Blei in die Kritik

Erst zu Beginn der 1980 Jahre fiel auf, dass in der Umgebung von stark bejagten Gewässern viele Enten verendeten. Diese hohe Sterblichkeit ließ sich schlussendlich auf das beim Gründeln aufgenommene Bleischrot zurückführen, welches sich durch die Magensäure in hochgiftiges Bleioxid umwandelt. Diese Entdeckung führte zu ersten Zweifeln bzw. einem schlechtem Image von bleihaltigen Geschossen im generellen. Nun wurde begonnen nach Blei Substituten zu suchen und man machte sich daran sogenannte bleifreie Geschosse zu entwickeln. Bezüglich der Flugbahn sind solche Geschosse meist besser als herkömmliche Jagdgeschosse aus Blei, denn diese bleifreien Geschosse sind meist um 1/3 leichter. Daher lassen sich höhere Geschwindigkeiten erzielen, woraus sich eine höhere GEE ergibt und man so länger "Fleck" halten kann, ohne den Haltepunkt oder an der Einstellung am Zielfernrohr korrigieren zu müssen. Das Geschoss hat insgesamt eine gestrecktere Flugbahn (Klups 2013).

1.2.1. Alternativen zu Bleigeschossen

Zunächst musste man prüfen, welche Metalle dem Element Blei in den physikalischen Eigenschaften am ähnlichsten kamen. Dies ist gar nicht so leicht, denn Blei zeichnet sich durch seine hohe Masse und seine gute Verformbarkeit aus. Man kann das Ganze in Brinell Härte bewerten, da diese für das Maß der Verformbarkeit in Bezug auf die Dichte steht. Blei hat eine Brinell Härte von 38 MN/m² und eine Dichte von 11,34 g/cm³. Dabei kommt Wismut und Silber, Blei am nächsten. Die vom Geschoss transportierte Energie lässt sich mit der Formel $E = \frac{1}{2} * m * v^2$ (m = Masse (g), v = Geschwindigkeit (m.s⁻¹)) relativ einfach berechnen. Möchte man nun Blei ersetzen, so muss man, insofern das „Ersatz“-Material eine geringere Dichte aufweist, entweder mit einer höheren Geschwindigkeit oder einer höheren Masse arbeiten, um rein rechnerisch die gleiche Energie zu erzielen. Dies ergäbe auf Kupfer umgerechnet, entweder eine um 27 % höhere Masse, oder eine um 13 % höhere Geschwindigkeit, um eine zu einem bleihaltigen Geschoss vergleichbare Energie zu erreichen. Je härter aber ein Metall relativ zu Blei ist, umso weniger gut lässt es sich deformieren, was wiederum dazu führt, dass die Energieabgabe schlechter funktioniert und sich das Abprallverhalten erhöht.

1.3. Geschosse aus meiner Arbeit

1.3.1. Aufbau von bleihaltigen Geschossen mit Beispielen aus dem Versuch

Bleihaltige Geschosse bestehen aus einem Mantel und einem Kern, worin meist der Unterschied zu bleifreien Geschossen besteht. Es gibt auch ein paar bleifreie Geschosse, die einen Mantel und einen Kern besitzen, diese gehören aber eher zur Minderheit. Der Mantel bleihaltiger Geschosse besteht aus einem harten Material, meist aus Kupfer oder einer Kupferlegierung wie Tombak. Der Kern besteht aus Blei(-legierungen). Dieser verleiht dem Geschoss durch sein hohes spezifisches Gewicht auch seine zielballistische Leistung. Der Mantel ermöglicht, das Geschoß in Rotation um die Längsachse zu versetzen („Drall“), schützt den Lauf gegen Verbleiung, beeinflusst durch seine Form den ballistischen Koeffizienten und ermöglicht hohe Geschwindigkeiten.

1.3.1.1. RWS Kegelspitz

Das Kegelspitz Geschoss wurde Ende 1960 entwickelt und im Laufe der Zeit leicht nach ballistischen Erkenntnissen verändert. Es ist ein sogenanntes Deformationsgeschoss, welches sich nur deformiert und dabei seinen Querschnitt vergrößert, dabei aber keine Splitter abgibt. Anfangs bildete den Mantel ein nickelplattierter Stahlmantel, später ersetzte man diesen aber durch einen aus Tombak um eine übermäßige Splitterbildung des vorderen Geschossteils zu vermeiden. Auch die ursprüngliche Vertiefung an der Geschossspitze wurde durch eine freiliegende Bleispitze ersetzt. Der relativ starke Boden und untere Mantelteil wurde gewählt, um zu verhindern, dass das Geschoß an der Einschussstelle fragmentiert. Die Heckeinschnürung sollte die Deformation stoppen und der lange Geschosszylinder sorgt für eine präzisionsfördernde Führung im Lauf.

1.3.1.2. RWS H-Mantel

Dieses Geschoss von RWS besitzt, wie schon der Name verrät, einen H-förmig aufgebauten Mantel aus Tombak, welcher mit zwei verschiedenen Bleikernen, im vorderen und hinterem Teil, gefüllt ist. Vorne sitzt dem Geschoss eine Kupferhohlspitze auf. Das Geschoss ist ein sogenanntes Teilzerlegungsgeschoss wobei der vordere Teil splittert und der hintere Teil stabil bleibt und für den sicheren Ausschuss sorgt.

1.3.2. Aufbau von bleifreien Geschossen mit Beispielen aus dem Versuch

Diese Geschosse sind entweder Kupfergeschosse, welche aus dem Vollen geätzt/gepresst sind oder Mantelgeschosse aus Wolfram/Nylon. Ein anderes Verfahren wäre, dass man aus einem Gemisch von massehaltigen Metallen mit Zink oder Zinn einen Verbundwerkstoff in Form der Geschosse presst oder sintert. Auch hier wird zwischen einem Deformationsgeschoss und einem Teilerlegungsgeschoss unterschieden (DiMaio 2015).

1.3.2.1. Ibex Viper

Dieses Geschoss stammt als eines der wenigen Geschosse aus österreichischer Produktion und zwar von dem österreichischen Geschosshersteller IBEX, welcher seinen Sitz in Schladming hat. Es wird als Jagd-Kupfer-Hybridgeschoss bezeichnet. Es besitzt auch eine längere Ogive als das Geschoss für schwereres Wild, dem Tornado. Das Geschoss ist ein CNC gedrehtes Teilerlegergeschoss und besteht aus einer 100 % bleifreien Kupferlegierung. Der vordere Teil bis zur geätzten Sollbruchrille besteht aus einer Hohlspitze. Diese zerlegt sich beim Auftreffen in ein paar Fahnen, welche für große Schadwirkung sorgen und der stabile Heckteil soll stets den sicheren Ausschuss liefern (IBEX Precision Hunting GmbH. <https://ibex-bullets.com/> (Zugriff am 05.07.2020)).

1.3.2.2. Barnes XLC

Die US-Firma Barnes war einer der ersten Hersteller bleifreier Geschosse. Das Barnes XLC Geschoss wird heute so nicht mehr produziert. Es ist ein Deformationsgeschoss, sprich es verformt sich nur und behält fast zur Gänze sein ursprüngliches Gewicht, da keine Splitter abgehen. Das Geschoss war ursprünglich das Barnes X Geschoss, welches aber hinsichtlich der Laufverschmierung blau lackiert wurde und seitdem XLC hieß. Dies wiederum war der Vorgänger des heute bekannten TSX Geschosses. Das XLC Geschoss ist ein Solidgeschoss aus Tombak und wird im Hochdruckpressverfahren hergestellt. Es besitzt einen 0,6 mm weiten Expansionskanal mit vier Sollbruchstellen um zu gewährleisten, dass es sich immer in vier Fahnen aufpilzt. Diese vier Fahnen verleihen dem Geschoss auch seinen ursprünglichen Namen, da es von oben betrachtet wie ein X aussieht (Bundesverband Schießstätten. <https://deutsches-jagd-lexikon.de> (Zugriff am 05.07.2020)).

1.3.2.3. RWS Evo Green

Das Evo Green Geschoss ist ein bleifreies Teilzerlegungsgeschoss aus dem Hause RWS. Es ist im Aufbau fast ident zum bleihaltigen H-Mantel Geschoss. Es unterscheidet sich nur dadurch, dass der H-Mantel nicht mit Blei ausgefüllt ist, sondern mit Zinn und dass es anstatt der Kupferhaube eine Kunststoffspitze besitzt. Der vordere Geschossteil zerlegt sich in viele kleine Splitter, während der hintere Teil, nach der H-förmigen Einkerbung, einen stabilen Kern bildet und somit für den Ausschuss sorgt (Das Schweizer Jagdmagazin JAGD & NATUR. <http://www.jagdnatur.ch/> (Zugriff 10.08.2020)).

1.4. Expositionswege für Geschossteile

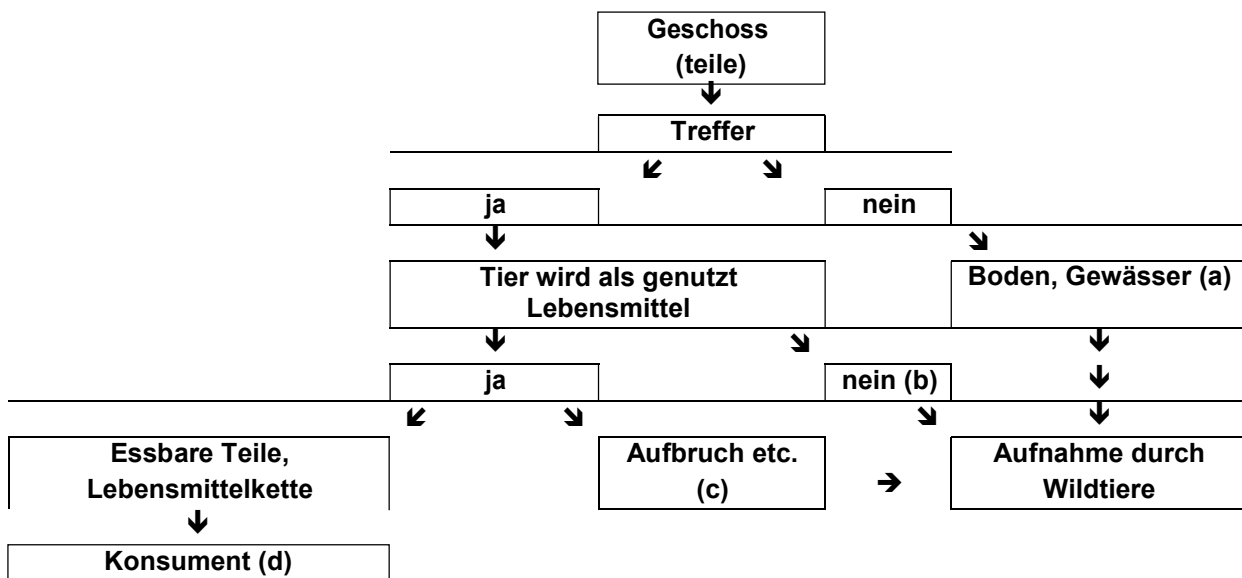


Abbildung 1: Mögliche Expositionswege für Geschossteile

a) Geschosse bzw. Teile davon landen in der Umwelt, entweder als Ausschuss oder als nicht treffende Geschosse (nicht treffende Schrote, Fehl- / Übungsschüsse) und gelangen damit direkt in Boden und Gewässer;

b) Geschosse bzw. Teile davon verbleiben in inneren Organen oder anderen Körperteilen eines beschossenen Tieres, das Tier wird nicht als Lebensmittel genützt (weil entweder keine lebensmittelliefernde Spezies oder weil das Stück nach dem Schuss nicht zur Strecke gebracht werden kann);

c) Geschosse bzw. Teile davon verbleiben in inneren Organen oder anderen Körperteilen eines erlegten Tieres, und die kontaminierten Teile werden als Aufbruch in der freien Natur entsorgt, der dann wieder von anderen Wildtieren aufgenommen wird;

d) Geschosse bzw. Teile davon verbleiben in Körperteilen des erlegten Tieres und die kontaminierten Teile gelangen in die Lebensmittelkette.

1.5. Grundlagen

1.5.1. Blei im Allgemeinen

Blei (Pb) ist ein weiches, silbrig graues Schwermetall und gehört zu den chemischen Elementen der 6 Periode und der IV Hauptgruppe im Periodensystem. Blei ist ein weiches, unedles Metall welches sich bei feinsten Verteilung in der Luft schon bei normalen Temperaturen entzündet. Blei ist aber nach Aussage einiger Versuche unlöslich in Wasser, vielen Säuren und organischen Lösungsmitteln. Jedoch ist es löslich in heißen Laugen, Essigsäure, heißer konzentrierter Schwefelsäure und in konzentrierter Salpetersäure. Es kommt mit 0,0018 % in der Erdkruste, im Gegensatz zu anderen Schwermetallen, wie etwa Gold oder Quecksilber, relativ häufig vor. Hier liegt es aber meist in zweiwertiger Form wie Bleiglanz (PbS) vor. Für die Gewinnung von Blei gibt es verschiedene Methoden, die heute bedeutendste ist jedoch das Recyceln alter Bleiprodukte (Lebensmitteltechnisches Institut. <https://www.bdsi.de/verband/organisation/lci-lebensmittelchemisches-institut/> (Zugriff am 02.09.2020)).

1.5.2. Blei im menschlichen Körper

Blei besitzt keine physiologische Bedeutung für den menschlichen Organismus. Es ähnelt in seinem chemischen Aufbau sehr dem Kalzium, was dazu führt, dass Kalzium abhängige Regulations- und Stoffwechselprozesse verstärkt werden. Der Magendarmtrakt eines Erwachsenen nimmt bis zu 10 % der oral aufgenommenen anorganischen Bleiverbindungen auf, der von Kindern hingegen kann bis zu 50 % aufnehmen. Ein Eisen-, Kalzium-, Zink- oder Phosphatmangel führt zu einer noch höheren Aufnahme. Der größte Bleispeicher ist das Skelett gefolgt von Erythrozyten, Leber und Nieren. Blei Ionen können die Blut-Hirn-Schranke überwinden und in die Muttermilch gelangen. Sie sind auch plazentagängig und können so schon früh auf den Fötus übergehen. Die Halbwertszeit von Blei im Blut beträgt ca. 20–30 Tage und im Knochen bis zu vielen Jahren. Da der Aufnahmeprozess von Blei auch stark vom Kalziumstatus abhängt, kommt es bei Kalziummangel z.B. in der Schwangerschaft, in der Stillzeit oder bei auch bei Osteoporose zur vermehrten Bleimobilisation aus dem Knochen. Dabei kommt es zu einem erhöhten Blutwert, welcher wiederum den Fötus oder den Säugling über die Nabelschnur bzw. Muttermilch erreicht. Bei chronischer Einwirkung übt Blei bereits schon bei geringen Dosen eine schädigende Wirkung auf das Nerven- und blutbildendes System, sowie auf die Nieren aus. Das Nervensystem von Kindern ist dabei besonders empfindlich. Schon eine chronische Belastung im Niedrigdosisbereich kann zu einer Intelligenzbeeinträchtigung um einige IQ-Punkte führen.

(Lebensmitteltechnisches Institut. <https://www.bdsi.de/verband/organisation/lci-lebensmittelchemisches-institut/> (Zugriff am 02.09.2020))

1.5.3. Blei in Wildfleisch

Da es in der EU und damit in Österreich keinen Grenzwert für Bleigehalte in Wildfleisch gibt, wurde ein Aktionswert von 0,25 mg/kg festgelegt. Solche Aktionswerte gibt es für verschiedenste Lebensmittel, für die kein Grenzwert festgelegt wurde. Ein Aktionswert soll nur die Notwendigkeit einer Untersuchung aufzeigen. Es sollte aber ein Einschreiten nur Anhand einer gesicherten Risikobewertung für den jeweiligen Einzelfall erfolgen und nicht nur alleinig aufgrund der Überschreitung des Aktionswertes. Sie sollen lediglich den Lebensmittelunternehmer dazu dienen, hier eine Kontaminationsquelle zu ermitteln und weitere Schritte zur Risikominimierung oder zur Mängelbehebung, gegebenenfalls in Zusammenarbeit mit der zuständigen Behörde, einzuleiten (Bundesministerium. <https://www.verbrauchergesundheit.gv.at/> (Zugriff am 11.09.2020)).

Wildfleisch gehört zu den am höchst belasteten Lebensmitteln bedingt durch den Einsatz bleihaltiger Geschosse. Das Problem ist, dass sich bei vielen dieser Geschosse der Bleikern beim Auftreffen auf einen Widerstand komplett zerlegt und sich oft in feine Splitter bis hin zur feinen Bleiwolke auflöst, die sich kaum noch mittels Röntgen genau darstellen lassen. (Bundesinstitut für Risikobewertung. <https://www.bfr.bund.de/cm/343/bleibelastung-von-wildbret-durch-verwendung-von-bleimunition-bei-der-jagd.pdf> (Zugriff am 11.09.2020); Gremse et al. 2014).

Unerwünschte Stoffe in Lebensmitteln werden gemeinhin als „chemische Gefahr“ bezeichnet, deren Eintrag in die Nahrung ggf. kontrolliert oder begrenzt werden muss. Gegenstände in der Größe von 6–10 mm ohne Spitzen und scharfen Kanten bewirken nur selten eine akute Gesundheitsgefährdung (Goldman 2002; Olsen 1998). Bleikugeln bzw. Schrote können zwar am Gebiss Schäden hervorrufen, aber üblicherweise keine gastrointestinalen Probleme, wie etwa Perforation oder Obstruktion (Hunter und Taljanovich 2003).

Es ist dabei festzuhalten, dass kleinere Fremdkörper zwar als physikalische Gefahr weniger relevant sind, jedoch als Vehikel für eine chemische Gefahr aber bedeutender sein können als große Fremdkörper.

Bleihaltige Büchsen- und Wechselladungsgeschosse hinterlassen auch bei Weichteiltreffern immer Splitter im erlegten Tier. Auch bei der Verwendung von bleihaltigen Deformationsgeschossen werden sowohl der Aufbruch als auch das Wildbret mit Geschossmaterial kontaminiert; das Ausmaß hängt u. a. von Trefferlage des Schusses, der Schussdistanz, der Treibladungsstärke, dem Kaliber und Geschosskonstruktion und -typ ab. Die Fragmente, deren Durchmesser teilweise deutlich unter einem Millimeter liegen, befinden sich entlang des gesamten Schusskanals und werden als „Bleischneesturm“ beschrieben (Dobrowolska und Melosik 2008). Dieser Bleistaub ist auch in handelsüblich verarbeiteten Wildprodukten wiederauffindbar (Hecht 2000; Knott et al. 2009; Sager 2005a,b).

1.5.4. Kupfer im Allgemeinen

1.5.5. Kupfer im menschlichem Körper

Kupfer ist ein Spurenelement, wobei ein zu hoher Kupfergehalt schädlich für den Körper ist. Eine Kupferspeicherkrankheit ist unter dem Namen Morbus Wilson bekannt. Bei der seltenen Krankheit ist der Kupferstoffwechsel gestört. In der Leber kann das Kupfer nicht mehr aus den Zellen transportiert und mit der Galle ausgeschieden werden. Dadurch lagert sich das Kupfer in verschiedenen Organsystemen ab und verursacht dort seine toxische Wirkung (Dunkelberg et al. 2007). Eine Kupfervergiftung durch Aufnahme von kontaminierten Lebensmitteln kommt nur sehr selten vor. Laut WHO-Empfehlung liegt der tägliche Bedarf an Kupfer beim Menschen bei 0,6 bis 1,6 mg. Da nur ca. 30 % des Kupfers vom Körper auch resorbiert werden liegt die empfohlene Zufuhr höher bei ca. 2 bis 5 mg pro Person und Tag.

1.5.6. Kupfer in Wildfleisch

Bei der Verwendung von Deformationskupfergeschossen konnten weder bei Weichteil- noch bei Knochentreffern Fragmente im Tierkörper oder Aufbruch gefunden werden. Teilerlegergeschosse aus Kupfer oder Messing zeigten ein Splitterverhalten, das sich vor allem durch eine geringere Anzahl größerer Fragmente deutlich von dem Muster konventioneller bleihaltiger Geschosse unterschied. Diese mit freiem Auge erkennbaren groben Splitter, besitzen eine kleinere Oberfläche (an der mögliche toxische Reaktionen ablaufen könnten) als fein staubende Bleigeschosse. Durch den geringeren Masseverlust erfolgt die Energieabgabe über einen längeren Weg konstanter und ermöglicht einen sicheren Ausschuss (Gremse und Rieger 2008). Fragmente unterliegen dabei geringeren Schwankungen als jene von bleihaltigen Büchsen geschossen. In einer Studie zu Vollkupfergeschossen wurden bei 34 mit Barnes TSX Vollkupfergeschossen erlegten Schalenwildstücken nur in einem Tierkörper Splitter nachgewiesen, bei mit Aero Vollkupfergeschossen in allen der 12 Tierkörper bis zu 24 Fragmente mit max. 5x7x2 mm Größe gefunden (Irschik et al. 2013). Splitter im Millimeterbereich gehen bei reinen Kupfer Teilerlegungsgeschossen wie dem IBEX Viper ab, stellen aber abgesehen vom kleinen Fremdkörper der sich vielleicht einmal in einem Muskelteil befinden könnte, kein bedeutendes gesundheitliches Risiko dar. Geschossfragmente sind in diesem Fall als Fremdkörper zu werten und zählen in der Lebensmittelindustrie als "physikalische Gefahr". Diese physikalische Gefahr ist aber auf eine geringe Anzahl pro Charge aufgeteilt, denn so ein Splitter kommt nicht generalisiert, sondern nur vereinzelt vor. Solche Geschossteile können schlimmstenfalls im Gebiss und im Verdauungstrakt Schäden hervorrufen, wobei dies stark von der Größe, Form, Anzahl und Härte der jeweiligen Splitter abhängt.

2. Material und Methoden

2.1. Proben und deren Entnahme

Zur Untersuchung gelangte schusswundennahes Muskelgewebe, das von erlegten Wildwiederkäuern stammte. Die Wildproben mit Angaben zum Geschoss, Kaliber, geschätzter Schussentfernung und zur Wildart wurden von Herrn Paulsen und mir über einen Zeitraum von 2 Jahren gesammelt. Soweit möglich wurde nach dem Abhängen in der Kühlkammer der Ein- und Ausschuss als Probe entnommen. Teilweise erfolgte dies als Heraustrennung beider Brustwände, der ganzen Schulterpartie oder nur als Umschneidung des Ein- und Ausschusses in einem 5 cm Radius. Diese Proben wurden dann beschriftet und vakuumverpackt. Als alle Proben gesammelt waren ging es an das Aufbereiten der Proben. Ich überlegte mir die Proben in A, B und C Probe zu unterteilen. Probe A war der Schusskanal direkt, Probe B das Gewebe in einer Entfernung von 1 cm vom Schusskanal und Probe C waren meist mehrere kleine Probestückchen in der Umgebung von 3–5 cm. Ich verwendete für jede Probe ein frisch gewaschenes Schneidbrett und ein frisches Messer, um keine Kontaminationen zu verursachen. Zuerst wurde Probe C herausgeschnitten, dann B und zum Schluss Probe A.

Das Probenmaterial wurde zuerst mittels eines Schneidmischgerätes (Moulinette) bis zur breiigen Konsistenz zerkleinert und nach neuerlichem Durchmischen wurde 1 g Probe entnommen.

Zur Vorbereitung der Bestimmung der Elemente Blei und Kupfer wurde die Probe unter einem Abzug nass verascht. Dazu wurde 1 g homogenisierte Probe mit 4 ml konzentrierter Salpetersäure (65 %, p.a., Merck, D) in einen Teflonbecher verbracht, der auf eine auf 180 °C eingestellte Heizplatte gestellt wurde. Die sich entwickelnden nitrosen Gase wurden vom Abzug abgesaugt und als Oxidationsmittel wurde Wasserstoffperoxid 30 % (Roth, Karlsruhe, D) in 0,5 ml Portionen zugesetzt, bis keine nitrosen Gase mehr gebildet wurden und die Flüssigkeit klar und farblos bis schwach zitronengelb war. Nach Abkühlen wurde die Flüssigkeit in einen 10 ml Messkolben überführt. Die Teflonbecher wurden 2x mit entmineralisiertem Wasser nachgewaschen und das Wasser in den Messkolben gefüllt. Danach wurde mit entmineralisiertem Wasser bis zur Marke aufgefüllt.

Bei einem Teil der Proben wurden auch größere Mengen (bis zu 13,42 g) nass verascht, um eine Information über die Repräsentativität der 1 g-Teilproben zu erhalten. Dabei wurden Salpetersäure und Wasserstoffperoxid so zugesetzt, dass die Mineralisierung vollständig erfolgte, das Volumen aber möglichst gering blieb. Die Digeste wurden dann auf 10, 25 oder 50 ml aufgefüllt. Die verwendeten Gefäße wurden vor und nach Gebrauch mit verdünnter Salpetersäure (13 %) gewaschen.

Die Bestimmung der Elemente Blei und Kupfer erfolgte mittels AAS (Perkin Elmer AA300, ausgestattet mit Hohlkathodenlampen und Deutertium-Backgroundkompensation). Die Standardlösungen im Bereich von 0,5–3 mg/l wurden aus Stammlösungen mit 100 mg/l (Titrisol-Ampullen; Merck) hergestellt. Für die Messung von Blei wurden folgende Geräteeinstellungen verwendet: Acetylen 0,8 l/min; Pressluft 8,4 l/min., Wellenlänge 217 nm, Spalt 0,70. Für die Messung von Kupfer wurden folgende Geräteeinstellungen verwendet: Acetylen 1,0 l/min; Pressluft 8,8 l/min., Wellenlänge 324,8 nm, Spalt 0,70. Die Empfindlichkeit wurde durch Verwendung eines empfindlichen Zerstäubers mit Prallkugel und über die Höhenverstellung der Flamme optimiert. Die Nullstellung erfolgte mit entmineralisiertem Wasser, Reagenzienleerwerte wurden ebenfalls gemessen (Salpetersäure und Wasserstoffperoxid wurden in den Teflonbechern aufgeköcht und wie eine Probe weiter behandelt). Für die Kalibration wurden 3 Elementkonzentrationen gemessen und die Kalibrationskurve durch den Nullpunkt gelegt. Der Absorptions- bzw. Konzentrationswert wurde vom Gerät als Mittelwert von drei (Blei) oder 2 (Kupfer) aufeinanderfolgenden Messungen errechnet. Bei Messwerten oberhalb des Bereiches der Kalibrationskurve wurde die Probe verdünnt und neu gemessen. Die Bestimmungsgrenze betrug für Blei 2 mg/kg, jene für Kupfer 0,5 mg/kg.

2.2. Angaben zu den Proben

Die Proben stammten von 32 Tieren, davon waren 29 Rehe, 2 Stück Rotwild und 1 Stück Muffelwild. 21 Tiere waren mit bleifreien Geschossen erlegt worden, und 11 Tiere mit Geschossen mit Bleianteil. Tab. 1 gibt eine Übersicht zu den Proben je Tier. Bei 8 Tieren waren schusswundennahes und -entferntes Gewebe der Ein- und Ausschusswunde vorhanden, bei den anderen Tieren war Gewebe entweder vom Ein- oder vom Ausschuss vorhanden oder es war nicht angegeben, ob es sich um Ein- oder Ausschuss handelte.

Tabelle 1: Übersicht zu den Proben (Muskelgewebe je Tier

Geschossart	Nr.	Kal	Tierart	Entfernung (m)	Einschuss*	Ausschuss*	Nicht definiert
Bleifrei							
EVO Green	38	308 WIN	Reh	250	A, B, C	A,B,C	
IBEX	19	270 WSM	Rotwild	230	A, B, C	A,B,C	
	20	270 WSM	Reh	60		A,B	
	36	270WSM	Reh	25	A,B		
XLC	1	308 WIN	Reh	70			A,B,C
	3	308 WIN	Reh	70			A,B,C
	5	308 WIN	Reh	70			A,B,C
	6	308 WIN	Reh	60			A,B,C
	7	308 WIN	Reh	70			A,B,C
	8	308 WIN	Reh	60			A,B,C
	9	308 WIN	Reh	35			A,B,C
	10	308 WIN	Reh	70			A,B,C
	11	308 WIN	Reh	40	A,B,C	D	
	12	308 WIN	Reh	50	A, B, C	A,B,C	
	13	308 WIN	Reh	30	A, B, C	A,B,C	
	14	308 WIN	Reh	20			A,B
	15	308 WIN	Reh	50			A,B,C
	16	308 WIN	Reh	50			A,B,C
	17	308 WIN	Reh	50			A,B
	40	308 WIN	Reh	40			A,B
	22	308 WIN	Reh	50			A,B,C
Mit Blei							
RWS Cu-Hsp	2	7x64	Reh	45			A,B
	41	7x64	Reh	50			A,B
	23	7x64	Reh	30			A,C
	24	7x64	Reh	60			A,B,C
	25	7x64	Reh	45			A,B,C
	26	7x64	Reh	30			A,B,C
	28	7x64	Reh	70			A,B,C
	33	7x64	Reh	110	A,B,C	A,B,C	
KS	35	7x57 R	Rotwild	220	A,B,C	A,B,C	
H-Mantel	37	308 WIN	Muffel	150	A,B,C	A,C	
	39	270 WIN	Reh	110	A,B,C	A,B,C	

*A .. Wundrand; B .. 1 cm Entfernung vom Wundrand; C .. 3–5 cm Entfernung vom Wundrand; D .. >5 cm vom Wundrand

2.3. Übersicht zu den Bleigehalten

2.3.1. Bleigehalte der Proben mit 1 g Einwaage

Bei der Darstellung aller Messwerte ergab sich für Proben von mit „bleifreien“ Geschossen erlegtem Wild ein Medianwert unter der Nachweisgrenze, und nur 1 von 96 Proben wies Bleigehalte über der Bestimmungsgrenze auf. Bei den Proben von mit bleihaltigen Geschossen erlegtem Wild betrug der Medianwert 26,41 mg/kg und 39/60 (65 %) der Proben wiesen Bleigehalte über der Bestimmungsgrenze auf (Tab. 2).

Tabelle 2: Übersicht zu den Bleigehalten der Muskelproben (mg/kg Frischmasse); Untersuchung von 1 g homogenisierter Probe, unterschiedliche Entfernungen der Proben vom Schusswundenrand

Geschossezusammensetzung	Ohne Blei	Mit Blei
p25	<2	<2
Median	<2	26,4
p75	<2	246,0
p95	<2	4116,8
Maximum	5,2	7638,0

p25 .. 1. Quartil; p75 .. 3. Quartil; p95 .. 95. Perzentil

2.3.2. Bleigehalte der Proben mit Mehrfacheinwaagen oder Einwaagen >1 g

Bei 7 Proben (Nr. 21, 24, 25, 33, 35, 37, 39) wurden nicht nur 1 g Portionen aus den Homogenisaten untersucht, sondern auch das restliche Muskelgewebe in einem weiteren Ansatz (bis zu 13,42 g) untersucht. Es handelte sich dabei um bleihaltige Geschosse. Dabei wurden Salpetersäure und Wasserstoffperoxid so zugesetzt, dass die Mineralisierung vollständig erfolgte, das Volumen aber möglichst gering blieb. Die Digeste wurden dann auf 10, 25 oder 50 ml aufgefüllt. Aus Tabelle 3 ist zu entnehmen, dass in einigen Fällen bei der Verdauung größerer Teilmengen größere oder auch deutlich niedrigere Bleigehalte nachgewiesen wurden, was entweder auf eine unzureichende Probenhomogenisierung oder auf das Vorkommen von Metallsplittern hinweist und bei der Interpretation der Werte berücksichtigt werden muss.

Tabelle 3: Bleigehalte der Muskelproben (mg/kg Frischmasse); Untersuchung von mehreren 1 g Homogenisaten oder größeren homogenisierten Probenanteilen

Nr.	Art	mg/kg	Einwaage (g)
21 Bauch L	A	151,4	1,0
		26,2	13,29
	B	5,5	1,0
		60,4	9,53
21 Bauch R	B	80,1	1,0
		215,1	10,46
24	A	1220	1,0
		1462,4	2,59
	B	3060	1,0
		1185	3,32
25	B	17,8	1,0
		38,4	1,0
		272,9	14,4
33	Einschuss, A	6,3	1,0
		10,1	5,23
	Einschuss, B	192,9	1,0
		5,2	8,68
35	Einschuss, B	<2	1,0
		3,0	4,29
	Einschuss, C	<2	1,0
		<2	3,69
	Ausschuss, A	45,6	1,0
		400,8	1,0
		354,0	7,79
	Ausschuss, B	2,7	1,0
		4492,0	1,0
37	Einschuss, A	405,3	1,0
		400,5	1,0
	Ausschuss, C	<2	1,0
		23,9	1,0
39	Ausschuss, A	6009	1,0
		158,0	13,42
	Ausschuss, C	7638	1,0
		496,6	5,21
		857,7	6,62

*A .. Wundrand; B .. 1 cm Entfernung vom Wundrand; C .. 3–5 cm Entfernung vom Wundrand

2.3.3. Vergleich der Bleigehalte von Ein- und Ausschuss bzw. von verschiedenen Entfernungen vom Schussrand

Bei der Darstellung aller Messwerte für Proben von mit bleihaltigen Geschossen erlegtem Wild zeigte sich eine Verringerung der durchschnittlichen Bleigehalte (Medianwerte) mit zunehmender Entfernung von der Schusswunde (Tab. 4). Dies ist auch noch bei den Werten für das 95. Perzentil abzulesen, bei den Höchstwerten jedoch nicht. Das bedeutet, dass auch in 3–5 cm Entfernung von der Schusswunde vereinzelt hohe Bleigehalte auftreten können, am wahrscheinlichsten durch kleine Splitter (bis hin zu Mikropartikeln, Gremse et al. 2014). Für „bleifreie“ Geschosse wurde keine Tabelle erstellt, da nur ein Wert über der Bestimmungsgrenze lag.

Tabelle 4: Bleigehalte der Muskelproben (mg/kg Frischmasse) unmittelbar an der Schusswunde („A“) oder in 1 („B“) bzw. 3–5 cm Entfernung („C“); Untersuchung von 1 g Homogenisaten von mit bleihaltigen Geschossen erlegtem Wild

	A	B	C
p25	95,8	4,3	<2
Median	233,7	42,1	<2
p75	852,3	213,2	<2
p95	3987,3	3254,4	404,6
max	6009,0	4492,0	7638,0

*A .. Wundrand; B .. 1 cm Entfernung vom Wundrand; C .. 3–5 cm Entfernung vom Wundrand; p25 .. 1. Quartil; p75 .. 3. Quartil; p95 .. 95. Perzentil

2.4. Übersicht zu den Kupfergehalten

2.4.1. Kupfergehalte der Proben mit 1 g Einwaage

Bei der Darstellung aller Messwerte ergaben sich für Proben von mit „bleifreien“ und bleihaltigen Geschossen erlegtem Wild vergleichbare Werte für das erste und dritte Quartil sowie für den Medianwert. Die höchsten Kupfergehalte wurden in Proben mit Geschossen mit Bleianteil ermittelt (Tab. 5), was durch die Verformung/Splitterung der Geschossmäntel erklärt werden kann (Gremse et al., 2014).

Tabelle 5: Übersicht zu den Kupfergehalten der Muskelproben (mg/kg Frischmasse); Untersuchung von 1 g homogenisierter Probe

Geschossezusammensetzung	Ohne Blei	Mit Blei
p25	1,2	1,2
Median	1,5	1,6
p75	2,2	2,3
p95	5,6	17,3
Maximum	10,1	4730,0

p25 .. 1. Quartil; p75 .. 3. Quartil; p95 .. 95. Perzentil

2.4.2. Kupfergehalte der Proben mit Mehrfacheinwaagen oder Einwaagen >1 g

Bei 7 Proben (Nr. 21, 24, 25, 33, 35, 37, 39) wurden nicht nur 1g Portionen aus den Homogenisaten untersucht, sondern auch das restliche Muskelwebe in einem weiteren Ansatz (bis zu 13,42 g) untersucht. Dabei wurden Salpetersäure und Wasserstoffperoxid so zugesetzt, dass die Mineralisierung vollständig erfolgte, das Volumen aber möglichst gering blieb. Die Digeste wurden dann auf 10, 25 oder 50 ml aufgefüllt. Aus Tabelle 6 ist zu entnehmen, dass in einigen Fällen bei der Verdauung größerer Teilmengen höhere oder auch deutlich niedrigere Kupfergehalte nachgewiesen wurden, was entweder auf eine unzureichende Probenhomogenisierung oder auf das Vorkommen von Metallsplintern hinweist (Gremse et al., 2014) und bei der Interpretation der Werte berücksichtigt werden muss.

Tabelle 6: Kupfergehalte der Muskelproben (mg/kg Frischmasse); Untersuchung von mehreren 1 g Homogenisaten oder größeren homogenisierten Probenanteilen

Nr.	Art	mg/kg	Einwaage (g)
21 Bauch L	A	5,1	1,0
		0,5	13,29
	B	1,44	1,0
		1,0	9,53
21 Bauch R	B	2,2	1,0
		2,3	10,46
24	A	2,8	1,0
		4,1	2,59
	B	6,0	1,0
		2,0	3,32
25	B	1,4	1,0
		1,5	1,0
		0,7	14,4
33	Einschuss, A	3,0	1,0
		2,7	5,23
	Einschuss, B	3,2	1,0
		2,9	8,68
35	Einschuss, B	1,1	1,0
		1,2	4,29
	Einschuss, C	1,4	1,0
		1,7	3,69
	Ausschuss, A	5,0	1,0
		16,4	7,79
	Ausschuss, B	1,7	1,0
37	Einschuss, A	4530,0	1,0
		1,4	1,0
	Ausschuss, C	2,0	1,0
		1,0	1,0
		1,8	1,0
39	Ausschuss, A	4,4	1,0
		8,8	13,42
	Ausschuss, C	1,8	1,0
		2,8	5,21
		4,1	6,62

*A .. Wundrand; B .. 1 cm Entfernung vom Wundrand; C .. 3–5 cm Entfernung vom Wundrand;

2.4.3. Vergleich der Kupfergehalte von Ein- und Ausschuss bzw. von verschiedenen Entfernungen vom Schussrand

Bei der Darstellung aller Messwerte für Proben von mit „bleifreien“ Geschossen erlegtem Wild zeigte sich eine Verringerung der durchschnittlichen Kupfergehalte (Medianwerte) mit zunehmender Entfernung von der Schusswunde (Tab. 7).

Tabelle 7: Kupfergehalte der Muskelproben (mg/kg Frischmasse) unmittelbar an der Schusswunde („A“) oder in 1 („B“) bzw. 3–5 cm Entfernung („C“); Untersuchung von 1 g Homogenisaten von mit „bleifreien“ Geschossen erlegtem Wild

	A	B	C
p25	1,3	1,2	1,1
Median	2,0	1,5	1,3
p75	3,6	1,8	1,6
p95	7,3	3,5	2,1
max	10,1	3,9	4,9

*A .. Wundrand; B .. 1 cm Entfernung vom Wundrand; C .. 3–5 cm Entfernung vom Wundrand; p25 .. 1. Quartil; p75 .. 3. Quartil; p95 .. 95. Perzentil

Bei der Darstellung aller Messwerte für Proben von mit bleihaltigen Geschossen erlegtem Wild zeigte sich eine Verringerung der durchschnittlichen Kupfergehalte (Medianwerte) mit zunehmender Entfernung von der Schusswunde (Tab. 8). Dies ist auch noch bei den Werten für das 75. Perzentil abzulesen. Der Höchstwert wird aber nicht direkt an der Schusswunde, sondern im 1 cm entfernten Gewebe gemessen.

Tabelle 8: Kupfergehalte der Muskelproben (mg/kg Frischmasse) unmittelbar an der Schusswunde („A“) oder in 1 („B“) bzw. 3–5 cm Entfernung („C“); Untersuchung von 1 g Homogenisaten von mit bleihaltigen Geschossen erlegtem Wild

	A	B	C
p25	1,7	1,2	1,3
Median	2,8	1,4	1,5
p75	4,4	2,2	1,8
p95	19,5	743,1	2,1
max	781,2	4730,0	2,7

*A .. Wundrand; B .. 1 cm Entfernung vom Wundrand; C .. 3–5 cm Entfernung vom Wundrand; p25 .. 1. Quartil; p75 .. 3. Quartil; p95 .. 95. Perzentil

3. Diskussion

3.1. Probenmaterial

Bei Auftreffen der Geschosse auf den Tierkörper und beim Ein- bzw. Durchtritt erfolgt eine Verformung der Geschosse. Die erfolgende Querschnittsvergrößerung bewirkt eine rasche Abgabe der kinetischen Energie des Geschosses (durch Verformung und Abbremsung). Ob bei Verformung oder eine Splitterbildung im Vordergrund steht, ist neben den Geschossmaterialien und der Bauweise und dem Gewebswiderstand auch von der Auftreffgeschwindigkeit des Geschosses (und im Kombination mit der Geschossmasse damit auch von der Auftreffenergie) abhängig (Gremse et al. 2014). Die Splitterbildung, Größe und Anzahl der Splitter und die Eindringtiefe nicht nur in axialer, sondern in radialer Richtung sind daher von vielen Faktoren abhängig und zwar beschreibbar und über Simulationen modellierbar aber formelmäßig nicht erfassbar (Felsman et al. 2016).

Bei den in dieser Diplomarbeit untersuchten Proben sollten die Blei- und Kupferablagerungen in den schusswundennahen Geweben von Wild, das mit bleihaltigen oder bleifreien Büchsen geschossen erlegt worden war, verglichen werden. Wegen Unterschieden in den Schussentfernungen und den Geschossgewichten (und damit in der Auftreffenergie) sowie z.T. unvollständige Probensätze (es konnten nicht von jedem Wildstück sowohl Ein- als auch Ausschussproben unmittelbar am Wundrand und in 1 und in 3–5 cm Entfernung erhalten werden; s. Tab. 1) wurde eine rein deskriptive Datenbeschreibung vorgenommen und es wurden keine statistischen Prüfverfahren angewendet. Ebenso sind die hier erhaltenen Metallgehalte immer im Zusammenhang mit den Begleitdaten zu sehen, und können wegen der ungleichmäßigen Verteilung der Metallgehalte nicht auf größere Gewebsabschnitte oder das gesamte Fleisch bezogen werden.

3.2. Metallgehalte in Abhängigkeit von der Geschossezusammensetzung

Während bei den „bleifreien“ Geschossen nur bei einer Probe ein bestimmbarer Bleigehalt nachgewiesen wurde, waren bei den bleihaltigen Geschossen bei 39/60 (65 %) die Bleigehalte über der Bestimmungsgrenze (Tab. 2). Dieses Ergebnis stimmt mit zahlreichen Literaturangaben überein, wenn auch die Bestimmungsgrenze in dieser Diplomarbeit höher war als in Studien, in denen empfindlichere Geräte (z.B ICP-OES, ICP-MS) verwendet werden konnten (Sager 2005a). Auch aus den Herstellerangaben zur Geschossezusammensetzung bzw. unabhängig davon durchgeführten Analysen (Paulsen et al., 2015a) ergibt sich, dass die meisten „bleifreien“ Geschosse tatsächlich kein Blei enthalten. Bleizusätze sind am Ehesten bei gedrehten Geschossen zu erwarten, da sonst

das Material zu spröde für eine spanabhebende Bearbeitung wird (Tomaschek 2017). Bei der Bewertung der Kupfergehalte ist der natürliche Cu-Gehalt im Fleisch zu berücksichtigen, der ca. 1–2,5 mg/kg beträgt (Sager 2005a,b). Bemerkenswerterweise waren die Cu-Höchstgehalte in den Proben von mit bleihaltigen Geschossen erlegtem Wild höher als in den Proben von mit „bleifrei“ erlegtem Wild. Da die verwendeten bleihaltigen Geschosse aber Mäntel aus Tombak bzw. Kupfer aufwiesen, sind die höheren Kupfergehalte eben durch Splitter des Mantels erklärbar.

3.3. Metallgehalte in Abhängigkeit von der Entfernung vom Schusswundenrand

Mit zunehmender Entfernung von dem Schusswundenrand waren die Medianwerte der Blei- und Kupfergehalte niedriger (Tab. 4, 7, 8), was der Erwartung entspricht, dass die Metallablagerungen in der Nähe des Wundkanals größer sind als in einiger Entfernung. Dies wurde auch in anderen Studien berichtet. Da der Wundrand auf Grund der Gewebeerstörung ohnehin nicht als Lebensmittel verwendet werden kann, ist die Entfernung der Wundumgebung eine risikominimierende Maßnahme für den Geschossmetalleintrag in die Lebensmittelkette. Das schließt nicht aus, dass auch in größerer Entfernung vom Wundrand noch vereinzelt hohe Bleigehalte bestehen können (z.B. in 3–5 cm Entfernung 7638 mg/kg). Dies deckt sich mit der vorhandenen Literatur (Menozzi et al. 2019). Zu beachten ist aber, dass diese Gewebsabschnitte nicht als Futter für andere Wildtiere verwendet werden sollten, um eine Akkumulation insbesondere von Blei in Wildtieren zu vermeiden (DeFrancisco et al. 2003; Pain et al. 2006, 2009).

3.4. Metallgehalte in Mehrfachbestimmungen mit unterschiedlichen Einwaagen

Bei sieben Proben konnten mehrere Einwaagen mit Massen bis über 10 g untersucht werden. Die Überlegung war, dass bei einer gleichförmigen Kontamination und entsprechender Homogenisierung auch bei unterschiedlich großen Einwaagen (bis zu 1:10) auf ähnlich hohe Metallgehalte sich ergeben sollten. Aus Tab. 3 ist zu entnehmen, dass dies nicht der Fall war, sondern höhere Einwaagen z.T. höhere Metallgehalte, z.T. niedrige Gehalte als die 1 g-Einwaagen aufwiesen. Das ist eben durch die inhomogene, partikuläre Kontamination (Splitter- bzw. Mikropartikelbildung) zu erklären (Gremse et al. 2014). Bei den Kupfergehalten waren ebenfalls deutliche Unterschiede zu finden. Es ist aber anzumerken, dass die sieben Proben von mit bleihaltigen Geschossen erlegtem Wild stammten, und damit auch der Geschossmantel aus Tombak bzw. Kupfer entsprechend fragmentierte. Die festgestellte inhomogene Kontamination hat auch für die lebensmittelhygienische Beurteilung Bedeutung. Grundsätzlich können aber auch „bleifreie“ Geschosse Splitter bilden (Gremse et al. 2014; Paulsen et al. 2015b) und so lokal erhöhte Metallgehalte im Fleisch verursachen.

3.5. Lebensmittelrechtliche Bewertung

Bei der Untersuchung von Wildfleischproben auf Blei gilt in Österreich ein Aktionswert von 0,25 mg/kg (Bundesministerium für Gesundheit 2015). Es werden dabei mehrere Einzelbestimmungen aus einer homogenisierten Probe vorgenommen und der Median gebildet. Bei starker Streuung der Einzelwerte ist von einer inhomogenen Verteilung des Bleis im Gewebe auszugehen und die verzehrmengenbasierte Risikobewertung (MoE; BfR 2011) ist problematisch. Es kann aber argumentiert werden, dass bei Überschreitung der Aktionswerte eine Kontamination vorliegt und dass davon auszugehen ist, dass der Lebensmittelunternehmer das Lebensmittel nicht vor Kontamination geschützt bzw. diese nicht unter Kontrolle gehabt hat (VO EG Nr. 178/2002). Dieser Kontaminationsverdacht kann die Bewertung des Lebensmittels als „nicht sicher“ im Sinn von „nicht zum Verzehr geeignet“ auslösen. Es ist dabei auch statthaft, die Chargenvermutung nach Art der VO EG Nr. 178/2002 anzuwenden, weil hier ein „Kontrollverlust“ anzunehmen ist. Bei einer anzunehmenden Gesundheitsschädlichkeit auf Grund von MoE Werten bei 1 wäre hingegen die Chargenvermutung kaum argumentierbar (da ja eine inhomogene Bleiverteilung vorliegt). Für die in dieser Diplomarbeit erhobenen Daten ist zu bedenken, dass die Werte Gewebe unmittelbar an der Schusswunde betreffen, das auf Grund von Blutungen und Zerreißungen ohnehin nicht als Lebensmittel verwendbar wäre. Es ist auch die Bestimmungsgrenze von 2 mg/kg wesentlich höher als der Aktionswert von 0,25 mg/kg.

Bei bleihaltigen Geschossen waren in 1 cm Entfernung vom Wundrand 75 % der Proben aber über 4,3 mg/kg, und 50 % der Proben über 42,1 mg/kg, in 3–5 cm Entfernung waren über nur mehr 5% der Proben über der Bestimmungsgrenze von 2 mg/kg (Tab. 4). Bei der Untersuchung von höheren Probeneinwaagen ergaben sich allerdings z.T. erheblich höhere Bleigehalte nicht nur an der Schusswunde, sondern auch in 1 oder 3–5 cm Entfernung (Tab. 3). Das Wegschneiden des Schusswundenrandes zur Verringerung des Bleieintrages in die Wildfleischproduktion (Ankarberg und Bjerselius 2013) ist damit zwar eine risikoverringende Maßnahme, aber kann eine vollständige Eliminierung von bleikontaminiertem Gewebe nicht garantieren.

Bei den bleifreien Geschossen war nur in einer Probe ein bestimmbarer Bleigehalt (d.h. ≥ 2 mg/kg) nachweisbar, mit 5,2 mg/kg. Auf Grund der Geschossezusammensetzung war dieser eine Wert nicht zu erwarten, es könnte hier bei der Probenentnahme zu einer Kontamination gekommen sein. Aus den erhobenen Daten kann geschlossen werden, dass die Verwendung bleifreier Geschosse den Bleieintrag effektiver reduziert als das Ausschneiden der Schusswunden bei mit bleihaltigen Geschossen erlegtem Wild.

Für die Bewertung der Kupfergehalte existieren keine Vorgaben. Es kann hier der Vergleich mit den natürlichen Kupferhalten der Gewebe herangezogen werden oder eine verzehrmengenbasierte Kupferaufnahme errechnet werden (Irschik et al. 2013).

Die 25. Perzentile, die Medianwerte und 75. Perzentile der Kupfergehalte in mit „bleifreiem“ und mit bleihaltigen Geschossen erlegtem Wild unterschieden sich praktisch nicht (Tab. 5), und waren mit 1,5–1,6 mg/kg (Median) bzw. 2,2–2,3 mg/kg im erwarteten Bereich für Wildfleisch (Sager 2005a,b). Bei den Höchstwerten bzw. 95. Perzentilen ergaben sich höhere Kupfergehalte, was bei den bleihaltigen Geschossen durch ein Splittern des Kupfer- (bzw. Tombak-) Mantels erklärt werden kann (s.a. Tab. 8). Der Höchstwert von 10,1 mg/kg Cu für „bleifreie“ Geschosse (Tab. 7) liegt in dem von Irschik et al. (2013) angegebenen Bereich und betrifft den Wundrand. Bei dem Höchstwert von 4,9 mg/kg Cu wäre eine lebensmittelrechtliche Beanstandung wegen Kontamination denkbar. Es ist wenig wahrscheinlich, dass eine solche Einstufung erfolgt, da es sich nur um das Doppelte bis Dreifache des erwarteten Wertes handelt und Kupfer anders als Blei ein essentielles Element ist; der Verzehr von 250 g eines Lebensmittels mit 4,9 mg/kg Cu bedeutet eine Kupferaufnahme von 1,23 mg, was im Bereich der empfohlenen täglichen Kupferaufnahme (D-A-CH Referenzwerte 2012) und weit unter der von der EFSA angegebenen tolerierbaren Gesamtaufnahme von 5 mg pro Tag liegt (EFSA 2006).

Aus praktischer Sicht ergibt sich, dass in dem untersuchten Datensatz die Verwendung von „bleifreien“ Geschossen im Vergleich zu bleihaltigen Geschossen mit erheblich verringerten Bleigehalten vergesellschaftet war; hinsichtlich der Kupfergehalte ergaben sich für die „bleifreien“ Geschosse im Vergleich zu bleihaltigen Geschossen keine erhöhten Kupfergehalte.

4. Zusammenfassung und Summary

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden drei Annahmen zur geschosßbedingten Metallkontamination von Wildfleisch untersucht: (a) ob bei Wild, das mit bleihaltigen Geschossen erlegt wurde, ein Umschneiden des Wundrandes in 5 cm Entfernung zu einer wesentlichen Verringerung der Bleikontamination beitragen kann; (b) ob bei Wild, das mit "bleifreien Geschossen" erlegt wurde, die Bleigehalte am Wundrand signifikant niedriger sind als bei der Verwendung bleihaltiger Geschosse; (c) ob sich die Kupfergehalte bei Verwendung bleifreier und bleihaltiger Geschosse unterscheiden.

Es wurden Gewebe von insgesamt 32 Schalenwild-Tierkörpern untersucht, dabei stammten 21 Proben von Tieren, welche mit bleifreier Munition und 11 Proben von Tieren, welche mit bleihaltiger Munition erlegt worden waren. Die Probenanzahl ist zwar verhältnismäßig klein, die Proben stammten dafür aber aus der jagdlichen Praxis mit unterschiedlichen Schussdistanzen und Trefferlagen.

Bei bleifreien Geschossen war der nachgewiesene Bleigehalt bis auf eine Probe immer unter der Nachweisgrenze von 2 mg/kg Frischmasse. Das einzige Ergebnis über der Nachweisgrenze konnte nicht als geschosßbedingte Kontamination erklärt werden.

Der Medianwert bei mit bleihaltigen Geschossen erlegtem Wild lag in den direkt an der Schusswunde bei 233,7 mg/kg, in 1 cm bei 42,1 mg/kg und in 3–5 cm bei < 2 mg/kg. Aus diesen Werten lässt sich eindeutig ablesen, dass eine Entfernung des Ein- und Ausschusses in 5 cm Entfernung aus lebensmittelhygienischer Sicht im Durchschnitt zu einer maßgeblichen Reduktion der Bleigehalte führt. Es konnten aber auch in 3–5 cm Entfernung Bleigehalte von bis zu 7638 mg/kg gemessen werden. Die Verteilung ist aber mutmaßlich durch Bildung von Blei-Mikropartikeln inhomogen.

Bei den Kupfergehalten waren die Medianwerte für bleihaltige (1,6 mg/kg) und bleifreie Geschosse (1,5 mg/kg) praktisch gleich. Das war nicht unerwartet, da die bleihaltigen Geschosse Mäntel aus Kupferlegierungen aufweisen.

In dem untersuchten Probensatz zeigte sich die Verwendung bleifreier Geschosse als effektivere Maßnahme zur Verringerung der Bleikontamination als ein Umschneiden der Schusswunde mit 5 cm Radius um den Wundrand.

Summary

Concentrations of lead and copper around the wound channel of hunted wild ungulates

In the present study three assumptions on metal deposition by rifle bullets in hunted wild ungulates were studied: (a) Can the removal of tissue (5 cm) around the shot wound effectuate a reduction of lead contamination? (b) Are lead contents in tissues around the shot wound lower, when the animal has been hit by a „lead-free“ bullet compared to when it has been hit by a lead-containing bullet? (c) Do copper contents differ in tissues around the shot wound, when the animal has been hit by a „lead-free“ bullet compared to when it has been hit by a lead-containing bullet?

Samples were obtained from 32 carcasses. 21 carcasses were from wild ungulates hunted with „lead-free“ bullets, 11 with lead-containing bullets. The number of samples is low, but represent a variety of bullet-type and shooting distance scenarios.

In samples from „lead-free“ bullets, Pb content was <2 mg/kg fresh matter, with a single exception, which could not be explained by bullet composition.

The median value of Pb in tissues from wild ungulates hunted with lead-containing bullets was 233.7 mg/kg directly at the wound channel, in 1 cm it was 42.1 mg/kg and in 3–5 cm it was < 2 mg/kg. The removal of tissue up to 5 cm from the wound channel would thus reduce the Pb contamination. The maximum Pb content in tissues 3–5 cm from the shot wound was 7638 mg/kg, most probably due to inhomogeneously dispersed Pb microparticles.

Copper contents of tissues from lead-containing and „lead-free“ bullets were similar (1.6 vs. 1,5 mg/kg). This was not unexpected, since the jackets of the lead-containing bullets consist of copper alloys.

In the studied samples the use of „lead-free“ bullets proved to be a more effective measure to reduce Pb content in tissues of wild ungulates than the excision of the tissue adjacent to the shot wound in 5 cm radius.

5. Abkürzungsverzeichnis

AGES	Agentur für Ernährungssicherheit
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BC-WERT	Ballistischer Koeffizient
ICP-MS	Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma
ICP-OES	Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma
MoE	Margin of Exposure

6. Literaturverzeichnis

Ankarberg, E.H., Bjerselius, Ri. (2013): Lead in game in Sweden. Online verfügbar unter <http://www.bfr.bund.de/cm/343/lead-in-game-in-sweden.pdf>, zuletzt geprüft am 23.10.2020.

Bundesministerium für Gesundheit (2015): Aktionswerte. BMG-75210/0013-II/B/13/2015 vom 18.5.2015. Online verfügbar unter <https://www.wko.at/branchen/gewerbe-handwerk/lebensmittelgewerbe/aktionswerte-kontaminanten.pdf>, zuletzt geprüft am 20.07.2020.

D-A-CH. Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE), Österreichische Gesellschaft für Ernährung (ÖGE), Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung (SGE), Schweizerische Vereinigung für Ernährung (SVE). Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Verlag Umschau Braus, Frankfurt am Main, 1. Auflage, 4., korrigierter Nachdruck 2012.

DeFrancisco N, Ruiz Troya JD, Agüera EI (2003): Lead and lead toxicity in domestic and free living birds. *Avian Pathology* 32:3-13

Dobrowolska, A., Melosik, M. (2008): Bullet-derived lead in tissues of the wild boar (*Sus scrofa*) and red deer (*Cervus elaphus*). *Eur J Wildl Res* 54, 231–235.

DiMaio, V., 2015. Gunshot Wounds. Dritte Aufl. Florida: CRC Press.

Dunkelberg, H., Gebel, T., Hartwig, A. (2007): Handbuch der Lebensmitteltoxikologie – Belastungen, Wirkungen, Lebensmittelsicherheit, Hygiene. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, Weinheim

European Food Safety Authority (EFSA) (2006). Tolerable upper intake levels for vitamins and minerals. Internet:

http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/efsa_rep/blobserver_assets/ndatolerableuil.pdf, zuletzt geprüft am 23.10.2020

Felsman, M.Z., Szarek, J., Felsman, M., Gulda, D. (2016): Lead in game bird meat as a risk to public health: new aspects in the light of physical phenomena generated by a projectile. *J Elem* 21. doi:10.5601/jelem.2015.20.3.989

Goldman, D.P. (2002): The Physical Hazards of Foreign Materials. [http://www.fsis.usda.gov/OPPDE/rdad/FRPubs/02-](http://www.fsis.usda.gov/OPPDE/rdad/FRPubs/02-033N/ThePhysicalHazardsofForeignMaterials.pdf)

[033N/ThePhysicalHazardsofForeignMaterials.pdf](http://www.fsis.usda.gov/OPPDE/rdad/FRPubs/02-033N/ThePhysicalHazardsofForeignMaterials.pdf), zuletzt geprüft am 25.10.2020

Gremse, C., Rieger, S. (2008): Untersuchungen zur jagdpraktischen Eignung bleifreier Büchsenmunition unter mitteleuropäischen Jagdverhältnissen. In: KRONE O. (Hrsg.): Zusammenfassung der naturwissenschaftlichen Vorträge des Fachgesprächs vom 5. Mai 2008 im Henry-Ford-Bau der Freien Universität Berlin.

- Gremse, F., Krone, O., Thamm, M., Kiessling, F., Tolba, R.H., Rieger, S., et al. (2014): Performance of Lead-Free versus Lead-Based Hunting Ammunition in Ballistic Soap. PLoS ONE 9(7): e102015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102015>
- Hecht, H. (2000): Auswirkung der Geschoßwahl auf die Bleibelastung des Wildbrets. Tagung für die Jägerschaft, 15. und 16. Februar 2000, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irding, 19–22.
- Hunter, T.B., Taljanovic, M.S. (2003): Foreign Bodies. RadioGraphics 73(3), 731–757.
- Irschik, I., Bauer, F., Sager, M., Paulsen, P. (2013): Copper residues in meat from wild artiodactyls hunted with two types of rifle bullets manufactured from copper. Eur. J. Wildl. Res. 59, 129–136.
- Klups, N. (2013). Lexikon der Jagdgeschosse. Melsungen: J. Neumann-Neudamm Verlag
- Knott, J., Gilbert, J., Green, R.E., Hoccom, D.G. (2009): Comparison of the lethality of lead and copper bullets in deer control operations to reduce incidental lead poisoning; field trails in England and Scotland. Conservation Evidence 6, 71–78.
- Menozzi, A., Menotta, S., Fedrizzi, G., Lenti, A., Cantoni, A., Lecce, R., Gnudi, G., López, M., Bertini, S., (2019). Lead and copper in hunted wild boars and radiographic evaluation of bullet fragmentation between ammunitions. Food Additives & Contaminants: Part B. doi: 10.1080/19393210.2019. 1588389 (Zugriff 25.11.2020).
- Olsen, A.R. (1998): Regulatory action criteria for filth and other extraneous materials - I. Review of hard or sharp foreign objects as physical hazards in food. Regulatory Toxicology and Pharmacology 28, 181–189.
- Pain, I.J., Fisher, D.J., Thomas, V.G. (2006): A review of lead poisoning from ammunition sources in terrestrial birds. Biological Conservation 131:421-432
- Pain, I.J., Fisher, D.J., Thomas, V.G. (2009): The Peregrine Fund, DOI 10.0480/ilsa2009.0108
- Paulsen, P., Bauer, F., Sager, M., Schuhmann-Irschik, I. (2015a): Model studies for the release of metals from embedded rifle bullet fragments during simulated meat storage and food ingestion. Eur. J. Wildlife Res. 61, 629-633.
- Paulsen, P., Sager, M., Bauer, F., Schuhmann-Irschik, I. (2015b): Pilot study on metal contents in meat portions from wild game killed by "lead-free" rifle bullets. J. Food Safety Food Qual. 66, 128-131
- Sager, M. (2005a): Multielementbestimmung in Fleisch mittels ICP-OES, Ernährung/nutrition 29,151–156.

Sager, M. (2005b): Aktuelle Elementgehalte in Fleisch, Leber und Nieren aus Österreich. Ernährung/nutrition 29, 199–206.

Tomaschek, U. (2017): <https://www.ikz.de/detail/news/detail/kupfer-als-basis/> , zuletzt geprüft am 15.10.2020)

VO (EG) Nr. 178/2002. Zur Festlegung der allgemeinen Grundsätze und Anforderungen des Lebensmittelrechts, zur Errichtung der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit und zur Festlegung von Verfahren zur Lebensmittelsicherheit. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002R0178&from=DE>, zuletzt geprüft am 05.10.2020.

7. Abbildungs-/Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Mögliche Expositionswege für Geschossteile.....	11
Tabelle 1: Übersicht zu den Proben (Muskelgewebe je Tier	17
Tabelle 2: Übersicht zu den Bleigehalten der Muskelproben (mg/kg Frischmasse); Untersuchung von 1 g homogener Probe, unterschiedliche Entfernungen der Proben vom Schusswundenrand	19
Tabelle 3: Bleigehalte der Muskelproben (mg/kg Frischmasse); Untersuchung von mehreren 1 g Homogenisaten oder größeren homogenisierten Probenanteilen	20
Tabelle 4: Bleigehalte der Muskelproben (mg/kg Frischmasse) unmittelbar an der Schusswunde („A“) oder in 1 („B“) bzw. 3–5 cm Entfernung („C“); Untersuchung von 1 g Homogenisaten von mit bleihaltigen Geschossen erlegtem Wild	21
Tabelle 5: Übersicht zu den Kupfergehalten der Muskelproben (mg/kg Frischmasse); Untersuchung von 1 g homogener Probe	21
Tabelle 6: Kupfergehalte der Muskelproben (mg/kg Frischmasse); Untersuchung von mehreren 1 g Homogenisaten oder größeren homogenisierten Probenanteilen	22
Tabelle 7: Kupfergehalte der Muskelproben (mg/kg Frischmasse) unmittelbar an der Schusswunde („A“) oder in 1 („B“) bzw. 3–5 cm Entfernung („C“); Untersuchung von 1 g Homogenisaten von mit „bleifreien“ Geschossen erlegtem Wild	23
Tabelle 8: Kupfergehalte der Muskelproben (mg/kg Frischmasse) unmittelbar an der Schusswunde („A“) oder in 1 („B“) bzw. 3–5 cm Entfernung („C“); Untersuchung von 1 g Homogenisaten von mit bleihaltigen Geschossen erlegtem Wild	23

8. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich besonders meinem Diplomarbeitsbetreuer Dr. Peter Paulsen für die Ermöglichung dieses Themas und die kompetente Unterstützung bei der Umsetzung bedanken. Es war immer genug Diskussionsstoff vorhanden, sei es über Geschosse oder über die richtige Wildbrethygiene vom Tier bis zum fertigen Lebensmittel. Weiteres möchte ich mich bei dem ganzen Institut für die Benützung der Geräte, des Waschraums und des sonstigen Equipments, welches im Laufe meiner Diplomarbeit verwendet wurde, bedanken.