

Thema II

Schießgeräuschemissionen bei offenen Sportschießständen



Dipl.-Ing. ETH Jean Marc Wunderli

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt

Überlandstraße 129, CH-8600 Dübendorf

Telefon: 0041-41/1823-4748

Referat 2

Lösungsmöglichkeiten zur Minimierung von Schießgeräuschemissionen bei offenen Schießständen

Schallschutz bei Schießständen ist auch in der Schweiz seit langem ein brennendes Thema. Technische Lösungen wie sog. Lägerblenden und Schallschutztunnel werden hier zur Minderung der Schießgeräuschemissionen Erfolg angewendet. Auch weitere Maßnahmen wie Rasterdecken sind zu diskutieren.

1. Einleitung

Schallschutz bei Schießständen ist in der Schweiz seit langem ein brennendes Thema. Neben rund 200 Jagdständen und 900 Ständen für 25 bzw. 50 m Schussdistanzen sind es vor allem die über 2000 Schießanlagen für 300-m-Schießen, welche Probleme bereiten. Die große Zahl an 300-m-Anlagen erklärt sich durch die Verpflichtung jeder Gemeinde, ihren wehrpflichtigen Bürgern die Absolvierung jährlicher Bundesübungen zu ermöglichen. Diese 300-m-Stände werden jedoch nicht nur für die obligatorischen Schießen, sondern auch sonst rege genutzt, was sich in der großen Zahl jährlich verschossener Munition von beispielsweise rund 47 Mio. im Jahre 1998 niederschlägt. Geschossen wird dabei ausschließlich mit militärischen Sturmgewehren oder vergleichbaren Waffen, welche durchwegs hohe Pegel, sowohl beim Mündungs- als auch beim Geschosknall verursachen.

Neben den hohen Emissionspegeln sind es auch die oft kleinen Abstände zwischen Quelle und Empfänger, welche die Lärmproblematik verstärken. Die meist dichte Besiedlungsstruktur und im Vergleich zu Deutschland schwächeren Sicherheitsbestimmungen¹ führen dazu, dass sich Wohngebäude oft direkt neben den Schießanlagen befinden.

In Deutschland herrschen Anlagen mit kürzeren Schussdistanzen vor und der Geschosknall stellt aufgrund der Bauweise der Sicherheitsmaßnahmen einerseits und der meist tieferen Geschossgeschwindigkeiten andererseits kaum ein Problem dar. Im Vergleich zur Schweiz ist deshalb das Hauptaugenmerk bei der Bekämpfung des Schießlärms wohl etwas anders gelagert. Unsere Erkenntnisse und Erfahrung mit verschiedenen Lärmbekämpfungsmaßnahmen besitzen in der Regel jedoch Allgemeingültigkeit und sollten weitgehend auf Deutsche Verhältnisse übertragbar sein. In den nachfolgenden Kapiteln werden die verschiedenen anwendbaren Maßnahmen diskutiert, wobei versucht wird, der abweichenden Problemstellung in Deutschland Rechnung zu tragen.

¹ Die innerste Gefahrenzone, in welcher ein absolutes Bauverbot gilt, wird durch einen Winkel von 11.3° zur äußersten Schießbahn definiert. Außerhalb von 21.8° bestehen keinerlei sicherheitstechnische Einschränkungen der Bautätigkeit. Eine durchgehende seitliche Abschirmung der Schießbahn ist nicht vorgeschrieben.

2. Betrieblich-organisatorische Maßnahmen

Neben baulichem Schallschutz kann oft auch durch betriebliche Maßnahmen eine Reduktion des Beurteilungspegels und damit per Definitionen auch der hervorgerufenen Störung erreicht werden. Während in der Schweiz die Benutzungszeiten der Anlage in die Ermittlung des Beurteilungspegels einfließen und damit durch eine Straffung des Schießbetriebes bereits eine Verminderung erreicht werden kann, ist diese Möglichkeit aufgrund der deutschen Reglementierung nicht möglich. Nach VDI-Richtlinie 3745 Blatt 1, kann der Beurteilungspegel für verschiedene Beurteilungszeiten nur über den mittleren Einzelschusspegel und die Zahl der verschossenen Munition beeinflusst werden. Eine Korrektur dieser beiden Größen kommt aber einer Beschneidung des Schießbetriebes gleich, müssen doch im einen Fall lautere Waffen verboten und im anderen die Schusszahlen begrenzt werden.

Deutlich weniger einschränkend und damit auch umsetzbarer ist eine Konzentration des Schießbetriebes auf Werktage zwischen 7 und 19 Uhr. Da Aktivitäten an Wochenenden und in Ruhezeiten gemäß VDI-Richtlinie 3745 Blatt 1 mit einem Zuschlag von 6 Dezibel bestraft werden, kann durch eine Vermeidung hoher Schießaktivitäten in diesen Zeiten bereits ein deutlicher Effekt erreicht werden.

3. Maßnahmen am Schießstand

Maßnahmen am Schützenhaus können bei einer Gesamterneuerung oder einem Neubau desselben relativ einfach und kostengünstig realisiert werden. Etwas schwieriger gestaltet sich dies bei der Sanierung bestehender Schützenhäuser, wo dann entsprechende Kompromisse eingegangen werden müssen.

Grundsätzlich zeigen diese Maßnahmen nur im Bereich hinter der Schützenhauslinie eine Wirkung. Dabei sind aber in jedem Fall Reflexionen des Mündungs- und Geschosknalls in der Umgebung mit zu berücksichtigen.

3.1 Grundriss

Die Grundrissgestaltung kann die Ausbreitung des Mündungsknalls in erheblichem Maß beeinflussen. Es ist insbesondere darauf zu achten, dass Nebenräume (Munitions- und Standblattausgabe, Büros, Schützenstube, etc.) auf der Seite der nächstgelegenen lärmempfindlichen Gebiete angeordnet werden (siehe Abb. 1). Damit kann der Schalldurchgang in diese Richtung wesentlich verbessert werden, ohne dass zusätzliche Kosten entstehen.

Wenn der Eingang direkt in den Schießraum führt, sollte dieser unbedingt als Schleuse ausgebildet werden, damit die direkte Schallausbreitung durch die offene Tür verhindert werden kann (siehe Abb. 2). Eine solche Schleuse soll innen mit absorbierendem Material ausgekleidet sein.



Abb. 1: Grundrissgestaltung

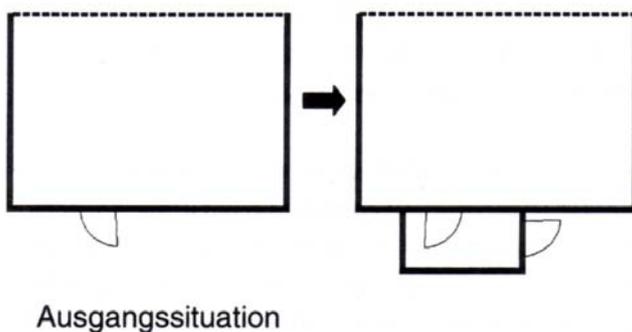


Abb. 2: Eingangsschleuse

Die Wirksamkeit von solchen Maßnahmen lässt sich nur im Einzelfall bestimmen und ist sehr stark vom Ausgangszustand des bestehenden Gebäudes abhängig. Auch die Kosten für die entsprechenden Bauarbeiten lassen sich nur in Bezug auf ein konkretes Projekt voraussagen, zumal Grundrissänderungen meistens nur im Zuge von größeren Sanierungsprojekten vorgenommen werden können.

3.2 Schalldämmung

Als Schalldämmung bezeichnet man die Pegelabnahme des Schalles, welcher durch die Gebäudehülle hindurchtritt. Die Größe, welche zur Beschreibung der Schalldämmeigenschaften eines Gebäudes verwendet wird, ist das bewertete Bauschalldämmmaß R'_{w} . Je größer dieser in Dezibel angegebene Wert ausfällt, umso besser ist die Schalldämmung des Gebäudes. Erfahrungen aus der Schweiz zeigen, dass ab einem bewerteten Bauschalldämmmaß von 35 dB der Schallweg durch das Schützenhaus im Vergleich zum Schallweg um das Gebäude in allen Punkten vernachlässigt werden kann und somit durch eine Optimierung der Gebäudehülle keine weitere Verbesserung mehr zu erreichen ist.

Die Schwachstellen bei der Schalldämmung von Schützenhäusern finden sich meistens an den folgenden Stellen:

- Außentüren, die direkt in den Schießraum führen
- Fenster im Schießraum
- Leichtbaukonstruktionen (einfache Holzwände mit Ritzen)
- Dachkonstruktionen ohne Unterdach und mit schlecht dichtenden Anschlüssen an Wände

Die beste Schalldämmung erreicht man für den Schießraum mit einer massiven Bauhülle (Wände und Decken) möglichst ohne Fenster. Dies ist aber meist nur bei Neubauten möglich; bei Sanierungen können allenfalls schalldämmende Fenster eingebaut oder bestehende Fenster zugemauert werden.

Bei vielen älteren Schützenhäusern, welche in einfacher Holzkonstruktion erstellt und mit Ziegeldächern ohne Unterdach resp. Zwischenboden gedeckt wurden, ist meistens eine ungenügende Schalldämmung vorhanden. Dies wird durch Ritzen und teilweise offene Übergänge beim Dachanschluss verursacht. In diesem Fall kann eine Isolation der Außenwände, verbunden mit einer zweischaligen Konstruktion und das Einbauen eines Unterdaches resp. Zwischenbodens zu einer erheblichen Verbesserung der Schalldämmung führen.

3.3 Schallabsorption

Die Schallabsorption beschreibt die Schallschluckfähigkeit eines Materials oder Bauteils. Bei Schießständen werden schallabsorbierende Materialien vor allem im Schießraum eingesetzt, wodurch eine Senkung des Raumpegels erreicht wird. Die Wirkung nach außen ist im Normalfall, bei genügender Schalldämmung der Gebäudehülle, sehr gering und für den maßgebenden maximalen Einzelschusspegel kaum von Bedeutung. Hingegen sinkt die Lärmbelastung für die Schützen und weitere sich im Schießraum aufhaltende Personen (dies entbindet jedoch nicht von allfälligen Verpflichtungen zum Tragen von Gehörschutzmitteln).

4. Maßnahmen an Sicherheitsblenden

Sicherheitsblenden stellen einen Reflektor sowohl für den Mündungs- als auch den Geschosknall dar. Die Wirkung dieser Reflexionen vor allem auf Gebiete hinter dem Schützenhaus werden oft vergessen oder unterschätzt. Werden bei der lärmtechnischen Beurteilung einer Anlage entsprechende Einflüsse festgestellt, so können durch folgende Maßnahmen eine Verminderung der Immissionspegel erreicht werden:

- vollflächige, hoch schallabsorbierende Verkleidung der Blenden²
- Verhinderung von Reflexionen durch Schrägstellen der Blenden, meist in Richtung Boden oder Himmel
- Optimierung der Absorption durch zusätzliches Anbringen von Markisen, welche zu Mehrfachreflexionen an der Blende führen

Da die Blenden immer im Freien stehen und vollkommen der Witterung ausgesetzt sind, muss bei der Materialwahl auch diesem Aspekt Rechnung getragen werden.

Eine Prognose für die generelle Wirkung von Maßnahmen an Sicherheitsblenden lässt sich kaum machen. Diese muss im Einzelfall unter Berücksichtigung aller auf einen Beurteilungspunkt einwirkenden Schallimmissionen (Direktschall und Reflexionen) bestimmt werden.

² Schallabsorptionsgrad $a_s > 0.95$ für Frequenzen von 500 bis 2000 Hz.

5. Lägerblenden

Als Lägerblenden werden kurze, unmittelbar ans Schützenhaus anschließende Lärmschutzwände bezeichnet. Diese Blenden werden im Abstand von jeweils zwei Lägern erstellt und schirmen den Mündungsknall gegen die seitliche Ausbreitung ab. Die Blenden müssen einen massiven Kern mit einer genügenden Schalldämmung zur Verhinderung des Schalldurchganges aufweisen und zur Vermeidung von Reflexionen beidseitig mit hochabsorbierenden Verkleidungen versehen sein.

Lägerblenden sind in der Regel 4 m lang und müssen in der Höhe so angepasst werden, dass ein lückenloser Anschluss an die Dachuntersicht gewährleistet ist. Nach unten müssen die Blenden ebenfalls gut abschließen, um den Schalldurchgang oder allfällige Reflexionen am Boden unter den Blenden hindurch zu verhindern. Aus Sicherheitsgründen dürfen für die Tragkonstruktion nur Leichtmetalle, Holz oder ähnliche Materialien verwendet werden (Querschläger und Absplitterungen).



Abb. 3: Schützenhaus mit Lägerblenden, Olten, Kanton Solothurn (CH)

6. Schallschutztunnel

Schallschutztunnel stellen im Prinzip große Schalldämpfer dar, welche jedoch nicht zur Waffe gehören, sondern fest in der Schießanlage eingebaut sind. Sie bestehen aus einem Kanal von ca. zwei Metern Länge. Die äußere Hülle ist aus Aluminium oder hartem Kunststoff hergestellt. Das Innere besteht aus schallabsorbierendem Material, das mit einem Schutzgitter versehen ist. Die Mündung des Gewehrs wird ca. 15 cm in den Tunnel eingeführt. Da der Tunnelquerschnitt verhältnismäßig breit ist, kann der Schütze das Zielgebiet gut einsehen.

Schallschutztunnel bewirken eine starke Minderung des Mündungsknalls. Im Gegensatz zu den Lägerblenden sind sie zusätzlich auch im Gebiet hinter dem Schützenhaus und hinter dem Kugelfang wirksam.

Die Tunnel werden von den Schützen sehr gut akzeptiert. Die Schießgenauigkeit wird nicht beeinträchtigt und die Lichtverhältnisse werden aufgrund der Abschirmung gegen die Sonne sogar verbessert. Normalerweise werden die Tunnel mit einem Transportsystem versehen, welches in Zeiten ohne Schießbetrieb eine geschützte Aufbewahrung ermöglicht.

Schießtunnels werden in der Schweiz bei vielen 300-m-Anlagen primär für Schießen in liegender Position eingebaut. Bei einer Verwendung für stehende oder kniende Schießpositionen und Kurzwaffen muss die Position des Schützen angepasst werden, da aus Sicherheitsgründen die Schießtunnels in Lage und Ausrichtung fixiert bleiben. Als Lösung bietet sich ein System mit einer Vertiefung bei der Schützenposition für stehendes Schießen an, welche durch zwei zusätzliche Abdeckungen für kniende und liegende Stellungen angepasst werden kann.

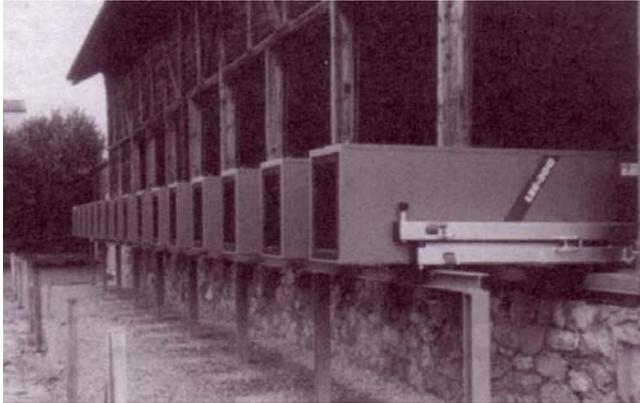


Abb. 4: Schützenhaus mit Schallschutztunnels, Malters, Kanton Luzern (CH)

Vor der Marktzulassung werden Schießtunnels in der Schweiz einer Sicherheitsprüfung unterzogen³. Folgende Sicherheitsauflagen werden dabei kontrolliert:

- Die Beibehaltung guter Sichtverhältnisse muss gewährleistet sein.
- Pulverrückstände im Kanal oder in der Verkleidung dürfen keine Gefahr für die Schützen darstellen.
- Falls bei einem Fehlschuss das Geschoss die Kanalwand durchdringt, darf dadurch die Schussrichtung nicht wesentlich geändert werden.
- Auch dürfen bei einem Fehlschuss keine Segmente vom Geschoss oder vom Wandmaterial zum Schützen zurückgeworfen werden.

³ Schweizerische Fachstelle für Sicherungsfragen (fasif), Prüfstelle für durchschusshemmende Materialien; Gruppe Rüstung, Fachabteilung 26 in Thun

7. Erdwälle und Lärmschutzwände

Erdwälle und Lärmschutzwände sind klassische Maßnahmen in der Lärmbekämpfung. Vor allem Lärmschutzwände lassen sich auf sehr engem Raum realisieren, wirken in der Landschaft jedoch oft fremd. Dagegen fügen sich Erdwälle recht gut in die Umgebung ein, benötigen jedoch etwas mehr Grundfläche, um mit der selben Höhe auch die selbe Hinderniswirkung wie eine Lärmschutzwand zu erreichen. Ein weiterer Vorteil des Erdwalles zeigt sich dort, wo Reflexionen an den Schallschutzmaßnahmen verhindert werden müssen. In diesem Fall sind Lärmschutzwände mit absorbierenden Verkleidungen zu versehen, während bei Wällen keine weiteren Maßnahmen getroffen werden müssen. Oft ist auch eine Kombination eines Walles mit aufgesetzter Wand eine gute Lösung.

Bei der Ausgestaltung von Lärmschutzwänden ist auf eine Oberfläche mit regelmäßigen Strukturen zu verzichten, da die Gefahr von Reflexionen besteht, welche ein störendes Pfeifen aufweisen.

Mit Hindernissen in Form von Wällen/Wänden können einzelne kritische Empfangspunkte sowohl vom Mündungs- als auch vom Geschosknall abgeschirmt werden. Die Hinderniswirkung beginnt im Prinzip dann, wenn die direkte Verbindungslinie zwischen Quelle und Empfänger unterbrochen wird. Ein Hindernis wirkt um so besser, je größer der erzwungene Umweg ist. Generell sind Hindernisse dann am wirksamsten, wenn sie in nächster Nähe zur Quelle oder zum Empfänger liegen.

8. Troglage/Tieferlegung der Schussbahn

Aus akustischer Sicht ist es grundsätzlich von Vorteil, wenn sich die Schießlärmquellen, d.h. Mündung und Geschosbahn, möglichst knapp über Terrain befinden. Einerseits kann dadurch der sogenannte Bodeneffekt ausgenutzt werden, welcher den Schallpegel bei bodennaher Ausbreitung in beträchtlichem Maß reduziert. Andererseits erhöht sich die abschirmende Wirkung der natürlichen und künstlichen Hindernisse in der Ausbreitung.

Es ist deshalb aus Sicht des Lärmschutzes beispielsweise unerwünscht, wenn sich im Erdgeschoss eine leisere Kurzdistanzanlage (25/50 m) und im Obergeschoss eine lautere 300-m-Anlage befindet. Durch Verlagerung des gesamten oder zumindest des lauten Schießbetriebes in das Erdgeschoss kann zumeist eine deutliche Verbesserung der Situation erreicht werden.

Während bei bestehenden Anlagen in diesem Bereich die Möglichkeiten in der Regel begrenzt sind, ist es umso wichtiger diesem Aspekt bei der Planung neuer Anlagen Rechnung zu tragen. Durch ein geschicktes Einpassen einer neuen Anlage in die Landschaft können viele später auftretende Probleme bereits frühzeitig vermieden werden. Als Idealfall erweist sich dabei der Bau einer Schießanlage in Troglage, da einerseits durch die Ränder des Troges eine Hinderniswirkung auftritt und andererseits eine zusätzliche Pegelreduktion durch den Bodeneffekt erzielt wird.

9. Teilüberdachung der Schussbahn

Eine relativ aufwändige Maßnahme stellt die Teilüberdachung der Schussbahnen dar. Durch eine solche Maßnahme wird zum einen der Mündungsknall gedämpft, zum anderen auf einer gewissen Länge der Geschosknall abgeschirmt. Um schädliche resp. Störende Reflexionen zu vermeiden sollte die Überdeckung auf der Innenseite schallabsorbierend ausgekleidet werden.

Je nach Ausgestaltung und Länge der Überdeckung können Lüftungsprobleme auftreten.

10. Rasterdecken

Bei der Rasterdecke handelt es sich praktisch um eine Einhausung der gesamten Geschosbahn. Die Wände werden dabei innen schallabsorbierend verkleidet. Die Decke besteht aus schallabsorbierend verkleideten Würfelrastern ohne Deckel und Boden, welche entweder an einem Raumfachwerk aufgehängt oder auf einer entsprechenden Konstruktion aufgelegt werden. Im Vergleich zur vollständigen Überdachung der Schussbahn bieten Rasterdecken den Vorteil,

dass einerseits kein Kunstlicht verwendet werden muss und andererseits auch auf eine Entlüftungsanlage verzichtet werden kann. Der Bau einer Rasterdecke bewirkt an sämtlichen Punkten um die Schießanlage eine große Pegelreduktion. Der bedeutende Aufwand zur Umsetzung dieser Maßnahme schlägt sich allerdings auch im vergleichsweise hohen Preis nieder.

Bis heute wurde in der Schweiz noch keine Anlage mit einer Rasterdecke ausgestattet. In Deutschland existieren derartige Schießanlagen in verschiedenen Ausführungen.

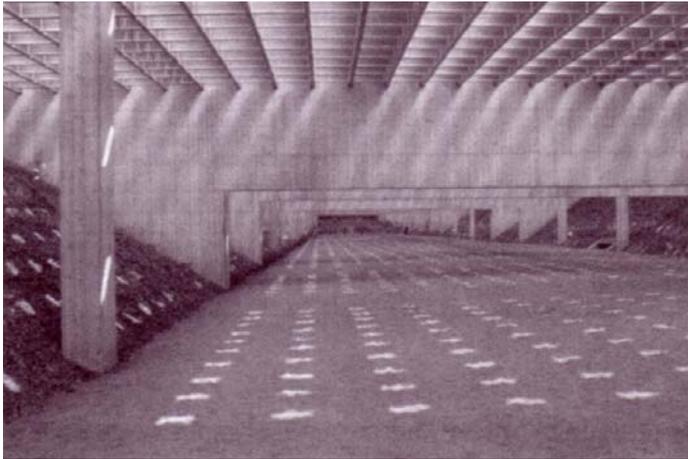


Abb. 5: Rasterdecken über der Schussbahn, Volkach bei Würzburg (D)

11. Zusammenfassung

In der nachfolgenden Tabelle werden die diskutierten Maßnahmen einander gegenübergestellt. Für verschiedene Bereiche um die Schießanlage wird dabei eine Angabe zur erreichbaren Lärmreduktion gemacht. Diese Angabe ist als Potenzial der Maßnahme zur Senkung des Beurteilungspegels zu verstehen und bezeichnet somit tendenziell die obere Grenze der Wirksamkeit. Die effektiv zu erreichende Wirkung ist situationsabhängig und wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst:

- Topographische Situation um die Schießanlage
- Lage und Entfernung der betroffenen Empfangspunkte
- Vorhandensein von Reflexionen, beispielsweise an Waldrändern
- Baulicher Zustand des Schützenhauses
- Bereits vorhandene lärmreduzierende Maßnahmen, wie abschirmende Sicherheitsbauten

Die Erfahrungen in Bezug auf die Kosten der verschiedenen Maßnahmen stammen aus der Schweiz und sind wohl kaum direkt auf deutsche Verhältnisse übertragbar. Es wurde deshalb in der nachfolgenden Tabelle auch auf konkrete Angaben verzichtet. Der Bereich möglicher Investitionen beläuft sich in der Schweiz für Maßnahmen mit tiefen Kosten auf unter 5000 SFr. Pro Scheibe, für Maßnahmen mit hohen Kosten auf über 10.000 SFr. Sehr teure Maßnahmen, wie beispielsweise Rasterdecken können auf einen Scheibenpreis von deutlich über 50000 SFr. zu stehen kommen.

Massnahmen	Wirkung	Ort ⁴	Kosten
Betrieblich-organisatorisch	2 – 4 dB(A)	Überall	tief
Am Schiessstand	4 – 8 dB(A) 0 – 1 dB(A)	Hinter Schützenhaus In anderen Punkten	tief – mittel
An Sicherheitsblenden	0 – 8 dB(A)	Hinter Schützenhaus	tief
Lägerblenden	2 – 7 dB(A) 10 – 15 dB(A)	Hinter Schützenhaus Seitlich Schützenhaus	tief
Schallschutztunnel ⁵	10 – 20 dB(A) 15 – 20 dB(A) 0 – 4 dB(A) 0 – 10 dB(A)	Hinter Schützenhaus Seitlich Schützenhaus Im Geschossknall-Bereich Hinter Ziel	tief – mittel
Erdwälle / Lärmschutzwände	5 – 15 dB(A)	Seitlich der Geschossbahn	mittel - hoch
Troglage / Tieferlegung	3 – 10 dB(A)	Überall	
Teilüberdachung	10 – 15 dB(A) 10 – 20 dB(A)	Hinter Schützenhaus Seitlich der Geschossbahn	hoch - sehr hoch
Rasterdecken	8 – 10 dB(A) 10 – 20 dB(A)	Hinter Schützenhaus In anderen Punkten	sehr hoch

Verschiedene obiger Maßnahmen können - und sollen auch - miteinander kombiniert werden. Dabei ist allerdings Vorsicht bei der Prognose der Schallpegelverminderung geboten, da die akustische Wirkung der kombinierten Maßnahmen nicht einfach addiert werden kann. Insbesondere sind auch die Reflexionen der Umgebung in die Beurteilung mit einzubeziehen, da diese bei Abschirmung des Direktschalls schnell entscheidende Beiträge zur Gesamtlärmbelastung leisten können. Eine Hilfe bei der Planung von Schallschutzmaßnahmen stellen auf Schießlärm spezialisierte akustische Berechnungsprogramme dar, welche wie das in der Schweiz gebräuchliche SL-2000 auch die Wirkung verschiedener Maßnahmen abschätzen lassen.

Welche Vorgehensweise in einer konkreten Situation am erfolgversprechendsten ist, muss von Fall zu Fall beurteilt werden und hängt von vielen Faktoren, nicht zuletzt von der zu erreichenden Pegelreduktion und den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln ab.

⁴ Orte wo keine Wirkung erwartet werden kann, werden nicht erwähnt

⁵ Die Wirkung fällt leicht unterschiedlich aus für verschiedene Waffen- und Munitionstypen. Die obigen Angaben gelten für das aktuelle schweizerische Sturmgewehr Stgw90 (Kaliber 5.6mm, v₀ = 905 m/s)

12. Literatur

- [1] VDI-Richtlinie 3745 Blatt 1, Beurteilung von Schiessgeräuschmissionen; Mai 1993.
[2] VDI-Richtlinie 2058 Blatt 1, Beurteilung von Arbeitslärm in der Nachbarschaft; September 1985.
[3] E. Buchta; Erfolgreiche Lärminderungsmaßnahmen an Schiessstandblenden; Tagungsband der Jahresversammlung der Deutschen akustischen Gesellschaft 1998 (DAGA '98), Seite 198 ff.
[4] M. Ringger, R. Hofmann; Beugung von Waffenknallen an periodisch strukturierten Wänden; Tagungsband der Jahresversammlung der Deutschen akustischen Gesellschaft 1989 (DAGA '89), Seite 691 ff.
[5] E. Buchta, K.-W. Hirsch; Optimierung der Schallminderung von Rasterdecken an Schiessständen; Tagungsband der Jahresversammlung der Deutschen akustischen Gesellschaft 1998 (DAGA '98), Seite 525 ff.

- [6] A. Rosenheck, J.M. Wunderli; Modernes Berechnungsverfahren für Schiesslärm am Beispiel des Sturmgewehrs und Maßnahmen zur Minderung des Schießlärms; VDI Berichte 1386,1998, Seite 133 ff.
- [7] EMPA Dübendorf, Abteilung Akustik/Lärmbekämpfung; Akustische Maßnahmen bei Schützenhäusern; Broschüre, 1987.
- [8] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL); Schiesslärm-Modell SL-90, Erweiterung; Broschüre, 1996.
- [9] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL); PC-Programm SL-2000, Version 1.0, Anleitung; Broschüre, 1997.