

## **Thema III**

### **Be- und Entlüftung von geschlossenen Schießständen**



#### **Dr. Gerhard Holl**

Wehrwissenschaftliches Institut für Werk-, Explosiv und Betriebsstoffe (vorm. BICT und WIM)  
Zülpicher Straße 312, 50937 Köln  
Telefon: 02222/60081

## **Referat 1**

### **Belastung durch Schusswaffen in geschlossenen Schießständen**

Beim Schuss mit Handfeuerwaffen werden Schadstoffe emittiert, die in geschlossenen Schießständen zu einer Kontamination der Atemluft bei Schützen und Aufsichtspersonen führen. In einem speziell angefertigten Schusskanal wurden die beim Schießen mit Handfeuerwaffen entstehenden gas- und partikelförmigen Schadstoffe gesammelt und bilanziert sowie im Rahmen signifikanter Expositionsmuster bewertet. Die Ergebnisse belegen, dass Blei und Kohlenmonoxid als Leitkomponenten zur Beurteilung luftgetragener Schadstoffe in geschlossenen Schießständen anzusehen sind.

#### **1. Einleitung**

Beim Schuss mit Handfeuerwaffen werden Schadstoffe emittiert, die in geschlossenen Raumschießanlagen zu einer Kontamination der Atemluft wie auch der Oberflächen (vor allem Boden und Seitenwänden) führt. Die Emissionen setzen sich insbesondere aus gas- und partikelförmigen Reaktionsprodukten der Explosivstoffe wie auch aus nichtumgesetzten Explosivstoffen zusammen.

Durch zahlreiche Untersuchungen [1-7] wurde bereits festgestellt, dass als nicht umgesetzter Explosivstoff Treibladungspulver nach einem Schuss aus einer Handfeuerwaffe emittiert wird und sich bis zu einem Abstand von ca. 6-7 m in Schussrichtung auf dem Boden und in den

Schallisolierungen der Wandverkleidungen anreichern kann. Diese Stoffe sind explosionsgefährlich im Sinne des Sprengstoffgesetzes, d.h. sie können durch Reibung, Schlag oder Erhitzen zur Reaktion gebracht werden.

Die Reaktionsprodukte können als luftgetragene Schadstoffe vom Schützen wie auch vom Aufsichtspersonal eingeatmet werden und so zu einer Gefährdung der Gesundheit führen.

Hierbei resultieren die emittierten gas- und partikelförmigen Stoffe aus verschiedenen Bestandteilen der Munition (Anzündsatz (AZ), Treibladungspulver (TLP) und Geschoss) sowie aus dem Abrieb der Waffe.

Der Anzündsatz (AZ) dient zur Anzündung von Treibladungen. Der reib- bzw. schlagempfindliche Anzündsatz wird durch mechanische Betätigung eines Schlagbolzens zur Entzündung gebracht. Die Gesamtmenge liegt zwischen 15 und 30 mg. Die wesentlichen, zur Schadstoffbildung beitragenden Elemente sind Blei, Barium, Antimon, Zink und Kupfer. Knallquecksilber mit Chloraten findet keine Verwendung mehr. Bleifreie Anzündsätze verschiedener Hersteller sind bereits im Fachhandel erhältlich.

Unter einem Treibladungspulver versteht man ein in der Regel rauchschwaches Pulver auf der Basis von Nitrocellulose (NC). Nach der Zusammensetzung unterscheidet man einbasige Pulver (enthalten als Energieträger nur Nitrocellulose), zweibasige oder dreibasige Pulver (enthalten zusätzlich zu NC niedermolekulare Nitratester z. B. Nitroglycerin oder Diglycoldinitrat). Zusätzliche Bestandteile sind Stabilisatoren, Weichmacher oder phlegmatisierende Stoffe. Die Zusätze bewegen sich im Bereich weniger Gewichtsprozent. Die Menge des TLP's in der untersuchten Munition lag zwischen 64 und 3000 mg pro Schuss. Von der Verbrennung und dem Druckaufbau in der Waffe hängt im Wesentlichen die Menge der gebildeten Reaktionsprodukte Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Stickoxide und Wasser ab.

Durch die mechanische und thermische Beanspruchung der Oberfläche des Geschosses (Abrieb, Verdampfen von Blei) können metallische Bestandteile mit den Schussschwaden emittiert werden. Insbesondere tragen Geschosse mit einem Boden aus Blei zum Bleigehalt im Gesamt- und Feinstaub bei.

Im Rahmen der Überprüfung und Bewertung von Gefahrstoffen in der Luft an Arbeitsplätzen in Raumschießanlagen [7-10] wurde festgestellt, dass ggf. wenige Schüsse mit einer Handfeuerwaffe in einem geschlossenen Raum ausreichen können, um die Grenzwerte für Schadstoffkonzentrationen am Arbeitsplatz (MAK, TRK) zu überschreiten.

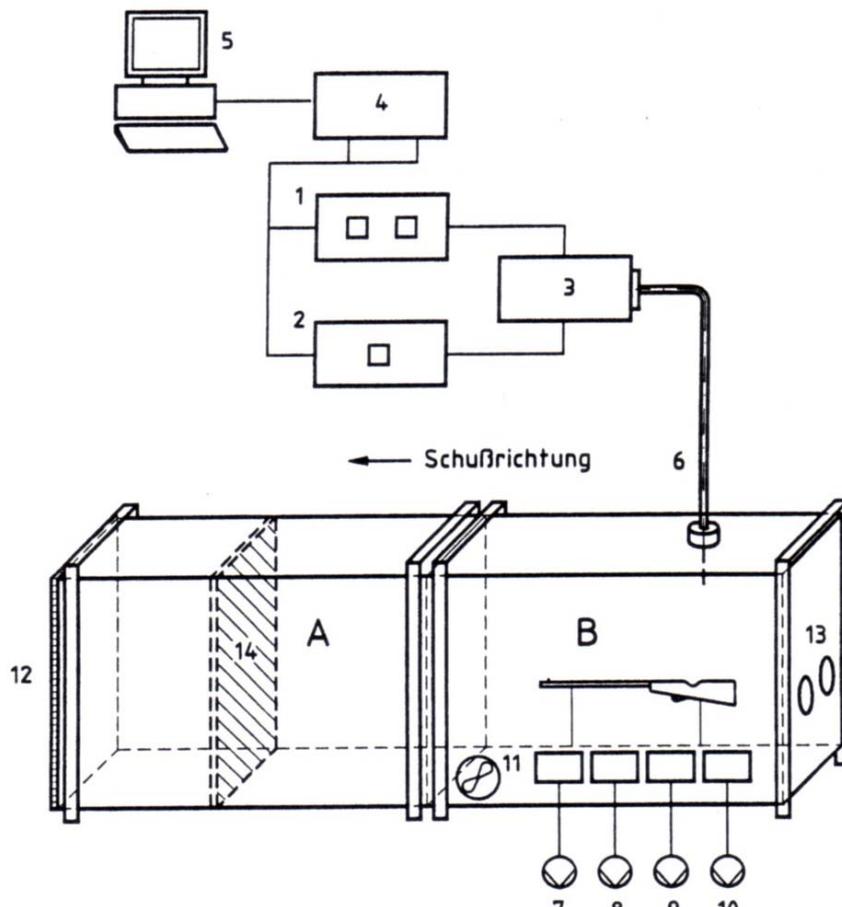
Deshalb wurde im Rahmen dieser Arbeit die Quellstärke verschiedener Waffen- und Munitionstypen - d. h. die pro Schuss emittierte Menge an Reaktionsprodukten - ermittelt, um die Gefahrstoffproblematik in Raumschießanlagen besser charakterisieren zu können. Durch einen Vergleich mit Messungen der Konzentration beim realen Schießbetrieb werden verschiedene Möglichkeiten diskutiert, um eine Einhaltung der Grenzwerte sicherstellen zu können.

## 2. Ermittlung der spezifischen Schadstoffemissionen pro Schuss

Im Auftrag der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) wurden im Wehrwissenschaftlichen Institut für Werk-, Explosiv- und Betriebsstoffe (WIWEB) in Swisttal-Heimerzheim ein Versuchsaufbau erstellt (Abb. 1) mit dem Ziel, die Reaktionsprodukte aus Explosivstoffen beim Schuss mit Handfeuerwaffen und deren Emissionen pro Schuss unter Laborbedingungen reproduzierbar zu ermitteln.

### 2.1 Versuchsaufbau

In einem für die Versuche speziell angefertigten Schusskanal können Handfeuerwaffen (Lang- und Kurzfeuerwaffen) mit verschiedenen Munitionsarten geschossen werden. Der Kanal ist aus gleichen, leicht zu öffnenden Segmenten zusammengesetzt und hat den Vorteil, dass verschiedene Raumvolumina je nach Aufgabenstellung ermöglicht werden können. Um alle Vorgänge innerhalb des Versuchskanals überwachen und auch die Handfeuerwaffen bedienen zu können (z.B. Ladevorgänge), ist die Stirnseite mit einer einschiebbaren Plexiglasscheibe, in der Stulpenhandschuhe eingearbeitet sind, ausgestattet. Aus dem abgedichteten Kanal wurden Gas-, Fein- und Gesamtstaubproben entnommen und mit weiteren Analyseverfahren charakterisiert. Gemessen wurde unter atmosphärischen Bedingungen (Temperatur, Druck und Feuchte).



- |  |  |
|--|--|
| 1 IR-Detektor (CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> )               | 9 Pumpe für Formaldehyd                                    |
| 2 Chemilumineszenz-Detektor (NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ) | 10 Pumpe für Ammoniak                                      |
| 3 Gasaufbereitung  | 11 Ventilator  |
| 4 Meß- und Registriereinheit   | 12 Gewebeverstärkte Folie                                  |
| 5 Rechner  | 13 Plexiglasscheibe mit Bohrung für die Hände des Schützen |
| 6 Gassonde   | 14 Pappkarton zum Abbremsen der Schussschwaden             |
| 7 Pumpe für Feinstaub  |  |
| 8 Pumpe für Gesamtstaub  | A u. B modulare Versuchsanordnung                          |

**Abb. 1: Versuchsaufbau „Schusskanal“**

## 2.2 Messergebnisse

Insgesamt wurden 7 Kurzfeuer- und 3 Langfeuerwaffen untersucht. Die ausgewählten Pistolen, Revolver und Gewehre sowie die entsprechende Munition und Kaliber ist der Tabelle 1 zu entnehmen. Insgesamt wurden 35 Messreihen durchgeführt.

Hauptbestandteile sowohl im Fein- wie auch im Gesamtstaub sind die Elemente Blei, Barium, Antimon und Kupfer (Tab. 2). Diese Schwermetalle sind in den üblicherweise verwendeten Sinoxid-Anzündhütchen bzw. im Fall von Blei auch im Geschoss selbst enthalten.

**Tab.1: Zuordnung von Waffen, Munition und Messreihen**

	Waffe/Kaliber/Fabrikat	Munition/Fabrikat
<b>Kurzfeuerwaffe</b>	Revolver/.357Mag./S&W	.38SPL /Winchester
		.38G.F.L. /Fiocchi
		.357Mag. /Winchester
	Pistole/9mm Para/SIG-SAUER	9mm Luger / Geco
	Revolver/.22/S&W	.22xPert /Winchester
		.22Standard / RWS
	Revolver/.44Mag./S&W	.44Rem Mag /Winchester
	Pistole/.22/Walther	.22xPert /Winchester
		.22Standard /RWS
	Pistole/9mm/P. Beretta	9mm Luger /Fiocchi
Pistole/.45/S&W	.45Auto /Winchester	
<b>Langfeuerwaffe</b>	Gewehr/.22/Anschütz	.22xPert /Winchester
		.22Standard /RWS
	Gewehr/6,5x55/C.Gustafs	6,5x55 /Norma
	Gewehr/8x57IS/Karabiner	8x57IS /RWS

Im Rahmen der Mittelwertschwankungen pro Schuss entspricht die Menge Feinstaub die der Menge Gesamtstaub. Pro Schuss werden zwischen 0,5 mg (Minimum) und 36,4 mg (Maximum) Staub emittiert. Die stark unterschiedlichen Messwerte hängen von der Menge an Treibladungspulver in der Munition und der verwendeten Waffen (Kaliber) ab. Ein monokausaler Zusammenhang zwischen Menge Treibladungspulver und Emissionsstaub pro Schuss ist nicht gegeben. Besonders hoch sind die Staubbelastungen beim Schuss mit der Waffe 9mm Beretta. Vergleicht man die Menge Blei pro Schuss, so fällt auf, dass bei dieser Waffe auch die höchste Bleikonzentration mit der Munition 9 mm Luger zu beobachten ist. Diese Munition besitzt einen

teflonbeschichteten Bleirundkopf. Dabei trägt der Bleiabrieb des Geschosses beim Schuss erheblich zur Bleiemission bei.

**Tab. 2: Minima und Maxima der verschiedenen Schadstoffemissionen**  
**Werte, die kleiner als die Bestimmungsgrenze sind, wurden nicht berücksichtigt**

Schadstoff/ Element	Maximum pro Schuß [mg]	Minimum pro Schuß [mg]	Waffe / Munition
Gesamtstaub	<u>33,3</u>	0,5	Pis-9mm-Biret/9mmLug-Fio Gew-.22-An/.22XPert-Win
Feinstaub	<u>36,4</u>	0,5	Pis-9mm-Biret/9mmLug-Fio Gew-.22-An/.22XPert-Win
Blei	<u>25</u>	0,2	Pis-9mm-Biret/9mmLug-Fio Gew-.22-An/.22XPert-Win
Barium	<u>1,4</u>	0,03	Pis-Biret/9mm-LUG Pis-Wal/.22 Stand
Antimon	<u>2,3</u>	0,3	Pis-Biret/9mm-LUG Rev.357-Mag/.38 GFL
Zink	<u>0,6</u>	0,02	Gew-K98/8x57 -JS Rev.357-Mag/.38 SPL
Kupfer	<u>3,4</u>	0,02	Gew-K98/8x57 -JS Rev.357-Mag/.38 SPL
Aluminium	<u>0,12</u>	0,01	Rev.44 Mag/.44 REM Mag Rev.357 Mag/.38 SPL
Stickoxide	<u>19,2</u>	0,1	Gew-GUS/6,5x55-Norma Gew-.22-An/.22Std-RWS
Kohlenmonoxid	<u>1347</u>	34	Gew-GUS/6,5x55-Norma Rev-S&W/.22XPert/Win
Formaldehyd	<u>0,3</u>	0,03	Gew-GUS/6,5x55-Norma Rev-Mag/.38GFL-Fioc
Ammoniak	<u>17,1</u>	0,2	Gew-GUS/6,5x55-Norma Rev-Mag/.38GFL-Fioc

Betrachtet man die Emission von Kohlenmonoxid pro Schuss, so steigt die Menge Kohlenmonoxid von 36 mg in Abhängigkeit von der verwendeten Treibladungspulvermenge bis auf 614 mg an (Abb. 2). Die Maximalwerte von ca. 1300 mg pro Schuss werden bei den Langfeuerwaffen mit den Kalibern 6,5 x 55 und 8 x 57 erreicht.

In der Regel beobachtet man die gleiche Beziehungen bei der Zunahme an TLP und der emittierten Menge an Stickoxiden. Dabei ist Stickstoffmonoxid das primäre Reaktionsprodukt. Mit der Zeit findet jedoch im Schusskanal eine Oxidation von NO zu NO<sub>2</sub> mithilfe des Luftsauerstoffes statt.

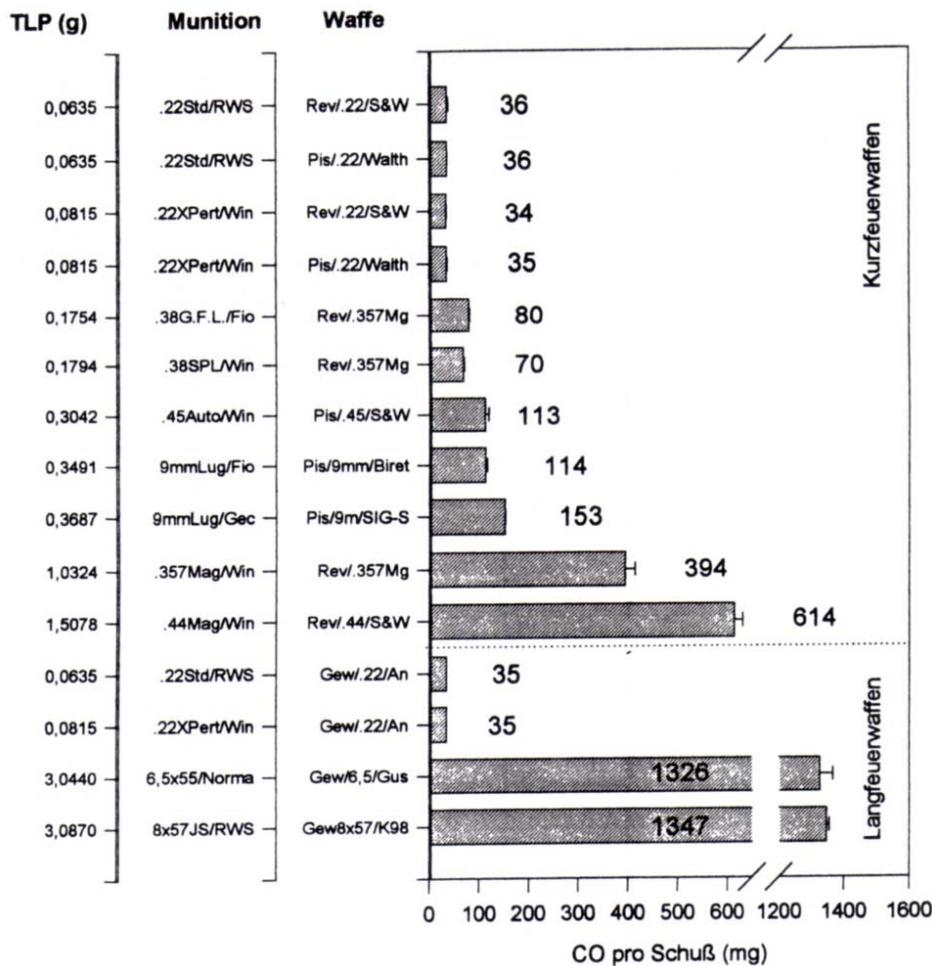


Abb. 2: CO-Emission pro Schuss verschiedener Munitions- und Waffenkombinationen

Größere Mengen von Ammoniak und Formaldehyd entstehen im Wesentlichen nur bei den Langfeuerwaffen.

### **3. Ermittlung und Bewertung der Gefahrstoffkonzentrationen in der Luft einer Raumschießanlage**

Von Interesse ist, wie sich die Schadstoffe der untersuchten Systeme Waffe/Munition in Raumschießanlagen (RSA) verteilen. Entscheidend hierfür ist neben den örtlichen Gegebenheiten vor allem das Lüftungssystem und die Anzahl der Schusssequenzen pro Schütze. Die Messung der Konzentrationen von Gefahrstoffen in der Luft von Raumschießanlagen wurden in einem Schießstand durchgeführt, dessen Grundriss und Schnitt des Schießstandes den Abbildungen 3 und 4 zu entnehmen ist.

#### **3.1 Beschreibung der Raumschießanlage**

Der Schießstand ist in zwei Bereiche (I, II) aufgeteilt. Beide sind durch eine Mauer lüftungstechnisch getrennt. Die Probenahme erfolgte im Schießstandsbereich I, der eine Länge von ca. 31m, eine Breite von 5,6 m und eine Höhe von 3,15 m besitzt. Die Schützen stehen ca. 3,40 m vor der Rückwand in 5 durch Plexiglas voneinander getrennten Kabinen. Seitenwände wie Decken sind schallisoliert verkleidet.

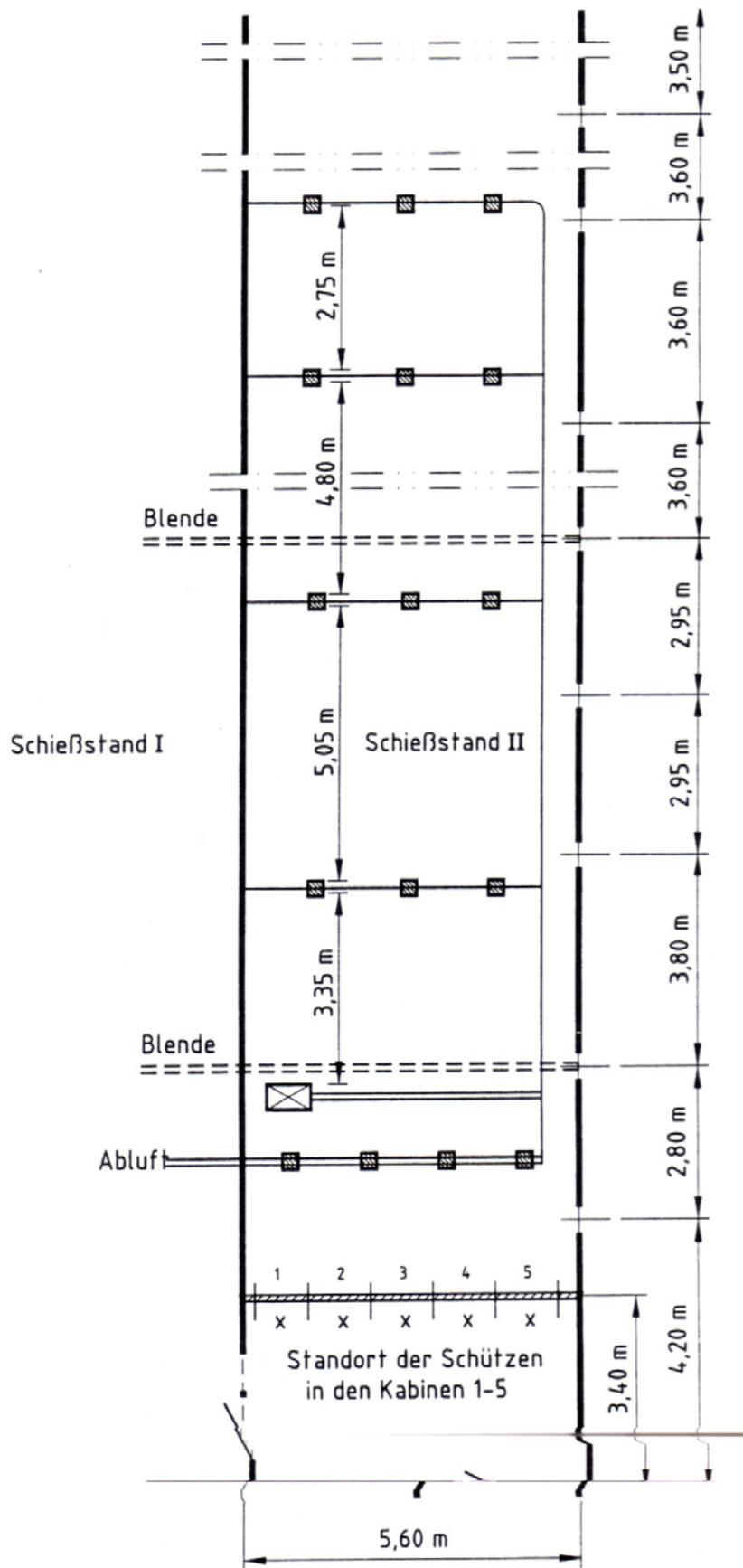


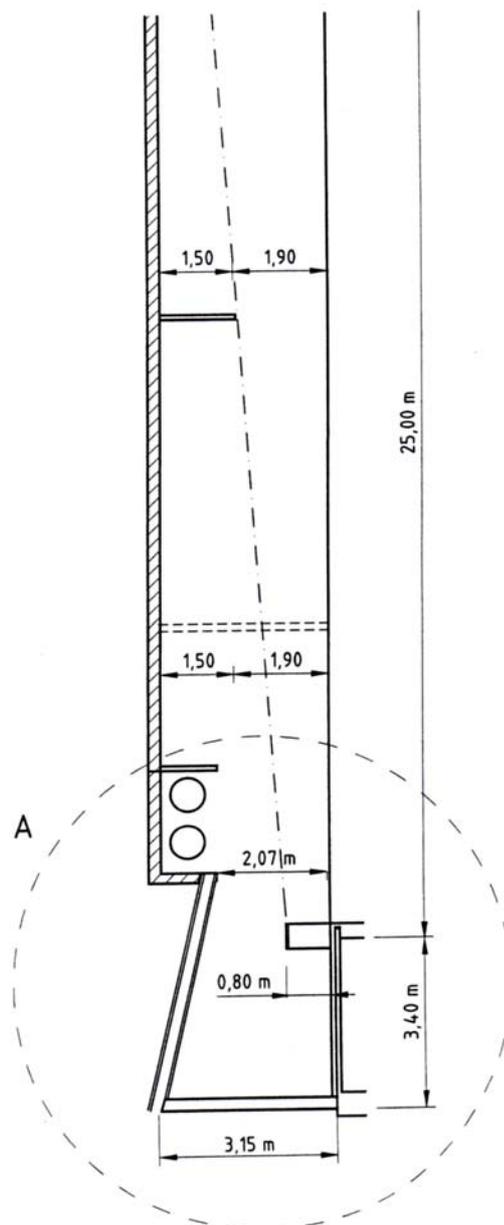
Abb. 3: Aufsicht auf den Schießstand

Der gesamte Schießstand wird mit einer Raumluf-Technische-Anlage (RLT) be- und entlüftet. Sie besteht aus einer Zuluft- (8000 m<sup>3</sup>/h) und einer Abluftanlage (6000 m<sup>3</sup>/h). Beide Anlagen können unabhängig voneinander in 5 Leistungsstufen (Schalterstellungen) mit einem maximalen Luftwechsel von 7 pro Stunde geregelt werden.

Die beheizbare Zuluft wird oberhalb der Eingangstür ab einer Höhe von 2,20 m über den gesamten Wandbereich durch 5 Zuluftschächte mit Gittern zugeführt.

In den Schächten befinden sich Lamellen, um eine gezielte Luftführung zu erreichen. Aufgrund der abgeschrägten Decke in den ersten ca. 4 m des Schießstandbereichs (Abb. 4 b) bilden sich im Bereich des Schützen spezifische Luftströmungen aus – sogenannte Luftwalzen -, sodass ein Teil der Schadstoffemissionen im Bodenbereich zurückgeführt werden können. Die Abluft wird an senkrecht zur Schießbahn verlaufenden Absaugrohren über jeweils 4 bzw. 3 Abluftschächten im Deckenbereich entnommen.

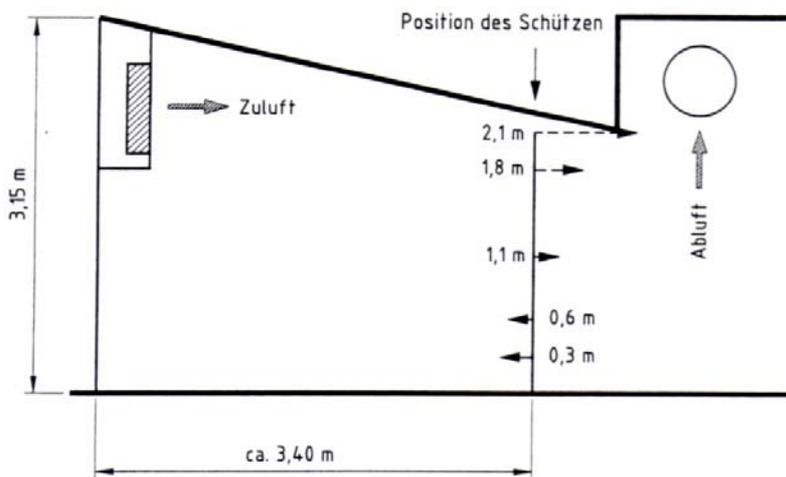
**Abb. 4a: Seitenansicht des Schießstandes**



### 3.2 Experimentelle Bestimmung der luftfremden Stoffe

Vor jeder Messserie wurde die Temperatur mit einem Thermoelement, die relative Luftfeuchte mit einem kapazitiven Widerstand und der Luftdruck mit einem Drucksensor bestimmt. Die Strömungsgeschwindigkeit der Luft innerhalb der Raumschießanlage wurde mit einem thermischen Strömungssensor gemessen. Der Luftwechsel wurde mit der Tracergas-Technik nach der Abkling-Methode mittels Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) bestimmt.

Teildarstellung A



Luftgeschwindigkeit am Standort des Schützen

Die Pfeillänge entspricht der Strömungsgeschwindigkeit nach Tabelle 3 bei der Schalterstellung der RSA von 3/3.

Abb. 4b: Teildarstellung des Schießstandes

Die Konzentrationsbestimmung der gasförmigen Bestandteile Kohlenmonoxid und Stickoxide erfolgte kontinuierlich über direktanzeigende Messgeräte mit anschließender EDV-gestützter Dokumentation und Auswertung der Messdaten.

Die Schusschwaden wurden als Gesamt- und Feinstaub mit dem BIA-geprüften Gefahrstoff-Probenahmesystem nach anerkannten Methoden ermittelt. Zur Bestimmung des Metallgehaltes im Gesamt- und Feinstaub wurden die beaufschlagten Filter in einem Kolben mit wässriger Lösung (2 Vol.-%-suprapur HNO<sub>3</sub> 65 % und 1 Vol.-%-suprapur HCl 30 %) aufgeschlossen, quantitativ in einen Messkolben überführt und mit Hilfe der Analysetechnik „Atomemissionsspektrometrie“ (ICP-AES) die einzelnen Elemente simultan bestimmt.

### 3.3 Bewertung der Messergebnisse

Insgesamt wurden 5 Versuchsreihen vor Ort durchgeführt. In der Tabelle 3 werden die für jede Messserie charakteristischen Waffen-Munitionskombinationen, die Schusszahl, die Anzahl der besetzten Kabinen und die Luftgeschwindigkeiten im Atembereich der Schützen angegeben. Letztere resultieren aus unterschiedlichen Einstellungen bei den Leistungsstufen der Zuluft.

**Tab. 3: Übersicht über wichtige Parameter der Messerien**

Meßserie	Waffe / Kaliber	Schußanzahl	Anzahl der besetzten Kabinen	Luftströmung im Atembereich des Schützen m/s
1	SIG-Sauer P226 / 9mm Para	40	1	0,12
2	Pistole / 9mm Para, .45 ACP selbstlaboriert	400	1	0,12
3	K98 / 8*57 IS	25	1	0,12
4	Pistole, Revolver / 9mm Para, .38 S&W, .38 Spez., .357 Mag., .45 ACP, .22 LfB	407	5	0,34 – 0,41
5	Pistole, Revolver / 9mm Para, .38 Spez., .38 Spez., .357 Mag., .44 Mag., .45 L.C., .22 LfB, CCI 22 L.R.	245	4	0,41

Um die Messwerte besser beurteilen und vergleichen zu können, wurden unter Berücksichtigung einer Expositionszeit von 2 Stunden Bewertungsindices berechnet:

$$I_{(i)} = \frac{\text{Meßwert}}{\text{Grenzwert} \cdot k}$$

$$\text{mit } k = \frac{8}{t_{Exp}}$$

Bei  $I_{(i)} > 1$  sind die Grenzwerte nach den Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS 900) [11] überschritten, sodass Maßnahmen zur Reduzierung der Gefahrstoffkonzentrationen ergriffen werden müssen.

Die Indizes  $I_{(i)}$  zur Beurteilung der gasförmigen Schwaden NO, NO<sub>2</sub> und CO in der Luft der Schießanlage (Quotient aus der mittleren Stoffkonzentration und des MAK-Wertes) liegen bis auf 3 Werte alle  $I_{(i)} < 0,1$ . Damit spielen sie bei der Bewertung des Arbeitsplatzes in der Regel keine Rolle, wenn es sich um Einzelschussesequenzen und nicht um Dauerfeuer handelt.

**Tab. 4: Bewertung der gasförmigen Schadstoffe nach TRGS 402**

Schadstoff	Meßserie	Meßort*)	Konz. C ppm	I <sub>(i)</sub>
CO	1	S/3	1,5	0,01
	2	S/3	7,7	0,06
	3	S/5	18	<b>0,15</b>
	3	T/5	9	0,08
	4	S/5	9	0,08
	4	T/1	8	0,07
	4	T/1	8	0,07
	4	A	8	0,07
	4	T/3	17	<b>0,14</b>
	5	S/5	15	<b>0,13</b>
	5	T/5	3	0,03
NO	1	S/3	0,2	< 0,01
	2	S/3	0,3	< 0,01
	3	S/5	0,3	< 0,01
	4	S/5	0,1	< 0,01
	5	S/5	0,3	< 0,01
NO <sub>2</sub>	1	S/3	0,07	< 0,01
	2	S/3	0,2	< 0,01
	3	S/5	0,1	< 0,01
	4	S/5	0,2	< 0,01
	5	S/5	0,2	< 0,01

\*) S = Schütze, T = Trainer, A = Aufsichtspersonal/Kabinen-Nr.

Anders sieht es bei den partikelförmigen Schadstoffen aus. Die Messergebnisse machen deutlich, dass bis auf wenige Ausnahmen eine erhebliche Überschreitung des Bewertungsindex von 1 festgestellt wurde. Diese Bewertung ist dabei ausschließlich auf den Gefahrstoff Blei zurückzuführen (Tab. 5 und 6).

**Tab. 5: Bewertung der partikelförmigen Schadstoffe nach TRGS 402  
(Messserie 29)**

Schadstoff	Meßserie/ Meßort	Meßort	p/o	Konz. C µg/m <sup>3</sup>	I <sub>(i)</sub>
Sb	2	S/3	p	<123*	
Ba	2	S/3	p	<138*	
Zn	2	S/3	p	<7,7*	
Cu	2	S/3	p	<7,7*	
Sb	2	A	o	74	0,04
Ba	2	A	o	83	0,04
Zn	2	A	o	5	<0,01
Cu	2	A	o	29	<0,01

Meßort: S = Schütze, T = Trainer, A = Aufsichtspersonal/Kabinen-Nr.

p/o personenbezogene/ortsfeste Probenahme

\* = Meßwerte kleiner rel. Nachweisgrenze

**Tab. 6: Bewertung der partikelförmigen Schadstoffe nach TRGS 402**

Schadstoff	Meßserie	Meßort	p/o	Konz. C µg/m <sup>3</sup>	I <sub>(i)</sub>
Pb	1	S/3	p	<490*	1,2
	2	S/2	p	910	2,3
	2	S/3	p	1769	4,4
	2	S/4	p	1339	3,3
	2	A	o	1921	4,8
	3	S/5	p	<109	0,3
	3	S/5	p	<109	0,3
	3	A	o	<107	0,3
	4	S/5	o	1725	4,3
	4	S/3	o	1769	4,4
	4	S/4	o	1339	3,3
	4	A/T	o	1947	4,9
	5	T/5	o	1725	4,3
	5	S/4	o	944	2,4
	4/5	A	o	946	2,4

Meßort: S = Schütze, T = Trainer, A = Aufsichtspersonal/Kabinen-Nr.

p/o personenbezogene/ortsfeste Probenahme

\* Meßwerte kleiner rel. Nachweisgrenze

Obwohl die Leistung der Raumluftechnischen Anlage von einem Luftwechsel von ca. 2 h<sup>-1</sup> (Messserie 2) auf ca. 7 h<sup>-1</sup> (Messserie 5) erhöht wurde, konnte keine signifikante Abnahme der Schadstoffkonzentrationen beobachtet werden. Lediglich die CO-Spitzenkonzentrationen werden im direkt von der Zuluft angeströmten Bereich minimiert.

Auch die im Atembereich der Schützen gemessene Strömungsgeschwindigkeit zeigt keine Korrelation mit den dokumentierten Blei-Konzentrationen. Bei Werten von 0,41 m/s (Messserie 5) reduzieren sich zwar im Vergleich mit Messserie 4 die Messwerte im Bereich der Schützen auf < 1000 µg/m<sup>3</sup> Blei - bezogen auf eine reduzierte Schusszahl von 245 -, die Belastung für Trainer und Aufsichtspersonal bleiben jedoch nahezu auf gleich hohem Niveau.

In Raumschießanlagen werden zwei verschiedenen Lüftungsarten von RLT-Anlagen verwendet - die Verdrängungs- und die Mischlüftung. Bei der Luftverdrängungslüftung wird die Luft auf der den Schussmarken gegenüberliegenden Seite wenn möglich großflächig turbulenzarm zugeführt und hinter den Schutzmarken und/oder an den Seiten der Schießbahn abgeführt. Im Gegensatz dazu wird bei der Mischlüftung die Zuluft mit hoher Geschwindigkeit in den Raum hinter den Schützen eingeblasen. Die Folge kann sein, dass es zur Ausbildung einer Luftwalze kommt. Hierbei können die Schadstoffe aufgrund einer Luftrichtungsänderung wieder in den Bereich des Schützen, des Trainers und des Aufsichtspersonals transportiert werden. RLT-Anlagen, die nach dem Prinzip der Verdrängungslüftung funktionieren, sind somit vorzuziehen [12,13].

Die Messungen belegen eindeutig, dass die Bewertungskriterien wie Luftwechsel, Strömungsgeschwindigkeit im Atembereich des Schützen und die auf die Raumgröße und Zeiteinheit normierte Emissionsmenge nicht ausreichen, um die Problematik der hohen Schadstoffkonzentration im speziellen Fall zu erklären. Bilden sich im Bereich der Schützen spezifische Luftströmungen unter Umkehr der Strömungsrichtung aus - sogenannte Luftwalzen-, so wird ein Teil der Schadstoffemissionen im Bodenbereich zurückgeführt. Eine Erhöhung der

Luftwechselzahl von 2 auf 7 h<sup>-1</sup> wie auch der Strömungsgeschwindigkeit der Zuluft von 0,1 auf 0,4 m/s haben nur einen geringen Einfluss auf die Senkung der Konzentrationen. Diese Aussage deckt sich auch mit der in der Literatur gemachten Feststellung, dass die Bleikonzentrationen wesentlich höher liegen bei Lüftungssystemen, die sowohl die Zu- als auch die Abluft im Deckenbereich haben (Gefahr der Luftrückführung).

Berechnungen der Raumluft-Konzentration als Funktion der Zeit (Rechenmodell des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitssicherheit - BIA [12]) haben ergeben, dass erst ab einem Luftwechsel von ca. 30 h<sup>-1</sup> und bei einem Raumbelüftungsgrad von 40 (dies ist ein Maß für die Raumdurchmischung und besagt im konkreten Fall, dass die Konzentration in der Abluft um den Faktor 40 höher liegt als die mittlere Raumkonzentration bei vollständiger Durchmischung) mit einer mittleren Blei-Konzentration < 0,1 mg/m<sup>3</sup> zu rechnen ist.

Zusammenfassend ergibt sich somit die Forderung, dass eine über den gesamten Querschnitt der Schießbahn gleichgerichtete Luftströmung erreicht werden soll (Verdrängungsströmung). So kann bei der Verwendung der untersuchten Munitionsarten am besten gewährleistet werden, dass die Schadstoffkonzentrationen im Atembereich der in gleicher Weise betroffenen Personen (Trainer, Aufsichtspersonal und Schütze) minimiert werden. Zusätzlich sollte durch die Verwendung einer bleifreien Anzündung und ummantelten Geschossen die Emissionsmenge Pb pro Schuss reduziert bzw. verhindert werden; letzteres ist insbesondere bei der Verwendung von großkalibriger Munition (ca. Faktor 2 größere Pb-Emissionen als bei der Anwendung von Waffen des Kalibers .22) anzustreben. Die Verwendung von Munitionsarten mit Pb-Emissionen > 10 mg/m<sup>3</sup> sollten in geschlossenen Schießanlagen kritisch hinterfragt werden.

## **Zusammenfassung**

Ausgehend von der Quellstärke charakteristischer Schusswaffen und Munitionsarten wurden deren Schadstoffemissionen pro Schuss unter Laborbedingungen reproduzierbar ermittelt. In einem für die Versuche speziell angefertigten Schusskanal wurde mit Handfeuerwaffen (Lang- und Kurzfeuerwaffen) mit verschiedenen Munitionsarten geschossen, die gas- und partikelförmigen Schadstoffe gesammelt und bilanziert sowie im Rahmen signifikanter Expositionsmuster bewertet. Im Anschluss an diese Untersuchungen wurden Waffen und bestimmte Munition ausgewählt, um in einer Raumschießanlage, die eine definierte Beschreibung der Belüftung zulässt, die Schadstoffkonzentrationen beim Schützen und beim Aufsichtspersonal vor Ort zu bestimmen.

Die Ergebnisse belegen, dass Blei und Kohlenmonoxid als Leitkomponenten zur Beurteilung luftgetragener Schadstoffe in Raumschießanlagen anzusehen sind. Kann durch eine geeignete Lüftungstechnik und die Verwendung von schadstoffreduzierter Munition sichergestellt werden, dass die Grenzwerte von Blei und Kohlenmonoxid dauerhaft sicher eingehalten sind, so liegen auch die Bewertungsindices der anderen Gefahrstoffe im Sinne einer Bewertung der Luft am Arbeitsplatz nach den technischen Regeln für Gefahrstoffe deutlich unter 1.

Auf Grund der Quellstärken (Gefahrstoffemission pro Schuss) verschiedener Munitionsarten können in Verbindung mit dem Nutzungskonzept einer Raumschießanlage die Mindestanforderungen für eine Raumlufttechnische-Anlage (RLT) bewertet werden.

## Danksagung

Das Projekt wurde aus Mitteln der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) finanziert. Für die interessante Themenstellung möchten wir Herrn Dr. Petersen (VBG) und für die Beratung und Projektbegleitung Herrn Ehlers (VBG) und Herrn Stiefel (DSB e.V.) danken. Die Konzipierung des Versuchsaufbaus und die Durchführung des Projektes wurde von Herrn Dipl.-Ing. A. Holl sowie die Auswertung der Messergebnisse von Herrn Dipl.-Chem. H. John ausgeführt.

## Literatur

- [ 1 ] S. Wilker, L. Stottmeister, W. Müller, G. König „Untersuchung unverbrannter Pulverreste aus Raumschießanlagen" BICT-Bericht, Nr. 110/14724/94
- [2] S. Wilker, L. Stottmeister, A. Gupta, U. Sirringhaus, H.-H. Ehlers „Analyse unverbrannter TLPR" ICT-Jahrestagung 25, 37-1 bis 37-17 (1994)
- [3] W. Müller, G. König „Rasterelektronenmikroskopische Charakterisierung von Pulverresten aus Raumschießanlagen" BICT-Bericht, Nr. 400/14532/95
- [4] S. Wilker, L. Stottmeister „Bewertung von Pulversmog aus der Raumschießanlage der Bereitschaftspolizei Enkenbach- Alsenborn" BICT-Bericht, Nr. 110/14079/94
- [5] S. Wilker, L. Stottmeister „Analyse von Bodenproben aus der Schießanlage und der Kaserne der Wehrtechnischen Dienststelle 52 in Oberjettenberg" BICT-Bericht, Nr. 110/13738/94
- [6] S. Wilker, H.-H. Ehlers „Gefahren in Raumschießanlagen durch unverbrannte Treibladungsreste" Polizei, Verkehr und Technik (1995) S. 173..5
- [7] G. Heeb Ermittlung und Beurteilung von Gefahrstoffen in der Luft in den Raumschießanlagen der Infantrieschule Hammelburg WIWEB-Bericht, Nr. 97/X0034/50111
- [8] G. Holl, G. Heeb „Bewertung der Konzentration von gas- und partikelförmigen Emissionen aus Schusswaffen am Arbeitsplatz nach TRGS 402 und 403 in der Schießanlage der Zentralen Waffenwerkstatt, Bonn" BICT-Bericht, Nr. 003/14244/94
- [9] G. Holl, G. Heeb „Quecksilber-Emissionen aus Anzündhütchen" BICT-Bericht, Nr. 003/12839/93
- [10] G.Holl „Blausäure-Emissionen aus Abbrandschwaden von Treibladungspulvern" BICT-Bericht, Nr. 003/11299/92
- [11] Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 900 Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz Bundesarbeitsblatt 10/1996, Seite 106 mit Änderung und Ergänzung 4/1997, Seite 57, 11/1997, Seite 39
- [ 12] Bestimmung der Bleikonzentration in gedeckten Schießständen Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit - BIA, BIA-Report Nr. 3/81
- [13] G. Holl „Bewertung der Konzentration von gas- und partikelförmigen Emissionen aus Schusswaffen am Arbeitsplatz nach TRGS 402 und 403" BICT-Bericht 003/14244/94