

# Zur Vorausberechnung von Schießgeräuschen mit der Norm DIN ISO 9613

## Eine systematische Methodenkritik

Karl-Wilhelm Hirsch, Willich

**Zusammenfassung** In Genehmigungsverfahren für den Neubau bzw. für wesentliche bauliche Änderungen bei militärischen und zivilen Schießanlagen werden häufig Vorausberechnungen der Zusatzbelastung der geplanten Schießanlage nach Maßgabe der Methoden und Verfahren der DIN ISO 9613 verlangt. Dies wird mit dem Hinweis begründet, Schießgeräusche seien Industriegeräuschen gleichzusetzen und andere spezifische Verfahren nicht Bestandteil der Regelungen der TA Lärm. Damit wird die Aussage im Anwendungsbereich der DIN ISO 9613 ignoriert, die eine Anwendung auf diese Geräuschquellenart grundsätzlich ausschließt. Der Beitrag diskutiert zunächst die Besonderheiten einer Schießanlage und der Schießgeräusche. Danach erfolgt eine systematische Methodenkritik der Verfahren der DIN ISO 9613-2 bei der Anwendung auf Schießgeräusche. Als Ersatz für die Vorausberechnungen mit dieser Norm wird die Anwendung und Anerkennung der Regelungen der Normenreihe DIN EN ISO 17201 vorgeschlagen.

### The application of ISO 9613 to the prediction of shooting noise – a systematic and critical review

**Summary** In Germany, the licensing process for new construction or for substantial structural changes at military and civil shooting ranges requires predictions of the noise load added by the operation of the projected shooting range. The authorities often stipulate that the shooting sound propagation is predicted in accordance with the methods and procedures of ISO 9613. The authorities justify this stipulation by pointing out that shooting noise must be equated to industrial noise because the TA Lärm (Technical Instruction on Noise) does not provide any specific regulation for this kind of noise. Thus, the statement in the scope of ISO 9613 is ignored, which precludes in principle the application of its methods and procedures to impulsive shooting sounds. This paper begins with a discussion on the details of the construction and operation of a shooting range and on the particular features of shooting sounds. This is followed by a systematic review of the methods of the ISO 9613-2 when applied to shooting noise. The paper proposes the application and approval of the regulations of ISO 17201 series as a substitute for the predictions with ISO 9613-2.

**S**chießanlagen für Handfeuerwaffen sind genehmigungsbedürftige Anlagen nach der 4. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (4. BImSchV) [1]. Für die Errichtung solcher Anlagen oder bei wesentlichen baulichen Änderungen an ihnen sind deshalb Vorausberechnungen der zusätzlichen bzw. veränderten Lärmbelastung durch den bestimmungsgemäßen Betrieb der Anlage im Planzustand erforderlich. Im Rahmen von Genehmigungsverfahren ist dabei grundsätzlich den Regelungen der Technischen Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) [2] zu folgen.

Neben den unvermeidbaren allgemeinen Anlagengeräuschen sind es die Schießgeräusche, die die Geräuschsituation maßgeblich prägen. Die Beurteilung von Schießgeräuschen stellt im Regel-

werk der TA Lärm eine Besonderheit dar, weil das dort festgelegte Beurteilungsverfahren für diese Geräuschquellenart grundsätzlich auf Messungen nach der Richtlinie VDI 3745 Blatt 1 [3] beruht – eine stringente, TA-Lärm-konforme Beurteilung also erst nach Errichtung bzw. Durchführung der Baumaßnahmen möglich ist. Bestandteil einer Genehmigung ist deshalb häufig die Auflage, vor Beginn des bestimmungsgemäßen Betriebs durch eine Messung die Anlage nach den einschlägigen Anleitungen der TA Lärm zu beurteilen.

Für die Errichtungsgenehmigung schreibt die Genehmigungsbehörde mangels eingeführter prognostischer Beurteilungsverfahren für Schießgeräusche nach gängiger Praxis vor, die Schießgeräusche den Industriegeräuschen gleichzusetzen und eine Schallausbreitungsrechnung nach der Norm DIN ISO 9613 [4] durchzuführen. Die DIN ISO 9613 stellt ein bewährtes technisches Schallausbreitungsmodell zu Verfügung, das im Rahmen ihres Anwendungsbereichs und den benannten Beschränkungen und Randbedingungen ihrer technischen Verfahren verlässliche Grundlagen für die lärmakustische Beurteilung von Geräuschquellen liefert. Für die Berechnung selbst stehen nach DIN 47687 [5] qualitätsgesicherte Programme zur Verfügung, die das Verfahren richtig umsetzen.

Die Anwendung der DIN ISO 9613 ist alltägliche Praxis: Nach der Analyse des bestimmungsgemäßen Betriebs der Schießanlage, nach der Festlegung der maßgeblichen Emissions-situationen und der maßgeblichen Immissionsorte hat der Gutachter also eine Ausbreitungsrechnung nach dieser Norm durchzuführen und die Ergebnisse der Prognose als fiktive Messergebnisse in eine Beurteilung nach den Vorgaben der VDI 3745 Blatt 1 einzuführen und die Beurteilungspegel zu ermitteln.

Dabei kommt der Gutachter in einen zunächst rein formalen Konflikt: Im Anwendungsbereich der DIN ISO 9613 wird ihre Anwendung auf „*Druckwellen, die durch Sprengungen, militärische oder ähnliche Aktivitäten*“ [Zitat aus [4]] im Wortlaut ohne Begründung ausgeschlossen. In der Regel wird in einer gutachtlichen Stellungnahme wegen der Vorgabe der Genehmigungsbehörde vom Gutachter nicht mehr diskutiert, welche besonderen Interpretationen notwendig sind, um die Verfahren der Norm trotzdem anzuwenden und welche zusätzlichen Unsicherheiten aus der spezifischen Anwendung ihrer Verfahren auf Schießgeräusche erwachsen. Auch auf die Diskussion der unvermeidbaren Extrapolationen des Anwendungsbereichs der Norm – beispielsweise die Prognose von Pegeln jenseits von Abständen von 1 000 m wird weitgehend verzichtet.

Das Genehmigungsverfahren ist insgesamt für alle Seiten unbefriedigend:

- für die betroffene Nachbarschaft einschließlich der politischen Entscheidungsträger, weil sie auf Grundlage einer unsicheren Einschätzung der zu erwartenden Belästigungen reagieren (müssen),
- für den Betreiber, weil er ins Unsichere bauen muss und weitere

Auflagen nach der verbindlichen Nachbarurteilung auf der Grundlage der Messungen nach VDI 3745 Blatt 1 mit erheblichen wirtschaftlichen Einbußen nicht ausschließen kann,

- für die Gutachter, weil sie mit ungeeignetem Werkzeug arbeiten und befürchten müssen, nach der Nachmessung mit abweichenden Ergebnissen diese Abweichungen rechtfertigen müssen,
- für die Genehmigungsbehörde, weil sie nicht sicherstellen kann, dass ihr Genehmigungsbescheid die Rechte des Antragstellers auf Errichtung und Betrieb der Anlage wahr und die Nachbarschaft mit gebotener Vorsorge vor erheblichen Belästigungen schützt.

Ziel dieses Beitrags ist es, die gängige Verfahrenspraxis aus dem Blickwinkel der physikalisch-akustischen Grundlagen zu beleuchten. Schwerpunkt bildet deshalb eine systematische und analytische Methodenkritik der Verfahren der DIN ISO 9613 bei ihrer Anwendung auf Schießgeräusche. Vorangestellt wird eine Diskussion der Besonderheiten von Schießgeräuschen, eine bauliche Beschreibung einer Schießanlage und eine betriebliche Beschreibung der bestimmungsgemäßen Nutzung.

Dabei steht eine militärische Schießanlage im Vordergrund. Zwar stellt eine solche Anlage wegen ihrer baulichen Komplexität und der militärischen Anforderungen einen unter bestimmten rechtlichen und betrieblichen Gesichtspunkten alleinstehenden Anlagentyp dar; die Methodenkritik an sich lässt sich aber ohne Weiteres auf Anlagen für sportliches, jagdliches oder polizeiliches Schießen übertragen.

Die Methodenkritik erfolgt thematisch in Anlehnung an die Gliederung der DIN ISO 9613-2 und wird deshalb nicht unbedingt einer systematischen Diskussion der physikalisch-akustischen Phänomene gerecht. Der Aufsatz schließt mit der Diskussion des Stands der Technik der Vorausberechnung von Schießgeräuschen und mit einigen Empfehlungen.

## Schießanlage – Begriffe und Rahmenbedingungen

### Geräuschquellenart Schießgeräusch – Waffenknalle und Quellmodell

Das Schießgeräusch entsteht u. a. beim Abfeuern einer Handwaffe (hier Rohrwaffen wie Gewehre und Pistolen). Zum Schießgeräusch gehören systematisch der Mündungsknall, der Geschosknall (oder das Fluggeräusch bei unterschalligen Geschossen), der Explosionsknall (bei Wirkladungen) und der Kugelschlag (Auftreffgeräusch im Geschossfang oder Ziel). Der Kugelschlag spielt bei militärischen Anlagen keine Rolle, weil beispielsweise nicht auf Blech-Geschossfänge geschossen wird. Der Explosionsknall stammt von Geschoss-Wirkladungen und kommt auf den hier betrachteten Schießanlagen nicht vor. Fluggeräusche der Geschosse im unterschalligen Bereich sind im Vergleich zum Mündungsknall stets vernachlässigbar. Geschosknalle entstehen entlang der ballistischen Flugbahnen der Geschosse. Ihr Beitrag zur Geräuschbelastung ist einerseits im Regelfall nicht signifikant; andererseits lassen sich Geschosknalle grundsätzlich nicht nach der Norm DIN ISO 9613-2 berechnen, sondern nur nach besonderen Verfahren, die ihre wohlbekannte geometrische Ausbreitungsdämpfung richtig berücksichtigen (vgl. [6]). Geschosknalle werden deshalb hier nicht betrachtet.

Der Mündungsknall entsteht vor der Mündung der Rohrwaffe durch die Druckwelle der entweichenden Treibladungsgase, die auf dem Abbrand der Treibladung im Rohr folgt. Für den Mündungsknall steht das sog. Weber-Modell als akustische Ersatzschallquelle zur Verfügung. Das Weber-Modell wurde zunächst für Knallfunken abgeleitet, kann aber auch Explosionen zuverlässig beschreiben (siehe z. B. [7; 8]). Das Modell gibt das Fourier-Spek-

trum der Knalle in Betrag und Phase in analytischer Form in Abhängigkeit vom sog. Weber-Radius wieder. Dieser Radius hängt bei Explosionen ausschließlich von der umgesetzten Explosivstoffmenge ab. Bei Mündungsknallen von Rohrwaffen ist der Weber-Radius zudem abhängig vom Winkel relativ zur Schießrichtung und folgt dann direkt aus der in die jeweilige Richtung abgestrahlten Schallenergie. Aus dem Fourier-Spektrum lassen sich Terzspektren und Einzahlpegel mit beliebigen Bewertungen ableiten. Für militärische Handwaffen können die winkelabhängigen Weber-Radien als bekannt vorausgesetzt werden<sup>1)</sup>.

Mündungsknalle aus Handfeuerwaffen zeigen eine ausgeprägte Richtcharakteristik. Ihre Exzentrizität (definiert als die Differenz des Richtwirkungsmaßes zwischen den Richtungen „nach vorne“ und „nach hinten“) kann bis zu 15 dB betragen. Die Richtwirkung ist rotationssymmetrisch um die Rohrachse. Für Mündungsknalle lässt sich für die gerichtete Punkt-Ersatzschallquelle durch den Mittelpunkt der Weber-Kugel ein wohldefinierter Quellort angeben. Ein Punkt-zu-Punkt-Ausbreitungsmodell ist unter dem Aspekt der Quellbeschreibung deshalb nahezu näherungsfrei anwendbar.

Mündungsknalle gehören – dies mag durchaus überraschen – zu den am besten bekannten Geräuschquellen; für qualitätsgesicherte Munitionssorten ist die Unsicherheit der Quellbeschreibung vernachlässigbar. Allerdings sind die Lufttemperatur und der Luftdruck zu berücksichtigen, da sie über die Luftkennimpedanz die Ausbildung des Schalldrucks bei gegebener Energie signifikant beeinflussen können (vgl. [9]).

### Betriebsbeschreibung – Anforderungen und Nutzung

Militärische Schießanlagen bzw. die Schießstandtypen werden nach einer verbindlichen baufachlichen Richtlinie (BFR) errichtet, die sämtliche Aufbauten der Anlage und die zu verbauenden Werkstoffe detailliert und umfassend vorgibt. Der entscheidende Aspekt der BFR ist stets die Schießsicherheit. Ein Schießstand vom Typ A ist typisch 250 m lang, in der Sohle 20 m breit, von 3,5 m hohen Wällen seitlich eingefasst. Er weist je nach Absicherungsgrad bis zu acht Höhenblenden und zehn Blenden im 50 m langen Zielraum auf. Lokale Gegebenheiten können Abweichungen von diesen Richtlinien erforderlich machen. **Bild 1** zeigt einen A-Stand, bei dem auf der linken Seite der Wall durch eine entsprechende senkrechte Betonwand ersetzt wurde. Das geometrische Szenario und die Werkstoffe sind für eine Schallausbreitungsrechnung, also im Einzelfall auch in der Planungsphase bekannt.

Auf dem abgebildeten Stand können fünf Schützen gleichzeitig ausgebildet werden. Das Schießausbildungskonzept der Bundeswehr gibt über verbindliche Vorschriften einen Katalog von Schießübungen vor, die während der Ausbildung und zum Erhalt der Fertigkeit von den Soldaten durchzuführen sind. Die Schießübungen sind in der Anzahl der Schüsse, der Anschlagsart (liegend, kniend, stehend) und den Zielentfernungen vorgegeben. Auf den Schießständen vom Typ A sind feste Zielentfernungen von 250 bis 50 m mit einem Abstand von jeweils 50 m vorgegeben. Im Zielraum wird statisch auch von der 25-m-Linie geschossen. Aus der Bewegung wird von 70 m bis zum Nahbereich geübt. Eine militärische Schießanlage wird nur nach Maßgabe dieses Katalogs bestimmungsgemäß genutzt.

<sup>1)</sup> Für Sport- und Jagdwaffen lassen die sich die Quelleigenschaften der Mündungsknalle nach DIN EN ISO 17201, Teil 1 [9] messen, nach Teil 2 [6] schätzen oder nach Teil 5 [10] aus einer Klassierung entnehmen.



**Bild 1** Schießstand Typ A aus Sicht des Schützen in Richtung Zielraum von der 250 m Zielentfernung.

Bei der Ermittlung des Betriebszustands, der zu den höchsten Geräuschbelastungen in der Nachbarschaft führt – wenn man so will bei der Ermittlung der maßgeblichen Emissionssituationen und ihren Betriebszahlen –, sind diese Vorgaben zu berücksichtigen. In einer Messvorschrift [8] gibt das Bundesministerium der Verteidigung Empfehlungen, welche Emissionssituationen auf den Anlagen der Bundeswehr im Regelfall maßgeblich sind. Es ist keineswegs davon auszugehen, dass alle Zielentfernungen gleichverteilt genutzt werden, dass die Anschlagart unabhängig von der Zielentfernung ist, dass alle Waffen auf allen Zielentfernungen geschossen werden und dass tags und nachts die gleiche Verteilung vorliegt.

### **Einwirkungsbereich – Szenarien und maßgebliche Immissionsorte**

Eine ausführliche Diskussion des Einwirkungsbereichs von Schießgeräuschen nach Maßgabe der TA Lärm würde hier zu weit führen. Es sei aber festgestellt, dass im Regelfall eine Nachbarschaft von 3 000 m um die Anlage zu betrachten ist. Typischerweise befinden sich in nächster Nachbarschaft bis 1 000 m nur Gebiete mit geringer Lärmempfindlichkeit. Mit dem Abstand nimmt zwar der Pegel ab, Gebietsausweisungen mit höherer Lärmempfindlichkeit nehmen aber zu. Wegen der ausgeprägten Richtcharakteristik der Knalle und der Komplexität der Aufbauten einer Schießanlage ist die empirische Festlegung von „maßgeblichen Immissionsorten“ nur in einfachsten Szenarien möglich; die Erstellung von Schallimmissionsplänen mit großzügiger Abdeckung der Nachbarschaft ist hier der richtige Weg.

Für die folgende Diskussion ist entscheidend, dass die Vorausberechnung von Schießgeräuschen aus Schießanlagen gegebenenfalls eine Vielzahl von Schallwegen berücksichtigen muss, die Quelle als ausgeprägt gerichtete Punktschallquelle betrachtet werden muss, feste Emissionsorte nach Lage und Quellhöhe vorgegeben sind und dass Prognosen in Entfernungen von bis zu 3 000 m benötigt werden.

### **Vorausberechnung mit der DIN ISO 9613 – Methodenkritik**

#### **Anwendungsbereich**

„Nach dem Verfahren wird der äquivalente A-bewertete Dauerschalldruckpegel [...] unter schallausbreitungsgünstigen Witterungsbedingungen vorausberechnet.“ (Zitat aus DIN ISO 9613-2, 1 Anwendungsbereich, Seite 2, Spalte 1, erster Absatz)

Zunächst soll hier die Festlegung der Zielgröße der Vorausberechnungen im Anwendungsbereich der DIN ISO 9613-2 unter-

strichen werden: Es ist nur der A-bewertete Dauerschalldruckpegel, keineswegs die Oktavpegel. Dies ist deshalb wichtig, weil die einzelnen Oktavpegel als Hilfsgrößen häufig mit großen Abweichungen bestimmt werden, während der Dauerschallpegel im Rahmen der Unsicherheit zutrifft. Die dazu gehörende Aussage in Kapitel 9 der Norm – „geschätzte Fehler bei der Berechnung der mittleren Oktav-Schalldruckpegel [...] können geringfügig größer sein als die geschätzten Fehler, die in Tabelle 5 für A-bewertete Breitbandquellen angegeben sind“ [Zitate aus DIN ISO 9613-2] – trifft zumindest für Schießgeräusche empirisch in keinem Abstand verlässlich zu.

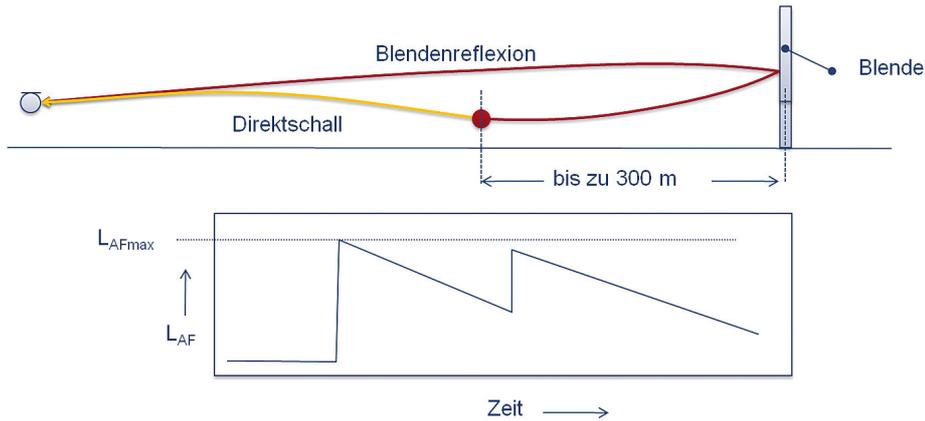
„Dieses Verfahren ist in der Praxis für verschiedenste Schallquellen anwendbar. Es lässt sich direkt oder indirekt auf die meisten Fälle von Straßen- oder Schienenverkehr, industriellen Schallquellen, Bautätigkeiten und vielen anderen bodennahen Schallquellen anwenden. Es ist nicht anwendbar auf Fluglärm oder auf Druckwellen, die durch Sprengungen, militärische oder ähnliche Aktivitäten verursacht werden.“ (Zitat aus DIN ISO 9613-2, 1 Anwendungsbereich, Seite 2, Spalte 1, letzter Absatz)

Es sollte unterstellt werden, dass die Autoren der Norm bewusst und begründet zwei Geräuschquellenarten ausgenommen haben: Fluglärm und Druckwellen von Sprengungen. Bei Druckwellen aus Sprengungen ist der Hinweis auf nichtlineare Schallausbreitung wegen hoher Pegel als Grund für die Ausnahme nicht stichhaltig, weil der Einfluss dieser Effekte im direkten Nachbereich abklingt und überhaupt die geometrische Dämpfung, die Reflexion und die Absorption, auch am Boden, sich auch im Bereich nichtlinearer Akustik mit den Gesetzen der linearen Akustik hinreichend zuverlässig beschreiben lassen. Auch nichtlokale Kopplungen spielen im betrachteten Frequenzbereich der Norm keine Rolle. Es ist eher zu vermuten, dass der zu erwartende große Einwirkungsbereich solcher Geräusche der Grund ist, die Anwendung der Norm für Prognosen in großen Abständen zu verhindern. Nur dann ist auch die Erwähnung von Fluglärm sinnvoll, der auch wenn er „bodennah“ ist, einen größeren Einwirkungsbereich haben kann, als es den Abstandbeschränkungen der Norm entspricht. Nicht bodennaher Fluglärm ist im Satz zuvor sowieso ausgenommen, weil die Norm insgesamt nur für bodennahe Quelle ihre Anwendung reklamiert.

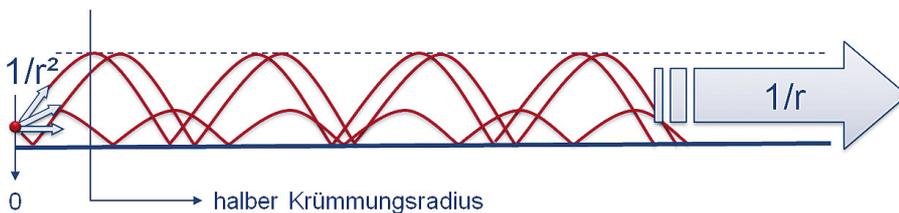
„Für die Anwendung [...] müssen mehrere Parameter bekannt sein [...] und die Quellenstärke als Oktavband-Schalleistungspegel, in den Richtungen, die für die Schallausbreitung von Bedeutung sind.“ (Zitat aus DIN ISO 9613-2, 1 Anwendungsbereich, Seite 2, Spalte 2, erster Absatz)

Ein Schalleistungspegel lässt sich für den Mündungsknall nicht ohne Weiteres angeben. Die Quellstärke des Mündungsknalls liegt als Schallenergiepegel oder Schallenergie vor, die im Bereich von Millisekunden von der Quelle abgestrahlt wird. Bei der Bildung eines äquivalenten Schalleistungspegels kann diese Energie über eine Sekunde „verschmiert“ werden, wenn der Einfluss der Kennimpedanz bei Standardbedingungen in der gegebenen Geländehöhe berücksichtigt wird<sup>2)</sup>.

<sup>2)</sup> Der Einfluss der Geländehöhe und der unterschiedlichen mittleren Temperatur kann bis zu 1 dB betragen.



**Bild 2** Überschätzung des  $L_{AFmax}$  durch Vernachlässigung von Laufzeiten.



**Bild 3** Übergang der geometrischen Dämpfung von  $1/r^2$  auf  $1/r$  bei Mitwindbedingungen bzw. Inversionslagen.

**Grundlegende Gleichungen**

In Gl. (5) der DIN ISO 9613-2 wird die Berechnung des äquivalenten Dauerschallpegels für die schallausbreitungsgünstige Immissionsituation aus den Oktavband-Schalldruckpegeln der Beiträge verschiedener Schallwege festgelegt:

$$L_{AT}(DW) = 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^n \left[ \sum_{j=1}^m 10^{0,1[L_{RT}(ij)+A_r(j)]} \right] \right\} dB$$

(Gl.5) aus DIN ISO 9613-2, 6 Grundlegende Gleichungen. Anstelle von Index m – hier die Anzahl der Oktavbänder steht im Original fälschlicherweise n. Anm. d. Verf.)

In dieser Gleichung werden zunächst die Oktavband-Schalldruckpegel ( $j = 1$  bis  $m$ ) für den Schalllaufweg  $i$  A-bewertet und energetisch summiert. Danach werden die Summenpegel ebenfalls energetisch zum Pegel  $L_{AT}(DW)$  des Gesamtgeräuschs aufsummiert. Der Pegel  $L_{AT}$  ist allerdings nicht der Pegel, der als Ausgangskenngröße für eine Emissionsituation bei der Beurteilung einer Schießanlage nach TA Lärm bzw. VDI 3745 zugrunde gelegt werden kann. Für diesen Zweck wird der mittlere (ebenfalls im Sinne eines mittleren Pegels für schallausbreitungsgünstige Witterungsbedingungen) A- und Fast-bewertete Maximalpegel  $L_{AFmax}$  benötigt. Für einen einzelnen Schalllaufweg ergibt sich – zumindest in näherer Nachbarschaft – eine theoretische Umrechnung durch das Addieren von 9 dB zum  $L_{AT,i}$ , weil die Dauer des Mündungsknalls hinreichend kurz im Vergleich zur Zeitkonstanten von 125 ms der Fast-Bewertung ist. Für die Vorausberechnung des  $L_{AFmax}$  des Gesamtgeräuschs sind aber unverzichtbar die Laufzeitunterschiede zwischen den Beiträgen der einzelnen Schallwege zu berücksichtigen.

**Bild 2** zeigt zur Erläuterung dieses Arguments eine triviale Situation. Unterstellt man einen Abstand des Schützen von der Blende von 200 m und eine Exzentrizität der Richtcharakteristik von 5 dB (Pistole), trifft die Blendenreflexion mehr als 1 s nach dem Direktschall mit annähernd gleichem Pegel in ca. 500 m Abstand hinter

dem Schützen ein. In diesem Fall überschätzt die Prognose nach der Norm DIN ISO 9613-2 wegen der in Gl. (5) vorgegebene Pegeladditionsvorschrift den  $L_{AFmax}$  um nahezu 3 dB.

**Geometrische Ausbreitungsdämpfung**

In Gl. (7) legt die DIN ISO 9613-2 ohne Einschränkung fest, dass die geometrische Dämpfung auf „kugelförmiger Schallausbreitung“ beruht. Gleichzeitig geht sie sehr wohl von gekrümmten Strahlen aus, z. B. wenn sie in Kapitel 7.3.1 bei der Bodenreflexion vom „abwärts gekrümmtem Ausbreitungsweg“ spricht oder im Anhang A (informativ) zumindest für die Dämpfung durch Bewuchs einen Krümmungsradius von 5 000 m in einer Anmerkung vorschlägt und in Bild A.1 den gekrümmten Strahl skizziert.

„Die geometrische Ausbreitung berücksichtigt die kugelförmige Schallausbreitung von einer Punktschallquelle im Freifeld [...].“ (Zitat aus DIN ISO 9613-2, 7.1 Geometrische Ausbreitungsdämpfung, erster

Satz)

Beide Modellansätze (kugelförmige Schallausbreitung und abwärts gekrümmte Kreisstrahlen) widersprechen sich nur dann nicht, wenn man die Gültigkeit der kugelförmigen Ausbreitung auf deutlich unterhalb des halben Krümmungsradius beschränkt.

**Bild 3** skizziert den denknötwendigen Übergang der geometrischen Ausbreitungsdämpfung von  $1/r^2$  auf  $1/r$  für abwärts gekrümmte Strahlen. Dieser Übergang ist nicht nur hier denknötwendig; der Übergang wird auch durch wellentheoretische Modelle und andere Strahlenmodelle bestätigt.

Gleichung 7 ist also eine Näherung für den Nahbereich und der eigentliche Grund, warum die DIN ISO 9613-2 von ihrer Modellbildung her nicht auf größere Entfernungen als ca. 1 000 m anwendbar ist. Es wird in [11] nachgewiesen, dass die Vorausberechnungen der Norm dennoch den Pegel in größeren Entfernungen treffen kann, weil im Mittel die Anzahl der Bodenreflexionen mit der Entfernung zunimmt und faktisch die zunehmende Bodenabsorption, die die DIN ISO 9613-2 ebenfalls nicht berücksichtigt, den Fehler in der geometrischen Dämpfung kompensieren kann. Die Unsicherheit im Zusammenspiel dieser beiden Effekte ist eine der wesentlichen Ursachen für die bekannte, häufig aber nicht begründbare Zunahme der Unsicherheit der Prognosen der DIN ISO 9613-2 mit zunehmender Entfernung. Da bei Schießgeräuschen Vorausberechnungen in Entfernungen von bis zu 3 000 m erforderlich sind, ist die DIN ISO 9613-2 in wichtigen Bereichen der Nachbarschaft von Schießanlagen nicht anwendbar.

**Bodeneffekt**

Die spektrale Berücksichtigung des Bodeneffekts ist zugleich eine große Stärke und eine große Schwäche der DIN ISO 9613-2. Immer dann, wenn die in der Norm unterstellte Ausbreitungssituation zutrifft, liefert sie erfahrungsgemäß zuverlässige Korrekturen; wenn dies nicht so ist, ist dieser Term spektral gesehen äußerst unsicher. Leider ist aus der Norm nicht direkt ersichtlich, welche Ausbreitungssituation bei den empirischen Funktionen nach Bild

2 der Norm tatsächlich angenommen wurde. Allerdings sind nach Bild 1 der Norm die Bodeneigenschaften im Quellbereich, im Mittelbereich und im Empfängerbereich gegebenenfalls unterschiedlich zu berücksichtigen; die Norm stellt für diese Bereiche jeweils unabhängig einstellbare Bodenparameter ( $G_s$ ,  $G_m$  und  $G_r$ ) zur Verfügung. Der Schluss liegt nahe und soll im Folgenden ansatzweise belegt werden, dass bei der Modellbildung für die Berechnung der Bodendämpfung Situationen mit vorzugsweise drei Bodenreflexionen unterstellt wurden.

„Durch einen abwärts gekrümmten Ausbreitungsweg (Mitwind) ist sichergestellt, daß diese Dämpfung [gemeint ist die Bodendämpfung, Anm. d. Verf.] in erster Linie durch die Bodenoberflächen in der Nähe der Quelle und des Empfängers bestimmt wird.“ (Zitat aus DIN ISO 9613-2, 7.3 Bodeneffekt, zweiter Satz)

Allerdings betont die Norm textlich die besondere Bedeutung der Bodenbeschaffenheit der Nahbereiche von Quelle und Empfänger. Dies kommt dann auch bei der Berechnung der Beiträge zur Bodendämpfung in den einzelnen Bereichen ( $A_s$  Quellbereich,  $A_m$  Mittelbereich,  $A_r$  Empfängerbereich) durch das besondere Verfahren zur Bestimmung von  $A_m$  zum Ausdruck: Der Beitrag  $A_m$  wird ausgeschaltet, wenn die Entfernung zwischen Quelle und Empfänger kleiner gleich der Summe der Höhen von Quelle und Empfänger ist, und er ist bis auf die Sonderbehandlung der 63-Hz-Oktave frequenzunabhängig. Die Norm lässt nicht zu, dass man wegen anderer Vorkenntnisse die Dämpfungsterme  $A_s$  oder  $A_r$  weglässt.

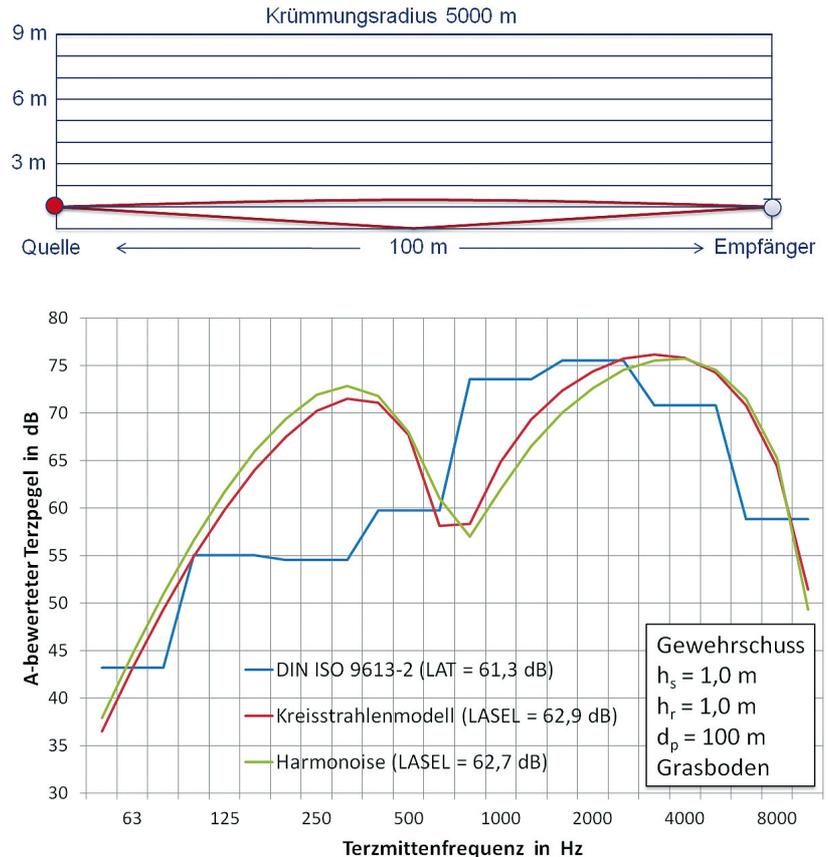
**Bild 4** zeigt exemplarisch die Qualität des spektralen Bodeneffekts im Vergleich zu einem Kreisstrahlenmodell und dem Harmonoise-Modell (P2P Modell [12]). Die Geometrie der Kreisstrahlen wird nach der in [11] gegebenen Bestimmungsgleichung ermittelt<sup>3)</sup>.

Beim Vergleich für eine Schallausbreitungssituation mit einer einzigen mittigen Bodenreflexion ermittelt die DIN ISO 9613-2 offensichtlich im Frequenzbereich 125 bis 400 Hz Bodendämpfungen, die durch die beiden anderen Modelle nicht bestätigt werden. Beide Referenzmodelle zeigen gleichlautend den entscheidenden Bodendip, der auch bei einer Messung zu beobachten ist. Die Norm DIN ISO 9613-2 unterschätzt wegen ihres Bodenmodells die Pegel im angesprochenen Frequenzbereich um mehr als 15 dB (bei 250 Hz). Diese Fehler sind in den Oktaven nicht nur „geringfügig größer“ (vgl. DIN ISO 9613-2, 9 Genauigkeit und Einschränkungen des Verfahrens, Seite 12, zweite Spalte, erster Satz) als die Unsicherheiten nach Tabelle 5 der Norm.

Da der Frequenzbereich von 125 bis 400 Hz gerade für Schießlärm von Gewehren entscheidend ist, liefert die Berechnung der Bodendämpfung selbst in einer Entfernung von 100 m schon spektral erhebliche Unsicherheiten.

Für die typische Anwendung auf Industriequellen o. Ä. ist dies nicht entscheidend. Einerseits sind die realen Quellen deutlich ausgedehnter, was zu weniger ausgeprägten Bodendips führt, andererseits stimmt der äquivalente Dauerschallpegel also die eigentliche Zielgröße der Norm mit den Prognosen der beiden anderen Modelle im Rahmen ihrer Unsicherheiten sehr wohl überein.

Bild 4 zeigt im Vergleich zu **Bild 5** einen Fall mit drei Reflexionen in einem mittleren Abstand. Offensichtlich sind die Unsicher-



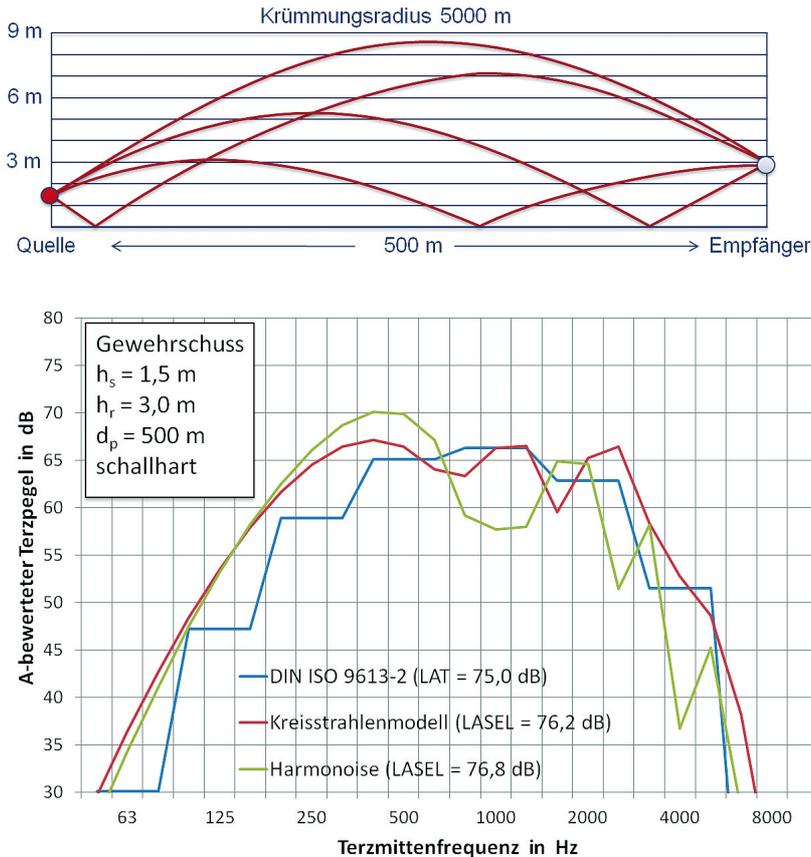
**Bild 4** Vergleich von Prognosen der DIN ISO 9613-2, Kreisstrahlenmodell und Harmonoise die Schallausbreitungssituationen mit einer Bodenreflexion; Krümmungsradius: 5 000 m, Quellsignal: Weber-Spektrum eines typischen Gewehrerschusses. oben: Strahlen des Kreisstrahlmodells, unten: Terzspektren

heiten dann deutlich kleiner, wenn drei Bodenreflexionen vorliegen und zwei davon im Nahbereich von Quelle bzw. Empfänger. Solche Ausbreitungssituationen sind typisch für bodennahe Quellen in einem Abstand bis deutlich unter einem Kilometer. Zu größeren Entfernungen steigt die Anzahl der Strahlen mit vielfachen Bodenreflexionen an. Wenn diese Strahlen pegelbestimmend werden, muss auch wieder eine steigende Unsicherheit angenommen werden. Mit höher liegenden Quellen und Empfängern sinkt die Anzahl der Bodenreflexionen und es gibt trotz größerer Entfernungen auch über einen Kilometer hinaus wieder nur drei Reflexionen. Es ist also nicht trivial, die Unsicherheit der Bodenkorrektur der DIN ISO 9613-2 abzuschätzen.

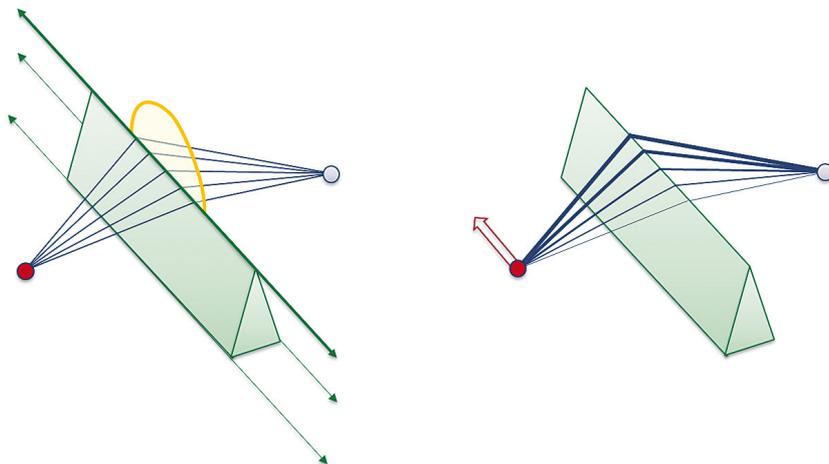
### Abschirmung

Bei Schießlärm aus Schießanlagen spielt die Abschirmung eine besondere Rolle. Schon aus Gründen der Schießsicherheit ist baulich sichergestellt, dass Geschosse auch bei nicht bestimmungsgemäßem Schießen den Stand nicht so verlassen können, dass sie

<sup>3)</sup> Kreisstrahlenmodell und Harmonoise dienen hier als Referenzmodelle. Das Kreisstrahlenmodell bildet die Pegelprognose aus der Überlagerung komplexer Fourier-Spektren jedes einzelnen Strahls in Abhängigkeit von den durch die jeweils anderen Schallausbreitungswege und -laufzeiten und den frequenz- und den einfallswinkelabhängigen Phasenverzögerungen der Bodenreflexionen unterschiedlichen Phasendrehungen. Bei den Modellen wurden die Bodeneigenschaften und die Eigenschaften der Atmosphäre sachgerecht in den jeweiligen Modellparametern umgesetzt.



**Bild 5** Vergleich von Prognosen der DIN ISO 9613-2, Kreisstrahlenmodell und Harmonoise für eine Schallausbreitungssituationen mit drei Bodenreflexionen; Krümmungsradius: 5 000 m, Quellsignal: Weber-Spektrum eines typischen Gewehrshusses. oben: Strahlen des Kreisstrahlmodells, unten: Terzspektren



**Bild 6** Skizze zur Beugung bei einer ungerichteten und einer gerichteten Quelle (Mündungsknall einer Gewehrshusses parallel zum rechten Seitenwall).

ein signifikantes Risiko für die Nachbarschaft darstellen. Grundsätzlich können deshalb nur Geschosse mit einem so großen Erhöhungswinkel den Stand verlassen, dass sie auf den dann erzwungenen weiten ballistischen Bahnen einen Großteil der für die Wirkung notwendigen Geschossenergie verlieren. Die Anzahl, Position und die Höhe der Sicherheitsblenden werden nach dieser Maxime in der BFR vorgegeben. Vernachlässigt man für den Moment das Phänomen Beugung, entspricht diese Maxime im Grundsatz

auch einem lärmarmen Design einer Anlage: Denn Schall, der mit einem größeren Erhöhungswinkel abgestrahlt wird, kommt unter typischen Mitwind- und Inversionsbedingungen kaum in der empfindlichen nahen Nachbarschaft wieder in niedrige Empfängerhöhen.

Der durchaus komplexe Algorithmus in der DIN ISO 9613-2 zur Berücksichtigung der Beugung zeigt, dass dieses Phänomen schon bei einem bis maximal zwei Schirmen zu großem Aufwand führt. Im Folgenden sollen an einfachen Beispielen die Besonderheiten der Beugung bei Schießgeräuschen aufgezeigt werden.

**Bild 6** zeigt links die typische Situation einer „Maekawa-Beugung“, deren Grundgleichung in der DIN ISO 9613-2 benutzt wird. Es wird ein unendlich langer Schirm vorausgesetzt; die Quelle ist ungerichtet, aber kohärent. Zur Beugung trägt nur die erste Fresnel-Zone bei; die Beiträge aus den übrigen Zonen löschen sich aus Symmetriegründen aus<sup>4)</sup>.

Auf Schießständen ist der Wall nicht unendlich lang, sondern durch die Sicherheitsblenden unterteilt. Fallweise umfasst die effektive Länge nur zehn Wellenlängen bei der energetischen Schwerpunktfrequenz; die Schallquelle ist gerichtet, die Wallkante also keineswegs gleichmäßig „beleuchtet“. Zur Beugung trägt nicht nur die erste Fresnel-Zone bei, weil sich die übrigen Zonen nicht mehr auslöchen: Die Symmetrie wird durch die Richtcharakteristik massiv gestört.

Berechnungen nach der Kirchhoffschen Beugungstheorie unter Berücksichtigung der nach dem Weber-Modell wohl definierten Phasen im Signal eines Mündungsknalls zeigen deshalb signifikante Abweichungen in der Größenordnung von Dezibel. Die Berechnung der Beugung nach DIN ISO 9613-2 birgt aus dieser Sicht zumindest zusätzliche Unsicherheiten.

Ein weiterer Aspekt geht ebenfalls auf die Richtcharakteristik zurück. Die Mehrzahl der Schützenstellungen liegt vor oder nach einer Sicherheitsblende. **Bild 7** skizziert eine solche Situation für die Schießrichtung. Gleiches gilt aber auch für eine Blende hinter dem Schützen. Für die folgende Argumentation soll vernachlässigt werden, dass es sich um eine Blende handelt, die unterschossen wird. Es geht nur um das Prinzip. Wegen der starken Richtwirkung des Mündungsknalls ist der die Blendenoberkante beleuchtende Schall in der Größenordnung von vielleicht 3 dB geringer als der Direktschall. Die Anwendung der Norm DIN ISO 9613-2 zwingt zur Interpretation: Ist die Richtung des Direktschalls maßgeblich für die

Ausbreitungsrechnung oder ist es der um 3 dB reduzierte Pegel in der faktische Ausbreitungsrichtung des Schalls? Diese Frage ist natürlich auch für die Spiegelschallquelle zu stellen. Es geht hier

<sup>4)</sup> Es könnte gezeigt werden, dass für diese Fälle auch andere Beugungsansätze, z. B. die so g. Kirchhoffsche Beugung, zu gleichlautenden Ergebnissen führen. Dies soll hier und bei folgenden Hinweisen nicht vertieft, sondern nur ohne Beleg berichtet werden.

nicht um die richtige Antwort auf diese Frage, sondern darum aufzuzeigen, dass dies bei einer Rechnung nach DIN ISO 9613-2 diskutiert werden muss.

Sicher ist aber, dass dieser Aspekt in die Betrachtung der Unsicherheit einfließen muss.

„Die geometrische Ausbreitung berücksichtigt die kugelförmiger Schallausbreitung von einer Punktschallquelle im Freifeld [...]“ (Zitat aus der Norm DIN ISO 9613-2, 7.4 Abschirmung, Geometrische Ausbreitungsdämpfung, erster Satz)

Die Betrachtungen zur Beugung lassen sich auf dem Weg in die tatsächlich viel komplexere Geometrie eines realen Schießstands weiter komplizieren. **Bild 8** zeigt die Verhältnisse an einer Blende, wenn sich der Empfangsort seitlich zum Schützen befindet. Im Messsignal kann man jeden dieser Beiträge identifizieren; sie zu prognostizieren ist zumindest mit der DIN ISO 9613-2 unmöglich. Die Norm kennt keine Schirme, die neben den äußeren Beugungskanten auch innere Kanten aufweisen. Die Analyse der Spiegelschallquellen, ihrer Raumwinkel und ihrer Stärke für eine Beugungsrechnung wird in einem realen Schießstand in der Regel zu einer unlösbaren Aufgabe.

Es ist aber sicher festzustellen, dass die Sicherheitsblenden zu den „hohen Schirmen“ zu zählen sind. Dann gilt die Anmerkung 14 der Norm DIN ISO 9613-2 mit großem Nachdruck „Für große Abstände und hohe Schirme ist das unter Verwendung von Gleichung 12 [ $A_{\text{bar}} = D_z - A_{\text{gr}} > 0$ , Anm. d. Verf.] berechnete Einfügungsdämpfungsmaß nicht ausreichend durch Messungen bestätigt.“ (Zitat aus DIN ISO 9613-2, 7.4 Abschirmung, Seite 8, linke Spalte, Anmerkung 14)

Ein weiteres Zitat mag zusätzlich unterstützen, dass eine Schätzung der Unsicherheit der Beugungsrechnung von der Norm DIN ISO 9613-2 selbst als erheblich unsicher betrachtet wird. „Ein Schallschirm kann weniger wirksam sein als [...] berechnet, und zwar infolge von Reflexionen an anderen schallharte Oberflächen nahe dem Schallausbreitungsweg von der Quelle zum Aufpunkt oder durch Mehrfachreflexionen [...]“ (Zitat aus DIN ISO 9613-2, 7.4 Abschirmung, Seite 10, linke Spalte, Anmerkung 19)

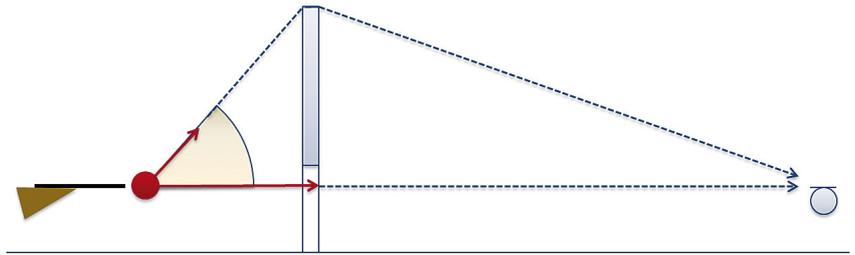
Es muss noch einmal darauf hingewiesen werden, dass der Beugungsschall in vielen Bereichen der Nachbarschaft einer Schießanlage pegelbestimmend ist. Die Unsicherheiten des Beugungsschalls sind entscheidend.

### Reflexionen

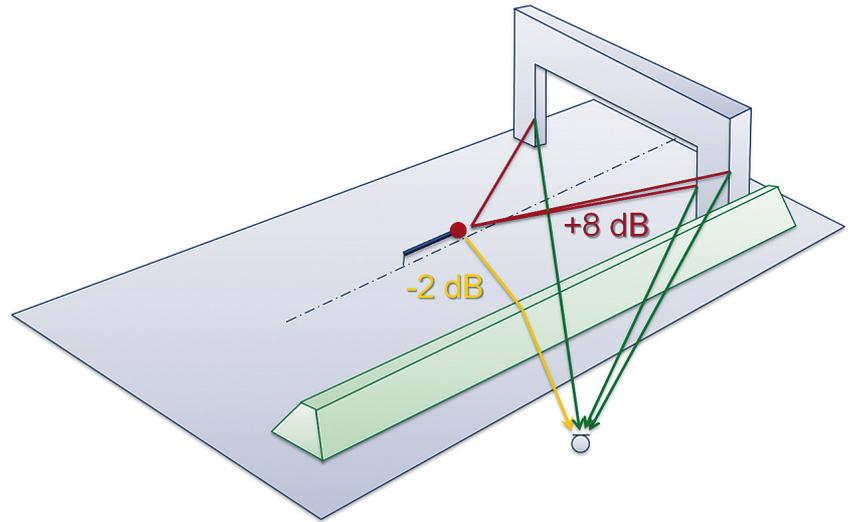
Die Norm DIN ISO 9613-2 schreibt in ihrem Kapitel 7.5 vor, dass Reflexionen über Spiegelschallquellen zu betrachten sind. Sie lässt dem Anwender einen gewissen Spielraum zu entscheiden, welche Oberflächen reflektieren: Die Norm formuliert eine textliche Reflexionsbedingung, die im Sinne der oben angedeuteten Diskussion über Schallstrahlen mit signifikanter Erhöhung mit  $\pm 20^\circ$  zur Senkrechten abgeschätzt werden kann.

„Diese Reflexionen entstehen [...] an mehr oder weniger senkrechten Oberflächen, wie z. B. Gebäudefassaden [...]“ (Zitat aus DIN ISO 9613-2, 7.5 Reflexionen, Seite 10, linke Spalte, zweiter Satz)

Sicher folgt daraus, dass die Reflexion an den Seitenwänden nicht zu berücksichtigen ist, weil ihr Schüttwinkel nicht mehr als senkrecht interpretierbar ist. In Bild 1 ist aber gezeigt, dass Seitenwände



**Bild 7** Skizze zur Beugung bei einer ungerichteten und gerichteten Quellen (Mündungsknall vor einer Höhenblende).



**Bild 8** Skizze zur seitlichen Beugung mit Angabe von relativen Pegeln nach Maßgabe einer typischen Exzentrizität der Richtcharakteristik eines Mündungsknalls.

durch Seitenwände ersetzbar sind. Dann muss man diese Reflexionen berücksichtigen.

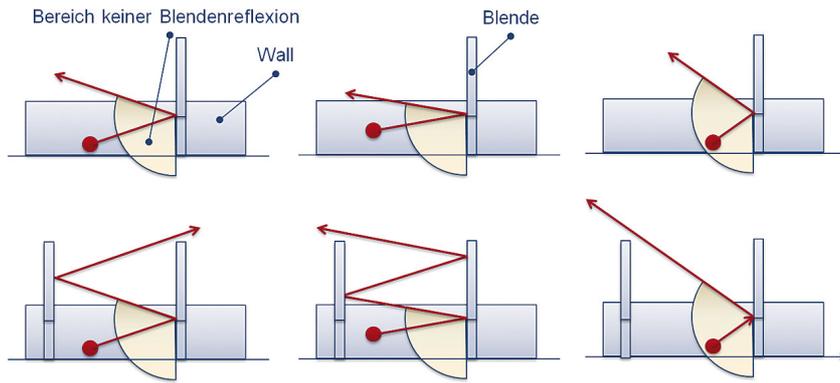
Die nächste Bedingung, die im ersten Spiegelstrich der Reflexionsbedingungen formuliert ist, wird für eine Schießanlage bei der Betrachtung der Sicherheitsblenden kompliziert. Eine Sicherheitsblende ist in der Regel ein massives Betonbauwerk, das zur Vermeidung von Abprallern verbrettert ist. Es reflektiert in diesem Bauzustand sicher so, dass es berücksichtigt werden muss. Auch wenn man die Blende mit einem Absorber belegt, bleibt der Reflexionsgrad größer als 0,2. Nur mit sehr aufwendigen Aufbauten gelingt bei Schießgeräuschen wegen des Impedanzsprungs an der Absorberoberfläche eine stärkere Reflexionsminderung als 5 dB [13].

„– Es kann eine geometrische/spiegelnde Reflexion konstruiert werden [...]“

– Der Betrag des Schallreflexionsgrades für die Oberfläche des Hindernisses ist größer als 0,2.“ (Zitat aus DIN ISO 9613-2, 7.5 Reflexionen, Seite 10, rechte Spalte, zweiter Absatz, erster und zweiter Spiegelstrich)

Die Konstruktion der Spiegelschallflächen und ihre Notwendigkeit sind stark abhängig von der Lage und Höhe des Quellorts (Anschlag liegend, kniend oder stehend) relativ zu den Sicherheitsblenden. Sicherheitsblenden sind keine bis zur Schießstandssole durchgehenden Wände und der Quellort liegt zwangsweise stets im Höhenbereich dieser Öffnung. Im strengen Sinne gibt es deshalb keine Reflexion.

Wenn der Anwender will, kann er aber die Bedingung „mehr oder weniger senkrecht“ einer reflektierenden Oberfläche (s. o.) nutzen, um zu entscheiden, ob im Einzelfall eine Blende reflektiert oder



**Bild 9** Zur Reflexion des Mündungsknall an Höhenblenden.  
 Obere Reihe: Situationen an der Einzelblende  
 Untere Reihe: Schießen zwischen zwei Blenden

nicht. **Bild 9** zeigt einige Fallbeispiele an einer bzw. zwei Blenden für die Blende in Schießrichtung. Alle Reflexionen sollten berücksichtigt werden, die Schallstrahlerhöhungen  $< 20^\circ$  aufweisen. Dann wären beide Bedingungen aufeinander abgestimmt interpretiert. Es darf bezweifelt werden, ob das praktisch ist und ob das jemals so gemacht wurde.

Es muss an dieser Stelle wieder betont werden, dass wegen der starken Richtcharakteristik beispielsweise die Beugung des 5. Falls in Bild 9 im Rückraum des Schützen sicher zu höheren Pegeln führen wird als der ungeschirmte Direktschall. Die Vernachlässigung der Dreifachreflexion führt in diesem Fall zum vollständigen Versagen einer begründeten Vorhersage.

**Genauigkeit und Einschränkungen des Verfahrens**

Für Schießgeräusche ist in Abschnitt 9 zunächst eine Aussage wichtig. Die DIN ISO 9613 spricht bei einem Abstand von 1 000 m von „Obergrenze“ bezüglich ihres Teils 2. Es wurde belegt, dass dies eine wesentliche und grundsätzliche Einschränkung des Verfahrens ist, weil – wie oben gezeigt wurde – einige fundamentalen Näherungen in ihrem Ausbreitungsschema ihre Gültigkeit mit systematischen Auswirkungen verlieren. Diese Obergrenze zu ignorieren, kann deshalb nicht allein die Konsequenz haben, statistische Unsicherheiten zu erhöhen. Es sind systematische Anpassungen erforderlich, um auch in einem technischen Modell grundsätzlich richtig zu bleiben.

„Dieser Teil von ISO 9613 gibt in Tabelle 5 keine geschätzte Genauigkeit für Abstände  $d$  an, die die Obergrenze von 1000 m überschreiten.“ (Zitat DIN ISO 9613-2, 7.5 Reflexionen, Seite 12, rechte Spalte, zweiter Absatz)

Grundlage der Unsicherheitsbetrachtungen sind die geschätzten Genauigkeiten in Tabelle 5 der DIN ISO 9613-2, auf deren Zitat hier verzichtet werden soll. Für die zweifellos bodennahen Schießgeräusche aus einer Schießanlage gilt nach Tabelle 5 die Unsicherheit von  $\pm 3$  dB bis 1 000 m Abstand.

„Diese Schätzungen [die Angaben zur Genauigkeit in Tabelle 5, Anm. d. Verf.] basieren auf Situationen, wo weder Reflexionen noch Abschirmungen auftreten.“ (Zitat aus DIN ISO 9613-2, 7.5 Reflexionen, Seite 12, Anmerkung zu Tabelle 5)

Diese geschätzte Genauigkeit gilt bei freier Schallausbreitung für den mittleren A-bewerteten Dauerschallpegel für schallausbreitungsgünstige Witterungsbedingungen. Jeder Versuch, aus der jahrelangen Erfahrung mit der Vorausberechnung von Schießgeräuschen die hier aufgezeigten unpassenden Modellbildungen der Norm DIN ISO 9613-2 für Schießgeräusche von Schießanlagen

als Unsicherheiten quantitativ zu schätzen, grenzt an Hochmut<sup>5)</sup>. Dennoch ist dies auch im Rahmen dieser Methodenkritik unerlässlich, weil auch eine gutachtliche Stellungnahme ohne eine solche Schätzung abwägungsfehlerhaft ist. Man könnte sogar behaupten, in dieser im Folgenden gewagten Abschätzung liegt die Quintessenz des Aufsatzes.

Die Unsicherheit für unzureichende Abbildung aller wichtigen Reflexionen kann auf  $\pm 5$  dB, die Unsicherheiten bei der Schirmrechnung in einem realen Schießstand günstigstenfalls ebenfalls auf  $\pm 5$  dB und die systematische Unsicherheit bei der Schätzung des  $L_{AFmax}$  aus dem Mittelungspegel auf  $+5$  dB geschätzt werden. Hinzu kommt bei Abständen von mehr als 1 000 m noch eine zusätzliche Unsicherheit von  $\pm 3$  dB. Aus diesen zwar im Einzelfall aber nicht für den Regelfall begründ-

baren Schätzungen folgt eine Unsicherheit der Gesamtprognose von mindestens

$$-7,7 \text{ dB} = \sqrt{5^2 + 5^2 + 3^2} \text{ dB bzw. } +9,2 \text{ dB} = \sqrt{5^2 + 5^2 + 5^2 + 3^2} \text{ dB.}$$

Prognosen im Bereich dieser Unsicherheit unterscheiden sich also nicht signifikant. Auch unabhängig von der Methodenkritik im Einzelnen ist diese Unsicherheit der eigentliche Nachweis der Nichtanwendbarkeit der Methoden der DIN ISO 9613-2 auf Schießgeräusche aus Schießanlagen. Eine Vorausberechnung der Zusatzbelastung mit einer solchen Unsicherheit kann nicht sachgerechte Grundlage der Entscheidungen in Genehmigungsverfahren sein.

**Realer Schießstand – Exemplarische Messung und Diskussion**

Zur Unterstützung der oben in Einzelaspekten begründeten Methodenkritik wird im Folgenden eine Messung diskutiert, die die Herausforderungen bei der Beurteilung einer Schießanlage exemplarisch aufzeigt. **Bild 10** zeigt die Messung des  $L_{Aeq,4ms}$  und des  $L_{AF}$  eines Gewehrshots bei der Zielentfernung 100 m in einem Immissionsort im Rückraum eines A-Stands. Oberhalb der Messergebnisse zeigt eine Skizze die Positionen der Sicherheitsblenden von H1 bis H8 und der Zielraumblende Z maßstabsgerecht auf der Abstandachse. Im Zielraum sind vier weitere Sicherheitsblenden bis zum Geschossfang ganz rechts angeordnet.

Die Signalfolge beginnt links (nach ca. 50 ms) mit dem Beitrag eines Strahls, der in der Skizze oben rot angedeutet ist. Wegen der Höhe des Immissionsorts über der Schießstandsohle, unterstützt durch die Anschauung, dass der Strahl einem nach unten gekrümmten Kreisbogen unter Mitwindbedingungen folgen muss, ist das erste Signal nicht der Direktschall, sondern ein Strahl mit Bodenreflexion. Die klare zeitliche Struktur der Folge der Beiträge im Kurzzeit-LEQ weist darauf hin, dass die Wechselwirkung mit den Blenden die Pegel am Immissionsort prägt. Es kann sich jeweils nur um Beugungsschalle reflektierter Strahlen handeln. Es bleibt dem Leser überlassen, entsprechende Zuordnungen nach eingehender Analyse der Geometrie zu treffen. Dem Verfasser fällt es schwer, im Nachhinein die maßgeblichen Ausbreitungswege zu

<sup>5)</sup> Der Leser möge diese emotionale Wortwahl im Rahmen einer sachlich geprägten Methodenkritik verzeihen. [Anm. d. Verf.]

identifizieren; umso schwerer ist es, dies bei einer Anlage sicher vorauszusehen. Nur wenn die Ausbreitungswege erkannt sind, ist eine Ausbreitungsrechnung durchführbar.

Die dann folgende Aufgabe in einer gutachtlichen Stellungnahme, geeignete bauliche Schallschutzmaßnahmen vorzuschlagen, setzt ebenfalls die Kenntnis der Ausbreitungswege voraus. Es ist aus Bild 10 leicht zu erkennen, dass man mindestens zwei Blenden behandeln muss, um den  $L_{AFmax}$  zu senken.

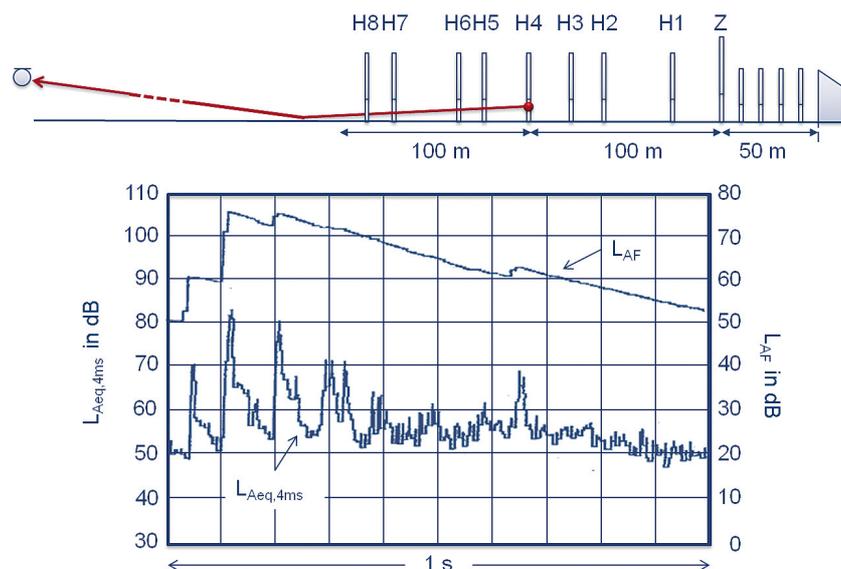
Bild 10 zeigt die Situation bei Mitwind. Bei Gegenwind – dazu liegen keine Messergebnisse vor, weil das Beispiel in Bild 10 aus einer regelkonformen Messserie nach VDI 3745 entnommen wurde – kann man anschaulich nicht ausschließen, dass der Schall in diesem Fall den Immissionsort unter den Blenden hindurch ohne Bodenreflexion direkt erreichen kann. Dann wäre dies möglicherweise die Situation, die zu den höchsten Beurteilungspegeln führt. Dann hätte man sich formal die Behandlung der Blenden „sparen“ können, weil die Situation in Bild 10 gar nicht relevant ist.

Diese hier nur angerissene Diskussion soll lediglich herausstellen, dass eine Berechnung einer Schallimmissionsprognose für Schießanlagen in der Planungsphase deutlich mehr verlangt als eine standardisierte Berechnung nach DIN ISO 9613-2, auch unabhängig von der Betrachtung der Unsicherheiten. Innerhalb der komplexen Geometrie muss der Strahlenverlauf in räumlicher und zeitlicher Struktur bekannt sein und die Beiträge müssen unter Berücksichtigung der Richtcharakteristik gewertet werden können. Dies geht erfahrungsgemäß nur mit einem 3-D-Strahlverfolgungsalgorithmus, der auch die Beugung erfasst.

## Diskussion – Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Es ist offensichtlich, dass die Vorausberechnung von A-bewerteten Dauerschallpegeln nach den Regeln und Verfahren der Norm DIN ISO 9613-2 keine belastbare Grundlage für die Beurteilung der Zusatzbelastung durch Schießgeräusche einer Schießanlage liefert. Die Anwendung der Norm auch auf Schießgeräusche mag formal juristisch ableitbar sein, ist aber in der Sache nicht zielführend – weder für den Betreiber noch für die Nachbarschaft. Die im Anwendungsbereich der DIN ISO 9613-2 festgelegte und durch die vorgestellte Methodenkritik belegte „Nicht-Anwendbarkeit“ auf Schießlärm wiegt schwerer als das scheinbare Erreichen der Gerichtsfestigkeit im Genehmigungsverfahren.

Die Herausforderungen bei der Vorausberechnung von Immissionspegeln für Schießgeräusche sind lange bekannt. Es ist nie dazu gekommen, ein Blatt 2 der VDI 3745 zu erarbeiten, das Methoden der Prognose vorschlagen und festschreiben sollte. Stattdessen wurde diese Aufgabe auf internationale (ISO) und europäische (CEN) Ebene gehoben (vgl. dazu [14]). Dort wurden die Aufgaben nach dem Stand des Wissens gelöst. Der internationale Stand der Technik für die Messung und Prognose von Schießlärm ist heute der aus dem internationalen Normungsvorhaben hervorgegangene Normenreihe DIN EN ISO 17201 zu entnehmen. Dort wird für zivile Schießstände in Teil 3 [15] beispielsweise verlangt, dass vor einer Ausbreitungsrechnung nach DIN ISO 9613-2 eine oder mehrere Ersatzschallquellen mit einem physikalischen Modell („sophisticated model“) zu bestimmen sind. In diesen Ersatzschallquellen des Schießstands, die grundsätzlich oberhalb aller Aufbauten



**Bild 10** Zeitverlauf über eine Sekunde des  $L_{Aeq,4ms}$  und des  $L_{AF}$  des Mündungsknalls eines Gewehrschusses von der 150 m Station auf einem A-Stand, aufgenommen in einem Immissionsort in betroffener Nachbarschaft hinter der Anlage.

des Schießstands anzuordnen sind, wird die Schallausbreitung in der Schießanlage mit Reflexionen, Beugungen und Absorption abgebildet. Für diese Ersatzschallquellen ist dann die DIN ISO 9613 wieder die Methode der Wahl, um die Schallausbreitung dieser Quellen in der gesamten Nachbarschaft zu berechnen. Wegen der hochliegenden Quellen trifft das „Vier-Strahlen-Modell“ der Norm auch für größere Entfernungen wieder zu, eine Schirmrechnung ist nicht mehr erforderlich, mehrere Ausbreitungswege wegen Reflexionen treten nicht mehr – zumindest nicht mehr quellnah – auf.

Es ist offensichtlich, dass die besonderen Herausforderungen der Vorausberechnung von Schießgeräuschen damit in die Entwicklung eines physikalischen Modells für die Schallausbreitung im Schießstand verlagert werden. Hier sind aber erhebliche Erfolge festzustellen. Dreidimensionale Strahlverfolgungsalgorithmen, die auch eine ausgeprägte dreidimensionale Richtcharakteristik berücksichtigen, können solche Ersatzschallquellen liefern [16]. Gleichzeitig sind diese Algorithmen optimal geeignet, die Wirkung von baulichen Schallschutzmaßnahmen aufzuzeigen.

Der Einsatz und die Anerkennung der Verfahren nach der Norm DIN EN ISO 17201 auch in Genehmigungsverfahren sind nach Auffassung des Verfassers überfällig. Ziel des Lärmschutzes insgesamt ist ja nicht etwa ein formal gerichtsfestes Genehmigungsverfahren, sondern der nachhaltige Schutz der Anwohner vor erheblicher Belästigung durch den Betrieb der Anlage bei gleichzeitiger Beachtung des Rechts des Betreibers auf bestimmungsgemäßen und auch wirtschaftlichen Betrieb. Beide Ansprüche gleichwertig und fair auszugleichen, ist das eigentliche Ziel. Mit stumpfen Werkzeugen ist dieses Ziel nicht erreichbar.

## Zusammenfassung

Es wird Schritt für Schritt aufgezeigt, warum eine Ausbreitungsrechnung nach DIN ISO 9613-2 für Schießgeräusche aus Schießanlagen zu keinen sachgerechten Vorausberechnungen von Immissionspegeln in der Nachbarschaft weder zum Zweck der Lärmbeurteilung noch für den Zweck der Auslegung aktiver Schallschutzmaßnahmen führt.

Nach einer grundsätzlichen Beschreibung einer Schießanlage und ihres bestimmungsgemäßen Betriebs werden die Regeln und Vorgaben der DIN ISO 9613-2 einer Methodenkritik unter dem Aspekt der Anwendung auf Mündungsknalle unterzogen. Es wird deutlich, dass weder die Zielgröße der Vorausberechnung noch die Korrekturen für die geometrische Dämpfung, für den Bodeneffekt, für die Schirmung und auch nicht für die Reflexionen hinreichend zuverlässig in dem Verfahren der Norm abgebildet werden, um für Schießgeräusche im gesamten Einwirkungsbereich tragfähige Vorausberechnungen zu liefern.

Der Versuch, die Unsicherheit der Vorausberechnungen nach DIN ISO 9613 abzuschätzen, führt zu einem Pegelbereich, der mindestens 17 dB umfasst und der deshalb von vorneherein signifikante Aussagen nicht mehr zulässt. Die Methodenkritik führt letztlich zur Bestätigung der Aussage im Anwendungsbereich der Norm selbst, dass sie für Schießgeräusche nicht anwendbar ist.

Die Diskussion einer exemplarischen Messung zeigt die Komplexität der Ausbreitung von Schießgeräuschen in einem realen Schießstand. Anhand dieses Beispiels wird deutlich, dass es ohne ein dreidimensionales Strahlverfolgungsmodell nicht möglich sein wird, eine Basis für eine sachgerechte Vorausberechnung zu finden. Unabhängig von dieser Kritik wird festgestellt, dass die Anwendung der DIN ISO 9613 auf Schießgeräusche nicht mehr dem internationalen Stand der Technik entspricht und eine Berufung in Genehmigungsverfahren darauf, Schießgeräusche seien hilfsweise Industriegeräuschen gleichzusetzen, weil es kein einschlägiges Prognoseverfahren für Schießlärm gebe, nicht stichhaltig ist.

Der Verfasser kommt zu dem Schluss, dass die Regelungen der Normenreihe DIN EN ISO 17201, die heute den Stand der Technik bei der Vorausberechnung und dem Lärmmanagement des Schießlärm von Schießanlagen darstellt, auch in Genehmigungsverfahren eingesetzt und anerkannt werden sollte.

### Danksagung

Die Grundlagen der hier vorgestellten Methodenkritik wurden im Rahmen zahlreicher Studien über die Vorausberechnung von Schießlärm im Auftrag des Bundesministeriums der Verteidigung erarbeitet. Besonderer Dank gilt der Bundeswehr, ohne deren stets konstruktive und vertrauensvolle Zusammenarbeit Vieles nicht möglich gewesen wäre.



Dr. Karl-Wilhelm Hirsch,  
Cervus Consult  
GmbH, Willich.

### Literatur

- [1] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1997. BGBl. I, S. 504, zul. geänd. durch Art. 1 der Verordnung vom 20. Juni 2005. BGBl. I, S. 1687.
- [2] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm) vom 26. August 1998. GMBI. (1998) Nr. 26, S. 503.
- [3] VDI 3745 Blatt 1: Beurteilung von Schießgeräuschen. Berlin: Beuth-Verlag 1993.
- [4] DIN ISO 9613-2: Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien. Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren. Berlin: Beuth-Verlag 1999.
- [5] DIN 45687: Akustik – Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschimmission im Freien – Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen. Berlin: Beuth-Verlag 2006.
- [6] DIN EN ISO 17201-2: Akustik – Geräusche von Schießplätzen – Teil 2: Schätzung der Quelldaten von Mündungsknallen. Berlin: Beuth-Verlag 2004.
- [7] Hirsch, K.-W.: Messung der Emissionsdaten von Mündungsknallen. Fortschrittsberichte des VDI, Schalltechnik '98, Veitshöchheim.
- [8] Ermittlung von Quell- und Ausbreitungsdaten und Immissionspegeln durch Messung auf Schießplätzen der Bundeswehr – Messvorschrift. Hrsg.: Bundesministerium der Verteidigung, 5. Februar 2012.
- [9] DIN EN ISO 17201-1: Akustik – Geräusche von Schießplätzen – Teil 1: Messung der Quelldaten von Mündungsknallen. Berlin: Beuth-Verlag 2005.
- [10] DIN EN ISO 17201-5 : Akustik – Geräusche von Schießplätzen – Teil 5 Lärmmanagement. Berlin: Beuth-Verlag 2010.
- [11] Hirsch, K.-W.: Aspekte eines technischen Schallausbreitungsmodells für große Entfernungen. Fortschritte der Akustik, DAGA 2006, DEGA e.V., Braunschweig.
- [12] Harmonised accurate and reliable methods for the EU – Directive on the assessment and management of environmental noise, WP 3: Engineering models, PROGRAMMING THE POINT-TO-POINT PROPAGATION MODEL, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Département Acoustique et Eclairage, Document reference: HAR34TR-041124-CSTB01.
- [13] Buchta, E.: Erfolgreiche Lärminderungsmaßnahmen an Schießstandblenden. Fortschritte der Akustik, DAGA 1998, DEGA e. V.
- [14] Hirsch, K.-W.: Zur Weiterentwicklung der VDI 3745, Blatt 2 „Prognose von Schießlärm“. Fortschritte der Akustik, DAGA 2000, DEGA e.V., Oldenburg.
- [15] DIN EN ISO 17201-3 : Akustik – Geräusche von Schießplätzen – Teil 3: Richtlinie für die Ausbreitungsrechnung. Berlin: Beuth-Verlag 2010.
- [16] Zangers, J.; Hirsch, K.-W.: Eine 3D-Ersatzschallquelle für komplexe Schießstände. Fortschritte der Akustik, DAGA 2007, DEGA e.V., Stuttgart.