

# Akustische Aspekte bei der Errichtung und Ertüchtigungen von Schießanlagen der Bundeswehr

Frank Hammelmann<sup>1</sup>, Christian Kleinhenrich<sup>1</sup>, Karl-Wilhelm Hirsch<sup>1</sup>, Guido Schäfer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Cervus Consult GmbH, consult@cervus.de*

<sup>2</sup>*Bundesministerium der Verteidigung, IUD I 5*

## Einleitung

Schießanlagen (Standortschießanlagen, Hallenschießanlagen) sind ein unabdingbarer Teil der Ausbildungsanlagen, auf denen die Bundeswehr ihre Streitkräfte in der Handhabung und den Gebrauch von Handfeuerwaffen ausbildet und auf Einsätze vorbereitet. Bei der Errichtung bzw. der baulichen Anpassung dieser Anlagen an neue Ausbildungs- und Übungsszenarien steht die Deckung des militärischen Bedarfs naturgemäß an erster Stelle. Die Auslegung erfolgt dann hinsichtlich der inneren und äußeren Schießsicherheit. Die Anlage muss durch bauliche Maßnahmen gewährleisten, dass das Schießen auf den Anlagen für das Personal sicher und eine Gefährdung der Nachbarschaft ausgeschlossen ist. In der Fortschreibung der baufachlichen Richtlinien der Bundeswehr, nach der die Anlagen gebaut werden, spielt nun auch zunehmend die Akustik eine Rolle mit zwei unterschiedlichen, aber gleichrangigen Zielen. Die Anlagen sollen so errichtet werden, dass (1) die Geräuschbelastung des Gehörs des Personals und dass (2) die Lärmbelastung in der Nachbarschaft so gering wie möglich ist. Die Anlagen sollen bereits in der Planungsphase diese beiden Aspekte berücksichtigen. Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass die Anlagen wirtschaftlich, sicher und umweltverträglich sind.

## Sachstand

Die Bundeswehr orientierte sich bis zuletzt bei der Errichtung von Raumschießanlagen (RSA) an der zivilen Schießstandrichtlinie [1]. Innerhalb dieser sind folgende Vorgaben bezüglich der akustischen Sicherheit (Gehörbelastung) einer RSA vermerkt:

- Die Nachhallzeit T60 soll weniger als 0,5 s zwischen 125 Hz und 4 kHz betragen
- Der mittlere Schallabsorptionsgrad soll  $\alpha_S > 0,5$  nicht unterschreiten

Erfüllt also eine Anlage diese Richtwerte, sind offensichtlich keinerlei Einschränkungen im Schießbetrieb vorgesehen. In letzter Konsequenz bedeutet dies, dass laut [1] in einer RSA mit ausreichend kurzer Nachhallzeit ebenso viele Schüsse abgegeben werden können wie auf einem offenen Schießstand, ohne dass sich daraus eine höhere Gehörbelastung für das anwesende Personal ergibt. Es kann gezeigt werden, dass sich die Gehörgefährdung in Räumen mit zunehmendem Volumen bei gleichbleibender Oberflächenbeschaffenheit verringert. Ein großer Raum ist also weniger problema-

tisch für die Gehörbelastung beim Schießen als ein kleiner. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Gefährdung des menschlichen Gehörs nicht allein durch den Direktanschall einer Impulsquelle bestimmt ist, sondern ebenso von nachfolgenden Pulsen abhängt [2]. Werden diese durch Reflexionen hervorgerufen, verringert sich die Gefährdung, wenn die nachfolgenden Impulse mit möglichst geringer Amplitude auftreten. Dies ist in großen Räumen wahrscheinlicher als in kleinen.

## Zur Aussagekraft der Nachhallzeit

Im Folgenden werden die Nachhallzeiten zweier unterschiedlich großer Räume mit ansonsten gleichen Oberflächenbeschaffenheiten verglichen. Für die Berechnung nach der Eyringschen Formel wurden für alle Oberflächen ein Absorptionsgrad  $\alpha_S = 0,5$ , eine relative Luftfeuchtigkeit von 50 %, eine Raumtemperatur von 20 °C und die Frequenz 1 kHz angenommen. Das Ergebnis ist in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1:** Nachhallzeiten zweier Räume

Raum	Länge	Breite	Höhe	Nachhallzeit
R1	100 m	50 m	10 m	<b>1,08 s</b>
R2	10 m	5 m	3 m	<b>0,30 s</b>

Wie deutlich zu erkennen ist, erfüllt der große Raum die zivile Schießstandrichtlinie nicht, während der kleine Raum den Anforderungen mehr als genügt. Handelte es sich um zwei Schießräume, wäre der große Raum nach [1] nicht nutzbar.

## Bedarf

Anhand des einfachen Rechenbeispiels des vorangegangenen Abschnitts konnte gezeigt werden, dass die Nachhallzeit keine geeignete Größe zur Beurteilung der Gehörgefährdung aufgrund baulicher Gegebenheiten beim Schießen ist. Des Weiteren muss an dieser Stelle ergänzt werden, dass die energetische Betrachtung der akustischen Vorgänge in einem Schießraum oder auf einer Standortschießanlage nicht hinreichend ist, die Belastung des Gehörs sachgerecht zu bestimmen.

Schüsse sind stark transiente Signale, die unter diskreten, sich stets reproduzierenden Einfallswinkeln auf Absorber treffen. Dies führt dazu, dass für Schießlärm die Betrachtung einer Oberfläche im Diffusfeld nicht sachgerecht ist. Demnach sind Absorptionsgradmessungen in Hallräumen gerade ungeeignet, um das Verhalten eines Absorbers ge-

genüber diesem Impulsärm adäquat zu beschreiben.

Es bedarf also Verfahren, die Rückschlüsse auf den Schalldruckzeitverlauf am Ohr des Personals beim Schießen zulassen. Nur auf diesem Wege können zeit- und sachgemäße Prognosen hinsichtlich der erhöhten Gehörbelastung durch bauliche Gegebenheiten in Schießräumen oder auf offenen Schießständen hergestellt werden.

## BFR-Erweiterung Anwendung Baulicher Lärmschutz

Im Jahr 2022 steht die Erweiterung „Anwendung Baulicher Lärmschutz für Schießanlagen der Bundeswehr“ der Baufachlichen Richtlinie (BFR) der Bundeswehr zur Verfügung. Aktuell ist diese in die Bereiche *Akustische Sicherheit* und *Immissionsschutz* unterteilt. Im weiteren Verlauf dieses Beitrags soll erstgenannter dargestellt werden.

### Akustische Sicherheit

Das BFR-Kapitel *Akustische Sicherheit* beschreibt das Vorgehen, um eine Schießanlage<sup>1</sup> hinsichtlich ihrer zusätzlichen Gehörbelastung aufgrund der baulichen Gegebenheiten gegenüber einer Referenz-Anlage zu klassifizieren. Ausschlaggebend dabei ist, dass für offene Anlagen mit nur sehr geringer Anzahl reflektierender Oberflächen Gehörbelastungsdaten für verschiedenste Waffen-, Munitions- und Gehörschutzkombinationen vorliegen (Referenz-Anlage). Diese Daten können allerdings nicht direkt auf Raumschießanlagen oder offene Anlagen mit erhöhtem Absicherungsgrad übertragen werden. Es bedarf eines Faktors zur Umrechnung.

### Qualitätszahl $Q_S$

Die sogenannte Qualitätszahl  $Q_S$  stellt den eingangs geforderten Faktor zur Berechnung unbedenklicher Schusszahlen in einer Anlage mit erhöhtem Reflexionsaufkommen dar. Sie gibt an, um wie viel Prozent die maximale Schusszahl gesteigert werden kann oder vermindert werden muss, um die gleiche Gehörbelastung wie auf einem Referenzschießstand zu gewährleisten:

$$Q_S = \frac{N_S}{N_A} \quad (1)$$

Darin bezeichnet  $N_A$  die maximale Schusszahl auf einem Referenzschießstand und  $N_S$  die auf dem zu untersuchenden Schießstand an einer maßgeblichen Schützenposition ermittelte maximale Schusszahl. Als Referenzschießstand dient ein offener Schießstand mit Seitenwällen. Die Qualitätszahl kann sowohl durch Prognose als auch durch Messung bestimmt werden. Die dafür notwendigen Schusszahlen  $N_S$  und  $N_A$  werden aus prognostizierten oder gemessenen Schalldruckzeitverläufen mit Hilfe des AHAH-Modells errechnet [3].

### Belastungsklassen

Die Qualitätszahl  $Q_S$  wird entsprechend Tabelle 2 klassiert. Der Tabelle kann für jede Belastungsklasse A bis

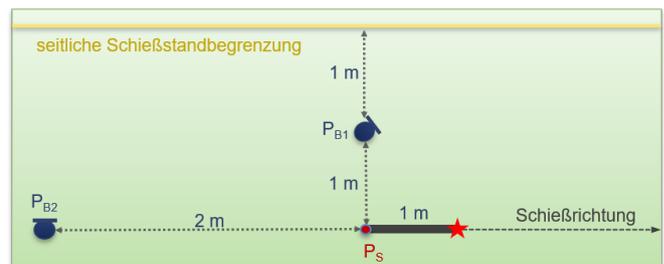
F die relative Schusszahl gegenüber der Referenzanlage entnommen werden.

**Tabelle 2:** Einteilung der Belastungsklassen

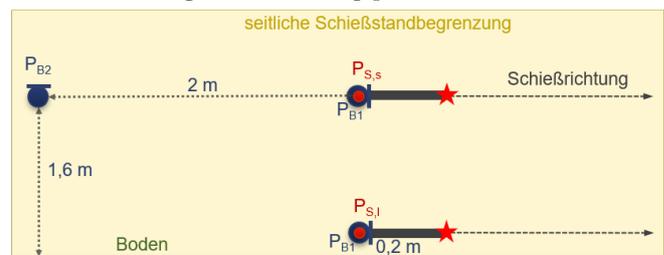
Klasse	Qualitätszahl	Schusszahlen relativ zur Referenzsituation
A	$0,9 \leq Q_S$	90 %
B	$0,7 \leq Q_S < 0,9$	70 %
C	$0,5 \leq Q_S < 0,7$	50 %
D	$0,3 \leq Q_S < 0,5$	30 %
E	$0,1 \leq Q_S < 0,3$	10 %
F	$0 \leq Q_S < 0,1$	0 %

### Ermittlung der Qualitätszahl

Maßgeblich zur Beurteilung der akustischen Sicherheit einer Anlage ist die Gehörbelastung des ausbildenden Personals. Entsprechend den Abbildungen 1 und 2 werden die Schalldruckzeitverläufe an den Beurteilungspositionen  $P_{B1}$  und  $P_{B2}$  mit den angezeigten Abständen zur Mündungsposition ermittelt. Letztere wird mit einem Meter Abstand zur Schützenposition  $P_S$  in Schießrichtung angenommen.



**Abbildung 1:** Beurteilungspositionen Draufsicht



**Abbildung 2:** Beurteilungspositionen Seitenansicht

Es werden die Anschlagsarten stehend in 1,6 m Höhe und liegend in 0,2 m Höhe betrachtet.

### Bestimmung durch Messung - Maßgebliche Schützenpositionen

$P_S$  wird sukzessive an die maßgeblichen Schützenpositionen entsprechend Abbildung 3 (rote Punkte) innerhalb der zu untersuchenden Anlage verschoben und anschließend die Schalldruckzeitverläufe an den Beurteilungspositionen ermittelt. In begründeten Fällen können - zum Beispiel unter Ausnutzung von Symmetrien - Schützenpositionen zusammengefasst werden.

<sup>1</sup>Dies gilt für Schießstände wie auch Schießräume

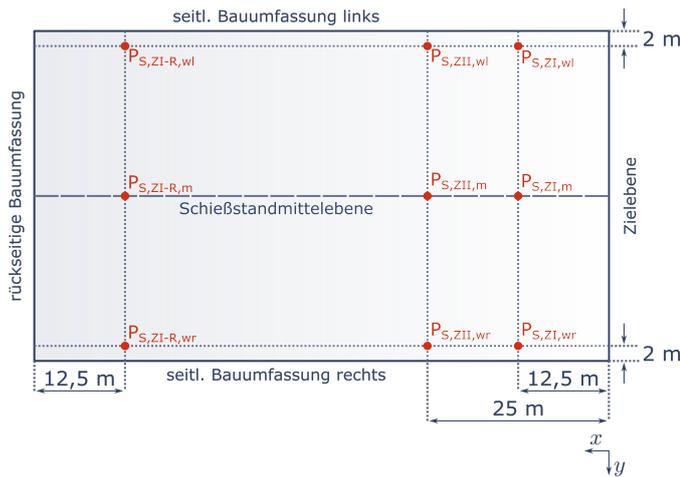


Abbildung 3: Maßgebliche Schützenpositionen

### Bestimmung durch Prognose - Personalbelastungskarte

Für eine computergestützte Prognose der Qualitätszahl wird die Ermittlung einer sogenannten Personalbelastungskarte (PBK) empfohlen. Anhand dieser können kritische und unkritische Bereiche innerhalb einer Anlage identifiziert werden, wodurch differenzierte Bewertungen und Empfehlungen für den späteren Betrieb möglich sind. Die PBK ist eine Rasterkarte mit einer Rasterweite von ein mal ein Meter, wie sie beispielsweise in Abbildung 6 dargestellt ist. Für jede Rasterzelle ist der repräsentative Wert der Qualitätszahl anzugeben. Da es in der Regel nicht ausreicht, den Wert der Qualitätszahl im Mittelpunkt der Zelle zu bestimmen, ist eine Abtastung der Qualitätszahl innerhalb der Zelle erforderlich. Dazu werden die Schützenposition  $P_S$  und die zugehörigen Beurteilungspositionen  $P_{B1}$  und  $P_{B2}$  auf einem fein aufgelösten Sub-Raster innerhalb eines CAD-Modells der Anlage verschoben und für jede Position eine gesonderte Schallfeldsimulation durchgeführt. Aus den so ermittelten Qualitätszahlen ist der geringste Wert als repräsentativ für die gesamte Zelle anzugeben.

### Reflexionseigenschaften

Wie eingangs bereits dargestellt wurde, ist die sachgerechte Betrachtung der Reflexionen innerhalb einer Anlage als essentielle Voraussetzung des gesamten hier vorgestellten Verfahrens anzusehen. Da Absorptionsgradmessungen aus Hallräumen unzureichende Kennzahlen für Oberflächenmaterialien liefern, sofern diese zur Verminderung von Schießlärm eingesetzt werden sollen, wurde eine genormte Methode ausgewählt, die den speziellen Anforderungen gerecht wird. Zur Anwendung kommt die aus dem Straßenbau bekannte DIN EN 1793-5:2018-12 [4]. Dabei konnten zusätzliche, zweckgerichtete Vereinfachungen festgelegt werden, die geringere Prüfkörpergrößen zulassen. Darüber hinaus sind Nahfeld-Holografie-Verfahren zugelassen [5]. Dennoch gilt der Grundsatz, dass Messungen nach DIN EN 1793-5 maßgeblich sind, sofern beide Verfahren verwendet wurden.

### Reflexionsklassen

Nach Feststellung der winkel- und frequenzabhängigen Reflexionseigenschaften, werden die Systeme den sogenannten Reflexionsklassen entsprechend Abbildung 4 zugeordnet. Die dort dargestellte Reflexionszahl entspricht dem Betrag des gemessenen Reflexionsfaktors. Für jede Terz zwischen 500 Hz und 4 kHz ist die Unterschreitung der in Abbildung 4 horizontal eingetragenen Kurven gefordert um einer Reflexionsklasse zu genügen. Um beispielsweise die Reflexionsklasse RK6 zu erfüllen, müsste ein Wandsystem im Frequenzbereich 1 kHz bis 4 kHz mindestens die Reflexionszahl 0,5 vorweisen. Unterhalb von 1 kHz sinken die Anforderungen etwas ab, da dieser Frequenzbereich hinsichtlich der Gehörgefährdung weniger kritisch ist.

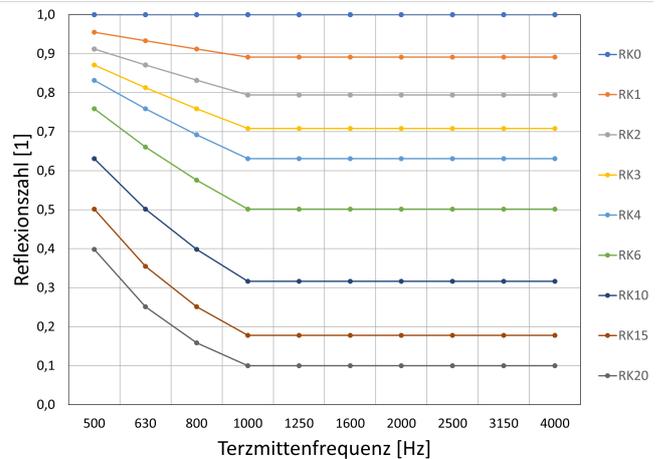


Abbildung 4: Terz-spezifische Reflexionszahlen der Reflexionsklassen

### Bedeutung für die Prognose

Die Verwendung der Reflexionsklassen hat insbesondere innerhalb des Planungsprozesses große Vorteile. Der Betreiber der Anlage stellt bestimmte Anforderungen an die Auslastung, aus denen die geforderten Qualitätszahlen resultieren. Innerhalb der computergestützten Prognoserechnungen wird dann ermittelt, welche Reflexionsklassen die unterschiedlichen Oberflächen einer Schießanlage mindestens besitzen müssen, damit die Anforderungen erfüllt werden. Dabei ist es durchaus üblich, Kombinationen von akustisch sehr wirksamen Systemen mit Reflexionsklassen RK10 oder höher mit akustisch weniger wirksamen zu kombinieren. Zum Zeitpunkt der Ausschreibung können daher konkrete Angaben zur geforderten akustischen Qualität der zu verbauenden Systeme gestellt werden.

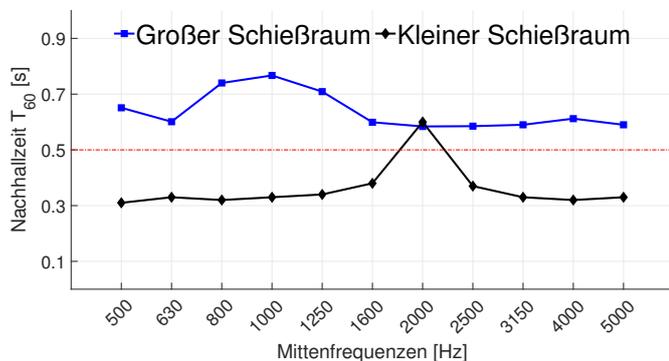
### Anwendungsbeispiel

Anhand eines kurzen Beispiels aus der Praxis soll ein Vergleich der Verfahren *Akustische Sicherheit* und *Zivile Schießstandrichtlinie* gezogen werden. Die Geometrien und Oberflächenbeschaffenheiten von zwei Bestandsanlagen sind in Tabelle 3 und die gemessenen Nachhallzeiten in Abbildung 5 dargestellt.

**Tabelle 3:** Eckdaten der beiden RSAn

	Großer Schießraum	Kleiner Schießraum	RK
Länge	34 m	30 m	-
Breite	12 m	6 m	-
Höhe	3 m	3 m	-
Volumen	1224 m <sup>3</sup>	540 m <sup>3</sup>	-
Boden	Gummi / Linoleum		RK1
Seitenwände	Blähglasplatte		RK3
Decke			
Rückwand	Lüftungsanlage		RK4
Geschossfang	Staubschutzhvorhang	Lamellen-geschossfang	RK0

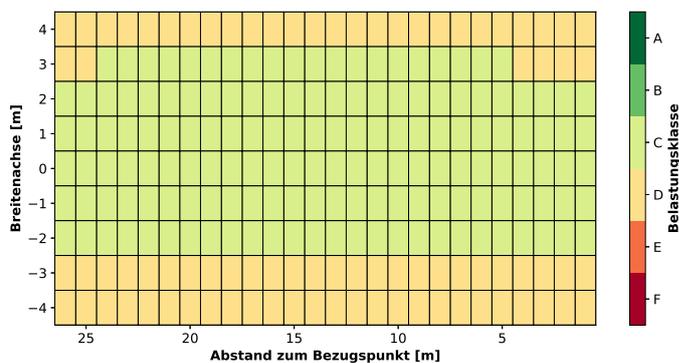
Entsprechend der Vorgaben der zivilen Schießstandrichtlinie, würde der große Raum die Anforderungen aufgrund zu langer Nachhallzeiten nicht erfüllen. Der Schießbetrieb wäre hier in letzter Konsequenz nicht möglich. Der kleine Schießraum erfüllt die geforderten Nachhallzeiten - außer bei 2 kHz - und würde vermutlich als geeignet eingestuft. Hier wären ebenso viele Schüsse wie im Freien möglich. Dieses Resultat erscheint wenig angemessen.



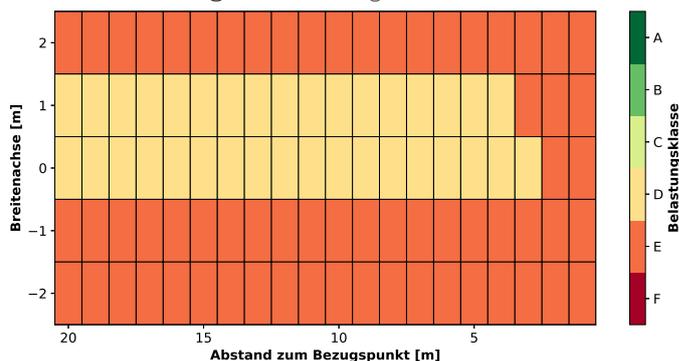
**Abbildung 5:** Gemessene Nachhallzeiten

Auf Grundlage der in Tabelle 3 vermerkten Reflexionsklassen wurden Prognoserechnungen nach dem Verfahren *Akustische Sicherheit* für beide Schießräume erstellt. Als Referenz diente ein offener Schießstand mit Schotterboden. Letzterer erfüllt der Reflexionsklasse RK6. Die daraus resultierenden Personalbelastungskarten sind in den Abbildungen 6 und 7 zu sehen. Es wird deutlich, dass anhand der PBK<sub>n</sub> ortsabhängig differenziert werden kann, wie viele unbedenkliche Schusszahlen in den beiden Hallen im Vergleich zur Referenz möglich sind. Ebenfalls erkennbar ist, dass im größeren Schießraum eine geringere Gehörbelastung als im kleinen vorliegt. Diese Informationen können innerhalb der Belegungsplanung berücksichtigt werden. Dadurch ist in beiden Räumen ein effizienter und sicherer Betrieb möglich.

Die *Akustische Sicherheit* bietet die Grundlage zur sachgerechten Planung, Beurteilung und Optimierung von



**Abbildung 6:** PBK des großen Schießraums



**Abbildung 7:** PBK des kleinen Schießraums

Schießanlagen mit Hinblick auf ihre akustische Unbedenklichkeit. Das Verfahren konnte bereits mehrfach erfolgreich angewendet und messtechnisch validiert werden.

## Literatur

- [1] Sturm, „Bekanntmachung der Richtlinien für die Errichtung, die Abnahme und das Betreiben von Schießständen (Schießstandrichtlinien),“ Bundesministerium des Innern, Bundesanzeiger, Techn. Ber. KM 5 - 681 210/1, 2012.
- [2] K.-W. Hirsch u. a., „Das C-Peak-Kriterium des Arbeitsschutzes im Vergleich zum Gehörgefährdungsindex des AHAH-Modells,“ in *Fortschritte der Akustik*, Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA), Hrsg., Rostock, März 2019, S. 212.
- [3] Army Research Laboratory, *Auditory Hazard Assessment Algorithm for Humans (AHAH)*. Adresse: [www.arl.army.mil/www/default.cfm?page=343](http://www.arl.army.mil/www/default.cfm?page=343).
- [4] Deutsches Institut für Normung, *DIN EN 1793-5:2018-12: Lärmschutzvorrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 5: Produktspezifische Merkmale – In-situ-Werte der Schallreflexion in gerichteten Schallfeldern*, Norm, 2018.
- [5] P. Bechtel u. a., „In-situ-Messverfahren zur Bestimmung des Reflexionsfaktors komplexer Oberflächen,“ in *Fortschritte der Akustik*, Deutsche Gesellschaft für Akustik (DEGA), Hrsg., Hannover, März 2020.