
Aus dem Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. Dennis Nowak

**Untersuchung der Bleiaufnahme bei kurzzeitigen
Aufenthalten in Schießständen**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von Peter Mühle
aus München
im Jahr 2010

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Dennis Nowak

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. Thomas Gilg
Priv.-Doz. Dr. med. Dr. rer. nat. Harald Mückter

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. rer. nat. Rudolf Schierl

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. Maximilian Reiser FACR, FRCR

Tag der mündlichen Prüfung: 01.07.2010

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Fragestellung	1
1.2	Allgemeines zum Element Blei	2
1.3	Toxische Effekte von Blei	3
1.3.1	Wirkungen auf den Organismus	4
1.3.2	Diagnose und Therapie	7
1.4	Bleiaufnahme in der Bevölkerung	8
1.4.1	Bleiaufnahme im Alltag	8
1.4.2	Bleiexposition am Arbeitsplatz	11
1.5	Kinetik	12
1.6	Grenzwerte	15
1.6.1	MAK- und BLW-Wert	15
1.6.2	HBM-Grenzwerte	16
1.7	Sportschießen und Bleibelastung	18
1.7.1	Sportschießen in Deutschland	18
1.7.2	Ausgewählte Studien zur Bleibelastung von Schützen	18
1.7.3	Lüftungen in geschlossenen Schießständen	20
1.7.4	Bleiemission beim Sportschießen	21
2	Methoden	24
2.1	Expositionsversuche mit Probanden	24
2.1.1	Ethikantrag	24
2.1.2	Schießstand	24
2.1.3	Probanden	26
2.1.4	Übersicht der Expositionsversuche mit Probanden	27
2.2	Blutbleiwertbestimmungen bei Sportschützen des Versuchsschießstandes	28
2.3	Messmethoden	28
2.3.1	Luftmessungen	28
2.3.2	Probenentnahmen	30
2.3.3	Bleibestimmung	31

3	Ergebnisse	33
3.1	Ergebnisse des Ist-Zustandes	33
3.1.1	Expositionsversuch mit Probanden (ohne FFP-2-Masken)	33
3.1.2	Blutbleiwertbestimmungen bei Sportschützen des Versuchsschießstandes	37
3.1.3	Luftmessungen in Schießständen	41
3.2	Ergebnisse nach Intervention mit FFP-2-Masken	45
3.2.1	Expositionsversuch mit Probanden (mit FFP-2-Masken)	45
3.2.2	Expositionsversuch mit einem aktiven Sportschützen	48
4	Diskussion	50
4.1	Bewertung der Versuche und der Ergebnisse	50
4.1.1	Expositionsversuche	50
4.1.2	Blutbleiwertbestimmungen bei Sportschützen des Versuchsschießstandes	55
4.1.3	Luftmessungen	56
4.2	Möglichkeiten zur Reduzierung der Bleiexposition von Sportschützen	58
5	Zusammenfassung	63
	Literaturverzeichnis	66
	Abbildungsverzeichnis	73
	Tabellenverzeichnis	74
	Anhang	75
	Anhang A: Sicherheitsvorschriften für Schießstände mit scharfen Waffen	76
	Anhang B: Sicherheitsvorschriften für Schießstände mit Luftdruckwaffen	77
	Anhang C: Aufklärungsbogen für Probanden	78
	Anhang D: Fragebogen für Probanden	80
	Anhang E: Aufklärungsbogen für Sportschützen	81
	Anhang F: Fragebogen für Sportschützen	83
	Danksagung	84

1 Einleitung

1.1 Fragestellung

Es ist schon lange bekannt, dass hohe Bleibelastungen beim Menschen diverse chronische Schäden wie Anämien, neurologische Störungen, Blutdruckveränderungen oder auch Nierenfunktionsstörungen verursachen können. Aufgrund von Ergebnissen aus Tierversuchen sowie Metaanalysen ist man in den letzten Jahren auf die kanzerogene und teratogene Wirkung von Blei auf den Organismus aufmerksam geworden [25, 74]. Erst in der jüngsten Vergangenheit wurde festgestellt, dass bereits Blutbleiwerte unter 100 µg/l, die bisher als unbedenklich galten, sich bei Kindern und Jugendlichen negativ auf die neurologische sowie körperliche Entwicklung auswirken können [58, 74]. Wegen der ständig sinkenden Bleibelastung der Bevölkerung gewinnt die Untersuchung bestimmter Kohorten, die einer erhöhten Bleiexposition ausgesetzt sind, immer mehr an Bedeutung. Forschungsarbeiten der letzten Jahre haben gezeigt, dass aktive Schützen, die regelmäßig in geschlossenen Schießständen mit scharfen Waffen schießen, erhöhte Blutbleibelastungen aufweisen. Die Blutbleiwerte übersteigen dabei die bis vor kurzem gültigen HBM-Grenzwerte zum Teil erheblich [24, 57]. Neben den Schützen, die beruflich mit scharfen Waffen trainieren wie Polizei, Zoll oder Bundeswehr, sind vor allem Sportschützen von dieser Belastungsquelle betroffen. 2008 zählte die größte Sportschützenvereinigung Deutschlands, der Deutsche Sportschützenbund, 1.452.471 Mitglieder [29]. Davon waren 53.929 unter 14 Jahre.

Bis zum Inkrafttreten der Novellierung des Waffengesetzes von 2009 war es Kindern ab 14 Jahren, das Einverständnis der Eltern vorausgesetzt, erlaubt, mit kleinkalibrigen, scharfen Waffen zu schießen. Zudem konnte "... einem Kind zur Förderung des Leistungssports eine Ausnahme vom Mindestalter..." erteilt werden, so dass in Einzelfällen auf scharfen Schießständen bereits 10-Jährige einer erhöhten Bleiexposition ausgesetzt waren [13, 21]. Nicht zuletzt durch den Amoklauf von Winnenden wurde in der Reform des Waffengesetzes von 2009 das Alter zum Schießen von Großkaliberwaffen auf 18 Jahre und zum Schießen von Kleinkaliberwaffen auf 14 Jahre (ohne Sonderregelungen) neu festgelegt. [10, 14]. Eine generelle Regelung über ein Mindestalter zum Aufenthalt in Schießständen gibt es nicht.

Im Verlauf dieser Arbeit soll aufgezeigt werden, welche Faktoren zur individuellen Bleibelastung durch den Schießsport eine Rolle spielen und welche Maßnahmen ergriffen werden können, um das durch den Bleistaub entstehende Gesundheitsrisiko der Schützen zu minimieren. Anhand von Expositionsversuchen mit Probanden soll evaluiert werden, inwieweit der beim Schießen entstehende Bleistaub nicht nur für die Schützen selbst, sondern auch für alle anderen anwesenden Personen wie z.B. Zuschauer und Betreuer eine Expositionsquelle darstellt. Eine quantitative Aussage über die inhalative Bleiaufnahme kann somit unter Berücksichtigung der Kinetik von Blei im menschlichen Organismus zu einer groben Risikoabschätzung beitragen. Außerdem werden anhand der Versuche auch konkrete Möglichkeiten zur Minimierung der Bleiexposition in Raumschießanlagen untersucht, wie unter anderem das Tragen von FFP-2-Schutzmasken während des Schießens.

1.2 Allgemeines zum Element Blei

Das Schwermetall Blei befindet sich in der 6. Periode und in der IV. Hauptgruppe im Periodensystem der Elemente. Die Abkürzung Pb kommt von dem lateinischen Namen Plumbum. Es besitzt die Ordnungszahl 82 und hat ein Atomgewicht von 207,2 u. Die Dichte beträgt $11,34 \text{ g/cm}^3$, der Schmelzpunkt liegt bei $327,5 \text{ °C}$ und der Siedepunkt bei 1744 °C [33].

Blei liegt zumeist als Erz vor und macht einen Anteil von ca. 0,0018 % der Erdkruste aus. Die bedeutendsten Lagerstätten liegen in den USA und in Australien. In Mitteleuropa befinden sich die größten Vorkommen in Polen, im Erzgebirge, im Harz, in der Eifel, im Sauerland und in Kärnten [33].

Die ersten Hinweise der Verwendung von Blei durch den Menschen gehen bereits bis auf das 6. Jahrtausend vor Christus zurück [54]. Später, im Römischen Reich, wurden Blei und Bleiverbindungen zur Fertigung von Waffen, Hausdächern, Rohren, Verglasungen, Farben sowie Lasuren für Keramik verwendet. Heute finden ca. 50 % des weltweit gewonnenen Bleis in Akkumulatoren und Batterien Verwendung [76]. Blei in seinen unterschiedlichen Formen wird derzeit auch als Strahlenschutz, in Gewichten, in Rohren oder für Legierungen in der Metallindustrie verwendet. Viele Expositionsquellen sind wegen der gesundheitlichen Gefahren durch Blei inzwischen gesetzlich begrenzt oder ganz abgeschafft worden. So ist die Verwendung von Blei heute beispielsweise in Ottokraftstoffen als Antiklopfmittel oder in Bauteilen von Elektrogeräten durch entsprechende EU-Richtlinien generell verboten. Dennoch bestehen nach wie vor diverse Altlasten. Eine Übersicht über das derzeitige Vorkommen von Blei in seinen verschiedenen Formen zeigt Tab. 1 [5].

Chemische Form	Anwendung	Funktion	Wahrscheinlichkeit einer Exposition	Einsatz in der Schweiz	Einsatz in Deutschland *
Elementares Blei	Akkumulatoren Vorhänge, Fischerutensilien Schutzwände Geschosse	Galvanisches Element Ballastgewicht Schutz vor Röntgenstrahlung Ballistische Eigenschaft	Gering Gering Gering Gering	Eingesetzt Eingesetzt Eingesetzt Eingesetzt	Eingesetzt Eingesetzt Eingesetzt Eingesetzt
Organische Bleiverbindungen					
Tetramethyl- / Tetraethylblei	Ottomotoren-Treibstoff	Erhöhung der Klopfestigkeit	Gering	Erlaubt im Flugbenzin, Verboten im Autobenzin	Erlaubt im Flugbenzin, Verboten im Autobenzin
Anorganische Bleiverbindungen					
Bleichromat/ Bleicarbonat	Anstrichfarben Künstlerfarben	Farbpigment Farbpigment	Möglich (Möglich)	Verboten / Altlasten Erlaubt	Verboten / Altlasten nur zu Erhaltung von Kunstwerken oder historischen Bestandteilen erlaubt
Bleioxid	Rostschutzfarben	Korrosionsschutz	Möglich	Verboten / Altlasten	Verboten / Altlasten
Bleisulfid	Keramikglasur	Glanz	Möglich	Als Künstlerfarbe erlaubt, Grenzwerte für Freisetzung	Als Künstlerfarbe erlaubt, Grenzwerte für Freisetzung
Bleisilikat	Bleikristallglas	Starke Lichtbrechung	Gering	Grenzwerte für Freisetzung	Grenzwerte für Freisetzung
Bleiarsenat	Pflanzenbau, Konservierung	Biozid	Gering	Verboten	Verboten
Bleilegierungen	Geschosse Lötzinn	Ballistische Eigenschaften Fließeigenschaften	Gering Möglich	Eingesetzt Eingesetzt	Eingesetzt Verboten bis auf wenige Ausnahmen, Altlasten

Tab. 1 Vorkommen und Verwendung von bleihaltigen Stoffen im Alltag [5] (modifiziert*)

1.3 Toxische Effekte von Blei

Erste toxische Effekte durch Blei sind 370 vor Christus von Hippokrates bei Arbeitern in der Metallgewinnung beschrieben worden [42]. Nicht zuletzt die chronische Bleiaufnahme durch Verwendung von Blei in der Keramik und als Rohrleitungen wird als eine mögliche Ursache des Untergangs des Römischen Reiches diskutiert [38]. Durch die Verwendung von löslichen Bleiverbindungen im Wein wie Bleizucker (Bleiacetat) zum Süßen oder Bleiglätte (Bleioxid) zum Entsäuern traten in Frankreich im 17. Jahrhundert mehrere Massenvergiftungen auf. Es wird vermutet, dass dieselben Expositionsquellen auch der britischen „Upper Class“ im 18. und 19. Jahrhundert stark zusetzten [71]. Obwohl der Zusammenhang zwischen einer erhöhten Bleiexposition und den gesundheitlichen Schäden schon seit Jahrhunderten bekannt ist, sind erst in den letzten Jahren auch Blutbleiwerte unterhalb der aktuellen Grenzwerte mit Entwicklungsstörungen des wachsenden Organismus in Zusammenhang gebracht worden [17, 74].

Datenerhebungen zur Evaluierung der Wirkung von Blei auf den Organismus entstammen im Wesentlichen Untersuchungen von besonders exponierten Personen oder Kohorten (z.B. Arbeitern in speziellen Industriezweigen etc.). Quer- und Längsschnittstudien an der Gesamtbevölkerung tragen ebenfalls zum aktuellen Wissensstand bei. Die pathologische Wirkung von Blei lässt sich grob in zwei Gruppen unterteilen: die wesentlich häufigere chronische und die selten gewordene akute Bleivergiftung.

1.3.1 Wirkungen auf den Organismus

Eine physiologische Funktion von Blei konnte im menschlichen Körper nicht nachgewiesen werden. Daunerer, dessen Einschätzungen freilich mit kritischer Distanz zu sehen sind, bezeichnet gar als sicher "... dass jede Bleiaufnahme unnötig und damit eventuell sogar als pathogen einzustufen ist, da bis jetzt ein physiologischer Bleibedarf als Spurenelement nicht nachgewiesen werden konnte" [22]. Die chronische Bleivergiftung beeinflusst den Patienten in fast allen Organsystemen. Die führende Symptomatik ist meist eine Beeinträchtigung des neurologischen Systems. Der Patient kann, je nach Schwere der Vergiftung, an folgenden Symptomen leiden: Schlaflosigkeit, Müdigkeit, Schwindel, Tremor, Gedächtnisstörungen, Aggressivität, Depression oder Impotenz. Bei schweren Intoxikationen können zudem Sehstörungen, Parästhesien und Krampfanfälle auftreten. Beeinträchtigungen des Bewusstseins können bis zum Koma führen. Im gastrointestinalen Bereich sind gerade bei akuten Vergiftungen Abdominalkoliken führend. Außerdem kann es zu Obstipationen und Erbrechen kommen. Hohe Blutbleiwerte können auch zu Bluthochdruck führen [31, 45]. Bei chronisch stark erhöhten Bleiwerten kann sich eingelagertes Bleisulfid am Gingivarand als dunkler "Bleisaum" darstellen. Die Haut kann fahl und blass wirken.

Bei erhöhten Blutbleiwerten kann durch die hemmende Wirkung von Blei auf diverse Enzyme, die an der Hämoglobinbildung beteiligt sind, eine Anämie entstehen. Die wichtigsten Enzyme, um die es sich hierbei handelt, sind die δ -Aminolaevulinsäure-Dehydratase, die Koproporphyrinogen-3-Decarboxylase und die Ferrochelatase. Dadurch entstehen vermehrt deren Vorstufen, die diagnostisch in Erythrozyten und im Urin nachweisbar sein können. Neben der eingeschränkten Produktion der Erythrozyten ist auch deren Lebenserwartung reduziert [31].

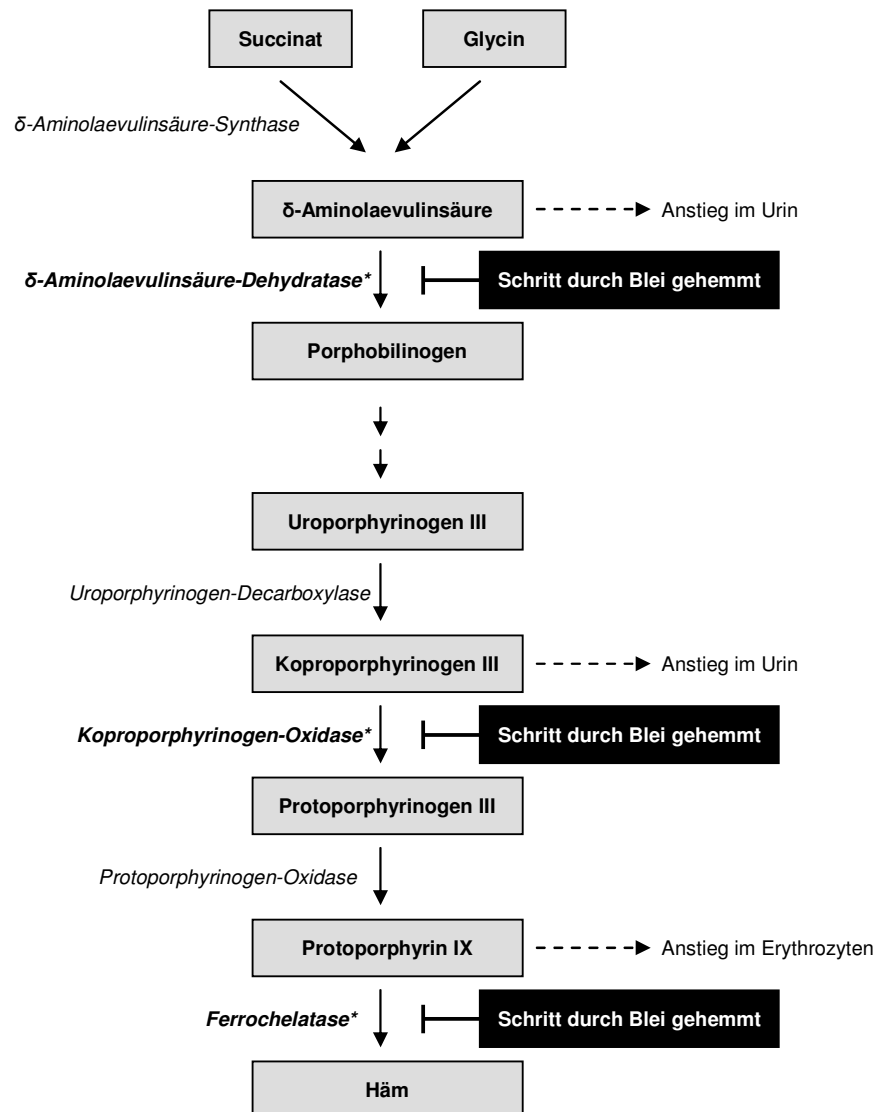


Abb. 1 Hemmung der Häm-Synthese durch Blei [31] (modifiziert)

Hohe Blutbleiwerte können zu einer interstitiellen Nephropathie mit einem Rückgang der glomerulären Filtrationsrate führen [76]. Ein erhöhter Blutbleiwert kann diverse Enzymsysteme negativ beeinflussen. Unter anderem treten Störungen im Vitamin-D-Haushalt und bei der Produktion von Schilddrüsenhormonen auf [76]. Wie bereits erwähnt, werden diverse Entwicklungsstörungen bei Kindern auch mit erhöhten Bleiwerten in Zusammenhang gebracht. Die Folgeschäden können bis in das Erwachsenenalter reichen. In Publikationen werden bei Kindern mit erhöhter Bleibelastung schlechtere kognitive Leistungen, langsamere Reaktionszeiten und eine schlechtere Gestalterfassung beschrieben. Außerdem ist hier die Rate an Schulversagern höher [56].

Es ist wahrscheinlich, dass bei Kindern ein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen bei IQ-Tests und dem Blutbleigehalt besteht [17]. Eine Entwicklungsverzögerung von Kindern in Bezug auf Pubertätsbeginn, Körpergröße und Gewicht konnte ebenfalls durch mehrere Studien nachgewiesen werden [74]. Eine erhöhte Abort- sowie Frühgeburtsrate wurde bei Schwangeren mit erhöhten Blutbleiwerten aufgezeigt [52]. Nach Ergebnissen aus Tierversuchen hat die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Jahr 2006 anorganisches Blei bzw. dessen Verbindungen in die Gruppe 2A „wahrscheinlich krebserregend“ eingestuft [26].

Eine akute Bleiintoxikation kann durch die massive Aufnahme von Blei über einen relativ kurzen Zeitraum zustande kommen. Dies kann beispielsweise beim Renovieren von Altbauwohnungen durch das Abschleifen alter Farben ohne Einhaltung der gültigen Sicherheitsstandards (Staubschutzmaske) auftreten [8]. Die Symptome können ähnlich denen einer chronischen Bleivergiftung sein. Patienten fallen vor allem durch neurologische Störungen, Abdominalkrämpfe und später auch mit Anämien auf. Eine akute Bleivergiftung beim Schießsport ist jedoch eher unwahrscheinlich.

Pb-B* [µg/l]	Auswirkungen bei Erwachsenen	Pb-B* [µg/l]	Auswirkungen bei Kindern
< 50	Hemmung der δ-Aminolaevulinsäure-Dehydratase	< 50	Hemmung der δ-Aminolaevulinsäure-Dehydratase
< 100	Verminderung der glomerulären Filtrationsrate	< 100	Neurologische Entwicklungsstörungen
< 100	Erhöhung des Blutdrucks	< 100	Sexuelle Reifungsstörung
> 200	Erhöhte Protoporphyrinwerte im Blut	> 150	Verminderung von Vitamin D
> 300	Proteinurie	> 150	Erhöhte Protoporphyrinwerte im Blut
> 400	Periphere Neuropathien	> 300	Verminderte Nervenleitgeschwindigkeit
> 400	Verhaltens- / Wesensänderungen	> 400	Verminderter Hämoglobinwert
> 400	Verminderung der Schilddrüsenhormone (v.a. T ₄)	> 600	Koliken
> 400	Verminderte Fertilität		
> 500	Verminderter Hämoglobinwert		

* Pb-B = Bleikonzentration im Vollblut in µg/l

Tab. 2 Auswirkungen von Blei bezogen auf die Blutbleikonzentration [4]

1.3.2 Diagnose und Therapie

Die Verdachtsdiagnose wird mit einer Blutbleiwertbestimmung im Vollblut bestätigt. In einem Blutaussstrich können eine basophile Tüpfelung, eine Polychromasie und eine Anisozytose der Erythrozyten gefunden werden, jedoch sind die genannten Befunde weder sensitiv noch spezifisch. Ebenso kann sich beim Patienten aufgrund der entstandenen Anämie eine Retikulozytose zeigen. Eine erhöhte δ -Aminolaevulinsäure im Urin kann auf eine mögliche Bleiexposition hinweisen (Normalwert unter 0,2 $\mu\text{g/l}$ Urin). Bei einer peripheren Neuropathie durch Blei sind die Messergebnisse der Nervenleitgeschwindigkeit vermindert.

Bei schweren akuten Vergiftungen sowie bei chronisch stark erhöhten Blutbleiwerten sollte der Patient stationär aufgenommen und eine Antidottherapie mit Chelatbildnern begonnen werden. Laut einer Empfehlung der Association of Occupational and Environmental Clinics (AOEC) sollte eine Chelattherapie ab einem Blutbleiwert von 500 $\mu\text{g/l}$ bei klinischen Symptomen in Betracht gezogen werden, ab einem Wert von 1000 $\mu\text{g/l}$ wird sie empfohlen [3]. Beispiele hierfür sind Dimercaptobernsteinsäure (DMSA, Succimer), Dimercaptopropansulfonsäure (DMPS) oder D-Penicillamin. Chelatbildner gehen mit den freien Bleikationen stabile, wasserlösliche Komplexe ein und werden dann überwiegend renal ausgeschieden [2]. Eine solche Therapie verbietet sich dennoch bei Schwangeren, da es möglicherweise zu einer Verschiebung des Bleis über die Plazenta kommt [45]. Bei starken Koliken kann als Analgetikum vorzugsweise Pethidin in Kombination mit N-Butylscopolaminiumbromid eingesetzt werden. Weisen Symptome auf ein Hirnödem hin, kommen Glucokortikoide zum Einsatz [2]. Stillen sollte umgehend eingestellt werden. Besonders wichtig ist eine genaue Klärung der Intoxikationsursache und das Ausschalten bzw. die Vermeidung der Expositionsquelle in Zukunft.

1.4 Bleiaufnahme in der Bevölkerung

1.4.1 Bleiaufnahme im Alltag

Prinzipiell kann Blei oral, inhalativ oder dermal aufgenommen werden. Auch die systemische Aufnahme von Blei durch in den Körper eingedrungene, bleihaltige Fremdstoffe wie z.B. Granatsplitter sei hier der Vollständigkeit halber erwähnt [31].

In der Literatur finden sich unterschiedliche Aussagen zur täglichen Bleioresorption der Durchschnittsbevölkerung. Diese beziehen sich auf die effektive Bleimenge, die über unterschiedliche Wege in den Blutkreislauf und somit in den Organismus gelangt. Beim Erwachsenen beträgt dieser Wert ca. 20 $\mu\text{g}/\text{d}$ [56].

Quelle	Erwachsener
Nahrung	12,00
Luft	0,60
Trinkwasser	0,40
Staub/Boden	0,00
Rauchen	4,00

Tab. 3 Tägliche Bleioresorption Erwachsener in $\mu\text{g}/\text{d}$ nach Reichl 2000 [60]

Quelle	Erwachsener	Kleinkind
Nahrung	15,00	12,50
Luft	2,80	0,84
Trinkwasser	2,28	3,80
Hausstaub	0,12	5,80
Boden	0,06	0,68

Tab. 4 Tägliche Bleioresorption Erwachsener und Kleinkinder in $\mu\text{g}/\text{d}$ nach Obenland 2004 [56]

Aufnahme über die Nahrung

Zu ca. 80 % erfolgt die Bleiaufnahme bei Erwachsenen heute über die Nahrung [72]. Pflanzen nehmen das im Boden enthaltene Blei nur in geringem Maße auf. Durch Immissionen können jedoch vor allem Grünpflanzen mit großer Blattoberfläche verunreinigt werden [31]. Tierische Lebensmittel können über das Futter bzw. bei Wiederkäuern über das im Boden enthaltene Blei verunreinigt sein. Bei Säuglingen kann Blei zum nicht unerheblichen Teil über belastete Muttermilch aufgenommen werden [76]. Eine sekundäre Kontamination über Dosen, beschichtete Keramik und Flaschen, die nicht den gültigen Herstellungsrichtlinien entsprechen, ist ebenfalls möglich [2]. Der Genuss von Bier und Wein hat statistisch einen höheren Blutbleiwert zur Folge, die Ursache hierfür konnte aber noch nicht mit Sicherheit geklärt werden [7].

Die maximalen zulässigen Bleikontaminationen von Lebensmitteln sind in der Schadstoffhöchstmengenverordnung (ShmV) bzw. in der Verordnung EG-1881/2006 geregelt [15, 30]. Diese Werte sind abhängig von der Art der Nahrungsmittel. So dürfen zum Beispiel Milch und Säuglingsnahrung maximal 0,02 mg/kg Blei enthalten. Im Fleisch von Rindern, Schafen, Schweinen und Hühnern wird eine Bleibelastung bis 0,10 mg/kg toleriert, in Muscheln sogar bis zu 1,50 mg/kg [15,30].

Aufnahme über das Trinkwasser

Die Aufnahme von Blei ist auch über das Trinkwasser möglich. Der Grenzwert für Blei ist in Deutschland in der Trinkwasserverordnung geregelt und beträgt bis zum 30.11.2013 25 µg/l [11]. Danach soll er der EG-Richtlinie (1998) mit 10 µg/l angepasst werden. Der Eintrag von Blei in das Trinkwasser erfolgt zum einen durch dessen Gewinnung aus Oberflächen- und Grundwasser. Hauptursache der Bleibelastung im Trinkwasser sind jedoch noch immer alte Wasserleitungen aus Blei. Obwohl seit 1973 der Einbau von Bleirohren in Deutschland nicht mehr zulässig ist, sind diese jedoch in einigen Altbauwohnungen immer noch in Benutzung. Der süddeutsche Raum ist davon kaum betroffen, da dort schon 1878 auf die Verwendung von Bleirohren verzichtet wurde [68]. Das Hauptproblem hierbei stellt das so genannte Stagnationswasser dar. Hierbei handelt es sich um Wasser, das längere Zeit in den Rohren steht und dabei Zeit hat, das Blei aus diesen herauszulösen. Deshalb empfiehlt es sich bei diesen Fällen morgens, vor der ersten Benutzung, das Wasser zunächst für eine gewisse Zeit laufen zu lassen, um die Bleikonzentration im Leitungssystem zu verringern. Dennoch sollte daher Trinkwasser aus Altbauwohnungen, in denen noch Bleirohre verbaut sind, vorsichtshalber von Schwangeren gemieden und zur Zubereitung von Säuglingsnahrung nicht verwendet werden.

Aufnahme über die Luft

Laut Umweltbundesamt konnte in den letzten 20-30 Jahren ein starker Rückgang von Bleistaub in der Luft verzeichnet werden. Hierfür ist zum einen die allgemeine Verringerung des Schwebstaubausstoßes verantwortlich, zum anderen hat vor allem der Verzicht von Blei im Benzin als Antiklopfmittel dazu beigetragen [7]. 1976 wurde der Bleizusatz im Benzin durch das Bleibenzingesetz auf 0,15 g/l begrenzt. Seit 01.01.2000 ist das Versetzen von Otto- sowie Dieselkraftstoffen mit Blei durch die EU-Richtlinie 98/70/EG europaweit verboten [36].

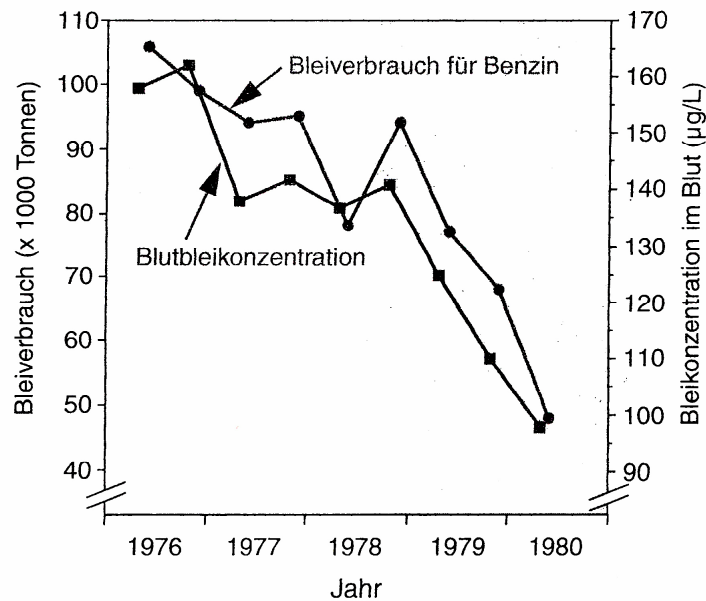


Abb. 2 Abnahme der Bleikonzentration im Blut von Kindern und Erwachsenen in den USA im Verhältnis zur Verringerung des Bleiverbrauchs für Benzin [2]

Repräsentative Luftkonzentrationen von Blei wurden vom Umweltbundesamt im Jahr 2000 erhoben und betragen im Durchschnitt für ländliche Gebiete $0,02\text{-}0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und für städtische Gebiete $0,05\text{-}0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [73]. Luftgrenzwerte für Blei sind für Deutschland in der europaweit gültigen Feinstaubrichtlinie 1999/30/EG bzw. in der Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) festgelegt. Der derzeitige Wert beträgt $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. in schwer vorbelasteten Gebieten $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [12].

Die Luftbleikonzentration in Innenräumen beträgt ca. 50 % - 80 % der im Freien gemessenen Werte [62]. Die Bleiaufnahme über Hausstaub beträgt laut Obenland für einen Erwachsenen nur $0,12 \mu\text{g}/\text{d}$, bei Kleinkindern jedoch bis zu $5,8 \mu\text{g}/\text{d}$ [56]. Somit zählt der Hausstaub gleich nach der Nahrung zu den Hauptaufnahmequellen bei Kleinkindern. Diese sind dem Hausstaub durch die geringere Körpergröße und die längere Aufenthaltsdauer in Innenräumen verstärkt ausgesetzt. Bei Erwachsenen spielt der Hausstaub als Aufnahmequelle somit nur eine untergeordnete Rolle [56].

Auch Rauchverhalten beeinflusst den Blutbleiwert. Nichtraucher im Alter von 18-69 Jahren haben durchschnittlich einen Blutbleiwert von $28,0 \mu\text{g}/\text{l}$. Aktive Raucher weisen einen geringfügig höheren Wert von im Mittel $32,8 \mu\text{g}/\text{l}$, ehemalige Nichtraucher von im Mittel $33,5 \mu\text{g}/\text{l}$ auf. Eine Untergruppe der Raucher, die mehr als 20 Zigaretten pro Tag raucht, liegt im Mittel bei $36,6 \mu\text{g}/\text{l}$ Blei im Vollblut [7].

Aufnahme über den Boden

Die Bleiaufnahme über den Boden kann bei Kleinkindern durch bodennahes Spielen im Freien, wie z.B. in Sandkästen, erhöht sein. Bei Erwachsenen ist dieser Aufnahmeweg im Vergleich zu den anderen Quellen nur von geringer Bedeutung.

1.4.2 Bleiexposition am Arbeitsplatz

Eine umfangreiche Zusammenfassung über die möglichen Aufnahmequellen von Blei im Arbeitsbereich geben die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 505) wieder. Unter Punkt 3/3 sind 24 Tätigkeiten aufgezählt, die durch die Verwendung bleihaltiger Gefahrstoffe eine besondere Gefährdung mit sich bringen. Es handelt sich dabei um Arbeiten, bei denen Personen einer erhöhten Bleiexposition ausgesetzt sein können, wie dies zum Beispiel bei der Gewinnung von Rohstoffen, bei Verarbeitungsprozessen in der Metallindustrie, beim Umgang mit Farben und Lacken in der chemischen Industrie, bei der Herstellung von Akkumulatoren oder auch bei verschiedenen anderen Tätigkeiten in der Elektroindustrie der Fall sein kann. Neu hinzugekommen ist der in der aktuellen Ausgabe der TRGS 505 vom Februar 2007 genannte Auflistungspunkt 24: "Verwenden von bleihaltigen Explosivstoffen (Munition und Sprengmaterial) und Reinigen von Plätzen (u.a. Schießstände), auf denen diese Materialien angewandt werden" [1].

Schießstände aus dem gewerblichen Bereich, wie die von Sicherheitsdiensten, aber auch Schießstände der Bundes- und Länderpolizeien unterliegen den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 505) [1]. Dadurch kommen verstärkt Arbeitsschutzmaßnahmen zur Verhinderung einer Bleiexposition der Arbeitnehmer zum Tragen, allen voran eine Verwendung von schadstoffreduzierter Munition.

Im Gegensatz dazu sind Schießstände, die ausschließlich von Sportschützen betrieben werden, lediglich an eine Schießstandrichtlinie gebunden, in der vor allem die Lüftungseigenschaften bzw. die Lüftungsleistung geregelt wird [28]. Wichtige Faktoren wie beispielsweise Luftgrenzwerte für Blei, ein Verbot der Verwendung bleihaltiger Munition sowie eine Informationspflicht der Schützen über den Gefahrstoff Blei sind hierbei bemerkenswerterweise nicht aufgeführt.

1.5 Kinetik

Resorption

Blei kann, wie bereits erwähnt, über verschiedene Wege aufgenommen werden. Die Resorptionsquote von oral aufgenommenem Blei ist abhängig von dem Ernährungszustand sowie anderen Nahrungsbestandteilen und beträgt beim Erwachsenen ca. 10 % [51]. Bei Kleinkindern sind Resorptionsquoten bis 50 % beschrieben und liegen damit deutlich höher. Als Ursache werden der erhöhte Milchanteil in der Nahrung, eine erhöhte Resorptionsrate des Darms sowie ein hoher Bedarf an Eisen, Calcium und Phosphat vermutet [51]. Die dermale Resorption ist abhängig von der Größe der betroffenen Hautoberfläche, der Einwirkzeit und vor allem von der Form der Verunreinigung. Eine Resorption von Blei in seiner Form als Metall, wie z.B. als Gewichte beim Tauchen oder Diabolos bei Luftgewehrschützen, kann bei intakter Haut weitgehend ausgeschlossen werden [32]. Organische Bleiverbindungen wie z.B. Tetraethylblei, das früher als Additiv für Kraftstoffe verwendet wurde, können wegen ihrer Lipophilie verstärkt von der Haut resorbiert werden und somit zu Bleiintoxikationen führen. Die Resorption von organischen Bleiverbindungen über die Atmung ist ebenfalls höher als bei anorganischen Bleistäuben [31]. Im Folgenden wird ausschließlich auf die Aufnahme der anorganischen Bleiverbindungen, die beim Schießsport mit Bleimunition entstehen, näher eingegangen. Die Aufnahme ist abhängig von dem Atemzugvolumen, der Atemfrequenz einer Person sowie der Partikelgröße des eingeatmeten Bleistaubs. Partikel mit einem Durchmesser größer 5 µm werden überwiegend in den oberen Atemwegen abgelagert. Ein Großteil davon wird über die mucoziliäre Clearance in den Rachen befördert und anschließend verschluckt, wobei somit ein geringer Teil über den gastrointestinalen Trakt aufgenommen wird. Kleinere Partikel unter 1 µm Durchmesser werden überwiegend im alveolaren Bereich abgelagert bzw. treten direkt per Diffusion in die Blutbahn über [76]. Bei Inhalationsversuchen mit radioaktiv markiertem Blei (Pb-212*), das an Partikel gebunden wurde, ergaben sich hinsichtlich der Aufnahme von Blei aus der Atemluft in den Körper unterschiedliche Werte. Diese reichen von 14-45 % [40] bis 27-62 % [39]. Als sicher gilt, dass die Aufnahmemenge sehr wohl von der Partikelgröße abhängt [51]. Ist die Partikelgröße des inhalierten Aerosols unbekannt, empfehlen Leggett et al., mit einer Abscheidungsquote von 37 % in der Lunge zu rechnen [46]. Nahezu das gesamte in der Lunge abgelagerte Blei (95 %) wird mit einer Halbwertszeit von ca. 10-11 h in den Kreislauf überführt [39, 46]. Circa 5 % des in der Lunge abgelagerten Bleis gelangen über die mucoziliäre Clearance letztlich in den Magendarmtrakt und werden dort zum geringen Teil (ca. 10 %) resorbiert [46]. Bei der Inhalation von besonders großen Partikeln und bei der Inhalation von vaporisiertem Blei ist dieser Anteil meist noch höher.

Verteilung

Die meisten Kinetikmodelle arbeiten mit den folgenden drei Kompartimenten: Blut, Weichteilgewebe und Knochen [6, 50]. Alle Kompartimente unterliegen einem ständigen Umbau bzw. einem laufenden Austauschprozess.

Ist das Blei erstmals in den Kreislauf aufgenommen, wird es zu 99 % an Erythrozyten gebunden und ist nur zu 1 % frei im Plasma vorhanden. Dieses Gleichgewicht stellt sich sehr schnell ein. Bei Studien mit intravenösen Applikationen von radioaktiv markiertem Pb-212* geschah dies schon unter 30 min [16]. Die Halbwertszeit im Blut beträgt ca. 20 Tage [2, 46]. Ein weiteres Kompartiment sind im weiteren Sinne die Weichteilgewebe, also Organe, in denen sich das Blei unterschiedlich gut und schnell anreichert (Normalwerte in Klammern): die Leber (1 mg/kg), die Nieren (0,8 mg/kg), das Gehirn (0,1 mg/kg) sowie alle übrigen Gewebe [61].

Der Hauptteil des Bleis im Körper lagert sich jedoch langfristig im Knochen als schwer lösliches Bleiphosphat ab (Normalwert bis 20 mg/kg). Der Grund hierfür sind die ähnlichen chemischen Eigenschaften von Blei und Calcium. Im "steady-state" befinden sich ca. 90 % des gesamten im Körper befindlichen Bleis in den Knochen [6]. Dies entspricht bei einem Erwachsenen in Deutschland durchschnittlich ca. 200 mg [31]. Von allen Kompartimenten ist der Knochen wegen seiner langen Halbwertszeit von 10 bis 30 Jahren das langsamste [58]. Der trabekuläre Knochen speichert zwar langfristig weniger Blei pro Masse, nimmt jedoch im Gegensatz zum kompakten Knochen schneller Blei auf und gibt es schneller wieder ab [59]. Da der Knochen einem ständigen Umbau unterliegt, kann das zu einem früheren Zeitpunkt im Knochen eingelagerte Blei, vor allem im Alter, bei Osteoporose und bei einer Schwangerschaft auch noch Jahre nach einer Exposition verstärkt freigesetzt werden und zu erhöhten Blutbleiwerten führen.

Elimination

Die Elimination des Bleis erfolgt zu 75 % überwiegend renal. 15 % werden über die Galle und die Darmwand im Stuhl, weitere 10 % über Nägel, Haare und den Schweiß ausgeschieden [61]. Eine Kontamination der Muttermilch sowie die Übertragung von Blei auf den Fötus über die Nabelschnur gelten als bewiesen [76].

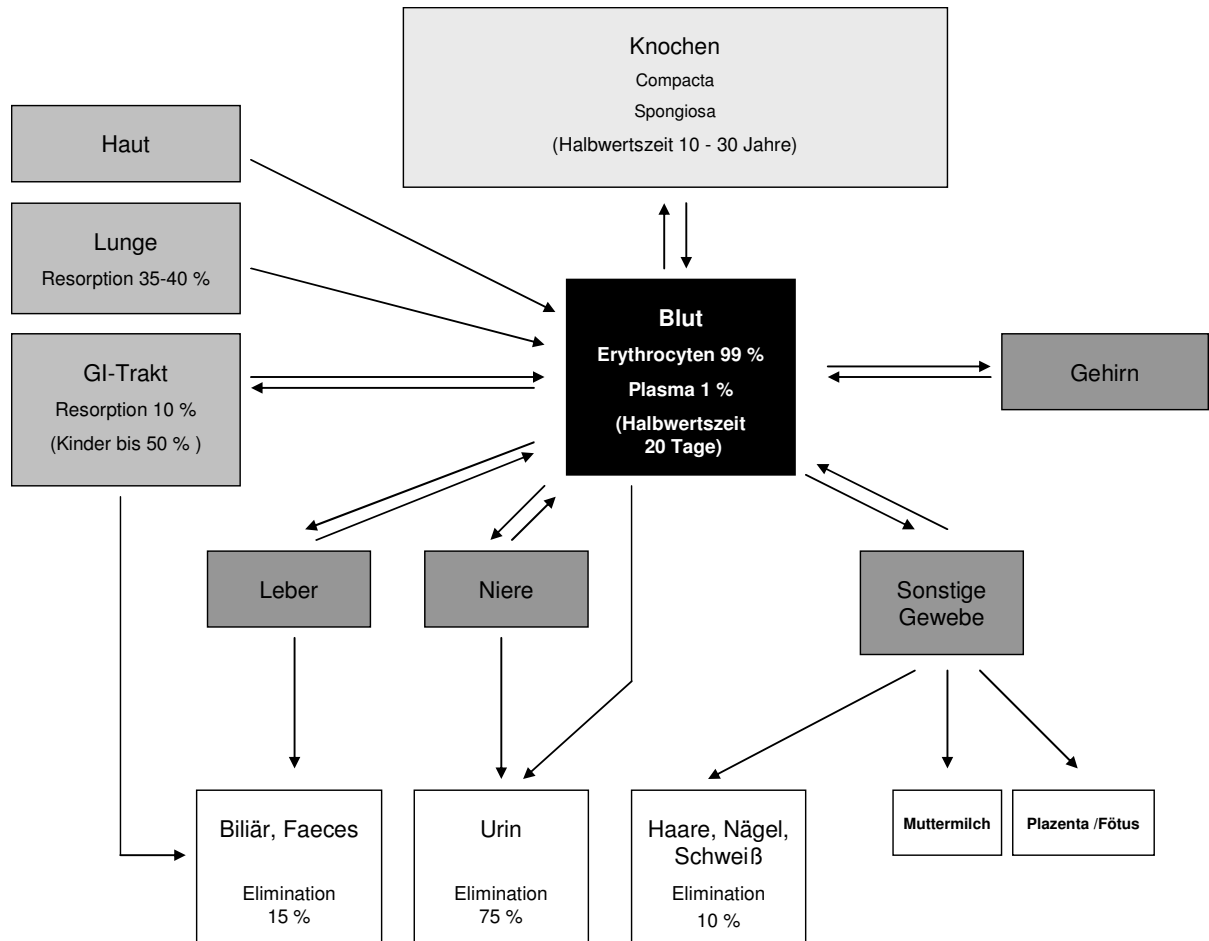


Abb. 3 Vereinfachtes Kinetikmodell von Blei im Organismus nach Marcus et al.1982 [50] (modifiziert)

1.6 Grenzwerte

1.6.1 MAK- und BLW-Wert

In Deutschland wird zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe von der Senatskommission der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) jährlich eine so genannte „MAK- und BAT-Werte-Liste“ herausgegeben. Diese beinhaltet Forschungsergebnisse und Empfehlungen hinsichtlich der höchstzulässigen Konzentration eines Arbeitsstoffes in Form von Gas, Dampf oder Aerosol in der Luft. Sie sind Grundlage der von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin erarbeiteten und rechtlich bindenden Gefahrstoffverordnung [27].

„Der MAK-Wert bezeichnet die höchstzulässige Konzentration eines Arbeitsstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz, die nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis auch bei wiederholter und langfristiger, in der Regel täglich 8-stündiger Exposition, jedoch bei Einhaltung einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von 40 Stunden im Allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt und diese nicht unangemessen belästigt.“ [55]. Bis 2004 betrug der MAK-Wert für Blei $0,1 \text{ mg/m}^3$. Wegen seiner erwiesenen krebserregenden Wirkung ist er jedoch von der MAK-Liste der DFG gestrichen worden.

„Der BLW (Biologischer Leit-Wert) ist die Quantität eines Arbeitsstoffes bzw. Arbeitsstoffmetaboliten oder die dadurch ausgelöste Abweichung eines biologischen Indikators von seiner Norm beim Menschen, die als Anhalt für die zu treffende Schutzmaßnahme heranzuziehen ist. Biologische Leitwerte werden nur für solche Stoffe benannt, für die keine arbeitsmedizinisch-toxikologisch begründeten Biologischen Arbeitsplatztoleranzwerte (BAT-Werte) aufgestellt werden können (z.B. krebserregende Stoffe der Kategorien 1 bis 3 und für nicht krebserregende Stoffe, bei denen die vorliegenden Daten für die Ableitung eines BAT-Wertes nicht ausreichen)“ [27].

Der aktuelle BLW-Wert von 2009 beträgt im Blut für Frauen über 45 Jahren und für Männer $400 \text{ } \mu\text{g/l}$ und für Frauen unter 45 Jahren $100 \text{ } \mu\text{g/l}$ [27]. Es wird darauf hingewiesen, dass die Einhaltung des BLW Grenzwertes nicht vor gesundheitsschädigenden Effekten schützt. Im Jahr 2006 wurde von der International Agency for Research of Cancer (IARC) anorganisches Blei und dessen Verbindungen der Gruppe 2A zugeordnet („wahrscheinlich krebserzeugend“). Organisches Blei und dessen Verbindungen werden in die Gruppe 3 eingeordnet („kann nicht als krebserzeugend für den Menschen eingestuft werden“) [41].

Durch die am 01.01.2005 in Kraft getretene neue Gefahrstoffverordnung wird es in Zukunft nur noch einen einzigen Bewertungsmaßstab für die Beurteilung von Arbeitsplätzen geben, den sog. Arbeitsplatzgrenzwert (AGW). Bis zur endgültigen Bestimmung und zum Inkrafttreten dieses Wertes für Blei ist weiterhin der derzeit gültige MAK-Grenzwert verbindlich [1].

1.6.2 HBM-Grenzwerte

Die HBM-Grenzwerte werden von der Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes veröffentlicht. Sie werden zur Beurteilung der Gesundheitsschädigung der gesamten Bevölkerung, inklusive Kindern und alten Personen, herangezogen. Es werden grundsätzlich zwei Grenzwerte unterschieden: „Bei einer Überschreitung des HBM-I-Wertes kann eine gesundheitliche Beeinträchtigung nicht ausreichend sicher ausgeschlossen werden, bei einer Überschreitung des HBM-II-Wertes ist eine gesundheitliche Beeinträchtigung möglich“ [55]. Eine Übersicht der 2009 ausgesetzten HBM-Werte für Blei, der Gesundheitsgefährdung sowie der zu treffenden Maßnahmen bei Überschreitung zeigt die folgende Tabelle:

Gesundheitsgefährdung		Maßnahmen
Eine Gesundheitsgefährdung ist möglich		<ul style="list-style-type: none"> • Betreuung durch Umweltmedizinische Facheinrichtung • Umfassende Aufklärung • Genaue Identifikation und Vermeidung der Kontaminationsquelle • ggf. gezielte Therapie
HBM-II	250 µg/l	150 µg/l für Risikogruppen*
Eine Gesundheitsgefährdung kann nicht ausgeschlossen werden		<ul style="list-style-type: none"> • Information über die Überschreitung • Aufklärung über einfache Minimierungsmaßnahmen • Kontrolle nach längerem Zeitintervall
HBM-I	150 µg/l	100 µg/l für Risikogruppen*
Eine Gesundheitsgefährdung kann weitgehend ausgeschlossen werden **		<ul style="list-style-type: none"> • keine Maßnahmen erforderlich

* Risikogruppen sind Frauen unter 45 Jahren und Kinder bis zum Alter von 12 Jahren

** HBM-Werte für Blei sind 2009 ausgesetzt worden, eine Gesundheitsgefährdung unterhalb des HBM-I-Wertes kann nicht ausgeschlossen werden

Tab. 5 Ausgesetzte HBM-Werte für Blei in einer Übersicht

Im Hinblick auf die Anwendung dieser Grenzwerte für Blei werden zwei Gruppen unterschieden. Eine Risikogruppe, bestehend aus Kindern bis zum Alter von 12 Jahren und Mädchen und Frauen im gebärfähigen Alter bis < 45 Jahre. Alle übrigen Personen werden in der zweiten Gruppe zusammengefasst. Die ermittelten HBM-Werte für Blei wurden jedoch 2009 aufgrund der nachgewiesenen schädlichen Wirkungen unterhalb des HBM-I-Wertes von 100 µg/l bzw. 150 µg/l für alle Personengruppen, d.h. Männer, Frauen und Kinder, bis auf weiteres ausgesetzt. Grundlage für diese Entscheidung waren die neuen Erkenntnisse über die Kanzerogenität sowie die schädlichen Wirkungen von Blutbleiwerten unterhalb des HBM-I-Wertes auf das zentrale Nerven- und das endokrine System, bei dem es vor allem zu Entwicklungsverzögerungen bei Kindern und Jugendlichen kommen kann [74].

1.7 Sportschießen und Bleibelastung

1.7.1 Sportschießen in Deutschland

Die ersten Schützengesellschaften und Schützengilden reichen in Deutschland bis ins 13. Jahrhundert zurück. Am 11.07.1861 wurde der Deutsche Schützenbund ins Leben gerufen [44]. Mit 1.452.471 Mitgliedern im Jahr 2008 ist er die größte Schützenvereinigung in Deutschland [29].

Es gibt zudem weitere Sportschützenverbände wie den Bund Deutscher Sportschützen (BDS), den Bund der Militär- und Polizeischützen (BMPS), die Deutsche Schießsportunion (DSU) und den Verband der Reservisten der Deutschen Bundeswehr. Diese haben deutlich weniger Mitglieder als der Deutsche Sportschützenbund und unterscheiden sich hinsichtlich der Wettbewerbsdisziplinen und der vorrangig verwendeten Waffenarten und Kalibergrößen.

Wie jedes andere Hobby kann der Schießsport auf unterschiedliche Weise betrieben werden. Einerseits gibt es Sportschützen, bei denen vor allem der soziale und traditionelle Aspekt des Schießsports im Vordergrund steht. Die effektive Aufenthaltsdauer im Schießstand sowie die durchschnittliche Schussanzahl pro Monat fallen dabei relativ gering aus. Leistungssportschützen andererseits, die regelmäßig an Wettkämpfen teilnehmen, trainieren zum Teil täglich, um ein gewisses Leistungsniveau zu erreichen und sind somit verstärkt einer Bleiexposition im Schießstand ausgesetzt. Die Bleiaufnahme des einzelnen Schützen im Schießstand ist somit stark durch die Intensität der Ausübung des Schießsports geprägt.

1.7.2 Ausgewählte Studien zur Bleibelastung von Schützen

Die meisten Daten zur Bleibelastung von Schützen beruhen auf Untersuchungen an einzelnen Schießständen. Diese Studien weisen jedoch meistens nur geringe Fallzahlen auf. Einzelne Fallberichte von Sportschützen, Polizeibeamten oder Militärangehörigen tragen ebenfalls zum aktuellen Kenntnisstand bei.

Eine der ersten Beobachtungen waren erhöhte Blutbleiwerte von sieben hauptberuflichen Schießtrainern eines Polizeischießstandes in England aus dem Jahr 1976. Diese schossen durchschnittlich 800 Schuss pro Woche in einem geschlossenen, weitere 300 Schuss pro Woche auf einem freien Übungsschießstand. Zudem mussten sie 2-3 mal im Jahr den kombinierten Lamellen- und Sandkugelfang reinigen. Es wurden mehrfach stark erhöhte Blutbleiwerte von 290 bis 580 µg/l gemessen. Da die Trainer jedoch keinerlei Beschwerden angaben, fand keine detaillierte medizinische Untersuchung statt [66].

Im Jahr 1995 fielen bei einer Routineuntersuchung acht Mitarbeiter einer taiwanesischen Waffenfabrik mit insgesamt 108 Beschäftigten durch erhöhte Blutbleiwerte auf. Es handelte sich hierbei um acht von zehn Mitarbeitern, die, im Gegensatz zu den restlichen Beschäftigten, Vollzeit auf dem dortigen Schießstand zum Testen von Schusswaffen eingesetzt waren. Die gemessenen Blutbleiwerte der zehn Arbeiter des Testschießstandes lagen zwischen 224 und 596 $\mu\text{g/l}$ (Mittelwert = 372 $\mu\text{g/l}$). Zwei von ihnen litten unter einer Anämie und weitere zwei unter einer peripheren Polyneuropathie [20].

Nach einem Zufallsbefund bei einem Schießtrainer wurden in Alaska 2002 sieben Jugendliche einer Schießsportgruppe auf eine potentielle Bleibelastung hin untersucht. Die Jugendlichen im Alter von 15-17 Jahren wiesen stark erhöhte Blutbleiwerte von 210 bis 310 $\mu\text{g/l}$ (Mittelwert 243 $\mu\text{g/l}$) auf. Geschossen wurde in einer Multifunktionshalle, in der unter anderem auch Hockey gespielt wurde. Ein Ventilator am Kugelfang war als alleinige Lüftungstechnische Anlage nicht ausreichend [18].

Die erste Studie mit etwas größeren Fallzahlen zur Bleibelastung von Schützen wurde 1999 mit 78 schwedischen Polizeibeamten durchgeführt. Die männliche Gruppe ($n = 75$) hatte einen mittleren Blutbleiwert von 50 μl (10 $\mu\text{g/l}$ bis 182 $\mu\text{g/l}$). Die drei weiblichen Kollegen lagen darunter. Die Anzahl der abgegebenen Schüsse variierten zwischen 60 und 19.560 pro Jahr. Eine Korrelation zwischen Schussanzahl pro Jahr und dem Blutbleiwert wurde mit $R = 0,55$ beschrieben. Die im Verhältnis niedrigen Blutbleiwerte konnten vor allem der Verwendung von schadstoffreduzierter Munition sowie der guten Ventilation des dortigen Schießstandes zugeschrieben werden [48].

Erst kürzlich wurde eine Studie mit höheren Fallzahlen über die Bleibelastung von Sportschützen des Bayerischen Sportschützenbundes 2009 von Demmeler et al. veröffentlicht [23, 24]. Dabei wurde der Blutbleiwert von 130 aktiven Sportschützen aus 11 verschiedenen Schützenvereinen in Bayern bestimmt. 110 Schützen schossen scharfe Waffen (Klein- und/oder Großkaliber) und wiesen einen durchschnittlichen Blutbleigehalt von 131 $\mu\text{g/l}$ (Min: 32 $\mu\text{g/l}$, Max: 521 $\mu\text{g/l}$, Median: 105 $\mu\text{g/l}$) auf. Es wurde festgestellt, dass Luftgewehrschützen kaum erhöhte Blutbleiwerte aufwiesen ($n = 20$, Mittelwert: 40 $\mu\text{g/l}$, Median: 33 $\mu\text{g/l}$). Die höchsten Werte ergaben sich bei der Untergruppe der IPSC-Schützen ($n = 11$, Mittelwert: 136 $\mu\text{g/l}$, Median: 192 $\mu\text{g/l}$). IPSC steht für „International Practical Shooting Confederation“, den Träger der gleichnamigen IPSC-Disziplin. Diese ist dem Verteidigungsschießen ähnlich ist und zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass eine hohe Schussanzahl in relativ kurzer Zeit abgefeuert wird. Die Ergebnisse dieser Studie spiegeln somit am deutlichsten die aktuelle innere Bleibelastung deutscher Sportschützen wider.

1.7.3 Lüftungen in geschlossenen Schießständen

Ein wichtiger Einflussfaktor für die Schadstoffbelastung in geschlossenen Schießständen ist die Lüftung. Es wird zwischen Misch- und Verdrängungslüftungen unterschieden. Bei der Mischlüftung, auch Verdünnungslüftung genannt, wird turbulente Luft aus meist verschiedenen Luftauslasselementen in einen Raum geblasen und an einer oder mehreren Stellen abgesaugt. Das Hauptproblem hierbei ist das Entstehen von Luftwalzen, Rückströmen und Verwirbelungen. Somit ist dieses System, nach heutigem Kenntnisstand, für eine Raumschießanlage eher ungeeignet [67]. Stand der Technik ist derzeit die so genannte Verdrängungslüftung. Hierbei wird hinter dem Schützen die Frischluft eingelassen und hinter bzw. in der Nähe des Kugelfangs abgesaugt. Die im Raum aufgebaute kontinuierliche Strömung transportiert so die Schadstoffe in der Luft vom Schützen weg. Eine weitere Bezeichnung dieser Lüftungsform heißt Kolbenlüftung. Letztendlich wird der Abtransport der Luftschadstoffe in der Raumschießanlage durch den Luftwechsel bestimmt. Dieser beschreibt, wie oft es eine Lüftungsanlage theoretisch schafft, das Volumen der Raumschiessanlage in einer Stunde mit Frischluft auszutauschen. Bei der Verdrängungslüftung kann der Luftwechsel aus dem Raumvolumen, dem Querschnitt und der Strömungsgeschwindigkeit der Luft näherungsweise errechnet werden. Ein erheblicher Störfaktor sind jedoch Strömungswalzen im Atembereich des Schützen, wodurch dessen individuelle Belastung kaum zu berechnen ist [37]. Diese kann nur durch personenbezogene Luftbleimessungen erfolgen. Durch Hindernisse wie Tische und Trennwände sowie durch die Art des Lufteinlasses selbst können Luftwirbel entstehen, die für jeden Schießstand individuell beurteilt werden müssen. Sicher ist, dass die Schadstoffkonzentration im Atembereich des Schützen durch Luftverwirbelungen erhöht wird.

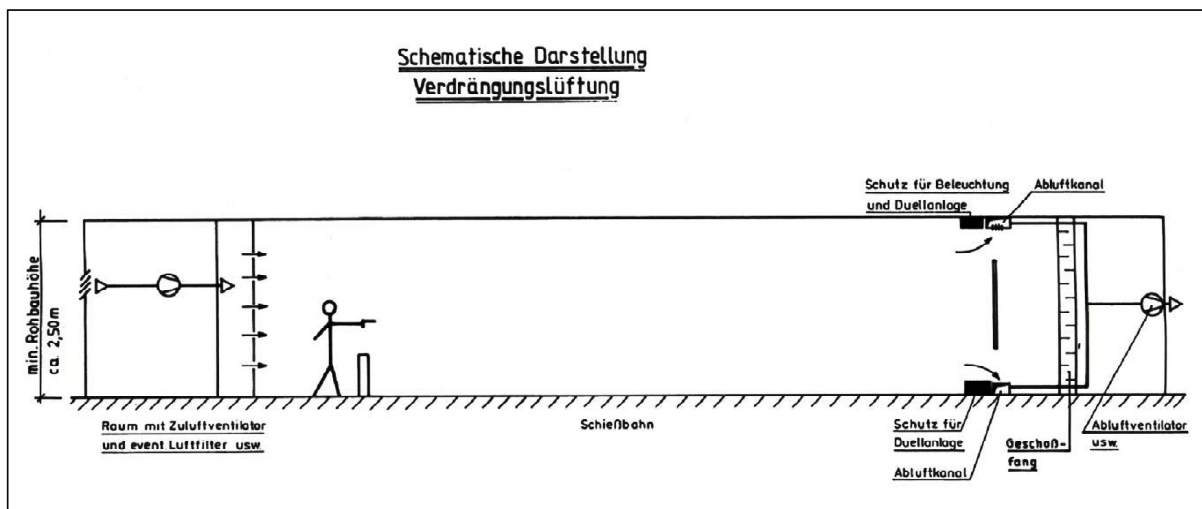


Abb. 4 Schemazeichnung einer Raumschießanlage mit Verdrängungslüftung [53]

Für die individuelle Bleiexposition ist zudem der technische Stand der Raumschießanlage von entscheidender Bedeutung. Eine vorhandene Seilzugmechanik, mit der die Zielscheiben nach erfolgtem Schießen zum Schützen hingefahren werden können, verringert das Expositionsrisiko. Der Schütze meidet bei der Kontrolle seiner Treffer dadurch den Bereich der Abluft und vor allem auch die Nähe der Kugelfänge, da dort durch die Zerlegung der Geschosse beim Aufprall die höchsten Luftbleikonzentrationen herrschen [57].

1.7.4 Bleiexposition beim Sportschießen

Handfeuerwaffen sind Waffen, die von einer Person gehalten und aus der Hand abgefeuert werden können. Zum Antrieb der Geschosse werden heiße Gase verwendet. Man unterteilt sie in Langwaffen und Kurzwaffen, auch Faustfeuerwaffen genannt. Bei den Gewehren wird unterschieden zwischen Flinten, die bei einem Schuss mehrere Kugeln durch einen geraden Lauf abfeuern (Schrot), und den Büchsen, die pro Schuss immer nur ein Projektil durch einen gezogenen Lauf freisetzen. Beim Sportschießen mit Faustfeuerwaffen werden hauptsächlich Selbstladepistolen und Revolver eingesetzt [34].

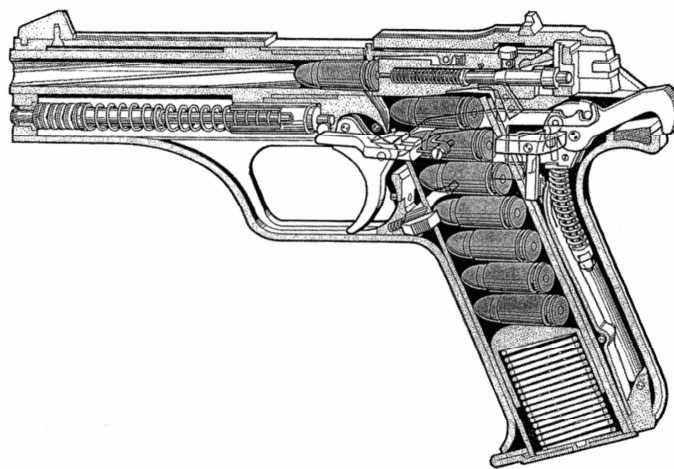


Abb. 5 Schemazeichnung einer Pistole [43]

Das Grundprinzip der im Schießsport verwendeten Waffen, sei es nun Büchse oder Kurzwaffe, ist gleich. Durch Betätigen des Abzugs wird durch unterschiedliche Mechanismen ein durch eine Feder gespannter Schlagbolzen gelöst und überträgt die Kraft auf das Zündhütchen. Dieses löst die thermische Reaktion der Treibladung aus. Dabei werden Temperaturen bis zu 2600 °C erreicht (z.B. bei der Verwendung von Nitrozellulose als Treibmittel) [43].

Durch den erzeugten Druck der freigesetzten Gase wird das Projektil mit hoher Geschwindigkeit aus dem Lauf katapultiert. Übliche Mündungsgeschwindigkeiten reichen von einigen hundert m/s bis über tausend m/s bei Langwaffen [43].

In den meisten Fällen kommen bei Sportschützen derzeit Bleiprojektile zum Einsatz. Diese bestehen jedoch selten aus reinem Blei, da hierunter die Präzision leiden würde. Meist handelt es sich bei den Projektilen um Legierungen, um den Härtegrad zu erhöhen. Die weit verbreitete Linotype-Geschosslegierung besteht z.B. aus Blei (83 %), Antimon (12 %) und Zinn (5 %) [63]. Je nach Waffenart und Anforderungen des Schützen an die Munition werden diese Bestandteile in unterschiedlichen Verhältnissen kombiniert. Als Treibladungsmittel werden üblicherweise Verbindungen auf Nitrozellulosebasis mit oder ohne Zusatz von niedermolekularen Nitrateestern verwendet. Weitere Inhaltsstoffe sind Stabilisatoren, Weichmacher und phlegmatisierte Stoffe, die sich im Bereich weniger Gewichtsprozent bewegen [37]. Weitere Treibladungsarten wie z.B. Schwarzpulver bei Böllerschützen oder Zimmerstutzen sind ebenfalls in Gebrauch. Zur Zündung werden unter anderem bleihaltige Sinoxid©-Anzündhütchen verwendet. Seit 1982 sind blei- und bariumfreie Sintox©-Anzündhütchen auf dem Markt und kommen auch bei Sportschützen zum Einsatz [37].

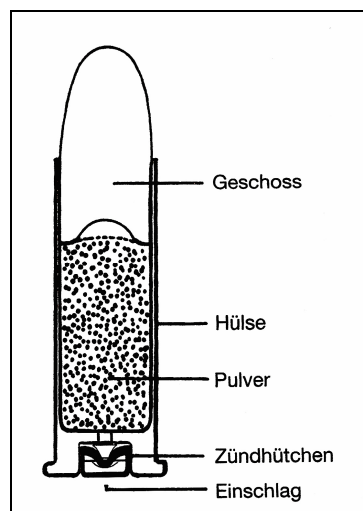


Abb. 6 Querschnitt durch eine Patrone [34]

Bei einem Schuss werden Gase wie Kohlenmonoxid, Stickoxide, Formaldehyd, Ammoniak und Partikel wie Blei, Barium, Antimon, Zink, Kupfer und Aluminium auf unterschiedlichem Wege freigesetzt. Bei Schussversuchen von Holl et al. mit diversen Sportschusswaffen und (bleihaltiger) Standardmunitionen konnte eine freigesetzte Gesamtstaubmenge zwischen 0,5 mg und 36,4 mg pro Schuss gemessen werden. Dabei war Blei mit 0,2 mg bis 25 mg pro Schuss der Hauptbestandteil der freigesetzten Stoffe. Zudem wurde festgestellt, dass im Mittel die gemessene Menge des Gesamtstaubs der Menge des Feinstaubes entspricht [37].

Blei kann durch verschiedene Teile der heute üblichen bleihaltigen Munition freigesetzt werden: thermisch als Dampf beim Verbrennen des Anzündsatzes und der Treibladung sowie mechanisch durch Abrieb des bleihaltigen Projektils am gezogenen Lauf selbst. Beim Auftreffen des Projektils am Geschossfang wird durch Zersprengung bzw. Verformung ebenfalls eine große Menge Blei in die umgebende Luft freigesetzt [57]. Die höchsten Bleiemissionen werden bei der Benutzung von großkalibrigen Kurzwaffen beobachtet [67].

Munition, die beim Abfeuern eines Schusses weniger Schadstoffe freisetzt und somit auch zu geringerer Bleiexposition führt, nennt man „grüne“ oder schadstoffreduzierte Munition. Hier sind die Projektile entweder völlig bleifrei, d.h. sie bestehen aus anderen Metallen wie zum Beispiel Tombak, einer Kupfer-Zinn-Legierung, oder aber es handelt sich um Vollmantelgeschosse mit einem weichen Bleikern, der mit einem harten Metall wie Kupfer oder einer harten Legierung wie Tombak überzogen ist.

Bei den Vollmantelgeschossen wird beim Auftreffen des Projektils auf den Geschossfang ebenfalls Blei freigesetzt. In der unmittelbaren Umgebung des Schützen jedoch ist die Bleiemission durch den Abrieb im Lauf und durch das Verbrennen des Projektilbodens erheblich geringer als bei Verwendung reiner Bleimunition. Bei der „grünen Munition“ werden auch meist bleifreie Zündhütchen und bleifreie Treibladungen verwendet.

Während bei den Polizeiverbänden aus Gründen des Arbeitsschutzes immer häufiger „grüne Munition“ Verwendung findet, ist diese bei Sportschützen noch wenig verbreitet. Die Hauptgründe hierfür sind die veränderten Ballistikeigenschaften sowie vor allem auch der höhere Kaufpreis.

2 Methoden

2.1 Expositionsversuche mit Probanden

Zur Bestimmung der inhalativen Bleiaufnahme wurden freiwillige Probanden gebeten, sich in einem geschlossenen Schießstand bei Schießbetrieb aufzuhalten. Die Versuchspersonen wurden in zwei Versuchen über einen Zeitraum von 64 bzw. 67 Minuten im Abstand von 1,50 m hinter den Schützen positioniert. Der Bleigehalt des Blutes wurde bei allen Probanden insgesamt zweimal bestimmt. Zunächst wurde eine Blutprobe unmittelbar vor und ein weiteres Mal 48 Stunden nach dem Besuch der Schießanlage abgenommen, um eine Zunahme des Blutbleiwertes zu quantifizieren. Die in den beiden Versuchen unterschiedlichen Probanden wurden einmal ungeschützt und einmal mit FFP-2-Filtermasken ausgestattet dem Luftstaub im Schießstand ausgesetzt, um die erwartete Reduktion der Bleiaufnahme durch die Masken beobachten zu können. Beide Versuche wurden unter vergleichbaren Bedingungen auf demselben Schießstand durchgeführt. Bei dem 1. Expositionsversuch ohne Filtermaske wurde zudem dreimal der Urin abgenommen (vor der Exposition, 4 Stunden sowie 48 Stunden danach) und auf Blei hin untersucht.

2.1.1 Ethikantrag

Der Ethikantrag für diese Studie wurde bei der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität am 12.09.2007 eingereicht. Die Studie wurde mit der Auflage von einigen geringfügigen Änderungen am 01.10.2007 von dem Vorsitzenden Prof. Dr. med. Paumgartner unter der Projektnummer 305-07 genehmigt.

2.1.2 Schießstand

In Kooperation mit dem Bayerischen Sportschützenbund (BSSB) wurde ein Schießstand im Osten von München als Versuchsort gewählt. Neben mehreren Luftgewehrständen sind dort im Keller drei Schießstände vorhanden, auf denen ausschließlich mit scharfen Waffen geschossen wird. Alle Versuche wurden jeweils auf ein und demselben Schießstand durchgeführt. Dieser ist 25 m lang und besitzt vier nebeneinander liegende, durch einen Gitterfangschutz getrennte Stände (siehe Abb. 7).



Abb. 7 Übersichtsfoto des Versuchsschießstandes

Es kommen hier nur Kurzwaffen (Pistole und Revolver) zum Einsatz. Die Geschosse werden durch einen Lamellenkugelfang nach Durchtritt durch die Zielscheibe aufgefangen. Zur Kontrolle der Treffer ist eine Seilzugmechanik der Scheiben vorhanden. Der Versuchsschießstand arbeitet mit einer Verdrängungslüftung. Bei der regulierbaren Lüftungsanlage wurde für alle Versuche, wie im Regelbetrieb, die maximale Leistungseinstellung der Lüftung gewählt. Die Frischluft strömt 2 m hinter dem Standpunkt der Schützen in den Schießstand ein und wird in der Mitte des Schießstandes, 15 m vor dem Schützen, an der Decke abgesaugt. Eine Luftströmungsgeschwindigkeit von 0,05 m/s wurde von einem Schießstandsachverständigen des Bayerischen Sportschützenbundes ermittelt. Diese Messung erfolgte in 1,50 m Höhe in der Mitte der vier Bahnen, auf dem halben Wege zwischen der Zu- und Abluftöffnung. Somit lag diese Position ca. 8 m vor dem Standpunkt der Schützen.

2.1.3 Probanden

2.1.3.1 Kriterien und Fragebogen

Als Probanden wurden Frauen und Männer ausgewählt. Voraussetzung für eine Teilnahme an den Versuchen war, dass das Blut der jeweiligen Probanden keine erhöhte Bleibelastung bzw. einen Wert unterhalb des Referenzwertes von $71 \mu\text{g/l}$ aufwies. Anhand eines Fragebogens wurden potentielle Belastungsquellen laut TRGS 505 [1] abgefragt [Anhang D]. Außerdem wurden die Probanden nach privatem oder beruflichem Umgang mit Blei befragt. Ebenso wurden deren Rauchgewohnheiten ermittelt. Raucher weisen statistisch höhere Bleiwerte als Nichtraucher auf [7] und es kann nicht ausgeschlossen werden, dass bei Rauchern aufgrund der verminderten mucoziliären Clearance die Resorption des inhalativ aufgenommenen Bleis beeinträchtigt sein kann.

Eine zeitnahe Blutabnahme zwei Stunden vor dem Besuch der Schießanlage wurde bei allen Versuchsteilnehmern durchgeführt. Die Blutbleiwerte aller 10 Probanden lagen, bis auf eine Ausnahme ($33,3 \mu\text{g/l}$), unter dem bundesdeutschen Median von $30,7 \mu\text{g/l}$ [7]. Alle Werte lagen deutlich unter dem deutschen Referenzwert (95 % - Perzentile) von $71 \mu\text{g/l}$. Somit konnte eine bereits vorhandene Bleibelastung ausgeschlossen werden.

2.1.3.2 Probandenaufklärung und Einverständniserklärung

Alle Probanden wurden mündlich und schriftlich anhand eines Aufklärungsbogens über den Ablauf sowie über Risiken der vorgesehenen Versuche aufgeklärt [Anhang C]. Die Teilnahme der Probanden war freiwillig und wurde mit 50 € Aufwandsentschädigung vergütet. Den Probanden stand es frei, ihre Teilnahme an den Versuchen ohne Angabe von Gründen jederzeit abzubrechen. Keiner der Versuchsteilnehmer hat von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht.

2.1.3.3 Datenschutz

Die entnommenen Proben sowie alle ermittelten Daten wurden mit Nummerncodes verschlüsselt. Diese enthielten weder das Geburtsdatum noch die Initialen, so dass die Identität nur dem Leiter der Studie bekannt war. Die Auswertung der Daten zu statistischen und wissenschaftlichen Zwecken erfolgte somit unter Wahrung absoluter Anonymität.

2.1.4 Übersicht der Expositionsversuche mit Probanden

Versuchsserie	1	2
Filtermasken	Nein	Ja
Probandenanzahl (m/w)	6 (3/3)	4 (2/2)
Probandenalter [Jahre]	23-32	24-25
Probandenposition (m/w)	4 im Schießstand (2/2) 2 im Vorraum (1/1)	4 im Schießstand (2/2)
Blutabnahmen	2 Stunden vor Exposition 48 Stunden nach Exposition	2 Stunden vor Exposition 48 Stunden nach Exposition
Urinabgaben	2 Stunden vor Exposition 4 Stunden nach Exposition 48 Stunden nach Exposition	-
Luftstaubsammelgeräte	1. Schützenposition: 30 cm neben einem Schützen der mittleren Bahn auf Kopfhöhe	1. Schützenposition: 30 cm neben einem Schützen der mittleren Bahn auf Kopfhöhe
	2. Probandenposition: 1,50 m hinter dem Schützen, auf Kopfhöhe der Probanden	2. Probandenposition: 1,50 m hinter dem Schützen, auf Kopfhöhe der Probanden
	3. Vorraum: in 1,50 m Höhe	3. Probandenposition: 1,50 m hinter dem Schützen, auf Kopfhöhe der Probanden mit FFP-2-Masken

Tab. 6 Übersicht der beiden Expositionsversuche mit Probanden

2.2 Blutbleiwertbestimmungen bei Sportschützen des Versuchsschießstandes

Zur Darstellung der inneren Bleibelastung auf dem Versuchsschießstand wurde bei 15 aktiven Sportschützen, die regelmäßig mit scharfen Kurzwaffen schießen, Blut abgenommen und auf den Bleigehalt hin untersucht. Das Vorgehen wurde analog der Studie von Demmeler et al. durchgeführt [24], d.h. die Probanden wurden schriftlich aufgeklärt und gebeten, einen Fragebogen auszufüllen [Anhang E, F]. Es wurden die Schießgewohnheiten der Schützen erfasst, wie unter anderem die Anzahl der abgefeuerten Schüsse pro Monat, die Häufigkeit der Schießstandbesuche pro Monat und die Art und Kaliber der verwendeten Waffen. Ergänzend wurden die Schützen auch nach weiteren potentiellen Ursachen für eine mögliche Bleibelastung gefragt.

An einem Trainingsabend wurden Blutproben vor Beginn des Schießbetriebs entnommen. Die ermittelten Werte wurden den Schützen anschließend schriftlich mitgeteilt und auch erklärt. Den Schützen, deren Werte oberhalb des inzwischen ausgesetzten HBM-I-Wertes lagen, wurden Maßnahmen zur Reduzierung der Bleiaufnahme empfohlen. Schützen, deren ermittelte Werte gar den ausgesetzten HBM-II-Wert überschritten, wurde nahe gelegt, die umweltmedizinische Ambulanz oder ihren Hausarzt aufzusuchen.

2.3 Messmethoden

2.3.1 Luftmessungen

Die Luftmessungen erfolgten gemäß der BGIA-Vorschrift 6310 für Blei [9]. Es wurden "Alpha-1 Personal Air Sampler"-Luftstaubsammelgeräte der Firma Metek verwendet. Diese saugen kontinuierlich 3,5 l Luft pro Minute durch einen Filter an (PTFE Membrane Filter W/PHP 37 mm 2,0 µm, Hersteller: Pall, Gelman Laboratory). Mit Hilfe der später erfolgten Bleimassenbestimmung des Filters und der bekannten Betriebsdauer des Gerätes konnte die durchschnittliche Luftbleikonzentration berechnet werden. Bei der zweiten Versuchsserie wurde ein Filterkopf, selbst unverändert, in eine 8,5 cm hohe Dose mit einem Durchmesser von 8,5 cm eingebaut. Über das offene Ende wurde eine FFP-2-Filtermaske gespannt, um deren Effektivität aufzeigen zu können (Abb. 8, Abb. 9). Zusätzlich wurde ein portables Photospektrometer (Firma Grimm Modellnummer 1.108) verwendet, um die Immissionswerte (PM-1, PM-2,5, und PM-10) sowie die Masseverteilung im Feinstaubbereich darzustellen. Der Standort dieses Messgerätes befand sich 1,50 m hinter dem Schützen der ersten Schießbahn.

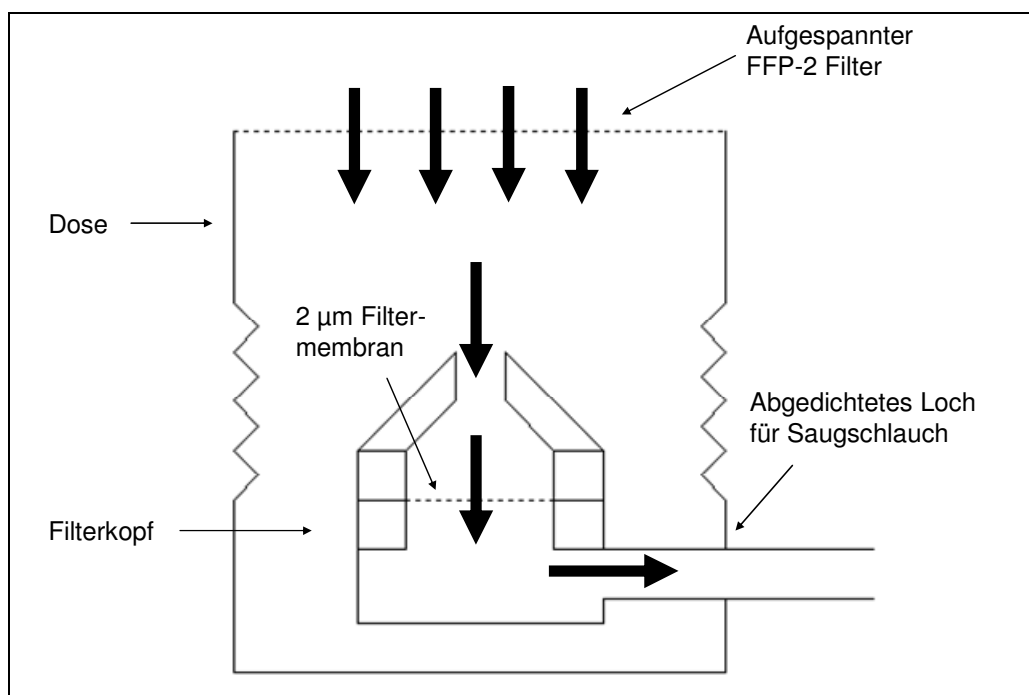


Abb. 8 Filterkopf in der FFP-2-Masken-Gehäusekonstruktion - Schemazeichnung

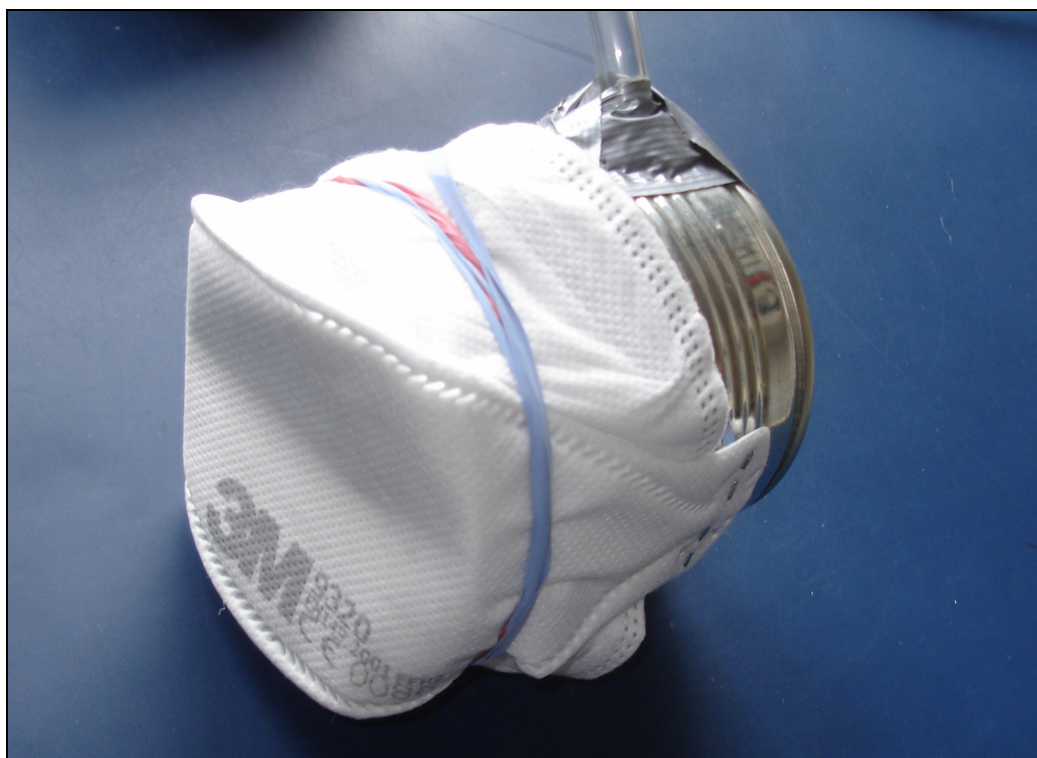


Abb. 9 Filterkopf in der FFP-2-Masken-Gehäusekonstruktion - Foto

2.3.2 Probenentnahmen

2.3.2.1 Blutproben

Zur Blutbleibestimmung wurde den Probanden 2,7 ml Blut aus einer Cubitalvene entnommen. Dies geschah mit K-EDTA-Monovetten der Firma Sarstedt sowie G 21-Flügelkanülen der Firma Seidel-Medizintechnik. Die Proben wurden unmittelbar nach der Abnahme gekühlt in das Labor zur Analyse gebracht.

2.3.2.2 Urinproben

Drei Urinproben wurden bei allen sechs Probanden des ersten Expositionsversuchs (ohne FFP-2-Masken) gesammelt. Die erste Urinprobe wurde zeitgleich mit der ersten Blutprobe, also zwei Stunden vor dem Expositionsversuch, abgenommen. Die zweite erfolgte am selben Abend vier Stunden nach Beendigung des Versuchs. Die dritte Urinabnahme wurde 48 Stunden nach Beendigung des Versuchs durchgeführt. Aus Gründen der Praktikabilität wurde auf eine Abnahme von 24-Stunden-Sammelurin verzichtet. Deshalb wurde neben dem Bleigehalt auch der Kreatininwert im Urin bestimmt, um eine quantitative Aussage über die Ausscheidung des Bleis über die Harnwege treffen zu können.

2.3.3 Bleibestimmung

2.3.3.1 Atomabsorptionsspektroskopie

Die Bleibestimmung wurde mit Hilfe des Goldstandards, der Graphitrohr-Atomabsorptionsspektroskopie (GF-AAS), durchgeführt. Dieses Verfahren funktioniert wie folgt: Zunächst wird für das zu bestimmende Element eine spezifische Hohlkathodenlampe (HKL) verwendet, um einen charakteristischen polychromatischen Lichtstrahl zu erzeugen. Dieser Strahl wird durch einen mit Inertgas (Argon) gefüllten Graphitrohrofen geschickt, den so genannten Atomizer. Dort wird die Probenlösung durch ein spezielles Temperaturprogramm zunächst getrocknet, dann verascht und zuletzt atomisiert. Der durch die Absorption geschwächte Lichtstrahl tritt dann durch einen Monochromator, um den spezifischen Bereich der Resonanzlinie beurteilen zu können. Schließlich misst der Detektor die Intensität des verbleibenden Signals. Die Abschwächung des Lichtstrahls ist indirekt proportional zur Menge des enthaltenen Bleis in der Probe. Zur Probe mit unbekanntem Bleigehalt wird zweimal eine bekannte Menge Blei addiert und jeweils erneut die Absorption gemessen. Mit den Differenzwerten kann auf den ursprünglichen Bleigehalt der Probe geschlossen werden. Dieses Vorgehen nennt man Standard-Additionsverfahren [65]. Zur Verwendung kam das "Atomic Absorption 5100"-Spektrophotometer der Firma Perkin-Elmer. Durch interne und externe Qualitätssicherungsmethoden, wie die Teilnahme an Ringversuchen und Messungen mit Referenzmedien, kann sichergestellt werden, dass die Streuung der Messergebnisse eine Größenordnung von 15 % nicht überschreitet.

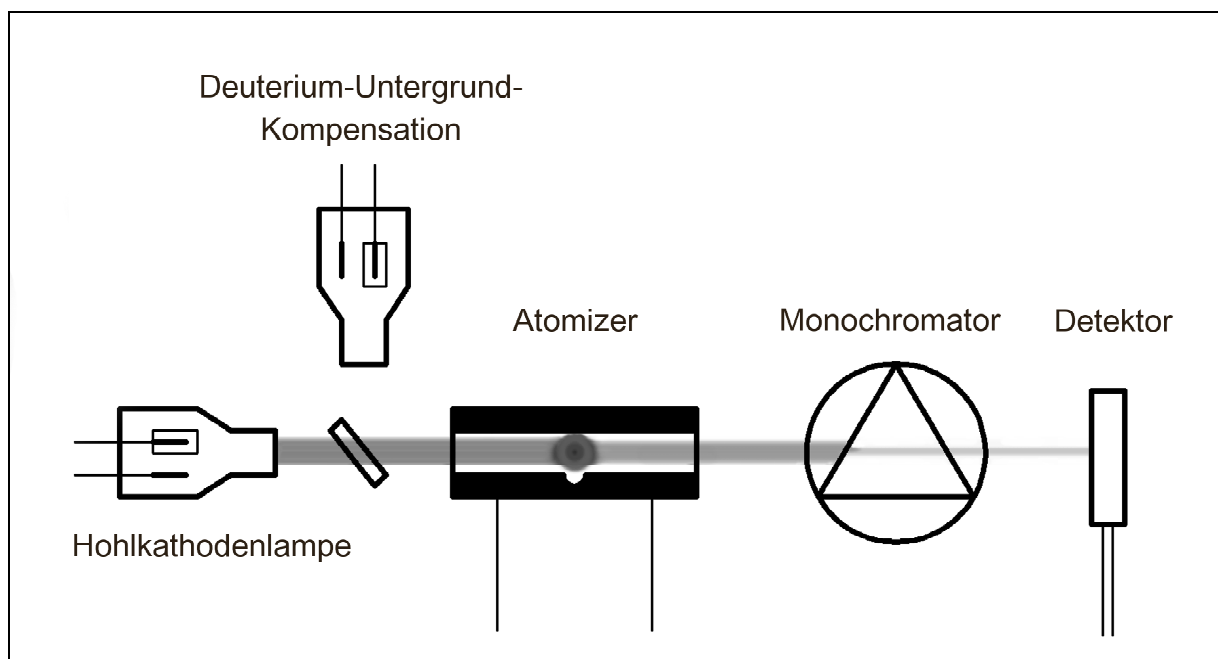


Abb. 10 Graphitrohr-Atomabsorptionsspektroskopie (GF-AAS)

2.3.3.2 Blut und Urinproben

Bei der direkten Bleibestimmung in organischem Material wie Blut oder Urin ist keine Vorbehandlung der Proben erforderlich. Durch den Veraschungsprozess im Graphitrohr, der vor der eigentlichen Atomisierung stattfindet, werden alle organischen Bestandteile verbrannt. Diese können somit die Messung nicht mehr beeinflussen.

2.3.3.3 Luftfilterproben

Zur Extraktion wurden die Luftfilterproben mit 10 ml Salpetersäure (2 %) versetzt und über mindestens 30 Minuten in einen Rollmixer gelegt, um eine gleichmäßige Durchmischung und maximale Auflösung des bleihaltigen Staubes vom Filter zu erzielen. Mit der Probe in Lösung wurde anschließend ebenfalls die Graphitrohr-Atomabsorptionsspektroskopie durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse des Ist-Zustandes

3.1.1 Expositionsversuch mit Probanden (ohne FFP-2-Masken)

Der erste Expositionsversuch wurde mit je drei männlichen und drei weiblichen Probanden im Alter von 23 bis 32 Jahren durchgeführt. Folgende Daten liegen dem Versuch zugrunde:

Expositionsdauer [min]	64
Schussanzahl (GK=Großkaliber)	440 GK
Luftströmungsgeschwindigkeit [m/s]	0,05

Tab. 7 Daten des Expositionsversuchs ohne FFP-2-Masken

3.1.1.1 Luftmessungen

Die erste Probe zeigt die Luftbleikonzentration an der Position der Schützen, die zweite Probe lässt auf die Konzentration, der die Probanden ausgesetzt waren, schließen. Die dritte Probe diente zur Erfassung der Konzentration im Vorraum. Die Luftbleikonzentration im Vorraum wurde mit $0,01 \text{ mg/m}^3$ gemessen und lässt dadurch auf eine gute Abschirmung zum Schießstand schließen. Bis auf wenige Ausnahmen blieb die Tür zum Schießstand während des gesamten Versuchs geschlossen.

Filter	Messposition	Mittlere Luft-Blei-Konzentration [mg/m^3]
1. Filter	30 cm neben einem Schützen auf Kopfhöhe	4,05
2. Filter	1,50 m hinter dem Schützen, auf Kopfhöhe der Probanden	2,20
3. Filter	Im Vorraum in 1,50 m Höhe	0,01

Tab. 8 Luftmessungen des Expositionsversuch ohne FFP-2-Masken

3.1.1.2 Bleibestimmung im Blut

Die Ergebnisse der Bleibestimmung im Blut sind in Abb. 11 aufgetragen. Die ersten vier Probanden saßen im Schießstand 1,50 m hinter den Schützen auf Stühlen. Die letzten beiden Probanden hielten sich in der Mitte des Vorraumes auf. In der linken Säule sind die Blutbleiwerte der Probanden in $\mu\text{g/l}$ vor der Exposition, in der rechten Säule die Werte 48 Stunden nach der Exposition aufgetragen.

Alle Blutbleiwerte der Probanden lagen vor der Exposition unter dem bundesdeutschen Median von $31 \mu\text{g/l}$. Bei den beiden Probanden im Vorraum ergab sich keine signifikante Veränderung des durchschnittlichen Blutbleigehaltes (mittlere Zunahme = $0,3 \mu\text{g/l}$). Wegen des sehr geringen Ergebnisses der Luftmessung aus dem Vorraum können diese beiden Probanden als Kontrollgruppe zur Blutbleiwertmessung dienen. Der Mittelwert der vier Probanden im Schießstand lag vor Exposition bei $17,4 \mu\text{g/l}$ und 48 Stunden nach der Exposition bei $39,9 \mu\text{g/l}$. Daraus ergibt sich durch die 64 min andauernde Exposition im Schießstand eine durchschnittliche Zunahme des Blutbleigehaltes von $22,5 \mu\text{g/l}$ (Min: $12,3 \mu\text{g/l}$, Max: $31,4 \mu\text{g/l}$, SD: $10,0$).

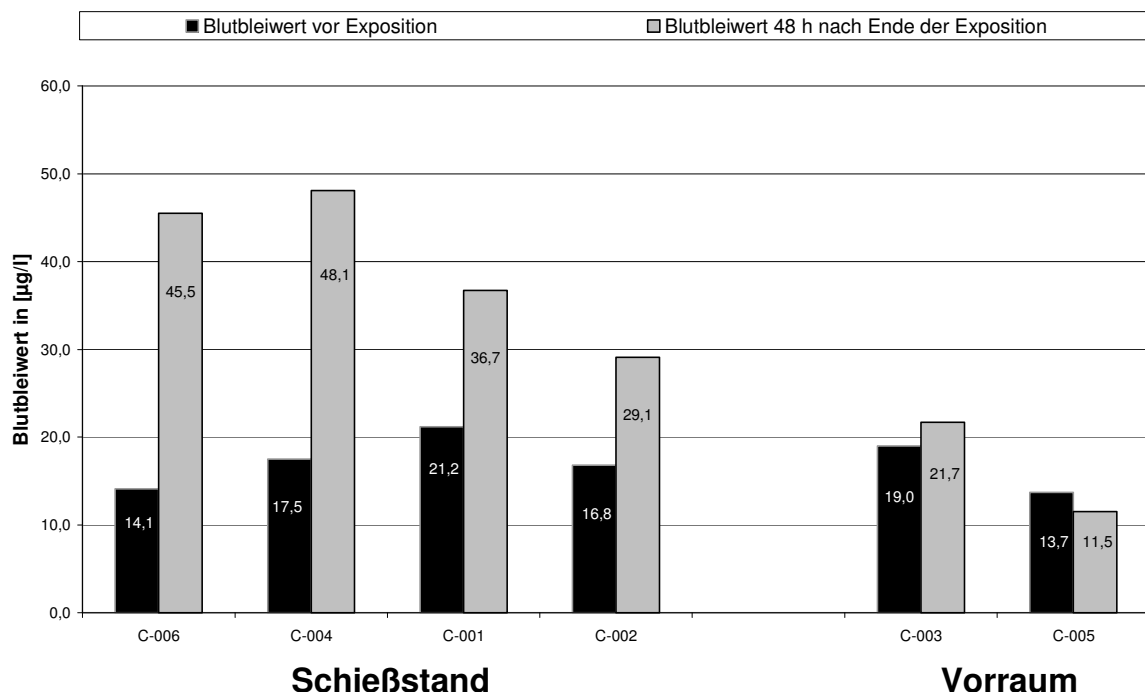


Abb. 11 Blutbleiwerte der Probanden (ohne FFP-2-Masken) vor und 48 h nach Exposition

3.1.1.3 Bleibestimmung im Urin

Bei allen Probanden wurden insgesamt drei Urinabgaben auf Blei untersucht. Die erste erfolgte zwei Stunden vor Exposition, die zweite vier Stunden nach und die dritte 48 Stunden nach der Exposition. Es wurde die Einheit $\mu\text{g Pb pro g Kreatinin}$ gewählt, um näherungsweise eine quantitative Aussage treffen zu können. Die Messergebnisse aller sechs Probanden sind in Abb. 12 aufgetragen.

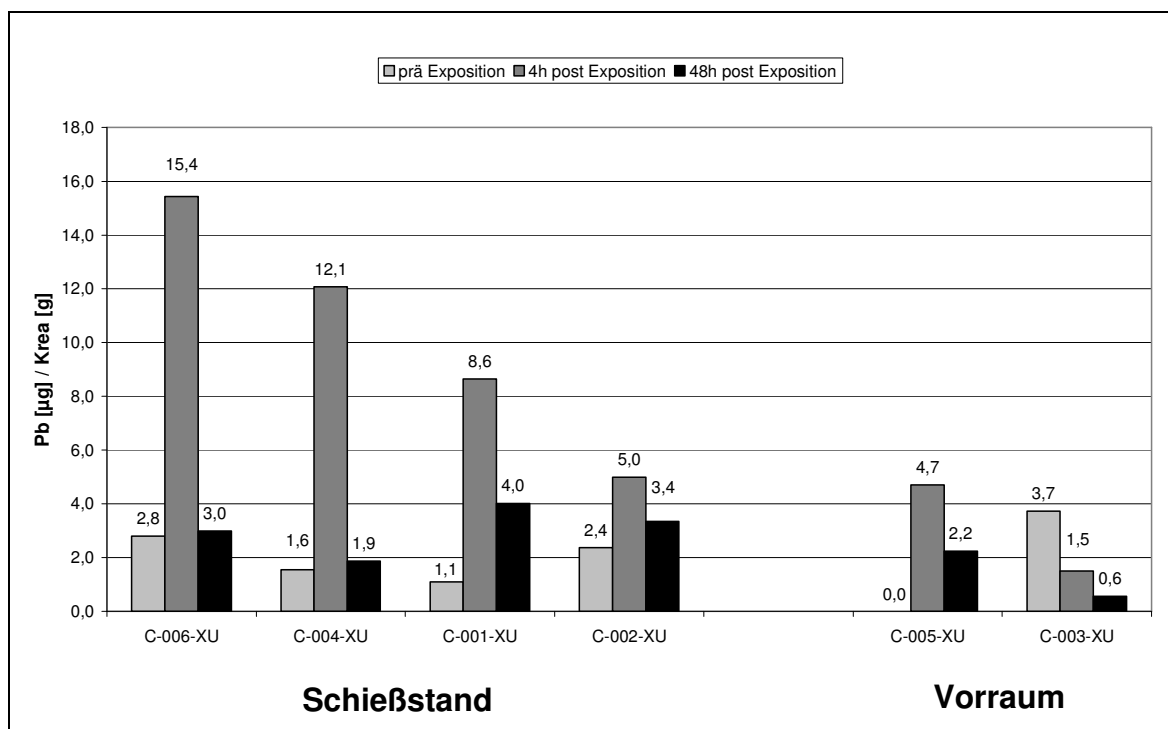


Abb. 12 Bleiausscheidung der Probanden im Urin

Aus der gemessenen Luftkonzentration von $0,01 \text{ mg/l}$ im Vorraum lässt sich folgern, dass dort keine merkliche Bleikontamination der Luft stattgefunden hat. Somit sind die zwei Probanden im Vorraum nicht exponiert gewesen. Die Durchschnittsergebnisse der Bleimessungen im Urin der vier Probanden im Schießstand sind in Tab. 9 aufgezeigt.

Durchschnittliche Bleiausscheidung im Urin	[$\mu\text{g PB} / \text{g Krea}$]	SD
vor Exposition	2,0	0,8
4 Stunden nach Beendigung der Exposition	10,3	4,5
48 Stunden nach Beendigung der Exposition	3,1	0,9

Tab. 9 Mittlere Bleiausscheidung im Urin der vier Probanden aus dem Schießstand

Die höhere Ausscheidung von Blei im Urin in den ersten vier Stunden lässt sich durch die überwiegend renale Elimination des Bleis während der Exposition und der Zeit kurz danach erklären. Da das aufgenommene Blei schnell an die Erythrozyten bindet und somit schlechter frei filtriert werden kann, sind auch die gemessenen Bleiausscheidungen 48 Stunden nach der Exposition deutlich geringer als die 4 Stunden nach der Exposition. Nach 48 Stunden kann im Vergleich zum Ausgangswert nur noch ein geringer Anstieg der Bleiausscheidung im Urin der Probanden festgestellt werden (von 2,0 µg Pb/g Krea vor Exposition auf 3,1 µg Pb/g Krea 48 Stunden nach Exposition).

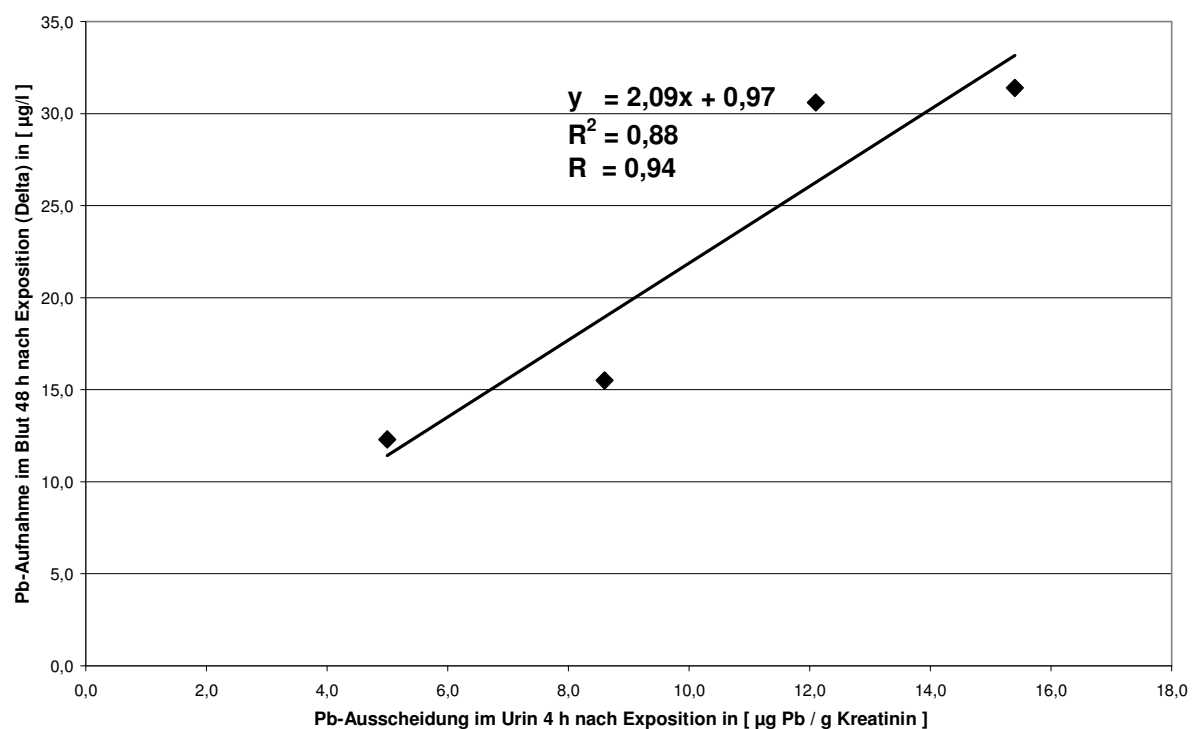


Abb. 13 Korrelation zwischen der Bleiausscheidung über den Urin und dem Blutbleiwert

Abb. 13 zeigt bei den vier Probanden im Schießstand die Korrelation der mittleren Bleiausscheidung im Urin vier Stunden nach der Exposition und dem Blutbleigehalt 48 Stunden nach der Exposition. Eine hohe Korrelation von $R = 0,94$ verdeutlicht, dass die frühe Bleiausscheidung im Urin in den ersten vier Stunden direkt proportional zur inhalativen Bleiaufnahme ist.

3.1.2 Blutbleiwertbestimmungen bei Sportschützen des Versuchsschießstandes

Die Auswertung der Fragebögen der 15 aktiven Sportschützen des Versuchsschießstandes ergab, dass weder im Beruf noch im Privatem Quellen für eine potentielle Bleikontamination auszumachen waren. Folgende Ergebnisse gingen aus den Fragebögen hervor:

	Durchschnitt	Median	Min	Max	SD
Alter [Jahre]	57,9	55	40	80	11,5
Schießsportdauer [Jahre]	22,7	25	5	40	13,8
Schießstandbesuche [pro Monat]	4,8	4	1	15	4,2
Schüsse [pro Monat]	258,3	200	25	800	235

Tab. 10 Ergebnisse der Fragebögen der 15 Sportschützen des Versuchsschießstandes

Die gemessenen Blutbleiwerte im Vollblut erstreckten sich bei den 15 Sportschützen von 42,3 µg/l bis 416,8 µg/l. Der Mittelwert betrug 147,3 µg/l, der Median 106,3 µg/l, die Standardabweichung 109,3. Alle hier erfassten Werte lagen über dem Bundesdeutschen Median von 30,7 µg/l. Elf Werte (73 %) lagen über dem Referenzwert (95 % - Perzentile) von 71 µg/l [7]. Fünf Werte (33 %) überschritten den 2009 ausgesetzten HBM-I-Wert. Hierbei kann eine gesundheitliche Beeinträchtigung nicht ausreichend sicher ausgeschlossen werden [55]. Zwei Werte (13 %) überschritten sogar den ausgesetzten HBM-II-Wert von 250 µg/l. Bei diesen hohen Blutbleikonzentrationen ist eine gesundheitliche Beeinträchtigung möglich.

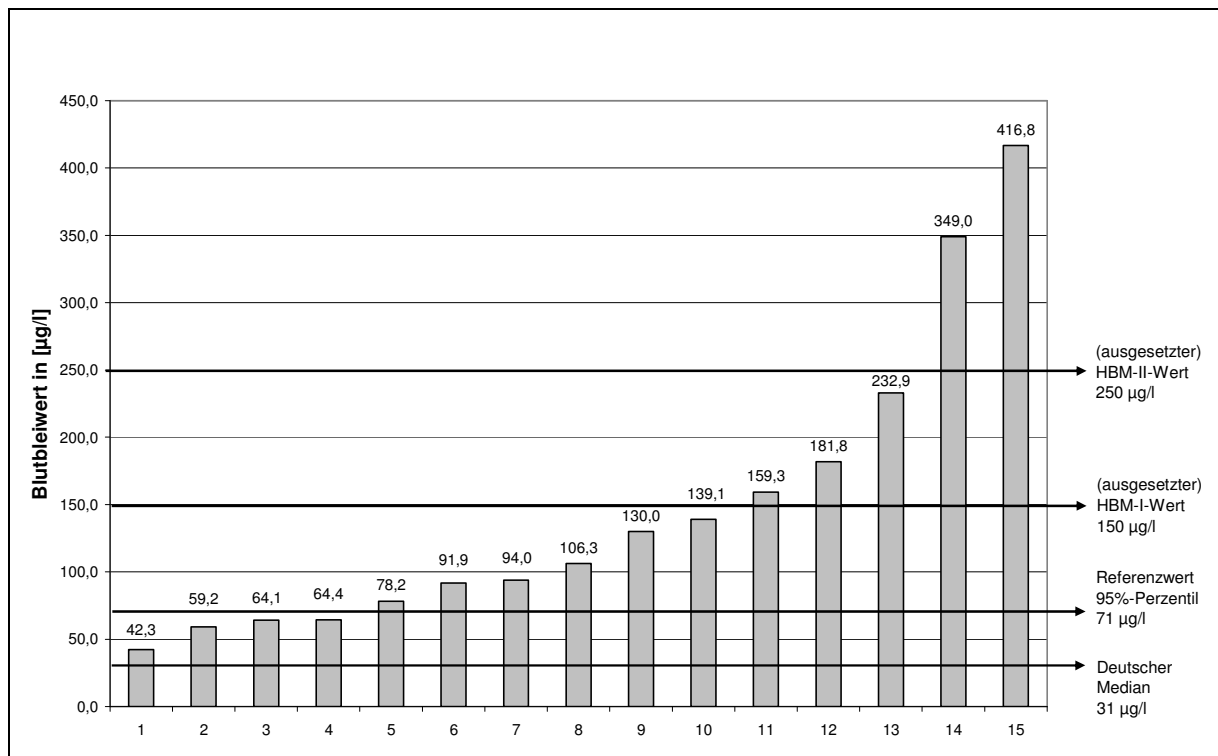


Abb. 14 Blutbleiwerte der Sportschützen des Versuchsschießstandes

Es ist eine hohe Korrelation zwischen dem Blutbleiwert des jeweiligen Sportschützen und der angegebenen Anzahl der Schüsse, die pro Monat abgefeuert werden, zu verzeichnen (Abb. 15). Ein Korrelationskoeffizient von 0,92 ist hochsignifikant.

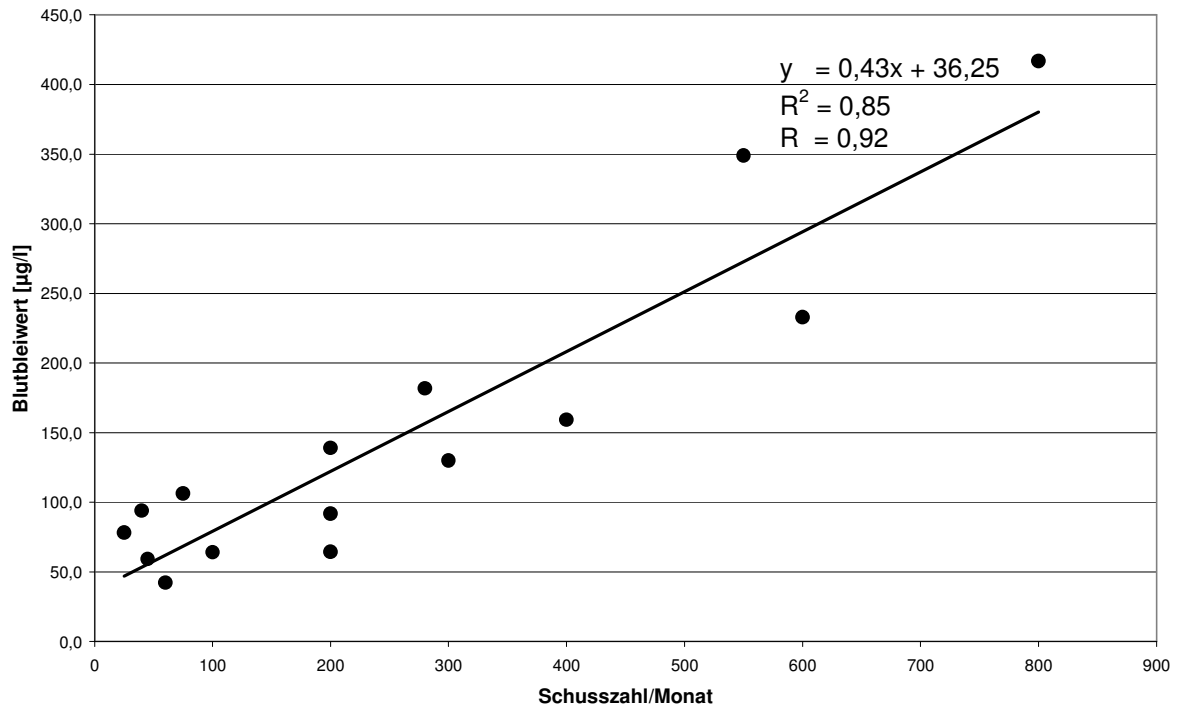


Abb. 15 Korrelation von Blutbleiwert und der abgefeuerten Schusszahl pro Monat

Bei der Korrelation zwischen dem Blutbleiwert und der aus den Fragebögen entnommenen Anzahl der Schießstandbesuche pro Monat ergibt sich mit $R = 0,88$ ein ähnlich hoher Wert. Eine höhere Schussanzahl bedingt nicht nur eine erhöhte Luftstaubbelastung, sondern hat auch eine längere Aufenthaltsdauer im Schießstand zur Folge. Dies erklärt die hohe Interkorrelation (Abb. 15 und Abb. 16). Der Sportschütze mit dem höchsten Blutbleiwert von $416,8 \mu\text{g/l}$ gab an, durchschnittlich 15-mal im Monat zum Schießen zu gehen, also praktisch jeden zweiten Tag.

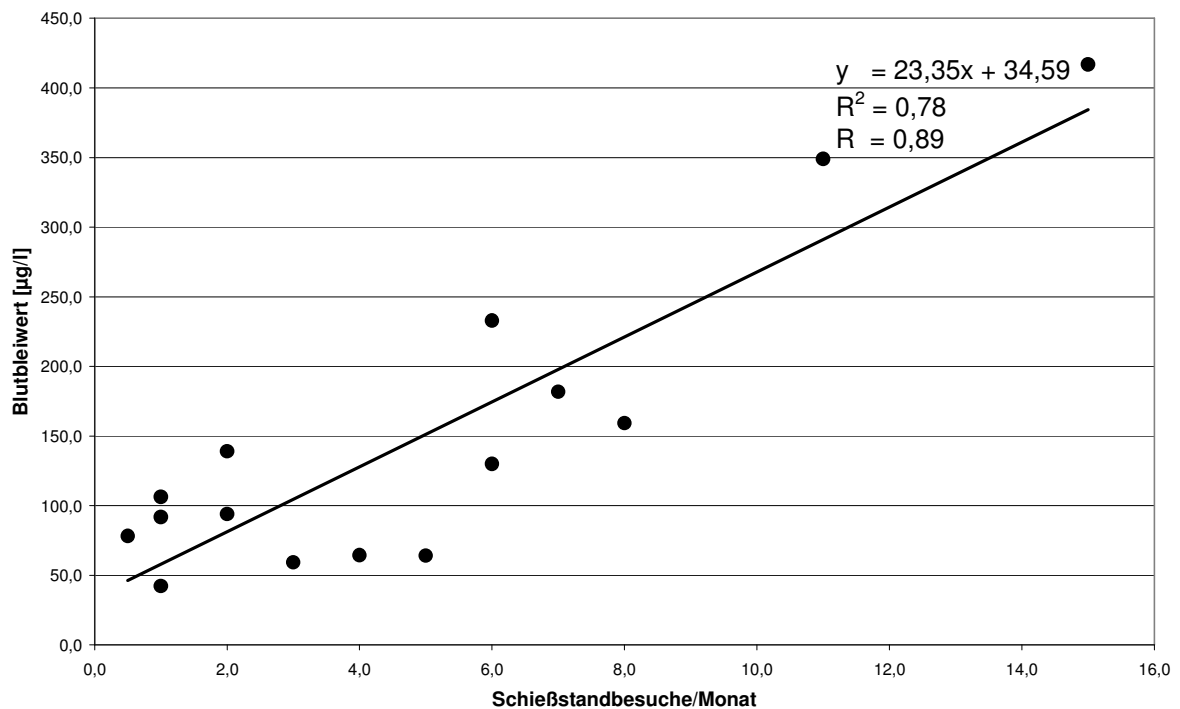


Abb. 16 Korrelation zwischen Blutbleiwert und der Anzahl der Schießstandbesuche pro Monat

3.1.3 Luftmessungen in Schießständen

3.1.3.1 Anteil von Blei im Luftstaub

Die Filtergewichte sowie die Masse des im Filter enthaltenen Bleis der Luftstaubsammelgeräte sind in Tab. 11 aufgetragen. Die Filter stammen aus den verschiedenen Messpunkten der beiden Expositionsversuche mit Probanden sowie einer weiteren isolierten Luftmessung. Alle Messungen wurden im selben Schießstand unter vergleichbaren Bedingungen durchgeführt. Der durchschnittliche Bleianteil des Staubes, der in einem Schießstand unter Betrieb bei der Verwendung von bleihaltiger Munition entsteht, liegt mit ca. 61 Gewichtsprozenten hoch.

Filter	A	B	C	D	E	Mittelwert	Median	SD
Gesamtgewicht [mg]	0,46	0,34	1,52	0,92	1,77			
Pb-Masse [mg]	0,26	0,25	0,91	0,49	1,06			
Pb-Masse am Gesamtgewicht (%)	56,5	73,5	59,9	53,3	59,9	60,6	59,9	7,7

Tab. 11 Anteil des Bleis am Gesamtluftstaub

3.1.3.2 Masse und Partikelgrößen des Staubes

In Abb. 17 werden die entstandenen Partikelfractionen während des ersten Expositionsversuchs (ohne FFP-2-Masken) im zeitlichen Verlauf dargestellt. Es kamen hierbei ausschließlich großkalibrige Kurzwaffen zum Einsatz. Zwar haben die vier Schützen nicht durchgängig gleichmäßig geschossen, es fällt dennoch auf, dass die höchste Luftstaubkonzentration erst ca. 15 Minuten nach Schießbeginn gemessen wurde. In den letzten 15 Minuten hat laut Schussprotokoll die Schussfrequenz abgenommen. Nach Beendigung des Schießens dauerte es nur wenige Minuten, bis die Werte wieder auf die Ausgangswerte gesunken sind. Die Effektivität der Lüftungsanlage auf die Luftstaubkonzentration ist zwar erkennbar, es zeigt sich jedoch, dass die Lüftungsleistung bei voller Besetzung des Schießstandes nicht ausreicht, um die Luftstaubkonzentration während der gesamten Schießdauer konstant gering zu halten.

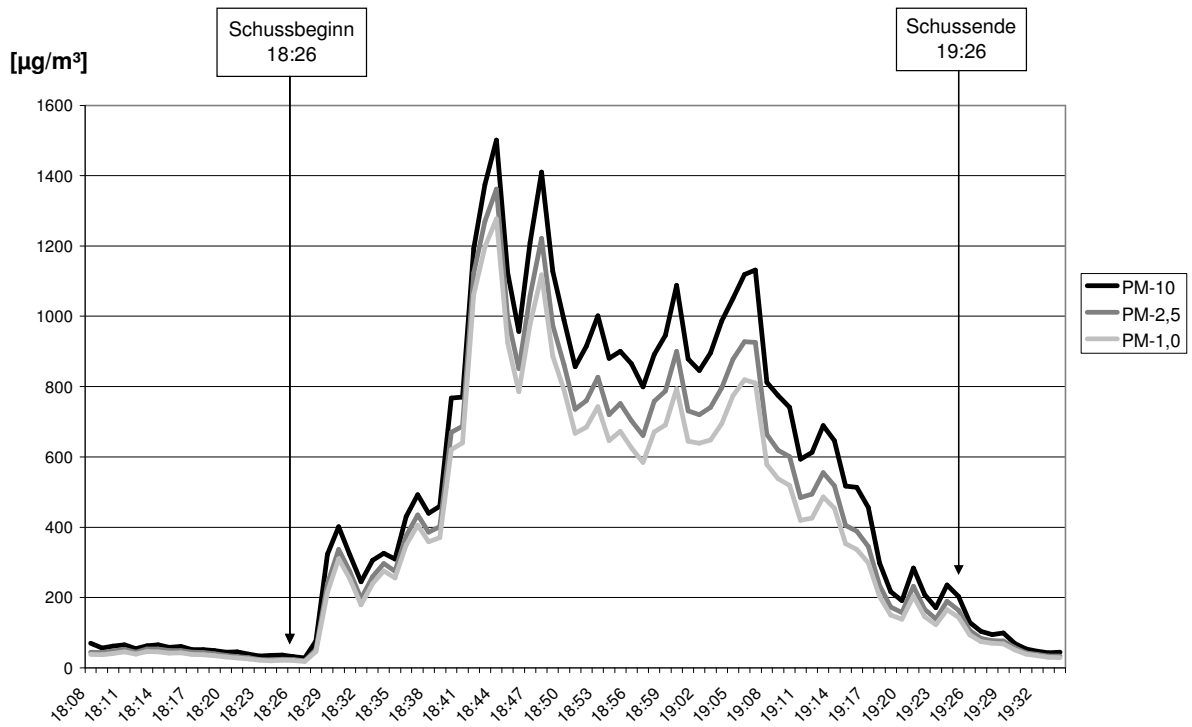


Abb. 17 Zeitlicher Verlauf der Emission während des Expositionsversuchs

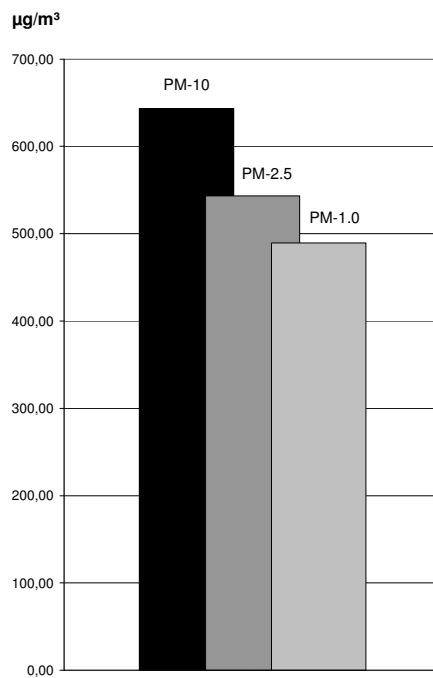


Abb. 18 Anteile der Partikelfractionen der Luftstaubmessung

Aus derselben Luftmessung wurden in Abb. 18 die Anteile der Partikelfractionen aufgetragen. Partikel der PM-10-Fraktion werden zu 50 % im thorakalen Atembereich abgeschieden und gelten somit auch als „Inhalierbarer Feinstaub“. 85 % des PM-10-Feinstaubes liegen in der sog. "Feinfraktion", der durch den PM-2,5-Wert repräsentiert wird. Er wird auch als "alveolargängiger Feinstaub" bezeichnet und wird mit bis zu 50 % in der Lunge abgeschieden. Je kleiner die Partikel, desto tiefer können diese in der Lunge vordringen und desto verstärkt werden sie aufgenommen. In welcher dieser Fraktionen sich die Hauptmasse des Bleis befindet, kann bei dieser Art der Messung nicht genau eruiert werden. Da der Bleianteil an der Gesamtstaubmasse jedoch ca. 61 % beträgt, ist zu vermuten, dass dessen Hauptmasse sich der Verteilung der Partikelfractionen annähert. Mit Sicherheit kann jedoch die Hauptmasse des Bleis dem Feinstaub (PM-10) zugeordnet werden [37].

3.1.3.3 Luftmessungen an weiteren Schießständen

Um zu überprüfen, ob die Daten des Versuchsschießstandes repräsentativ sind, wurden isolierte Luftmessungen an acht weiteren Schießständen in Bayern durchgeführt. Es handelte sich dabei um geschlossene Schießstände, bei denen nur Kurzwaffen mit bleihaltiger Munition zum Einsatz kamen. Es wurde ausschließlich die Luftbleikonzentration analog der Expositionsversuche über einem bestimmten Zeitraum gemessen. Die Position des Luftstaubsammelgerätes befand sich dabei standardisiert 1,5 m hinter den Schützen der beiden mittleren Schießbahnen auf 1,5 m Höhe. Da die Schusszahlen, die Messzeiten sowie die Art der Waffen und der Kaliber bei den jeweiligen Messungen unterschiedlich waren, wurde ein „Emissionsäquivalenzwert“ berechnet, um die Belastung der Schießstände untereinander direkt vergleichen zu können. Dieser Wert mit der Einheit [ng Pb / m³ / Schussäquivalent-Großkaliber / Minute] ist bislang nie beschrieben worden und hat derzeit auch keine Relevanz zur Beurteilung von Schießständen. Holl bewertet die Bleistaubfreisetzung bei großkalibrigen Waffen näherungsweise doppelt so hoch wie bei Kleinkaliberwaffen [37].

Die Formel (Schussanzahl Großkaliber + Schussanzahl Kleinkaliber : 2) soll in dieser Auflistung die Schussanzahl auf einem Schießstand in „Schussäquivalent-Großkaliber“ ausdrücken. Der „Emissionsäquivalenzwert“ wird somit aus der Luft-Blei-Konzentration pro Schussäquivalent-Großkaliber pro Minute berechnet.

Versuch	Mittlere Luftblei- konzentration [mg/m ³]	Schuss [GK / KK]*	Schussäquivalent-GK [GK + KK / 2)*	Dauer [min]	Emissionsäquivalent [ng/m ³ Pb : SchussÄ-GK : min]
VSS-1 **	2,2	440/0	440	64	78,1
VSS-2 **	2,24	285/200	385	67	117,3
E-01	0,4	300/0	300	60	22,2
E-02	0,07	80/0	80	31	28,2
E-03	1,27	150/0	150	50	169,3
E-04	0,11	165/57	194	46	14,5
E-05	0,49	210/100	260	60	38,9
E-06	1,44	190/165	273	60	126,3
E-07	0,01	545/0	545	60	0,3
E-08	0,17	168/96	216	60	16,9

* GK = Großkaliber KK = Kleinkaliber

** VSS = Messung am Versuchsschießstand

E-01 bis E-08 = Messung an 8 weiteren Schießständen

Tab. 12 Luftkonzentrationsmessungen an acht weiteren Schießständen in Bayern

In Abb. 19 sind der berechnete Emissionsäquivalenzwert der beiden Messungen aus dem Versuchsschießstand (VSS-1 und VSS-2), sowie je einer Messung aus acht weiteren Schießständen aufgetragen (E-01 bis E-08). Es ist daraus ersichtlich, dass zwei der acht Schießstände eine höhere Emission an Bleistaub aufweisen als der Versuchsschießstand der Expositionsversuche.

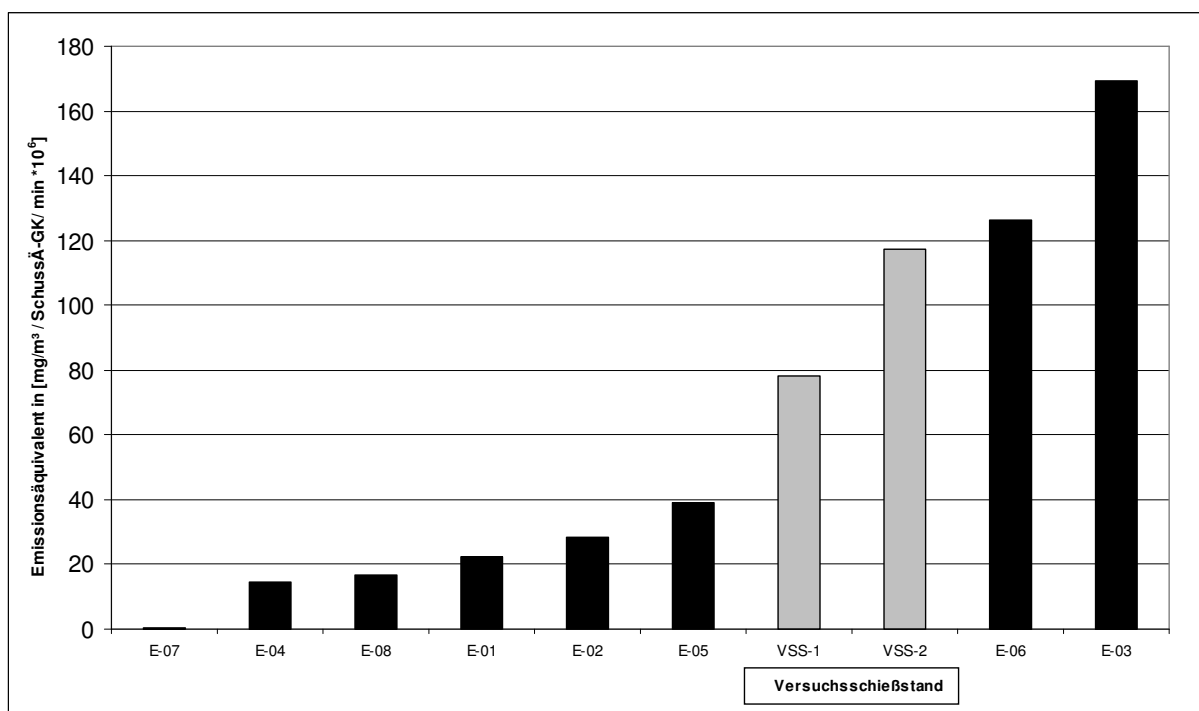


Abb. 19 Darstellung der Luftbleibelastung auf acht weiteren Schießständen in Bayern

3.2 Ergebnisse nach Intervention mit FFP-2-Masken

3.2.1 Expositionsversuch mit Probanden (mit FFP-2-Masken)

Dieser Versuch wurde analog dem ersten Expositionsversuch mit je zwei männlichen und zwei weiblichen Probanden im Schießstand durchgeführt. Das Alter der Probanden lag zwischen 24 und 25 Jahren. Es wurde darauf geachtet, möglichst vergleichbare Versuchsbedingungen wie im 1. Expositionsversuch zu schaffen. Es wurden alle vier Probanden mit FFP-2-Masken ausgestattet, die sie vor Betreten des Schießstandes an- und erst nach Verlassen wieder ablegten. Auf weitere Probanden im Vorraum wurde aufgrund der bereits belegten sehr geringen Luftbleikonzentration verzichtet.

Folgende Daten wurden ermittelt:

Expositionsdauer [min]	67
Schussanzahl (GK = Großkaliber KK = Kleinkaliber)	200 GK 285 KK <hr/> 485 Gesamt
Luftströmungsgeschwindigkeit [m/s]	0,05

Tab. 13 Daten des Expositionsversuchs mit FFP-2-Masken

3.2.1.1 Luftmessungen

Analog dem ersten Versuch wurden die Luftstaubsammelgeräte im Schießstand an denselben Positionen aufgestellt. Ein weiteres baugleiches Gerät wurde mit einer FFP-2-Maskenkonstruktion versehen und neben dem Gerät der Probandenposition positioniert (siehe Punkt 2.3.1). Die Ergebnisse der unpräparierten Sammelgeräte waren denen des ersten Versuches sehr ähnlich. Die Konzentrationen lagen bei 4,50 mg/m³ im Atembereich des Schützen und bei 2,24 mg/m³ auf Kopfhöhe der Probanden hinter dem Schützen (zum Vergleich aus dem ersten Versuch ohne FFP-2-Masken: 4,05 mg/m³ und 2,20 mg/m³). Das mit dem FFP-2-Filter versehene Staubsammelgerät wies eine sehr geringe Luftbleibelastung von nur 0,01 mg/m³ auf und zeigt deutlich die Effektivität des eingesetzten Filters.

Filter	Messposition	Mittlere Luft-Blei-Konzentration [mg/m ³]
1. Filter	30 cm neben einem Schützen auf Kopfhöhe	4,50
2. Filter	1,50 m hinter dem Schützen, auf Kopfhöhe der Probanden ohne FFP-2 Filter	2,24
3. Filter	1,50 m hinter dem Schützen, auf Kopfhöhe der Probanden mit FFP-2 Filter versehen	0,01

Tab. 14 Ergebnisse der Luftmessungen des Expositionsversuchs mit FFP-2-Masken

3.2.1.2 Bleibestimmung im Blut

Die Ergebnisse der Bleibestimmung im Blut sind erneut, analog denen des ersten Versuchs (ohne FFP-2-Masken), in Abb. 20 aufgetragen. Der Mittelwert der vier Probanden lag vor Exposition bei $21,3 \mu\text{g/l}$ (SD = 8,6) und 48 Stunden nach der Exposition bei $20,0 \mu\text{g/l}$ (SD = 5,2). Die Differenz ergibt im Durchschnitt $-1,3 \mu\text{g/l}$ (Median = $-0,8 \mu\text{g/l}$, SD = 6,0). Der negative Wert dieses Ergebnisses kann durch die geringe Probandenzahl und die Streuung der Messergebnisse von bis zu 15 % erklärt werden. Faktisch ist somit keine Zunahme des Blutbleiwertes zu beobachten.

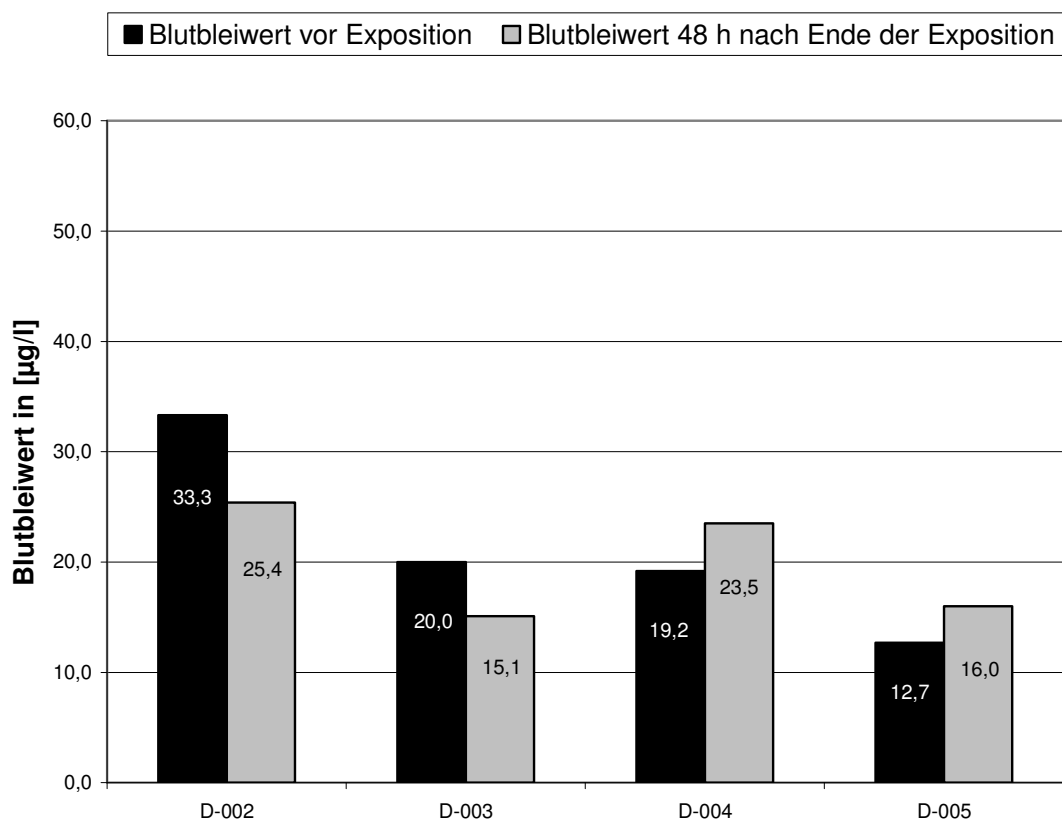


Abb. 20 Blutbleiwerte der Probanden (mit FFP-2-Masken) vor und 48 h nach Exposition

3.2.2 Expositionsversuch mit einem aktiven Sportschützen

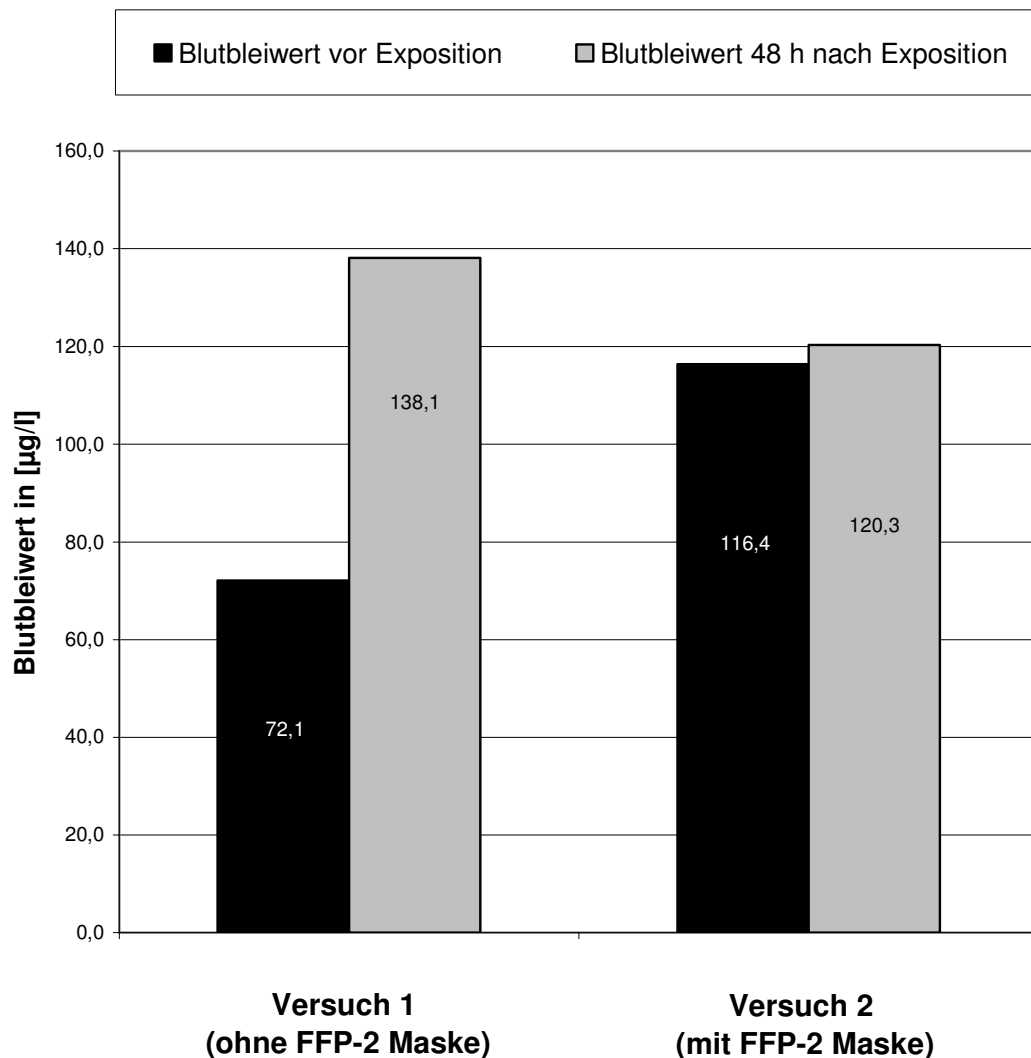


Abb. 21 Blutbleiwerte bei einem Sportschützen mit und ohne einer FFP-2-Maske

Zeitgleich und analog den beiden Expositionsversuchen mit Probanden wurde bei einem 28-jährigen männlichen Sportschützen ebenfalls vor Schießbeginn und 48 Stunden nach Ende des Schießbetriebes venös Blut abgenommen und auf den Bleigehalt hin untersucht. Wie die Probanden wurde dieser Sportschütze, der ausschließlich mit Großkalibermunition geschossen hat, beim 1. Versuch ohne und beim 2. Versuch mit einer FFP-2-Maske ausgestattet. Die Ergebnisse sind in Abb. 21 dargestellt.

Die unterschiedlichen Ausgangswerte des Schützen lassen sich dadurch erklären, dass er in den zwei Monaten, die zwischen den beiden Versuchen lagen, weiterhin aktiv dem Schießsport nachgegangen ist.

Dieser Vergleich bringt zwei interessante Erkenntnisse. Zum einen ist anhand der Blutbleiwerte beim Schützen ebenfalls die protektive Funktion einer FFP-2-Maske deutlich zu erkennen. Die Bleizunahme im Vollblut betrug ohne Maske 66,0 µg/l, mit Maske jedoch nur 3,9 µg/l.

Der Vergleich der durchschnittlichen Blutbleizunahme der Probanden aus dem Expositionsversuch ohne FFP-2-Masken mit durchschnittlich 22,5 µg/l und der zeitgleich stattgefundenen Blutbleizunahme des Sportschützen in demselben Versuch von 66,0 µg/l ergibt eine dreifach höhere Zunahme beim Schützen. Grund hierfür ist aller Wahrscheinlichkeit nach der nähere Standort des Schützen zur Emissionsquelle. Die im selben Versuch im Atembereich des Schützen gemessene Luftbleikonzentration von 4,05 mg/m und die geringere, bei den Probanden gemessene Konzentration von 2,20 mg/m³ zeigen, dass das Ergebnis durchaus plausibel ist. Die FFP-2-Filtermaske wurde vom Schützen zwar als ungewohnt empfunden, hat ihn aber weder bei seiner Konzentration gestört noch beim Schießen behindert.

4 Diskussion

4.1 Bewertung der Versuche und der Ergebnisse

4.1.1 Expositionsversuche

Die Expositionsversuche wurden absichtlich nicht mit Sportschützen, sondern mit unbelasteten Probanden durchgeführt, da die Messergebnisse bei Schützen durch bereits vorhandene Bleibelastungen beeinflusst sind. Durch die vor dem Versuch abgenommene Blutprobe konnte bei beiden Expositionsversuchen (mit und ohne FFP-2-Masken) eine vorherige Bleibelastung der Probanden ausgeschlossen werden. Somit ist die 48 Stunden später im Blut gemessene Bleiaufnahme allein der einstündigen Exposition im Schießstand zuzuschreiben.

Hursh et al. veröffentlichten 1969 die Ergebnisse eines Versuchs, bei dem die Bleikinetik bei 10 Probanden untersucht worden war. Zunächst hatten diese über einen Zeitraum von 8 bis 15 Minuten mit radioaktiv markiertem Bleistaub versetzte Luft (Pb-212*) inhaliert. 2 bis 10 Minuten nach Beendigung der Inhalation wurden über dem Thorax der Probanden Messungen mit einer γ -Kamera durchgeführt. Des Weiteren wurden zu festgelegten Zeiten Blut-, Urin- und Stuhlproben entnommen. Hursh zeigte auf, dass nach einmaliger inhalativer Exposition der Blutbleiwert nach ca. 48 h sein Maximum erreicht und dann durch Eliminations- und vor allem Verteilungsprozesse in die verschiedenen Gewebe bzw. Kompartimente des Organismus wieder abfällt [40]. Aufgrund dieser Erkenntnis wurde in den Expositionsversuchen die zweite Blutabnahme ebenfalls 48 Stunden nach der Exposition durchgeführt, um eine möglichst genaue Aussage zur Blutbleiaufnahme treffen zu können.

Es bietet sich an, den Wert der mittleren Bleizunahme von 22,5 $\mu\text{g/l}$ (12,3 $\mu\text{g/l}$ bis 31,4 $\mu\text{g/l}$) Vollblut bei den vier Probanden aus dem 1. Versuch (ohne FFP-2-Masken) näher zu betrachten. Aus dem durchschnittlichen Atemminutenvolumen eines Erwachsenen mit ca. 7 l/min im Ruhezustand [40], einer Expositionsdauer von 64 Minuten und einer Luftbleikonzentration von 2,2 mg/m^3 im Atembereich der Probanden errechnet sich somit eine Gesamtmenge an inhaliertem Blei von 0,99 mg. Die Abscheidung, d.h. die Menge an Blei, die zunächst in den Lungen verbleibt, wird mit 37 % angegeben [46]. Hiervon werden ca. 95 % resorbiert. Die verbleibenden 5 % werden über die mucoziliäre Clearance verschluckt und größtenteils wieder ausgeschieden [46]. Dies kann somit vernachlässigt werden.

Die mittlere Gesamtleiaufnahme in den Organismus kann näherungsweise berechnet werden (siehe Tab. 15). Im ersten Versuch (ohne FFP-2-Masken) lag diese bei ca. 0,36 mg Blei.

$0,007 \frac{m^3}{min}$	•	64 min	•	$2,2 \frac{mg}{m^3}$	•	0,37	=	0,36 mg
Atemminuten- volumen eines Erwachsenen in Ruhe (= 7 l/min) [64]		Expositions- dauer		Luftbleikonzen- tration an der Position der Schützen		Faktor der Abschei- dung in der Lunge [46]		Näherungsweise berechnete Gesamtmenge des systemisch aufgenommenen Bleis während der Exposition

Tab. 15 Abschätzung der systemischen Bleiaufnahme der Probanden während des Expositionsversuchs ohne FFP-2-Masken

Hursh konnte in einer weiteren Studie zur Bleikinetik feststellen, dass nach 48 Stunden im Mittel 50 % des in der Lunge abgeschiedenen radioaktiv markierten Bleis im Blut nachweisbar waren [39]. Hierbei ist die Ausscheidung von Blei in den ersten 48 Stunden, die vor allem über den Urin geschieht, mit einbezogen. Um zu sehen, ob eine mittlere Aufnahme von 0,36 mg pro Proband als realistisch einzustufen ist, kann mit diesem Wert und dem geschätzten Blutvolumen der Probanden die Zunahme der Blutbleikonzentration durch die Exposition näherungsweise berechnet und mit den gemessenen Blutbleiwerten verglichen werden.

0,36 mg	•	$5 l^{-1}$	•	0,5	=	36 µg/l
Näherungsweise berechnete Gesamtmenge des systemisch aufgenommenen Bleis während der Exposition		Durchschnittliches Blutvolumen eines Erwachsenen [64]		Faktor des 48 h nach Exposition enthaltenen Blei im Blut [40]		Näherungsweise berechnete Zunahme des Blutbleigehaltes 48 h nach Exposition

Tab. 16 Rechnerische Überlegung zur Zunahme des Blutbleigehaltes der Probanden 48 h nach Beendigung des Expositionsversuchs ohne FFP-2-Masken

Dem Rechenmodell liegt die Abscheidung in der Lunge zu Grunde, deren Genauigkeit in Kinetikversuchen nur näherungsweise bestimmt werden konnte. Dieser Wert ist zudem von der Größenverteilung der inhalierten Bleipartikel abhängig, die jedoch nicht genau bekannt war. Bei der Modellrechnung wurde das Atemminutenvolumen, das Gewicht bzw. das Blutvolumen der Probanden nicht bestimmt. Bei den Rechnungen wurde mit Standardwerten für Erwachsene gerechnet (Atemminutenvolumen von 7 l/min und einem Blutvolumen von 5 l), wodurch sich weitere Ungenauigkeiten ergeben.

Bei der theoretischen Modellrechnung ergibt sich bei den Probanden eine mittlere Blutbleiwertzunahme von 36 µg/l, die der tatsächlich gemessenen mittleren Zunahme von 22,5 µg/l durchaus nahe kommt. Die auf dem Rechenweg ermittelte mittlere systemische Aufnahme von 0,36 mg Blei (Tab. 15) während der 64-minütigen Exposition im Schießstand erscheint somit als durchaus realistisch.

Die WHO gibt den PTWI-Wert (Provisionally Tolerable Weekly Intake) mit 25 µg/kg KG/Woche für Erwachsene an. Bei einem Erwachsenen mit durchschnittlich 70 kg Körpergewicht entspricht dies einer Dosis von 1,75 mg/Woche. Dabei ist zu berücksichtigen, dass dieser Wert für die orale Aufnahme bestimmt wurde [75]. Bei Erwachsenen wird Blei oral zu ca. 10 % aufgenommen, der Rest geht über den Stuhl verloren [51].

Dies entspricht somit einer systemischen Bleiaufnahme von 0,175 mg / Woche für Erwachsene. Beim 1. Expositionsversuch (ohne FFP-2-Masken) nahmen die Probanden auf dem Versuchsschießstand näherungsweise 0,36 mg systemisch auf. Der für die effektive Resorption bzw. für die systemische Aufnahme modifizierte PTWI-Grenzwert (0,175 mg / Woche) wird somit bei einer nur knapp einstündigen Aufenthaltszeit im Versuchsschießstand um mehr als das Doppelte überschritten. Entsprechend können Zuschauer und Instruktoren, abhängig vom Standort im Schießstand, einer erhöhten Bleiexposition ausgesetzt sein und sind somit potentiell gefährdet.

Entsprechend lässt sich die systemische Bleiaufnahme näherungsweise auch für die Sportschützen berechnen:

$0,007 \frac{m^3}{min}$	•	64 min	•	$4,1 \frac{mg}{m^3}$	•	0,37	=	0,68 mg
Atemminuten- volumen eines Erwachsenen in Ruhe (= 7 l/min) [64]		Expositions- dauer		Luftbleikonzen- tration an der Position der Schützen		Faktor der Abschei- dung in der Lunge [46]		Näherungsweise berechnete Gesamtmenge des systemisch aufgenommenen Bleis während der Exposition

Tab. 17 Abschätzung der systemischen Bleiaufnahme eines Schützen während Expositionsversuchs ohne FFP-2-Masken

Schützen im Versuchsschießstand nehmen nach nur einer Stunde Schussbetrieb näherungsweise 0,68 mg Blei systemisch auf und überschreiten dabei die dem PTWI-Wert angelehnte erlaubte systemische Bleiaufnahme von 0,175 mg/Woche um mehr als das 3,8-fache. Durch diese erhöhte Bleiaufnahme lassen sich die erhöhten Blutbleiwerte bei Sportschützen mit langjähriger und regelmäßiger Sportausübung erklären.

Die Expositionsversuche mit Probanden zeigen, dass auch schon kurze Aufenthalte in Schießständen unter Betrieb zu merklichen und messbaren Blutbleiwerterhöhungen führen können. Dies erklärt wiederum die hohen Blutbleiwertmessungen von Sportschützen, die dem Bleistaub regelmäßig im Schießstand ausgesetzt sind.

Eine Option, um Sportschützen vor dem Bleistaub zu schützen, ist die Verwendung von Filtermasken während des Aufenthalts im Schießstand. FFP-1-Masken bieten nur Schutz vor Schadstoffkonzentrationen bis zum 5-fachen des MAK-Wertes bzw. des Arbeitsplatzgrenzwertes. Dagegen bieten FFP-2-Masken Schutz bis zur 10-fachen, FFP-3-Masken bis zur 50-fachen Überschreitung des MAK- bzw. AGW-Wertes [55]. In den Versuchen wurden, analog der Empfehlung der Technischen Richtlinie Gefahrstoffe für Blei (TRGS 505) [1], ausschließlich FFP-2-Masken verwendet.

In beiden Expositionsversuchen wurden, trotz der unterschiedlichen Schusszahl und der Verwendung unterschiedlicher Kaliber, annähernd dieselben Luftbleikonzentrationen an den identischen Aufstellungsorten der Staubsammelgeräte gemessen. Somit können die beiden Versuche durchaus miteinander verglichen werden.

Im 1. Expositionsversuch ohne FFP-2-Filtermasken wurde ein durchschnittlicher Blutbleianstieg der Probanden von + 22,5 µg/l gemessen, während es bei den Messungen im 2. Expositionsversuch mit FFP-2-Filtermasken zu keinem Anstieg der Blutbleikonzentration kam (-1,3 µg/l). Noch deutlicher zeigt sich die protektive Wirkung bei den beiden Versuchen mit dem Einzelschützen. Ohne Maske nahm dessen Blutbleiwert um 66 µg/l zu, mit Maske nur um 3,9 µg/l. Dies verdeutlicht, dass das Tragen einer FFP-2-Filtermaske im Schießstand einen nachweislich wirksamen Schutz gegen die Bleiexposition darstellt.

4.1.2 Blutbleiwertbestimmungen bei Sportschützen des Versuchsschießstandes

Die Blutabnahmen der 15 Sportschützen des Versuchsschießstandes wurden an einem Trainingsabend durchgeführt. Eine Aussage über die innere Bleibelastung aller in diesem Schießstand aktiven Schützen kann jedoch nicht endgültig getroffen werden, da der Versuch zuvor angekündigt wurde und nur ein Teil der Schützen teilgenommen hat. Hierbei muss beachtet werden, dass einige Schützen auch noch auf anderen Schießständen aktiv sind und somit zusätzlichen Belastungen ausgesetzt sind. Die vorherige Ankündigung der Messungen und die Teilnahme auf ausschließlich freiwilliger Basis könnte die Repräsentativität des Ergebnisses ebenso beeinflusst haben. Auch unter Berücksichtigung dieser Einflussfaktoren lassen die Ergebnisse jedoch eine näherungsweise eine grobe Abschätzung zur inneren Bleibelastung der Schützen auf dem Versuchsschießstand zu. Die ermittelten Werte der 15 Sportschützen (Mittelwert: 147 µg/l, Median: 106 µg/l) liegen deutlich über dem Bundesdeutschen Median und überschreiten vereinzelt sogar den inzwischen ausgesetzten HBM-II-Wert. Diese Resultate lassen sich trotz der niedrigen Fallzahlen dennoch mit den Ergebnissen der Studie von Demmeler et al. zur Inneren Bleibelastung von Sportschützen aus dem Jahr 2009 vereinbaren [23]. Dort wurde bei 110 Sportschützen, die mit scharfen Waffen geschossen haben, ein durchschnittlicher Blutbleigehalt von 131 µg/l (Median: 105 µg/l) gemessen. Die hochsignifikante Korrelation zwischen dem Blutbleiwert und der Anzahl der Schießstandbesuche pro Jahr ($R = 0,88$) lässt auf den Schießsport als Hauptursache der Bleibelastung der Sportschützen schließen. Andere Ursachen konnten durch die Ergebnisse des Fragebogens weitgehend, aber dennoch nicht mit absoluter Sicherheit, ausgeschlossen werden. Der Schütze, der mit 417 mg/l den höchsten Blutbleiwert aufwies, gab an, an jedem 2. Tag, auch in anderen Einrichtungen, zu schießen. Er war zudem auch ein so genannter „Wiederlader“. Das sind Sportschützen, die leere Patronenhülsen erneut mit Zünder, Treibmittel und dem Projektil versehen und zu kompletten Geschossen zusammenbauen. Hierzu bedarf es der erforderlichen Sachkunde und einer Erlaubnis nach § 27 des Sprengstoffgesetzes (SprengG) [35]. Vereinzelt gießen manche Wiederlader ihre Bleiprojektile auch selbst, wodurch das Risiko der Bleiaufnahme noch zusätzlich erhöht wird.

Die Ergebnisse der in dem Versuchsschießstand durchgeführten Untersuchungen lassen keine generelle Aussage über den aktuellen Stand der Bleibelastung von Sportschützen in Deutschland zu. Dennoch lässt sich 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.

4.1.3 Luftmessungen

Im Vergleich zum derzeit noch gültigen MAK-Wert von $0,1 \text{ mg/m}^3$ für Blei zeigten die durchgeführten Luftmessungen deutlich erhöhte Konzentrationen. So überschritt in den beiden Expositionsversuchen die Luftbleikonzentration im Atembereich der Schützen mit $4,05 \text{ mg/m}^3$ bzw. $4,50 \text{ mg/m}^3$ den MAK-Wert um über das 40-fache. Im Atembereich der Probanden war dieser mit $2,20 \text{ mg/m}^3$ bzw. $2,24 \text{ mg/m}^3$ um das 22-fache erhöht.

Der ermittelte Masseanteil von 61 % Blei im Luftstaub wird durch Versuche von Holl bestätigt [37]. Durch Schussversuche mit unterschiedlichen Waffen und bleihaltigen Munitionen stellte dieser fest, dass bei einem Schuss eine Gesamtstaubmenge zwischen 0,5 mg und 36,4 mg freigesetzt wird. Der Bleianteil lag dabei bei 0,2 mg bis 25 mg pro Schuss.

In den Luftmessungen wurde ein hoher Anteil der alveolargängigen PM-2,5-Fraktion mit 85 % im Feinstaub (PM-10) beobachtet. Je kleiner die Partikelgröße, desto tiefer dringen diese in die Lunge ein und werden verstärkt resorbiert. Der beim Schießen entstehende Bleistaub ist somit als gefährlich einzuordnen.

Bis auf die Vergleichsluftmessungen in acht weiteren Schießständen (unter Punkt 3.1.3.3) wurden alle Messungen inklusive der Expositionsversuche an ein und demselben Schießstand im Oktober 2007 und Januar 2008 durchgeführt. Luftgeschwindigkeitsmessungen haben eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit der Verdrängungslüftung von $0,05 \text{ m/s}$ ergeben. Dieser Wert liegt unter der in den Schießstandrichtlinien von 2000 geforderten Strömungsgeschwindigkeit von $0,25 \text{ m/s}$ [28]. Die Umsetzung dieser Richtlinie ist jedoch noch nicht in allen Schießständen abgeschlossen. Da es keine zentrale Auflistung der erstellten Schießstandgutachten in Bayern oder Deutschland gibt, kann nicht nachvollzogen werden, in wie vielen Schießständen derzeit noch immer Lüftungen eingesetzt werden, die dem geforderten Mindeststandard nicht entsprechen. Laut Aussagen einiger Sportschützen sei der Schießstand, an dem die Expositionsversuche durchgeführt wurden, hinsichtlich der vorhandenen Lüftungseigenschaften durchaus kein Ausnahmefall. Dies wurde durch exemplarische Messungen an acht weiteren Schießständen in Bayern bestätigt. Zwei der acht Schießstände, auf denen weitere Vergleichsmessungen durchgeführt wurden, zeigten nachweislich eine höhere relative Luftbleibelastung als der Versuchsschießstand. Es lässt sich somit behaupten, dass Sportschützen, Zuschauer und Trainer auf anderen Schießständen in Deutschland einer vergleichbar hohen bzw. einer vereinzelt sogar noch höheren Bleiexposition als der im Versuchsschießstand gemessenen, ausgesetzt sein können.

In seiner 2000 veröffentlichten Studie zur Beurteilung der Be- und Entlüftung von geschlossenen Schießständen erklärt Holl „...dass die Bewertungskriterien wie Luftwechsel, Strömungsgeschwindigkeit im Atembereich des Schützen und die Raumgröße und die auf die Zeiteinheit normierte Emissionsmenge nicht ausreichen, um die Problematik der hohen Schadstoffkonzentrationen im speziellen Fall zu erklären.“ [37]. Als Grund hierfür gibt er „Luftwalzen“ an, die Schadstoffemissionen im Bodenbereich erneut aufwirbeln. Eine besondere Gefahr stellen Lüftungen dar, bei denen Zu- und Abluft im Deckenbereich installiert sind. Somit ist zu überlegen, ob die Messung der Luftzirkulationsgeschwindigkeiten als alleiniges Messverfahren zur Abnahme von Schießständen ausreicht.

4.2 Möglichkeiten zur Reduzierung der Bleiexposition von Sportschützen

Zur Reduzierung der Schadstoffbelastung durch Blei in Schießständen lässt sich das aus der Arbeitsmedizin bekannte "Stufenmodell der Arbeitsschutzmaßnahmen" anwenden. Dabei werden verschiedene Arbeitsschutzmaßnahmen nach der Priorität in einer gewissen Hierarchie angeordnet, die eingehalten werden sollten, um Arbeiter vor möglichen Schäden zu schützen und Gefahrenquellen zu minimieren bzw. ganz auszuschalten.

Maßnahmen		Maßnahmen auf den Schießsport angewendet
1. Technisch	A.) Ersatz eines gefährlichen Arbeitsstoffes durch einen weniger gefährlichen B.) Umstellung des Verfahrens, so dass keine gefährdenden Expositionen mehr auftreten	Umstellung auf bleifreie oder schadstoffreduzierte Munition Installation von leistungsfähigeren Lüftungen
2. Organisatorisch	Zeitliche Beschränkung des Aufenthalts im Gefahrenbereich	Beschränkung der Trainings- und Wettkampfzeiten
3. Persönliche Schutzmaßnahmen		Tragen von FFP-2-Filtermasken Allgemeine Verhaltensregeln

Tab. 18 Hierarchie von Arbeitsschutzmaßnahmen nach Nowak [55] (modifiziert)

Konkret auf die aktuelle Problematik von Sportschützen angewandt heißt dies, das oberste Ziel muss sein, die derzeitige Bleimunition komplett durch bleifreie oder schadstoffreduzierte Munition zu ersetzen. Tripathi et al. zeigten 1990 anhand einer Studie an einem Freiluftschießstand, dass die Verwendung von Kupfer-Vollmantelgeschossen anstelle der herkömmlichen Bleigeschosse die Luftbleikonzentrationen im Atembereich des Schützen um den Faktor 21 reduziert [70]. Kupfervollmantelgeschosse enthalten in ihrem Kern zwar immer noch Blei, dieses wird aber größtenteils erst nach dem Aufprall des Geschosses auf den Kugelfang freigesetzt. Luftmessungen einer ähnlich aufgebauten Studie von Tripathi et al. aus dem Jahr 1991, die mit zwei Schießtrainern durchgeführt wurde, ergaben bei der Verwendung von Kupfer-Vollmantelgeschossen eine Verringerung des aerogenen Bleigehalts im Atembereich von 92 % bzw. 96 % [69].

Wurstler et al. zeigten 2006 in einer Studie auf, dass beim Schießen auf einen Modellgeschossfang die bleifreie 9 mm-PTP-Munition gegenüber der bleihaltigen 9 mm-SX-Munition 15- bis 25-mal weniger Staub und Schwermetalle freisetzt [77].

Die Umstellung auf bleifreie Munition, wie sie in Deutschland bei einer Vielzahl der Polizeiverbände bereits erfolgt ist, kann momentan an rein ehrenamtlich betriebenen Schießständen nicht ohne weiteres realisiert werden. Da das Sportschießen ein Freizeitsport ist, unterliegt es keinen verbindlichen Arbeitsschutzrichtlinien. Somit besteht für Freizeitschießstände im Gegensatz z.B. zu den Übungsschießständen der Polizeien auch kein verpflichtender Arbeitsplatzgrenzwert (bzw. bis zu dessen Festlegung für Blei der derzeit noch gültige MAK-Wert). Zwar ist "grüne" Munition auch für Sportschützen erhältlich, jedoch ist sie im Augenblick noch ca. 20 % teurer als die derzeit übliche bleihaltige Munition [77]. Gerade für Sportschützen, die häufig schießen, bedeutet dies erhebliche Mehrkosten. Dabei würde diese Gruppe von einer Umstellung der Munition am meisten profitieren. Schützen, die verstärkt an Turnieren und Wettkämpfen teilnehmen, wechseln nur ungern auf die "bleifreie" bzw. schadstoffreduzierte Munition, da diese andere ballistische Eigenschaften aufweist. Da im internationalen Sport ausschließlich mit Bleiprojektilen geschossen wird, würde ein potentes Verbot von bleihaltiger Munition Wettbewerbsnachteile der Profisportler im internationalen Vergleich mit sich bringen.

Ist eine Umstellung auf bleifreie bzw. schadstoffreduzierte Munition nicht möglich, sollte als nächster Schritt zur Reduzierung der Bleikonzentration in der Atemluft von geschlossenen Schießständen der Einbau von effektiveren Lüftungen erwogen werden. Die Schießstände von Sportschützen werden von so genannten Schießsachverständigen geprüft. In der derzeit gültigen Schießstandrichtlinie von 2000 ist bei Verwendung einer Verdrängungslüftung eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von 0,25 m/s gefordert, insbesondere dann, wenn mit großkalibrigen Kurzwaffen geschossen wird. Abweichungen können toleriert werden, wenn die Schützen zur Trefferaufnahme die Schießbahn nicht betreten müssen oder wenn nur mit Waffen geschossen wird, die eine geringe Schadstoffbelastung verursachen. Raumschießanlagen mit Mischlüftungen müssen individuell geprüft werden [28]. Die geforderten Richtlinien können derzeit vor allem in älteren Schießständen zum Teil schlecht umgesetzt werden. Hauptproblem sind hierbei die erheblichen Kosten, die bei einer Umrüstung auf eine moderne Lüftung bis zu 100.000 € betragen können [49]. Gerade für kleine Schützenvereine ist diese Umrüstung finanziell oft nicht tragbar.

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 die einzige Lösung.

Als organisatorische Maßnahme käme des Weiteren eine Limitierung der Aufenthaltszeit im Schießstand in Frage. Die deutlich positive Korrelation zwischen der Aufenthaltsdauer im Schießstand und der damit erhöhten Bleiaufnahme wurde in dieser Arbeit gezeigt. Dass bei schlechten Lüftungsverhältnissen auch schon bei kurzen Aufenthalten im Schießstand nachweisbare Mengen an Blei systemisch aufgenommen werden, wurde ebenfalls aufgezeigt. Eine zeitliche Begrenzung ist vor allem im Profibereich, bei dem täglich trainiert werden muss, nicht umsetzbar. Die Akzeptanz einer freiwilligen zeitlichen Einschränkung im Freizeitsport seitens der Schützen ist eher unwahrscheinlich. Dennoch können durch gezielte Aufklärungsarbeit unnötige Aufenthalte von gerade nicht aktiven Schützen oder auch von Zuschauern im Schießstand reduziert werden.

Weiter sollten persönliche Schutzmaßnahmen in Betracht gezogen werden. Im Folgenden wird die Verwendung von FFP-2-Schutzmasken, wie sie in den durchgeführten Versuchen dieser Arbeit verwendet wurden, diskutiert. 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 [19]. Bei richtiger Anwendung kann eine Reduzierung der inhalativen Bleiaufnahme auf ein Minimum sichergestellt werden. Grundvoraussetzung hierfür ist das fachgerechte Anlegen der Maske vor Eintritt in den Schießstand. Dabei sind immer frische Masken zu verwenden, die nach Gebrauch umgehend zu entsorgen sind.

In Anlehnung an das Stufenmodell des Arbeitsschutzes ist diese Maßnahme mit Sicherheit 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 schadstoffarme Munition oder die Modernisierung der Lüftung des jeweiligen Schießstandes erfolgt ist. Der Vorteil dieser Lösung liegt darin, dass mit relativ geringem finanziellen Aufwand (unter 1 € pro Maske) kurzfristig eine Verbesserung erreicht werden kann. Es bedarf zudem keiner kostenintensiven und zeitaufwändigen Umbauten am Schießstand selbst. Die individuelle Umstellung auf grüne Munition kann zudem den Schutz des einzelnen Sportschützen nicht garantieren, solange parallel auch noch bleihaltige Munition geschossen wird.

Mit Schutzmasken können sich verantwortungsvolle Sportschützen bis zur Einführung verbindlicher Richtlinien zur Abschaffung bleihaltiger Munition selbst schützen. Konkrete Bestrebungen seitens der Sportschützenverbände gibt es derzeit jedoch noch nicht. Die Einführung von FFP-2-Schutzmasken auf breiter Basis setzt die Akzeptanz der aktiven Sportschützen voraus. Diese wiederum kann nur durch eine detaillierte und gewissenhafte Aufklärung über die in bleibelasteten Schießständen bestehenden Gesundheitsrisiken erzielt werden.

Das Einhalten einfacher Verhaltensregeln kann zudem zu einer Reduzierung der Bleiaufnahme beitragen. So ist das Essen und Trinken im Schießstand zu unterlassen. Dadurch kann eine orale Aufnahme von Blei unter anderem durch verschmutzte Hände oder kontaminierte Nahrungsmittel verhindert werden. Aus demselben Grund, sind nach dem Schießen die Hände gründlich zu reinigen. Rauchen im Schießstand verbietet sich ebenfalls. Es wird das Tragen eigens für das Schießen vorgesehene Kleidung empfohlen, die nach der Ausübung in der Schießstätte verbleiben soll. Somit wird die häusliche Umgebung vor dem in der Kleidung befindlichen Bleistaub geschützt. Gerade das Risiko für Dritte, wie Kleinkinder und Säuglinge in der Familie, kann so verringert werden. Die beim Schießen getragene Kleidung sollte zudem separat gewaschen werden [19].

Beim Reinigen des Schießstandes wird das Tragen einer FFP-2-Maske sowie von Schutzhandschuhen dringend empfohlen. Da gerade bei dieser Tätigkeit auch bei Luftgewehrständen vermehrt Bleistaub aufgewirbelt werden kann, ist die Anwesenheit von Kindern und Schwangeren in dieser Zeit zu untersagen. Abschließend ist der Schießstand feucht bzw. mit einem speziell für diesen Zweck vorgesehenen Nasssaugergerät zu reinigen [47].

Ein Aushang analog der "Betriebsanweisungen nach §14 GefStoffV" wie dies in Betrieben, die mit Gefahrstoffen arbeiten, vorgeschrieben ist, sollte auch in den Schießständen der Schützenvereine eingeführt werden. Zwei Vorschläge dieser "Sicherheitsvorschriften analog §14 GefStoffV" sind im Anhang zu finden [Anhang A, B]. Dabei wird wegen der sich zum Teil unterscheidenden Expositionsursachen und Schutzmaßnahmen zwischen den Versionen für "Geschlossene Schießstände für scharfe Waffen" und für "Geschlossene Schießstände für Luftdruckwaffen" unterschieden.

Diese Sicherheitsvorschriften erklären in kurzen Sätzen die Entstehung sowie die gesundheitsgefährdende Wirkung der Bleiexposition. Zudem werden die bereits erwähnten Sicherheitsmaßnahmen und Verhaltensregeln zur Reduktion der individuellen Bleiexposition stichpunktartig erklärt.

Das Installieren solcher Sicherheitsvorschriften in Form von Warntafeln muss jedoch in Kombination mit einer weiterführenden Aufklärung über die gesundheitsschädliche Wirkung durch Blei auf dem Schießstand erfolgen. Es muss besonders auf die Gefährdung von Jugendlichen und Schwangeren hingewiesen werden. Durch eine Sensibilisierung der Schützen für die Erkennung der Frühsymptome einer potentiellen Bleiintoxikation lassen sich Verdachtsfälle schneller ausmachen und können, falls nötig, schneller einer adäquaten Therapie zugeführt werden. Es ist wünschenswert, dass Sportschützen schon in der Ausbildung bzw. bei den Vorbereitungen zur Waffensachkundeprüfung in diesem wichtigen Thema unterrichtet werden.

Die Erkenntnisse aus den hier durchgeführten Versuchen sowie die erarbeiteten Lösungsansätze können hoffentlich in Zukunft, unterstützend durch weitere Aufklärung, die Sportschützen für diese Thematik sensibilisieren und zu einer Verminderung der Bleibelastung in geschlossenen Schießständen beitragen.

5 Zusammenfassung

Der Schutz der Bevölkerung und insbesondere der exponierten Arbeiter vor dem Gefahrstoff Blei ist in der Umwelt- und Arbeitsmedizin ein wichtiges Thema. Dass Schützen bei der Verwendung von bleihaltiger Munition durch die inhalative Aufnahme einer erhöhten Bleibelastung ausgesetzt sind, ist durch Studien mehrfach belegt worden. Diese Thematik hat derzeit an Brisanz gewonnen, nachdem im Jahr 2009 die HBM-Werte für Blei bezüglich aller Personengruppen ausgesetzt worden sind. Begründung hierbei waren vorrangig neue Erkenntnisse über die gesundheitsschädlichen Wirkungen von Bleiwerten unterhalb des HBM-I-Grenzwertes, die bisher als unbedenklich galten. Es stellte sich heraus, dass auch schon bei geringen Blutbleiwerten unter 100 µg/l die Entwicklung von Kindern und Jugendlichen im Allgemeinen sowie speziell im neuropsychologischen Bereich negativ beeinflusst wird. Anorganisches Blei und seine Verbindungen wurden 2006 von der International Agency for Research of Cancer (IARC) in die Gruppe 2A „wahrscheinlich krebserregend“ eingestuft. Bei vielen Schießständen der Polizei ist im Rahmen des Arbeitsschutzes bereits auf bleifreie und schadstoffreduzierte Übungsmunition umgestellt worden. Dagegen gibt es für die Sportschützen noch keine verbindlichen Regelungen oder Vorschriften, die die Abschaffung von bleihaltiger Munition fordern. Gegen eine freiwillige Umstellung sprechen aus Sicht der Sportschützen vor allem die höheren Anschaffungspreise und die veränderten ballistischen Eigenschaften der neuen bleifreien und schadstoffreduzierten Munition. Eine Alternative zur Munitionsumstellung bietet die Installation von wirksameren Lüftungsanlagen mit ausreichendem Luftwechsel, wobei die Umsetzung aufgrund der hohen Kosten vor allem bei kleinen Vereinen erhebliche Probleme bereitet.

In dieser Arbeit wurde mittels Expositionsversuche mit jungen, unbelasteten Probanden untersucht, welches Ausmaß die inhalative Bleiaufnahme bei kurzzeitigen Aufenthalten in Schießständen haben kann. Es wurden in zwei vergleichbaren Versuchen je vier Probanden eine Stunde lang der entstehenden Bleiexposition in einem geschlossenen Schießstand bei vollem Betrieb ausgesetzt. Ihre Position befand sich 1,5 m hinter den Schützen. Nur im 2. Expositionsversuch wurden die Probanden durch eine FFP-2-Filtermaske geschützt, um deren Protektivität bewerten zu können. Zwei Stunden vor und 48 Stunden nach der Exposition wurde das Blut der Probanden auf Blei hin untersucht, um die Bleiaufnahme in den Organismus näherungsweise zu quantifizieren. Des Weiteren wurden zeitgleich Luftmessungen der aerogenen Bleikonzentration und der Masseverteilung im Feinstaubbereich durchgeführt.

Im 1. Expositionsversuch (ohne FFP-2-Masken) wurde eine Luftbleikonzentration von $4,05 \text{ mg/m}^3$ im Atembereich der Schützen und $2,20 \text{ mg/m}^3$ im Atembereich der Probanden gemessen. Die mittlere Blutbleikonzentration der vier Probanden hat im Durchschnitt von $17,4 \text{ } \mu\text{g/l}$ vor der Exposition auf $39,9 \text{ } \mu\text{g/l}$ 48 Stunden nach der Exposition signifikant zugenommen ($\Delta = 22,5 \text{ } \mu\text{g/l}$). Durch die Luftmessungen lässt sich mit Hilfe von bekannten Kinetikmodellen für Blei eine systemische Aufnahme der Probanden von ca. $0,36 \text{ mg}$ Blei während der einstündigen Exposition im Versuchsschießstand näherungsweise errechnen. Modifiziert man den für die orale Aufnahme bestimmten PTWI-Wert (Provisional Tolerable Weekly Intake) für Blei entsprechend für die inhalative Aufnahme, so würde der Wochendosis-Grenzwert bei nur einer Stunde Aufenthalt im Schießstand als Zuschauer um knapp das Doppelte überschritten. Bei den Schützen würde sich diese Überschreitung auf über das 3,8-fache belaufen.

Im 2. Expositionsversuch wurden, bei gleichem Versuchsaufbau, die Probanden mit FFP-2-Masken geschützt. Dabei konnte kein signifikanter Anstieg der Blutbleikonzentration nach der einstündigen Exposition beobachtet werden (mittlere Blutbleiwertzunahme = $- 1,3 \text{ } \mu\text{g/l}$). Somit könnten Sportschützen bis zur Einführung wirksamerer Alternativen, wie der Verwendung von bleifreier bzw. schadstoffreduzierte Munition oder der Installation effektiverer Lüftungsanlagen, zumindest temporär durch FFP-2-Masken geschützt werden.

Luftmessungen auf dem Versuchsschießstand haben ergeben, dass Blei mit ca. 60 % einen erheblichen Masseanteil des in der Luft enthaltenen Staubes ausmacht. Die Partikelfraktion des alveolargängigen Feinstaubes (PM-2,5) ist mit einem Anteil von 85 % am Gesamtfeinstaub (PM-10) besonders hoch und erklärt die hohe inhalative Aufnahme. Der derzeit noch gültige MAK-Wert für Blei von $0,1 \text{ mg/m}^3$ wurde im Atembereich der Probanden um das 22-fache, im Atembereich der Schützen um mehr als das 40-fache überschritten.

In einem weiteren Teilversuch wurde an einem Trainingsabend im Versuchsschießstand bei 15 Sportschützen Blut abgenommen und auf Blei hin untersucht. Alle Werte lagen über dem bundesdeutschen Median von $30,7 \text{ } \mu\text{g/l}$. Dabei überschritten sechs Werte die 95 %-Perzentile von $71 \text{ } \mu\text{g/l}$ und lagen unter dem 2009 ausgesetzten HBM-I-Wert. Drei Werte lagen zwischen der HBM-I- und der HBM-II-Grenze ($150 \text{ } \mu\text{g/l}$ und $250 \text{ } \mu\text{g/l}$ für Nicht-Risikogruppen). Zwei Sportschützen überschritten sogar den ausgesetzten HBM-II-Wert. Anhand von Fragebögen zum Schießverhalten konnte eine hohe Korrelation von $R = 0,92$ zwischen der monatlichen Schussanzahl und dem Blutbleiwert nachgewiesen werden.

Neben dem Aufzeigen und der Erprobung von Lösungsansätzen wurde in dieser Arbeit zur Information der Schützen ein Aushang für Schießstände der Sportschützen analog der "Betriebsanweisungen nach §14 GefStoffV", wie in Betrieben mit Gefahrstoffen vorgeschrieben, erarbeitet. Darin enthalten sind stichpunktartige Erläuterungen zur Entstehung sowie der gesundheitsgefährdenden Wirkung einer Bleiexposition. Zudem wird auf einfache Verhaltensregeln hingewiesen, durch deren Einhaltung die individuelle Bleiaufnahme auf dem Schießstand reduziert werden kann.

Die Erkenntnisse aus den hier durchgeführten Versuchen sowie die erarbeiteten Lösungsansätze können hoffentlich in Zukunft, unterstützend durch weitere Aufklärung, die Sportschützen für diese Thematik sensibilisieren und zu einer Verminderung der Bleibelastung in geschlossenen Schießständen beitragen.

Literaturverzeichnis

- [1] AGS, Technische Regeln für Gefahrstoffe: Blei (TRGS 505), Ausschuss für Gefahrstoffe des Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), 2007
- [2] Aktories K., Förstermann U., Hofmann F., et al., Allgemeine und Spezielle Pharmakologie und Toxikologie, Elsevier, München, 2005
- [3] AOEC, Medical Management Guidelines for Lead-Exposed Adults, Association of Occupational and Environmental Clinics, 2007, http://www.aoec.org/documents/positions/MMG_FINAL.pdf vom 14.01.2010
- [4] ATSDR, Toxicological profile for lead, Agency for toxic substances and disease control 2007
- [5] Bagci C., Factsheet Blei, Bundesamt für Gesundheit der Schweizerischen Eidgenossenschaft, Abteilung Chemikalien, 2006
- [6] Batschelet E., Brand L., Steiner A., On the kinetics of lead in the human body. J Math Biol, 8, 1979, S. 15-23
- [7] Becker K., Kaus S., Krause C., et al., Umwelt-Survey 1998, Band III: Human-Biomonitoring Stoffgehalte in Blut und Urin der Bevölkerung in Deutschland, Umweltbundesamt, WaBoLu-Hefte 01/2002
- [8] BfR, Ärztliche Mitteilung bei Vergiftungen nach §16e Chemikaliengesetz 2003, Bundesinstitut für Risikobewertung, 2003
- [9] BGIA, BGIA-Arbeitsmappe - Messverfahren für Gefahrstoffe (Analysenverfahren), Stand: Lfg.1 - VI/1989, Bundesinstitut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, 1989
- [10] BMI, Bekanntmachung Änderungen des Waffenrechts 2009, Bundesministerium des Inneren, 19.11.2009, http://www.bmi.bund.de/cln_095/DE/Themen/Sicherheit/Waffenrecht/Aenderungen2009/aenderungen2009.html vom 14.01.2010
- [11] BMJ, Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV), Bundesministerium der Justiz, 2001

-
- [12] BMJ, 22. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte in der Luft - 22. BImSchV), Bundesministerium der Justiz, 2002
- [13] BMJ, Waffengesetz (WaffG), Bundesministerium der Justiz, 2002
- [14] BMJ, Waffengesetz (WaffG), Bundesministerium der Justiz, 2009
- [15] BMU, Bekanntmachung der Neufassung der Schadstoff-Höchstmengenverordnung vom 5. Juli 2006, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bundesgesetzblatt (BGBl. I S. 1562-1567), 2006
- [16] Booker D.V., Chamberlain A.C., Newton D., et al., Uptake of radioactive lead following inhalation and injection. *Br J Radiol*, 42, 1969, S. 457-466
- [17] Canfield R.L., Kreher D.A., Cornwell C., et al., Low-level lead exposure, executive functioning, and learning in early childhood. *Child Neuropsychol*, 9, 2003, S. 35-53
- [18] CDC, Centers for Disease Control and Prevention, Lead exposure from indoor firing ranges among students on shooting teams - Alaska 2002-2004. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report*, 54, 2005, S. 577-579
- [19] CDC, Preventing Occupational Exposures to Lead and Noise at Indoor Firing Ranges, Centers for Disease Control and Prevention, NIOSH National Institute for Occupational Safety and Health, 2009
- [20] Chau T.T., Chen W.Y., Hsiao T.M., et al., Chronic lead intoxication at an indoor firing range in Taiwan. *J Toxicol Clin Toxicol*, 33, 1995, S. 371-372
- [21] DAP, Waffengesetz - Streit um Altersgrenzen, *Die Tageszeitung*, Ausgabe 6738, 2002, S. 4
- [22] Dauderer M., *Handbuch der Umweltgifte: Klinische Umwelttoxikologie für die Praxis*, Ecomed, Landsberg am Lech, 1996
- [23] Demmeler M., *Dissertation: Schießsport und Innere Bleibelastung*, Ludwig-Maximilians-Universität München, 2009, http://edoc.ub.uni-muenchen.de/9920/1/Demmeler_Matthias.pdf vom 14.01.2010

-
- [24] Demmeler M., Nowak D., Schierl R., High blood lead levels in recreational indoor shooters. *Int Arch Occup Environ Health*, 82, 2009, S. 539-542
- [25] DFG, Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe, Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten, Deutsche Forschungsgemeinschaft, 2004
- [26] DFG, Pressemitteilung Nr.34 - DFG legt MAK- und BAT-Werte-Liste 2006 vor, Deutsche Forschungsgemeinschaft, 2006
- [27] DFG, MAK- und BAT-Werte-Liste, Deutsche Forschungsgemeinschaft: Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, 2009
- [28] DSB, Richtlinien für die Errichtung, die Abnahme und das Betreiben von Schießständen, Deutscher Schützenbund e.V., 2000
- [29] DSB, Mitgliederstand 31.12.2008, Deutscher Sportschützenbund (DSB), 2008, <http://www.schuetzenbund.de/dsb/mitglieder/> vom 14.01.2010
- [30] EG, Verordnung EG 1881/2006 zur Festsetzung von bestimmten Kontaminanten in Lebensmitteln, Die Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2006
- [31] Elschenbroich C., Hensel F., Hopf H., Spezielle Toxikologie für Chemiker, B.G. Teubner, Stuttgart, 1999
- [32] Ewers U., Krause C., Schulz C., et al., Reference values and human biological monitoring values for environmental toxins. Report on the work and recommendations of the Commission on Human Biological Monitoring of the German Federal Environmental Agency. *Int Arch Occup Environ Health*, 72, 1999, S. 255-260
- [33] Falbe J., Regitz M., Römpp kompakt Basislexikon Chemie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1998
- [34] Hennig R., Die Waffensachkundeprüfung in Frage und Antwort, Blv Buchverlag, München, 2002
- [35] Hermann R., Handbuch für Wiederlader, Vorderlader- und Böllerschützen, Motorbuch Verlag, Stuttgart, 1999
- [36] Hillenbrand T., Marscheider-Weidemann F., Strauch M., et al., Prioritäre Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie - Datenblatt Blei. 2006, <http://www.umweltdaten.de/wasser/themen/stoffhaushalt/blei.pdf> vom 14.01.2010

-
- [37] Holl G., Be- und Entlüftung von geschlossenen Schießständen. Infobericht zum Kongress "Sportschießstände und Umwelt" DSB vom 19.04.2000, 2000, http://www.dsb.de/media/PDF/Recht/Waffenrecht/Umweltrecht/Umweltbroschuere_small.pdf vom 14.01.2010
- [38] Hollemann A.F., Wiberg E., Wiberg N., Lehrbuch der anorganischen Chemie, Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1995
- [39] Hursh J.B., Mercer T.T., Measurement of ^{212}Pb loss rate from human lungs. *J Appl Physiol*, 28, 1970, S. 268-274
- [40] Hursh J.B., Schraub A., Sattler E.L., et al., Fate of ^{212}Pb inhaled by human subjects. *Health Phys*, 16, 1969, S. 257-267
- [41] IARC, IARC Monographs on the Evaluation of Cancerogenic Risks to Humans - Inorganic and Organic Lead Compounds, International Agency for Research of Cancer, 2006
- [42] Jockenhövel A., Bergbau, Verhüttung und Waldnutzung im Mittelalter - Auswirkungen auf Mensch und Umwelt, Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 1996, S. 248
- [43] König K.-P., Faustfeuerwaffen Heute Band 1: Europa, Motorbuch Verlag, 1997
- [44] Kuns H., Schießsport: Training und Wettkampf, Limpert Verlag GmbH, Bad Homburg, 1984
- [45] Landrigan P.J., Todd A.C., Lead poisoning. *West J Med*, 161, 1994, S. 153-159
- [46] Leggett R.W., An age-specific kinetic model of lead metabolism in humans. *Environ Health Perspect*, 101, 1993, S. 598-616
- [47] LfU, Hinweise zur Entsorgung von Kehrricht aus Raumschießanlagen, Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Abteilung Abfallwirtschaft, Altlasten und Bodenschutz, 2003
- [48] Lofstedt H., Selden A., Storeus L., et al., Blood lead in Swedish police officers. *Am J Ind Med*, 35, 1999, S. 519-522
- [49] Lohr B., Behörden erlassen strenge Auflagen - Luft in Schützenheimen zu bleihaltig, *Süddeutsche Zeitung - Ausgabe Süd*, 25/26.02.2006 (Nr.47), 2006

-
- [50] Marcus A.H., Multicompartment kinetic models for lead. II. Linear kinetics and variable absorption in humans without excessive lead exposures. *Environ Res*, 36, 1985, S. 459-472
- [51] Marquardt H., Schäfer S.G., Lehrbuch der Toxikologie, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, 2004
- [52] McMichael A.J., Vimpani G.V., Robertson E.F., et al., The Port Pirie cohort study: maternal blood lead and pregnancy outcome. *J Epidemiol Community Health*, 40, 1986, S. 18-25
- [53] Mirbach G., Raumluftechnische Anlagen für geschlossene Schießstände. Infobericht zum Kongress "Sportschießstände und Umwelt" DSB vom 19.04.2000, http://www.dsb.de/media/PDF/Recht/Waffenrecht/Umweltrecht/Umweltbroschuere_small.pdf vom 14.01.2010
- [54] Needleman H.L., Human lead exposure, CRC Press, Boca Raton, Florida, 1992
- [55] Nowak D., Arbeitsmedizin, Elsevier, München, 2006
- [56] Obenland H., Binder M., Literaturstudie zu Vorkommen und gesundheitlicher Bedeutung von Blei im Hausstaub. ARGUK-Umweltlabor GmbH, 2004, <http://www.arguk.de/download/Obenland-Binder2004Blei-Innenraum-ARGUK.pdf> vom 14.01.2010
- [57] Ochsmann E., Göen T., Schaller K.-H., et al., Der Bleigehalt von Sportschützen - aktuelle Gesichtspunkte zu einer bekannten Problematik. *Verh. Dtsch. Ges. Arbeitsmed. Umweltmed*, 47, 2007, S. 517-519
- [58] Rabinowitz M.B., Toxicokinetics of bone lead. *Environ Health Perspect*, 91, 1991, S. 33-37
- [59] Rabinowitz M.B., Wetherill G.W., Kopple J.D., Kinetic analysis of lead metabolism in healthy humans. *J Clin Invest*, 58, 1976, S. 260-270
- [60] Reichl F.X., Taschenatlas der Umweltmedizin, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2000
- [61] Reichl F.X., Taschenatlas der Toxikologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2009
- [62] Riehm G., Schwermetalle im Innenraum: Nachweis und Vorkommen in Hausstaub und Materialien, Wissenschaftlicher Verlag Maraun, Frankfurt am Main, 1994

-
- [63] Rifle Bullet Caster GmbH & Co KG, Geschichte: Geschossqualität, <http://www.riflebulletcaster.com/vom> 14.01.2010
- [64] Schmidt R., Lang F., Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2007
- [65] Schwendt G., Taschenatlas der Analytik, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1992
- [66] Smith D.L., Lead absorption in police small-arms instructors. *J Soc Occup Med*, 26, 1976, S. 139-140
- [67] Stiefel D., Merkblatt Lüftung für Raumschießanlagen 2006 http://www.schiessstandsachverstaendiger.de/docs/merkblatt_be-_und_entlueftung.pdf vom 14.01.2010
- [68] Stiftung Warentest, TEST Ausgabe 09-2004: Bleierne Schwere, Stiftung Warentest, Berlin, 2004
- [69] Tripathi R.K., Sherertz P.C., Llewellyn G.C., et al., Lead exposure in outdoor firearm instructors. *Am J Public Health*, 81, 1991, S. 753-755
- [70] Tripathi R.K., Sherertz P.C., Llewellyn G.C., et al., Reducing exposures to airborne lead in a covered, outdoor firing range by using totally copper-jacketed bullets. *Am Ind Hyg Assoc J*, 51, 1990, S. 28-31
- [71] Trotter R.T., The cultural parameters of lead poisoning: a medical anthropologist's view of intervention in environmental lead exposure. *Environ Health Perspect*, 89, 1990, S. 79-84
- [72] UBA, Stoffmonographie Blei - Referenz- und Humanbiomonitoring-Werte (HBM). Kommission Humanbiomonitoring des Umweltbundesamtes, *Bundesgesundheitsblatt*, 39, 1996, S. 236-241
- [73] UBA, Jahresbericht 2001 aus den Messungen des Umweltbundesamtes, Umweltbundesamt, 2002
- [74] UBA, 2. Addendum zur Stoffmonographie Blei - Referenz- und "Human-Biomonitoring"-Werte, Kommission "Human-Biomonitoring" des Umweltbundesamtes, 2009

- [75] WHO, Food Additives Series 44: Safety evaluation of certain food additives and contaminants, World Health Organisation, 2000

- [76] Wilhem M., Ewers U., Handbuch der Umweltmedizin VI/3 Metalle/Blei, Ecomed, Landsberg am Lech, 1993

- [77] Wurstler U., Ebert H., Fleig E., et al., Reduzierung der Gefahrstoffbelastung in Raumschiessanlagen durch Verwendung bleifreier Trainingsmunition. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 66, 2006, S. 295-299

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Hemmung der Häm-Synthese durch Blei [31] (modifiziert).....	5
Abb. 2	Abnahme der Bleikonzentration im Blut von Kindern und Erwachsenen in den USA im Verhältnis zur Verringerung des Bleiverbrauchs für Benzin [2]	10
Abb. 3	Vereinfachtes Kinetikmodell von Blei im Organismus nach Marcus et al.1982 [50] (modifiziert)	14
Abb. 4	Schemazeichnung einer Raumschießanlage mit Verdrängungslüftung [53].....	20
Abb. 5	Schemazeichnung einer Pistole [43]	21
Abb. 6	Querschnitt durch eine Patrone [34].....	22
Abb. 7	Übersichtsfoto des Versuchsschießstandes.....	25
Abb. 8	Filterkopf in der FFP-2-Masken-Gehäusekonstruktion - Schemazeichnung	29
Abb. 9	Filterkopf in der FFP-2-Masken-Gehäusekonstruktion - Foto	29
Abb. 10	Graphitrohr-Atomabsorptionsspektroskopie (GF-AAS).....	31
Abb. 11	Blutbleiwerte der Probanden (ohne FFP-2-Masken) vor und 48 h nach Exposition	34
Abb. 12	Bleiausscheidung der Probanden im Urin	35
Abb. 13	Korrelation zwischen der Bleiausscheidung über den Urin und dem Blutbleiwert...	36
Abb. 14	Blutbleiwerte der Sportschützen des Versuchsschießstandes	38
Abb. 15	Korrelation von Blutbleiwert und der abgefeuerten Schusszahl pro Monat.....	39
Abb. 16	Korrelation zwischen Blutbleiwert und der Anzahl der Schießstandbesuche pro Monat.....	40
Abb. 17	Zeitlicher Verlauf der Emission während des Expositionsversuchs	42
Abb. 18	Anteile der Partikelfractionen der Luftstaubmessung	42
Abb. 19	Darstellung der Luftbleibelastung auf acht weiteren Schießständen in Bayern.....	44
Abb. 20	Blutbleiwerte der Probanden (mit FFP-2-Masken) vor und 48 h nach Exposition ...	47
Abb. 21	Blutbleiwerte bei einem Sportschützen mit und ohne einer FFP-2-Maske	48

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Vorkommen und Verwendung von bleihaltigen Stoffen im Alltag [5] (modifiziert*) ..	3
Tab. 2	Auswirkungen von Blei bezogen auf die Blutbleikonzentration [4]	6
Tab. 3	Tägliche Bleioresorption Erwachsener in µg/d nach Reichl 2000 [60]	8
Tab. 4	Tägliche Bleioresorption Erwachsener und Kleinkinder in µg/d nach Oberland 2004 [56]	8
Tab. 5	Ausgesetzte HBM-Werte für Blei in einer Übersicht	16
Tab. 6	Übersicht der beiden Expositionsversuche mit Probanden	27
Tab. 7	Daten des Expositionsversuchs ohne FFP-2-Masken	33
Tab. 8	Luftmessungen des Expositionsversuch ohne FFP-2-Masken	33
Tab. 9	Mittlere Bleiauscheidung im Urin der vier Probanden aus dem Schießstand	35
Tab. 10	Ergebnisse der Fragebögen der 15 Sportschützen des Versuchsschießstandes ...	37
Tab. 11	Anteil des Bleis am Gesamtluftstaub	41
Tab. 12	Luftkonzentrationsmessungen an acht weiteren Schießständen in Bayern	44
Tab. 13	Daten des Expositionsversuchs mit FFP-2-Masken	45
Tab. 14	Ergebnisse der Luftmessungen des Expositionsversuchs mit FFP-2-Masken	46
Tab. 15	Abschätzung der systemischen Bleiaufnahme der Probanden während des Expositionsversuchs ohne FFP-2-Masken	51
Tab. 16	Rechnerische Überlegung zur Zunahme des Blutbleigehaltes der Probanden 48 h nach Beendigung des Expositionsversuchs ohne FFP-2-Masken	51
Tab. 17	Abschätzung der systemischen Bleiaufnahme eines Schützen während des Expositionsversuchs ohne FFP-2-Masken	53
Tab. 18	Hierarchie von Arbeitsschutzmaßnahmen nach Nowak [55] (modifiziert)	58

Anhang

Anhang A: Sicherheitsvorschriften für Schießstände mit scharfen Waffen

SICHERHEITSVORSCHRIFTEN

GESCHLOSSENE SCHIESSSTÄNDE FÜR SCHARFE WAFFEN analog §14 GefStoffV

Gefahrstoffbezeichnung

Blei und seine anorganischen Verbindungen

Entstehung

Bleihaltige Stäube entstehen während des Schießens durch Abrieb am Lauf, durch den Zündsatz sowie beim Auftreffen des Projektils am Geschossfang.

Gefahren für Mensch und Umwelt



Blei wird beim Sportschießen vor allem über die Lunge und über die Schleimhäute im Nasen-Rachenraum aufgenommen. Aber auch beim Verschlucken kann Blei über den Magen-Darm-Trakt resorbiert werden.



Akute Vergiftungserscheinungen sind beim Schießsport nicht zu erwarten. Da Blei aber lange im Körper verbleibt, sind Langzeitfolgen (Schädigung der Keimzellen, der Blutbildung, sowie Nieren und Nerven) nicht auszuschließen. Zudem sind Bleiverbindungen seit kurzem als potenziell krebserzeugend eingestuft worden.

Bei Beschwerden konsultieren Sie Ihren Hausarzt und weisen auf eine mögliche Bleibelastung hin.

Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln



- Verwendung schadstoffreduzierter Munition wird empfohlen
- Möglichst kurze Aufenthaltsdauer im Schießstand
- Kein Essen, Trinken und Aufbewahren von Nahrungsmitteln im Schießstand



- Rauchen im Schießstand ist verboten
- Nach dem Schießen sind die Hände sorgfältig zu waschen



- Es wird empfohlen, beim Schießen speziell vorgesehene Kleidung zu tragen, die anschließend auf dem Schießstand verbleiben soll



- Der Schießstand ist feucht, besser mit einem Nass-Sauggerät zu reinigen. Ist dies aufgrund der Bodenbeschaffenheit nicht möglich, ist ein Staubsauger mit einem Feinstaubfilter zu verwenden
- Beim Reinigen des Schießstandes sind FFP-2 Filtermasken und Schutzhandschuhe zu tragen
- Bei Reinigungsarbeiten ist die Anwesenheit von Minderjährigen verboten

Sachgerechte Entsorgung



Bleihaltige Rückstände dürfen nur in die dafür vorgesehenen Behälter zwischengelagert und müssen anschließend fachgerecht entsorgt werden

Anhang B: Sicherheitsvorschriften für Schießstände mit Luftdruckwaffen

SICHERHEITSVORSCHRIFTEN

GESCHLOSSENE SCHIESSSTÄNDE FÜR LUFTDRUCK WAFFEN analog §14 GefStoffV

Gefahrstoffbezeichnung

Blei und seine anorganischen Verbindungen

Entstehung

Bleistäube entstehen während des Schießens mit Luftdruckwaffen durch Abrieb des Projektils am Lauf sowie beim Auftreffen am Geschossfang

Gefahren für Mensch und Umwelt



Blei wird beim Sportschießen mit scharfen Waffen vor allem über die Lunge und über die Schleimhäute im Nasen Rachenraum aufgenommen. Aber auch beim Verschlucken – z.B. durch Hand- Mund-Kontakt nach Anfassen von Diabolos - kann Blei beim Umgang mit Luftdruckwaffen über den Magen-Darm-Trakt resorbiert werden.



Akute Vergiftungserscheinungen sind beim Schießsport nicht zu erwarten, aber bei hoher Belastung Langzeitfolgen nicht auszuschließen. Zudem sind Bleiverbindungen seit kurzem als potenziell krebserzeugend eingestuft worden.

Bei Beschwerden konsultieren Sie Ihren Hausarzt und weisen auf eine mögliche Bleibelastung hin.

Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln



- Möglichst kurze Aufenthaltsdauer im Schießstand
- Kein Essen, Trinken und Aufbewahren von Nahrungsmitteln im Schießstand



- Rauchen im Schießstand ist verboten
- Nach dem Schießen sind die Hände sorgfältig zu waschen



- Der Schießstand ist feucht, besser mit einem Nass-Sauggerät zu reinigen. Ist dies aufgrund der Bodenbeschaffenheit nicht möglich, ist ein Staubsauger mit einem Feinstaubfilter zu verwenden.



- Beim Reinigen des Schießstandes sind FFP-2 Filtermasken und Schutzhandschuhe zu tragen
- Bei Reinigungsarbeiten ist die Anwesenheit von Minderjährigen untersagt

Sachgerechte Entsorgung



Bleihaltige Rückstände dürfen nur in die dafür vorgesehenen Behälter zwischengelagert und müssen anschließend fachgerecht entsorgt werden

Anhang C: Aufklärungsbogen für Probanden



KLINIKUM
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

CAMPUS INNENSTADT
INSTITUT UND POLIKLINIK FÜR
ARBEITS-, SOZIAL- U. UMWELTMEDIZIN
DIR.: PROF. DR. MED. DENNIS NOWAK



Klinikum der Universität München, Institut und Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin, Ziemssenstraße 1, 80336 München
Dr. R. Schierl - Tel: 089-5160-2463, Fax: 089-5160-3957, E-mail: rudolf.schierl@med.uni-muenchen.de

„Evaluierung der Bleiaufnahme bei kurzzeitigen Aufhalten in Schießständen“

(Versuch C : 29.10.2007)

Aufklärungsbogen für Probanden

1.) Worum geht es?

Es ist bekannt, daß die Verwendung von bleihaltiger Munition in Schießanlagen die Blutbleiwerte bei Sportschützen erhöhen kann. Dabei spielen viele Faktoren wie z.B. die Ausübungsdauer des Sportschützen, Dauer des Aufenthalts in der Schießanlage, sowie technische und bauliche Faktoren der Halle selbst eine Rolle.

Das Umweltbundesamt hat Grenzwerte für die Blutbleibelastung festgelegt: HBM-I und HBM-II. Liegt die Bleikonzentration unter dem HBM-I Wert, so kann eine Gefährdung ausgeschlossen werden. Liegt das Ergebnis dagegen über dem HBM-II Wert, sind gesundheitliche Risiken möglich und es bedarf einer Intervention. Die HBM Werte Blei bei Männern und Frauen (> 45 Jahren) bei 150 µg/l (HBM-I) bzw. 250 µg/l Vollblut (HBM-II). Für Frauen im gebärfähigen Alter und Kinder gelten 100 µg/l (HBM-I) bzw. 150µg/l Vollblut (HBM-II). In bereits durchgeführten Studien waren bei Sportschützen Überschreitungen des HBM-I Wertes keine Seltenheit, vereinzelt wurden sogar Werte weit über der HBM-II Grenze gemessen.

Über die Belastung von Betreuern und Zuschauern in Schießsportanlagen gibt es bisher noch keine Daten. Es soll deshalb untersucht werden, ob auch bereits kurze Aufenthalte in Schießständen die Blutbleikonzentrationen erhöhen können.

2.) Was kommt auf Sie zu?

Sie werden Sportschützen des Bayerischen Sportschützenbund e.V. an einem Abend beim Training als Zuschauer begleiten (Dauer ca. 2-3 Stunden) und sich dabei direkt hinter den Schützen aufhalten. Selbstverständlich werden wir Sie mit den örtlichen Sicherheitsregeln vertraut machen und Ihnen einen Gehörschutz zu Verfügung stellen.

Zu Beginn werden Sie gebeten einen Fragebogen auszufüllen, in dem mögliche Quellen einer früheren Bleibelastung abgeklärt werden. Zwei Blutproben werden Ihnen von unserem medizinischen Personal abgenommen. Eine Abnahme erfolgt vor dem Besuch des Schützenvereins (Ausgangswert), eine weitere zwei Tage später für den Vergleichswert. An diesen beiden Terminen bitten wir Sie auch Urinproben abzugeben. Die Proben werden ausschließlich auf Blei untersucht und anschließend sofort vernichtet. Die Daten werden verschlüsselt und ausschließlich anonymisiert veröffentlicht. Nur Sie erhalten Ihre gemessenen Werte schriftlich von uns mitgeteilt.

Eventuell bekommen Sie von uns während der Exposition einen kleinen „Personal-Sampler“ umgehängt. Dabei handelt es sich um ein Gerät, das kontinuierlich Staubpartikel aus der Luft für eine spätere Analyse sammelt.

Für weitere Fragen stehen wir Ihnen selbstverständlich gerne zur Verfügung.
Dr. Rudolf Schierl (Tel: 089/5160-2463, Rudolf.Schierl@med.uni-muenchen.de)
oder Hr. Peter Mühle (p.muehle@gmx.net)

3.) Mögliche Gefahren

Die Abgabe der Urinprobe sowie das Tragen des Personal-Sampler stellen kein Risiko dar. Zur Untersuchung des Bleigehaltes ist es notwendig, Blut aus einer Armvene zu entnehmen. Bei der Blutentnahme handelt es sich um ein Routineverfahren, das in der Regel ohne jegliche Komplikation verläuft. Hierzu werden ca. 5 ml Blut aus einer Vene der Ellenbeuge entnommen. Die Abnahme wird von unserem erfahrenen Fachpersonal durchgeführt. Bei schlechten Venenverhältnisse können in wenigen Fällen Blutergüsse entstehen, die sich aber schnell wieder zurückbilden. Schwerwiegendere Komplikationen stellen eine extrem seltene Ausnahme dar.

4.) Datenschutz:

Alle Ihre Angaben und Werte werden absolut vertraulich behandelt. Die entnommenen Proben und der Fragebogen werden vor der Auswertung verschlüsselt. Eine Entschlüsselung durch den Studienleiter erfolgt ausschließlich zu wissenschaftlichen, studienbedingten Zwecken oder zur Sicherheit der Probanden. Die Proben und alle erhobenen Daten sind gegen Zugriff von Unbefugten gesichert. Bei Veröffentlichungen können keinesfalls Rückschlüsse auf Ihre Person gezogen werden. Sie haben das Recht, jederzeit Auskunft über die von Ihnen gespeicherten Daten zu erhalten. Nach Beendigung der Studie wird der von Ihnen ausgefüllte Fragebogen vernichtet und die erhobenen Daten werden irreversibel anonymisiert.

5.) Studienteilnahme:

Die Teilnahme an dieser Untersuchung ist freiwillig und wird mit einer einmaligen Aufwandsentschädigung von 50 € entschädigt. Sie können jederzeit und ohne Angabe von Gründen Ihre Einwilligung zurückziehen.

Name: _____ Vorname: _____ Geb.: _____

Ort Datum Unterschrift Teilnehmerin/Teilnehmer

Ort Datum Unterschrift des Dienstarztes

Anhang D: Fragebogen für Probanden



KLINIKUM
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

CAMPUS INNENSTADT
INSTITUT UND POLIKLINIK FÜR
ARBEITS-, SOZIAL- U. UMWELTMEDIZIN
DIR.: PROF. DR. MED. DENNIS NOWAK



Klinikum der Universität München, Institut und Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin, Ziemssenstraße 1, 80336 München
Dr. R. Schierl - Tel: 089-5160-2463, Fax: 089-5160-3957, E-mail: rudolf.schierl@med.uni-muenchen.de

Fragebogen zur Studie „Evaluierung der Bleiaufnahme bei kurzzeitigen Aufenthalten in Schießständen“

Versuch C: 29.10.2007

(Etikett)

Name: Vorname:

Geschlecht: Geburtsdatum:

Anschrift (zur Befundzusendung)

Beruf:

Angaben zu möglichen Bleibelastungen:

Kommen für Sie folgende Möglichkeiten (jetzt oder früher) einer Bleiexposition in Frage?

		Ja	Nein
Berufliche Exposition:	Metallindustrie	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Umgang mit Farben / Lacke	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Löten / Schweißen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Sonstiger Umgang mit bleihaltigen Materialien	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Private Exposition		
	Kürzliche Renovierungsarbeiten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Sportschießen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Bleigießen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wurde bei Ihnen jemals ein erhöhter Bleiwert im Blut gemessen?		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sind Sie Raucher?		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Falls Sie bei einem der Punkt ja angekreuzt haben, bitte genaue Angaben (Art, Dauer):

.....

.....

Alle Angaben unterliegen dem Datenschutz

Anhang E: Aufklärungsbogen für Sportschützen



KLINIKUM
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

CAMPUS INNENSTADT
INSTITUT UND POLIKLINIK FÜR
ARBEITS-, SOZIAL- U. UMWELTMEDIZIN
DIR.: PROF. DR. MED. DENNIS NOWAK



Klinikum der Universität München, Institut und Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin, Ziemssenstraße 1, 80336 München
Dr. R. Schierl - Tel: 089-5160-2463, Fax: 089-5160-3957, E-mail: rudolf.schierl@med.uni-muenchen.de

Evaluierung der Bleiaufnahme bei kurzzeitigen Aufenthalten in Schießständen

Aufklärungsbogen für Sportschützen

1.) Worum geht es?

Es ist bekannt, daß die Verwendung von bleihaltiger Munition in Schießanlagen die Blutbleiwerte bei Sportschützen erhöhen kann. Dabei spielen viele Faktoren wie z.B. die Ausübungsdauer des Sportschützen, Dauer des Aufenthalts in der Schießanlage, sowie technische und bauliche Faktoren der Halle selbst eine Rolle.

Das Umweltbundesamt hat Grenzwerte für die Blutbleibelastung festgelegt: HBM-I und HBM-II. Liegt die Bleikonzentration unter dem HBM-I Wert, so kann eine Gefährdung ausgeschlossen werden. Liegt das Ergebnis dagegen über dem HBM-II Wert, sind gesundheitliche Risiken möglich und es bedarf einer Intervention bzw. individuelle Beratung. Die HBM Werte für Blei bei Männern und Frauen (> 45 Jahren) bei 150 µg/l (HBM-I) bzw. 250 µg/l Vollblut (HBM-II). Für Frauen im gebärfähigen Alter und Kinder gelten 100 µg/l (HBM-I) bzw. 150µg/l Vollblut (HBM-II). In bereits durchgeführten Studien waren bei Sportschützen Überschreitungen des HBM-I Wertes keine Seltenheit, vereinzelt wurden sogar Werte weit über der HBM-II Grenze gemessen.

Über die Belastung von Betreuern und Zuschauern in Schießsportanlagen gibt es bisher noch keine Daten. Es soll deshalb untersucht werden, ob auch bereits kurze Aufenthalte in Schießständen die Blutbleikonzentrationen erhöhen können.

2.) Was kommt auf Sie zu?

Auf Ihren Wunsch hin werden wir Ihren Blutbleiwert bestimmen. Zuvor werden wir Sie zu Ihren Schießgewohnheiten befragen, um ein Profil zu erstellen. Je nach festgestelltem Ergebnis, werden wir Ihnen empfehlen, Kontakt mit dem Hausarzt oder unserer Umweltmedizinischen Ambulanz aufzunehmen. Eine Blutprobe wird Ihnen während eines Trainingsabend von unserem medizinischen Personal abgenommen. Die Proben werden ausschließlich auf Blei untersucht und anschließend sofort vernichtet. Die Daten werden verschlüsselt und ausschließlich anonymisiert veröffentlicht. Nur Sie erhalten Ihre gemessenen Werte schriftlich von uns mitgeteilt.

Für weitere Fragen stehen wir Ihnen selbstverständlich gerne zur Verfügung.
Dr. Rudolf Schierl (Tel: 089/5160-2463, Rudolf.Schierl@med.uni-muenchen.de)
oder Hr. Peter Mühle (p.muehle@gmx.net)

3.) Mögliche Gefahren:

Zur Untersuchung des Bleigehaltes ist es notwendig, Blut aus einer Armvene zu entnehmen. Bei der Blutentnahme handelt es sich um ein Routineverfahren, das in der Regel ohne jegliche Komplikation verläuft. Hierzu werden ca. 5 ml Blut aus einer Vene der Ellenbeuge entnommen. Die Abnahme wird von unserem erfahrenen Fachpersonal durchgeführt. Bei schlechten Venenverhältnisse können in wenigen Fällen Blutergüsse entstehen, die sich aber schnell wieder zurückbilden. Schwerwiegendere Komplikationen stellen eine extrem seltene Ausnahme dar.

4.) Datenschutz:

Alle Angaben und Werte werden absolut vertraulich behandelt. Diese werden verschlüsselt und anonymisiert. Nur der Studienleiter kennt den Verschlüsselungscode. Bei evtl. Veröffentlichungen können keinesfalls Rückschlüsse auf Ihre Person gezogen werden. Sie haben das Recht, jederzeit Auskunft über die von Ihnen gespeicherten Daten zu erhalten.

5.) Studienteilnahme:

Hiermit bestätige ich, dass ich ausführlich schriftlich und mündlich über die geplanten Untersuchungsabläufe unterrichtet und anhand des Informationsblattes auch über datenschutzrechtliche Belange aufgeklärt wurde. Mir ist bekannt, dass ich jederzeit das Untersuchungsprogramm abbrechen kann, ohne dass mir daraus Nachteile entstehen. Ich weiß, dass ich stets Einblick in meine Unterlagen nehmen und jederzeit von der Untersuchung zurücktreten kann. Die Teilnahme an der Studie ist freiwillig. Meine erhobenen Bleiwerte werden nur mir mitgeteilt.

Datum der Blutprobe: Probenummer:

Name: Vorname:

Geschlecht: Geburtsdatum:

Anschrift (zur Befundzusendung)

.....

.....
 Ort Datum Unterschrift Teilnehmerin/Teilnehmer

Anhang F: Fragebogen für Sportschützen



KLINIKUM
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

CAMPUS INNENSTADT
INSTITUT UND POLIKLINIK FÜR
ARBEITS-, SOZIAL- U. UMWELTMEDIZIN
DIR.: PROF. DR. MED. DENNIS NOWAK



Klinikum der Universität München, Institut und Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin, Ziemssenstraße 1, 80336 München
Dr. R. Schierl - Tel: 089-5160-2463, Fax: 089-5160-3957, E-mail: rudolf.schierl@med.uni-muenchen.de

Fragebogen zur Studie „Evaluierung der Bleiaufnahme bei kurzzeitigen Aufenthalten in Schießständen“

- Versuch B: 25.10.2007 -

(Nummerncode)	(Zeichen)	Sonstiges
---------------	-----------	-----------

Geschlecht	<input type="radio"/> M <input type="radio"/> W
Alter	Jahre
Beruf	
Raucher	<input type="radio"/> Nein <input type="radio"/> Ja → Packyears
Bisherige Exposition	(Schweißen, Löten, Metalleindustrie, Bergbau, Altbaurenovierung, etc.)
Jemals Pb gemessen	<input type="radio"/> Nein <input type="radio"/> Ja →

Schießsport seit (nur scharfe Munition) Jahren
Nur bei den Altschützen	<input type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein →
Wie oft pro Monat	
Wieviel Schuss / Monat (nur Scharfe Munition)	
Welche Waffen (bei mehreren Typen meist benutze unterstreichen oder %-Zahlen)	<input type="radio"/> Kleinkaliber: <input type="radio"/> Großkaliber:
Selbstlader	<input type="radio"/> Nein <input type="radio"/> Ja →

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Dennis Nowak, der mir freundlicherweise die Möglichkeit gegeben hat, meine Dissertationsarbeit am Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin durchzuführen.

Meinem Betreuer, Herrn Dr. rer. nat. Rudolf Schierl, möchte ich für die Überlassung dieses interessanten Themas sowie für die tatkräftige Unterstützung bei den praktischen Versuchen außerordentlich danken. Von ihm erhielt ich zahlreiche Anregungen und er war immer bereit, umgehend auf meine Fragen einzugehen.

Herrn Stefan Gröbmair möchte ich für die umfangreichen Analysen der Proben danken.

Des Weiteren möchte ich mich bei dem Bayerischen Sportschützenbund (BSSB) sowie den Sportschützen des Versuchsschießstandes bedanken.

Ein besonderer Dank gilt auch Herrn Dr. med. Matthias Demmeler für die Unterstützung bei den praktischen Versuchen, sowie den Probanden der Expositionsversuche, deren Mithilfe diese Arbeit erst ermöglicht hat.

Für die tatkräftige Unterstützung bei der schriftlichen Umsetzung dieser Arbeit möchte ich mich besonders bei meinem Vater Dipl. Ing. Rudolf Mühle und bei meinem Onkel Dr. rer. nat. Herbert Preiß bedanken.