

Erhöhte Bleiaufnahme in geschlossenen Schießständen

P. Mühle, R. Schierl, D. Nowak

Zusammenfassung In der Vergangenheit wurde mehrfach von erhöhten Blutbleiwerten bei Sportschützen in geschlossenen Schießständen berichtet. Ursache der Belastung ist vorrangig das Verwenden von bleihaltiger Munition mit entsprechend hohen Bleikonzentrationen in der Luft. Um die aktuelle Bleiaufnahme im Schießstand zu quantifizieren und Möglichkeiten einer Expositionsvermeidung zu testen, wurden in zwei Versuchen je vier unbelastete Probanden während eines Trainingsabends je eine Stunde lang in einem geschlossenen Versuchsschießstand 1,5 m hinter den Sportschützen exponiert. Dabei waren vier Probanden ohne FFP2-Filtermasken und vier Probanden mit FFP2-Filtermasken ausgestattet. Während die Bleikonzentration im Blut beim Versuch ohne FFP2-Masken im Mittel von 17,4 auf 39,9 µg/l anstieg, blieb diese beim Tragen von FFP2-Masken nahezu unverändert. Die konsequente Einführung bleifreier Munition und/oder der Einbau effektiver Lüftungsanlagen sind dringend geboten. Bis dies umgesetzt ist, bietet das konsequente Tragen von FFP2-Masken einen raschen und effektiven Schutz.

High lead uptake from indoor-shooting

Abstract Various reports concerning increased blood lead levels among recreational indoor shooters have been published in the past. Exposure has basically been caused by the use of lead containing ammunition. To evaluate the lead uptake in an indoor shooting range and to investigate protective measures four volunteers were exposed for one hour to airborne fumes 1.5 m behind the shooters during a training session. Another four volunteers were equipped with FFP2 filter masks. Exposed and unprotected volunteers had an increase of blood lead levels from 17.4 µg/l up to 39.9 µg/l. Those being protected by filter masks had no significant increase of lead in blood samples. Consequently, there is a clear need of lead-free ammunition and/or installation of efficient ventilation systems. Until this goal is reached, using FFP2 filter masks seems to be an easy and effective protection for shooters.

1 Einleitung

Sportschießen ist in Deutschland sehr weit verbreitet. Allein der Deutsche Sportschützenbund zählte 2008 als größte Vereinigung seiner Art 1 439 109 Mitglieder [1]. Erhöhte Blutbleiwerte bei Sportschützen wurden in der Vergangenheit bereits mehrfach beschrieben. Kürzlich zeigten *Demmeler et al.* in einer deutschen Querschnittsstudie mit 129 aktiven Sportschützen anhand von Blutbleimessungen die aktuelle Bleibelastung bei Sportschützen auf [2]. Die Blutbleiwerte waren vorrangig von der verwendeten Munition und von der jeweiligen Disziplin abhängig. So wurde bei Luftgewehrschützen kaum eine Bleibelastung gemessen (Median 33 µg/l). Die Mediane weiterer Gruppen, die mit scharfen Waffen schossen, erstreckten sich hingegen von 114 µg/l (Kleinkaliber) bis zu 136 µg/l (Großkaliber), wobei einzelne Sportschützen Spitzenwerte bis zu 512 µg/l erreichten. Dies sind erhebliche innere Belastungen, da der deutsche Durchschnitt in der Altersgruppe von 18 bis 69 Jahren bei 30,7 µg/l

liegt [3]. Kürzlich wurden sogar bei Schießtrainern eines offenen Schießstandes erhöhte Blutbleiwerte gemessen. Die hierbei im Vergleich zu den Sportschützen kurze Distanz von 3 bis 10 m zum Geschossfang sowie dessen Bauart konnten dabei als Haupteinflussfaktoren der Belastung ausgemacht werden [4]. Die Diskussion über Gesundheitsgefährdungen durch eine erhöhte innere Bleibelastung hat aktuell an Brisanz gewonnen, da im Oktober 2009 die HBM-Werte für Blei im Blut ausgesetzt wurden [5]. Der HBM-I-Wert (HBM: Human-Biomonitoring) betrug bisher 150 µg/l (100 µg/l für Frauen < 45 Jahre, Kinder < 12 Jahre), der HBM-II-Wert 250 µg/l (bzw. 150 µg/l). Begründung für das Aussetzen der HBM-Werte waren neue Erkenntnisse über die gesundheitsschädlichen Wirkungen von Bleiwerten unterhalb des HBM-I-Wertes, die bisher als unbedenklich galten. Es wurde festgestellt, dass schon bei Blutbleiwerten unter 100 µg/l die Entwicklung von Kindern und Jugendlichen im Allgemeinen sowie speziell im neuropsychologischen Bereich negativ beeinflusst wird [5]. Zu vernachlässigen ist auch nicht, dass anorganisches Blei und seine Verbindungen 2006 von der International Agency for Research of Cancer (IARC) in die Gruppe 2A „wahrscheinlich krebserregend“ eingestuft wurden [6].

2 Projektbeschreibung

In dieser Studie wurden Expositionsversuche mit unbelasteten Probanden sowie einem aktiven Sportschützen durchgeführt, um die Bleiaufnahme im Schießstand zu quantifizieren und den Nutzen einer Atemschutzmaske (Typ FFP2) zur Expositionsminimierung exemplarisch abzuklären.

2.1 Schießstand

Für die Versuche stand ein 25 m langer, geschlossener Schießstand mit vier Bahnen zur Verfügung. Im Bereich der Schützen waren diese durch einen Gitterfangschutz getrennt. Der Schießstand war mit einer Verdrängungslüftung ausgestattet. Die Frischluft strömte 2 m hinter den Schützen in den Schießstand ein und wurde in der Mitte des Schießstandes an der Decke abgesaugt. Die Luftströmungsgeschwindigkeit betrug auf halben Weg zwischen der Zu- und Abluftöffnung 0,05 m/s. An diesem Schießstand wurden nur Kurzwaffen (Pistole und Revolver) in Form von Groß- und Kleinkaliber sowie ausschließlich klassische Bleimunition eingesetzt. Voruntersuchungen an 15 aktiven Sportschützen des dortigen Versuchsschießstandes ergaben sowohl erhöhte Bleiwerte (Mittelwert (MW): 147,3 µg/l, Range (*r*) 42,5 bis 416,8 µg/l) als auch eine signifikante Korrelation der Bleikonzentration im Blut mit der abgefeuerten Anzahl der Trainingsschüsse ($r = 0,92$; $n = 15$; $p < 0,001$).

2.2 Expositionsversuche mit Probanden

Nach Genehmigung durch die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Ludwigs-Maximilian-Universität, wurden in zwei vergleichbaren Versuchen je vier Probanden eine Stunde (sitzend, ca. 1,5 m hinter den Schützen) der Raumluft bei Schussbetrieb ausgesetzt. Für die beiden Versuche wurden je zwei männliche und zwei weibliche Probanden

Dr. med. Peter Mühle, Dr. rer. nat. Rudolf Schierl,
Prof. Dr. med. Dennis Nowak,

Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Klinikum der Universität München.

Tabelle 1. Übersicht der Expositionsversuche mit Probanden.

Versuchsserie	1	2
Filtermasken	nein	ja
Probandenanzahl gesamt	4	4
m/w	2/2	2/2
Probandenalter in Jahren	23 bis 32	24 bis 25
Expositionsdauer in min	67	64
Schussanzahl Großkaliber	285	440
Kleinkaliber	200	–
Gesamt	485	440
Blutabnahmen	2 h vor Exposition, 48 h nach Exposition	
Position der Luftstaub- sammelgeräte	Schütze: 30 cm neben einem Schützen der mittleren Bahn auf Kopfhöhe Proband: 1,5 m hinter dem Schützen auf Kopfhöhe	

im Alter zwischen 23 und 32 Jahren ausgewählt. Alle acht Probanden waren Nichtraucher und eine potenziell vorhandene Vorbelastung mit Blei konnte durch eine vorherige Blutuntersuchung ausgeschlossen werden. Im ersten Versuch waren die Probanden ohne und im zweiten Versuch mit FFP2-Filtermasken ausgestattet, um die Wirkung einer einfachen Schutzmaßnahme zu testen. Die Blutentnahme (ED-TA-Röhrchen) der Probanden erfolgte zwei Stunden vor und 48 Stunden nach der Exposition (vgl. Tabelle 1).

Analog zu den beiden Expositionsversuchen mit den Probanden wurde auch bei einem 27-jährigen Sportschützen, der an beiden Versuchen aktiv als Schütze teilnahm, zwei Stunden vor und 48 Stunden nach der Exposition der Blutbleispiegel bestimmt. Dieser wurde im 2. Versuch ebenfalls mit einer FFP2-Maske ausgerüstet.

Der Zeitpunkt der zweiten Blutabnahme wurde aufgrund der Ergebnisse eines Inhalationsversuchs von Hursh et al. mit radioaktiven Pb-212 festgesetzt [7]. In dieser Studie wurde festgestellt, dass sich 48 Stunden nach einer einmaligen inhalativen Bleiexposition ein Plateau bildet und die Bleikonzentration anschließend wieder abnimmt.

2.3 Luftmessungen

Während der beiden Expositionsversuche wurden Messungen der Bleikonzentration in der einatembaren Staubfraktion durchgeführt. Dazu wurden Personal Sampler mit Gesamtstaubkopf (GSP, 3,5 l/min) verwendet. Die Aufstellungsorte befanden sich im Atembereich der Probanden sowie der Schützen. Ein portables Aerosolspektrometer (Grimm 1.108) wurde eingesetzt, um die Feinstaubfraktionen (PM₁, PM_{2,5} und PM₁₀) im zeitlichen Verlauf darzustellen. Der Standort dieses Messgerätes befand sich im Atembereich der Probanden.

2.4 Bleibestimmung

Die Analyse der Bleikonzentrationen in den Blutproben erfolgte mit einem Atomabsorptionsspektro-

meter (5100 PC Perkin Elmer) mit Graphitrohrtechnik unter Verwendung der Zeemann-Untergrundkompensation im Standardadditionsverfahren. Als Kontrollproben wurden Referenzmaterialien der Fa. Recipe (ClinChek-Kontrollblut) verwendet. Zur externen Qualitätskontrolle wird seit Jahren erfolgreich an Ringversuchen der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin teilgenommen.

3 Ergebnisse

3.1 Luftmessungen

In Tabelle 2 sind die Luftbleikonzentration beim Schützen und beim Probanden in den beiden Versuchen mit und ohne FFP2-Maske dargestellt. Wie man sieht, lagen bei beiden Versuchen nahezu identische Expositionsbedingungen

Tabelle 2. Bleikonzentration in der Luft am Schießstand während der Expositionsversuche.

Versuchsserie	1	2
Filtermasken	nein	ja
Bleikonzentration beim Schützen in mg/m ³	4,05	4,50
Bleikonzentration beim Probanden in mg/m ³	2,20	2,24

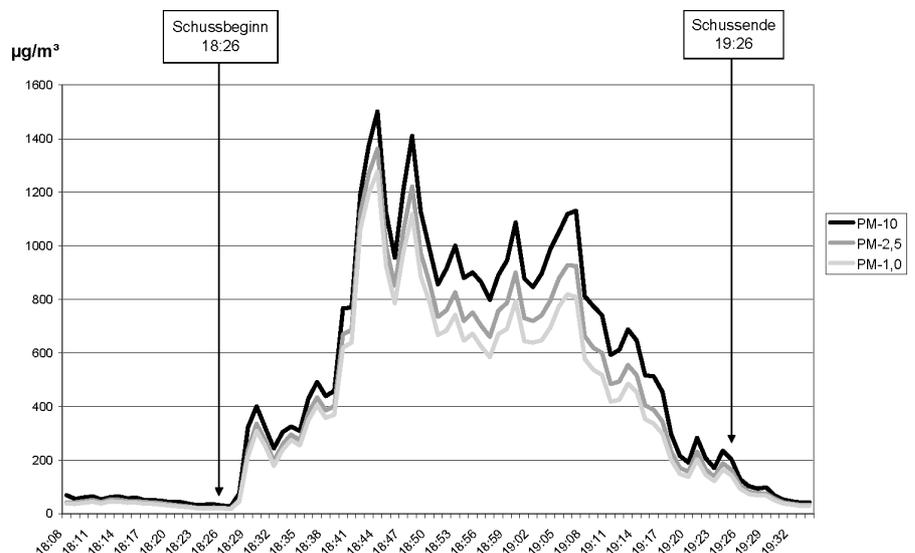


Bild 1. Zeitlicher Verlauf der Immission während des Probandenversuchs ohne FFP2-Masken.

vor. **Bild 1** zeigt, dass mit Beginn des Schießens die Feinstaubkonzentrationen rasch ansteigen und nach 15 min die Maximalkonzentration von etwa $1\,500\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} -Staub erreicht wird. Die sinkenden Staubkonzentrationen im letzten Versuchsteil erklären sich durch die zu Ende gehenden Munitionsvorräte der Schützen. In der Darstellung erkennt man auch, dass die $\text{PM}_{2,5}$ und sogar die PM_1 -Werte fast genauso hoch sind. Aus insgesamt fünf Luftmessungen während der beiden Versuche ging zudem hervor, dass der Anteil von Blei am Gesamtstaub ca. 61 Gew.-% betrug (MW: 60,6 %, Range 53,5 bis 73,5%).

3.2 Expositionsversuche mit Probanden

Bild 2 zeigt die Blutbleiwerte der Probanden des Expositionsversuchs ohne FFP2-Filtermasken zwei Stunden vor und 48 Stunden nach dem Schießstandaufenthalt. Man erkennt bei allen vier Probanden eine mittlere Konzentrationszunahme von 17,4 auf 39,9 $\mu\text{g}/\text{l}$, was mehr als eine Verdoppelung darstellt. Vergleicht man dieses Ergebnis mit **Bild 3**, das die Resultate des Versuchs mit der Maske darstellt, so ist der Unterschied offenkundig. Hier gab es bei allen vier Probanden keine signifikanten Erhöhungen und der Mittelwert blieb mit 21,3 versus 20,0 $\mu\text{g}/\text{l}$ nahezu gleich.

Die Messungen der Blutbleiwerte des aktiven Sportschützen ergaben zwei Stunden vor dem Expositionsversuch ohne FFP2-Maske 72,1 $\mu\text{g}/\text{l}$ und 48 Stunden danach 138,1 $\mu\text{g}/\text{l}$. Beim Versuch mit Maske stieg der Wert hingegen nur von 116,4 auf 120,5 $\mu\text{g}/\text{l}$. Bei nahezu identischen Expositionsverhältnissen in den beiden Versuchen erhöhte sich der Blutbleiwert beim Schützen ohne Tragen einer FFP2-Maske somit um 66,0 $\mu\text{g}/\text{l}$, beim Tragen einer FFP2-Maske nur um 3,9 $\mu\text{g}/\text{l}$. Die unterschiedlichen Ausgangswerte des Schützen erklären sich dadurch, dass dieser in den zwei Monaten, die zwischen den beiden Versuchen lagen, weiterhin dem Schießsport nachging.

4 Diskussion

4.1 Luftmessungen

Im Vergleich zum früheren MAK-Wert für Blei von $0,1\ \text{mg}/\text{m}^3$ zeigten die Luftmessungen eindeutig erhöhte Bleikonzentrationen. So überschritt in den beiden Expositionsversuchen die Luftbleikonzentration im Atembereich der Schützen mit 4,05 bzw. 4,50 mg/m^3 den ehemaligen MAK-Wert 40-fach. Im Atembereich der Probanden – also entgegen der Luftströmung – war dieser mit 2,20 bzw. 2,24 mg/m^3 immerhin noch 22-fach erhöht. Dies belegt, dass in diesem Schießstand die Verdrängungslüftung offensichtlich nicht ausreichend dimensioniert war. Die hohe Bleiaufnahme der Probanden und des Schützen kann zudem dadurch erklärt werden, dass Blei mit 61 % einerseits den Hauptmasseanteil des Luftstaubs ausmacht und andererseits der alveolargängige Feinstaub ($\text{PM}_{2,5}$) etwa 85 % betrug.

4.2 Bleiaufnahme

Aus den Ergebnissen des ersten Versuches (ohne FFP2-Masken) ist ersichtlich, dass die Probanden während der nur knapp einstündigen Exposition signifikant Blei systemisch aufgenommen haben. Legt man ein Ruheatemvolumen von 7 l/min und den in der Literatur [8] beschriebenen Abscheidefaktor von 0,37 zugrunde, ergibt sich für die Probanden

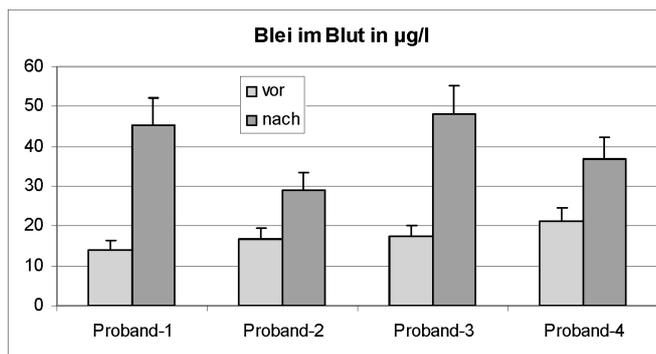


Bild 2. Blutbleiwerte vor und 48 h nach der einstündigen Exposition im Schießstand ohne FFP2-Filtermasken.

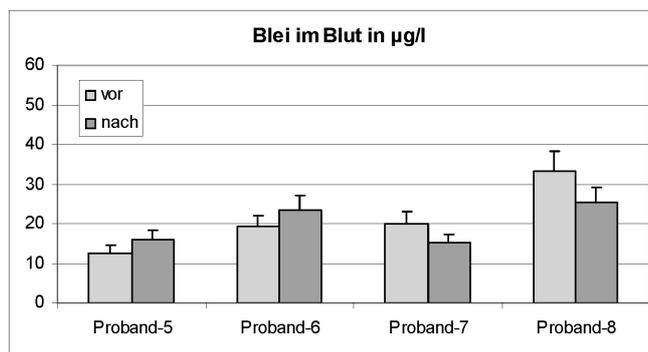


Bild 3. Blutbleiwerte vor und 48 h nach der einstündigen Exposition im Schießstand mit FFP2-Filtermasken.

eine Bleiaufnahme von 0,36 mg. Dies resultiert bei 5 l Blutvolumen und unter Berücksichtigung der 48 Stunden in einer theoretischen Blutbleiwertzunahme von 36 $\mu\text{g}/\text{l}$, die der tatsächlich gemessenen mittleren Zunahme von 22,5 $\mu\text{g}/\text{l}$ durchaus nahe kommt.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) gibt den PTWI-Wert (PTWI: Provisionally Tolerable Weekly Intake) mit 25 $\mu\text{g}/\text{kg KG} \cdot \text{Woche}$ für Erwachsene an. Bei einem Erwachsenen mit durchschnittlich 70 kg Körpergewicht (KG) entspricht dies einer Dosis von 1,75 mg/Woche. Dabei ist zu berücksichtigen, dass dieser Wert für die orale Aufnahme bestimmt wurde [9]. Bei Erwachsenen wird Blei oral nur zu ca. 10 % resorbiert, der Rest wird über den Stuhl ausgeschieden [10]. Dies entspricht somit einer systemischen Aufnahme von 0,175 mg/Woche für Erwachsene. Beim ersten Versuch (ohne FFP2-Masken) nahmen die Probanden auf dem Versuchsschießstand näherungsweise 0,36 mg systemisch auf. Der für die systemische Aufnahme modifizierte PTWI-Wert von 0,175 mg/Woche wurde somit bei einer nur knapp einstündigen Aufenthaltszeit im Versuchsschießstand um mehr als das Doppelte überschritten. Bei dem Schützen, der während des Versuchs ca. 0,68 mg Blei in der derselben Zeit aufnahm, war die Überschreitung sogar 3,8-fach. Entsprechend können neben den Schützen auch Zuschauer und Instruktoren, abhängig vom Standort im Schießstand, einer erhöhten Bleiexposition ausgesetzt sein und sind somit potenziell gefährdet.

Beim Probandenversuch mit FFP2-Masken wurde im Gegensatz dazu kein Blei aufgenommen. Ebenso wurde bei dem exponierten Schützen eine erhebliche Minimierung der inhalativen Bleiaufnahme festgestellt. Dies ist ein wichtiges

Ergebnis, da beide Expositionsversuche vergleichbar waren. Damit ist belegt, dass FFP2-Filtermasken hinreichend Schutz bieten.

Die Ergebnisse lassen zwar keine generelle Aussage über den aktuellen Stand der Bleibelastung von Sportschützen in Deutschland zu, dennoch ist aber zu erkennen, dass einzelne Schützen durch die Ausübung ihres Sports hohe Bleimengen aufnehmen und dadurch einer erhöhten Gefahr für die Schädigung ihrer Gesundheit ausgesetzt sein können.

4.3 Konsequenzen

Legt man zur Reduzierung der Schadstoffbelastung durch Blei in Schießständen die Rangfolge der Schutzmaßnahmen nach GefStoffV zugrunde, ergibt sich nachfolgende Reihung von Maßnahmen. Oberstes Ziel muss es sein, die derzeitige Bleimunition komplett durch bleifreie oder schadstoffreduzierte Munition zu ersetzen. *Tripathi et al.* zeigten 1990 und 1991 anhand von zwei Studien, dass die Verwendung von Kupfer-Vollmantelgeschossen anstelle der herkömmlichen Bleigeschosse die Luftbleikonzentration im Atembereich des Schützen um den Faktor 21 reduziert [11] bzw. um 92 bis 96 % verringert werden kann [12]. Die Umstellung auf bleifreie Munition, wie sie in Deutschland bei einer Vielzahl der Polizeiverbände bereits erfolgt ist, kann momentan an ehrenamtlich betriebenen Schießständen nicht ohne Weiteres realisiert werden. Zwar ist schadstoffreduzierte Munition auch für Sportschützen erhältlich, diese ist jedoch derzeit noch ca. 20 % teurer als die bisher übliche bleihaltige Munition [13]. Dadurch wird deren Einführung auf breiter Basis deutlich erschwert. Die schadstoffreduzierte Munition weist zudem andere ballistische Eigenschaften auf und ist im internationalen Wettkampfbereich kaum anzutreffen. Da das Sportschießen ein Freizeitsport ist, unterliegt es ohnehin keinen verbindlichen Arbeitsschutzrichtlinien und somit auch keinem verpflichtenden Arbeitsplatzgrenzwert. Gerade deshalb ist die Aufklärung der Schützen über eine mögliche Gefährdung durch Blei im Schießsport umso wichtiger, um einen Wechsel auf schadstoffreduzierte Munition voranzutreiben.

Die nächste Stufe zur Reduzierung der Bleikonzentration in der Atemluft von geschlossenen Schießständen ist der Einbau von effektiveren Lüftungen. Die Schießstände von Sportschützen werden von Schießsachverständigen geprüft. In der derzeit gültigen Schießstandrichtlinie [14] ist bei Verwendung einer Verdrängungslüftung eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von 0,25 m/s gefordert, insbesondere dann, wenn mit großkalibrigen Kurzwaffen geschossen wird. Die geforderten Richtlinien können derzeit vor allem in älteren Schießständen zum Teil nur unzulänglich umgesetzt werden. Haupthindernis hierfür sind die erheblichen Kosten, die bei einer Umrüstung auf eine moderne Lüftung bis zu 100 000 € betragen können [15]. Gerade für kleine Schützenvereine ist diese Umrüstung finanziell oft nicht realisierbar. Sollte in Zukunft der Schießsport nicht komplett auf schadstoffreduzierte bzw. bleifreie Munition umgestellt werden, so ist die Installation einer leistungsfähigen Lüftung für viele Schützenvereine langfristig aber die einzige wirksame Lösung.

Bis zum Zeitpunkt der Einführung schadstoffreduzierter Munition bzw. bis die Lüftungen auf betroffenen Schießständen modernisiert werden können, käme als persönliche Schutzmaßnahmen das Tragen von FFP2-Masken während des Schießens infrage, wie dies derzeit schon beim Reinigen

der Schießstände empfohlen wird. Erstmals wurde 2009 diese Möglichkeit in einer Veröffentlichung des National Institute for Occupational Safety and Health der amerikanischen Centers for Disease Control and Prevention empfohlen [16]. Bei richtiger Anwendung kann eine erhebliche Reduzierung der inhalativen Bleiaufnahme sichergestellt werden. Grundvoraussetzung hierfür ist das fachgerechte Anlegen der Maske vor Eintritt in den Schießstand. Dabei sind immer Einwegmasken zu verwenden, die nach Gebrauch umgehend zu entsorgen sind. Dieses Verfahren könnte sofort eingesetzt werden und verursacht keine hohen Kosten. Verantwortungsbewusste Sportschützen können sich mit dieser Maßnahme schon jetzt aktiv selbst schützen. Konkrete Bestrebungen zur Einführung von FFP2-Masken auf Schießständen seitens der Sportschützenverbände gibt es derzeit jedoch noch nicht. In Anlehnung an die Rangfolge der Arbeitsschutzmaßnahmen ist das Tragen von FFP2-Masken allerdings die letzte Option der bisher aufgezeigten Reduktionsmöglichkeiten zur inhalativen Bleiaufnahme in Schießständen. Sie ist somit nur als temporäre Lösung zu sehen, bis der endgültige Umstieg auf schadstoffreduzierte bzw. bleifreie Munition oder die Modernisierung der Lüftung der jeweiligen Schießstände erfolgt ist.

Die Einführung von FFP2-Filtermasken auf breiter Basis setzt vor allem die Akzeptanz bei den aktiven Sportschützen voraus. Ähnlich wie bei der Einführung des Schallschutzes, der heutzutage als selbstverständlich gilt, können Sportschützen nur durch eine detaillierte und gewissenhafte Aufklärung über die bestehenden Gesundheitsrisiken in die Verantwortung genommen werden. Die Erkenntnisse aus den hier durchgeführten Versuchen sowie die erarbeiteten Lösungsansätze können zur Aufklärung der Sportschützen beitragen und sie für diese Thematik sensibilisieren.

Danksagung

Wir danken dem Bayerischen Sportschützenbund (insbesondere Herrn *Wolfgang Kink* und Frau *Beate Marschall*) und dem beteiligten Schützenverein für die hervorragende Unterstützung. Herrn *Stefan Gröbmair* danken wir für die sorgfältig durchgeführten Bleianalysen.

Literatur

- [1] Mitgliederstand 31. Dezember 2008. Hrsg.: Deutscher Schützenbund (DSB), Wiesbaden 2008. www.schuetzenbund.de/dsb/mitglieder/ vom 19. November 2009.
- [2] *Demmeler, M.; Nowak, D.; Schierl, R.*: High blood lead levels in recreational indoor shooters. *Int. Arch. Occup. Environm. Health* 82 (2009) Nr. 4, S. 539-542.
- [3] *Becker, K.; Kaus, S.; Krause, C. et al.*: Umwelt-Survey 1998. Band III: Human-Biomonitoring. Stoffgehalte in Blut und Urin der Bevölkerung in Deutschland. *WaBoLu-Hefte 01/2002*. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin 2002.
- [4] *Radke, R.; Herlet, R.; Werner, H.*: Bleibelastung auf offenen Schießständen. *Verh. Dtsch. Ges. Arbeitsmed. Umweltmed.* (2007), S. 274-277 (V46).
- [5] 2. Addendum zur Stoffmonographie Blei – Referenz- und „Human-Biomonitoring“-Werte. Hrsg.: Kommission Human-Biomonitoring des Umweltbundesamtes. Dessau 2009.
- [6] IARC Monographs on the Evaluation of Cancerogenic Risks to Humans. *Inorganic and Organic Lead Compounds (Vol. 87)*. Hrsg.: International Agency for Research of Cancer. Lyon 2006.

- [7] Hursh, J. B.; Schraub, A.; Sattler E. L.; Hofmann, H. P.: Fate of ^{210}Pb inhaled by human subjects. *Health Phys.* 16 (1969) Nr. 3, S. 257-267.
- [8] Leggett, R. W.: An age-specific kinetic model of lead metabolism in humans. *Environm. Health Perspect.* 101 (1993), S. 598-616.
- [9] Safety evaluation of certain food additives and contaminants. Food Additives Series, Bd. 44. Hrsg.: World Health Organisation. Genf 2000.
- [10] Marquardt, H.; Schäfer S. G.: Lehrbuch der Toxikologie. Mannheim: Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus 1994.
- [11] Tripathi R. K.; Sherertz, P. C.; Llewellyn G. C.; Armstrong C. W.; Ramsey, S. L.: Reducing exposures to airborne lead in a covered, outdoor firing range by using totally copper-jacketed bullets. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 51 (1990) Nr. 1, S. 28-31.
- [12] Tripathi R. K.; Sherertz, P. C.; Llewellyn G. C., Armstrong, C. W.: Lead exposure in outdoor firearm instructors. *Am. J. Public Health* 81 (1991) Nr. 6, S. 753-755.
- [13] Wurster, U.; Ebert, H.; Fleig, E.; Ott, G.: Reduzierung der Gefahrstoffbelastung in Raumschießanlagen durch Verwendung bleifreier Trainingsmunition. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 66 (2006) Nr. 7/8, S. 295-299.
- [14] Richtlinien für die Errichtung, die Abnahme und das Betreiben von Schießständen. Hrsg.: Deutscher Schützenbund e.V. Wiesbaden 2000.
- [15] Lohr, B.: Behörden erlassen strenge Auflagen – Luft in Schützenheimen zu bleihaltig. *Süddeutsche Zeitung, Ausgabe Süd*, Nr. 47 vom 26. Februar 2006.
- [16] Preventing Occupational Exposures to Lead and Noise at Indoor Firing Ranges, Hrsg.: Center for Disease Control and Prevention, NIOSH National Institute for Occupational Safety and Health. Cincinnati, Ohio, USA 2009.