

Akustik der Waffenknalle – Eine Einführung

Karl-Wilhelm Hirsch

Cervus Consult, hirsch@cervus.de

Einleitung

Zu den Schießgeräuschen gehören alle Schalle, die beim Schießen und Sprengen entstehen. Im Bereich des sportlichen, jagdlichen und polizeilichen Schießens stehen Handwaffen im Vordergrund. Aber auch die Knalle von Feuerwerken spielen grundsätzlich eine Rolle. Beim militärischen Schießen kommen großkalibrige Rohrmaschinen, Raketen und Sprengungen aller Art hinzu.

Die Schießgeräusche bilden eine eigene Geräuschquellenart mit einigen Alleinstellungsmerkmalen: (1) Die Geräusche sind durchweg hochenergetische, breitbandige, in vielen Fällen stark gerichtete Schallimpulse. (2) Es sind jedes Mal Einzelereignisse, deren Quelle nicht durch Schalleistung sondern durch Schallenergie gekennzeichnet wird. (3) Im Nahbereich der Quellen gilt die ‚lineare‘ Näherung der Akustik nicht: Es kommt zu pegel- und laufstreckenabhängigen Veränderungen der Signalformen und äquivalenten Änderungen des Spektrums.

Dennoch sind Schießgeräusche in erster Näherung durch einfache Modelle zu beschreiben, die bei gegebenen Randbedingungen neben Quellenergie auch die Signalformen vorhersagen können. Verkehrsgerausche, Motorengeräusche oder gar Geräusche von Windenergieanlagen sind im Vergleich dazu kaum verstandene Geräuschquellen. Zusammen mit der hohen Reproduzierbarkeit der Quellsignale macht diese Eigenschaft Schießgeräusche zu den idealen Testsignalen für Modelle der Schallausbreitung im Freien. Im Folgenden werden die Waffenknalle phänomenologisch beschrieben. Für den Lärmschutz konkretisieren die Normenreihe DIN EN ISO 17201, die ISO 13474, die Lärmmanagementrichtlinie der Bundeswehr und Leitfaden zur Genehmigung von Standortschießanlagen die Modelle und Berechnungsverfahren.

Einteilung – Begriffsbildung

Der Begriff ‚Schießen‘ gilt für das Auslösen aller Einzelereignisse, den ‚Schüssen‘. Nicht nur beim Abfeuern eines Gewehres wird also geschossen, sondern auch beim Sprengen. In einem Empfangsort wird der Immissionspegel des Schusses als Einzelschusspegel bezeichnet. Ein Einzelschusspegel kann sich aus Beiträgen verschiedener Schießgeräusche, den Einzelgeräuschpegeln, zusammensetzen, die beim Schießen entstehen. Diese Schießgeräusche werden häufig als Waffenknalle bezeichnet. Man unterscheidet beispielsweise zwischen Mündungsknall und Geschossknall; aber es gibt noch mehr Waffenknalle, die bei einem Schuss auftreten können.

Die folgende Tabelle 1 gibt einen Überblick. Dabei beginnt die Tabelle mit den Knallen in der (Schützen)Stellung und wird über die Flugbahn bis hin zum Ziel fortgesetzt.

Es gibt eine Vielzahl von ‚Schussarten‘, die durch eine so genannte ‚Schusskonfiguration‘ eindeutig beschrieben werden kann. Zu einer Schusskonfiguration gehören grundsätzlich die Angaben zum (1) Waffensystem (z. B. Handwaffe, Schützenpanzer Marder, Panzerhaubitze 2000, Feuerwerkskörper, Sprengmittel usw.), zur (2) Waffe (z. B. Sturmgewehr G36, Mauser Jagdgewehr Model 98, Sprengsimulator, Bombe usw.) und zur (3) Munition. Die Angaben zur Munition umfasst 4 Elemente: den (a) Anzünder, die (b) Treibladung, das (c) Geschoss und die (d) Bezünderung des Geschosses. Das Schema der Schusskonfiguration kann alle zivilen und militärischen Schüsse kennzeichnen.

Die Bundeswehr pflegt eine Datenbank für zivile und militärische Schießgeräusche, die nach diesem Schema aufgebaut ist. Alle Angaben sind entscheidend für die Bestimmung der akustischen Quelldaten eines Schusses. Das Waffensystem ist u. U. Träger mehrerer Waffen. Eine Waffe kann zu verschiedenen Waffensystemen gehören. Dieselbe Waffe kann aber auf unterschiedlichen Waffensystemen unterschiedliche Quelldaten haben, weil der Aufbau des Waffensystems und die Montage der Waffe zu unterschiedlicher Richtwirkung führen kann. Auch kann dieselbe Munition aus verschiedenen Waffen verschossen werden.

Rohrlänge und Aufbau der Waffe beeinflussen aber die Schallabstrahlung z. B. des Mündungsknalls und auch die Mündungsgeschwindigkeit des Geschosses mit Einfluss auf den Geschossknall.

Die Anzünder und die Bezünderung spielen beim Artillerieschießen und gegebenenfalls bei Feuerwerken eine wesentliche Rolle. Handelt es sich um einen Zeit- oder Annäherungszünder bei der Artillerie, liegt typisch eine ‚hochgezogene Sprengung‘ vor: Der Quellort kann dann – je nach Flugbahn – beispielsweise 50 m hoch liegen. Bei Aufschlagzündern ist er auf dem Boden. Bei Aufschlagzündern mit Verzögerung gräbt sich das Geschoss (die Wirkladung) ein, bevor es explodiert. Hier bestimmt die Bezünderung dann auch die Quellstärke.

Die Schusskonfiguration dient der Kennzeichnung der Quelle bei der Bestimmung der Emissionssituation im Immissionsschutz (s. VDI 3745 Blatt 1 [3] für Schießgeräusche, die nach TA Lärm beurteilt werden, bzw. Lärmmanagementrichtlinie der Bundeswehr – LMR [5], falls es um Rohrkaliber ab 20 mm oder einen Sprengmitteleinsatz von mehr als 50 g TNT-Äquivalent geht).

Quellort	Bezeichnung	Beschreibung
Stellung	Anzündknall	Geräusch beim Auslösen des Schusses: Knall bei der Zündung der Treibladung (--), Explosion des Zündhütchens (---), Zündung des Raketenmotors (+) usw.
	Auswurfknall	Geräusch beim Starten von Raketen (++)
	Mündungsknall	Geräusch bei der Umsetzung der Treibladung bei Rohrmaschinen und Artillerie (+++)
Flugbahn	Geschossknall	Geräusch von überschalligen Geschossen von Handwaffen (+) und großen Waffen (++)
	Fluggeräusch	Geräusch von unterschalligen Geschossen von Handwaffen und großen Waffen (---)
Ziel	Kugelschlag	Geräusch beim Auftreffen von inerten Geschossen im Ziel bzw. Geschossfangen mit Sand (---) oder Stahlblech (+).
	Explosionsknall	Geräusch beim der Explosion der Wirkladung(en) im Ziel: Geschosse der Artillerie, Bomben, Granaten, bei Gewinnungssprengungen und bei Feuerwerken häufig mehrere bei einem Schuss
	Wirkgeräusch	Geräusch von Leucht- oder Nebelgeschossen der Artillerie (---)
	Bezünderungsknall	Geräusch bei Zünden der Wirkladung (---)

Tabelle 1 Einteilung von Waffenknallen beim Schießen mit Angabe ihrer Bedeutung für den Lärmschutz von (+++) sehr bedeutend bis (---) unbedeutend

Die Explosion als akustische Quelle

Die Explosion ist die zentrale Ursache für Schießgeräusche. Das gilt zumindest für Mündungsknalle, Sprengknalle und die Knalle von Wirkladungen. Eine freie Explosion in Luft ist ein wohlbekannter Vorgang. Das Sprengmittel wird bei der Explosion in heiße Gase umgesetzt, die unter hohem Druck und hoher Geschwindigkeit die umgebende Luft verdrängen. Solange die Ausdehnungsgeschwindigkeit der Gase höher ist als die Schallgeschwindigkeit der umgebenden Luft, findet keine Akustik im üblichen Sinne statt. Erst wenn die Ausdehnungsgeschwindigkeit gerade unter die Schallgeschwindigkeit fällt, wird ‚Schall abgestrahlt‘.

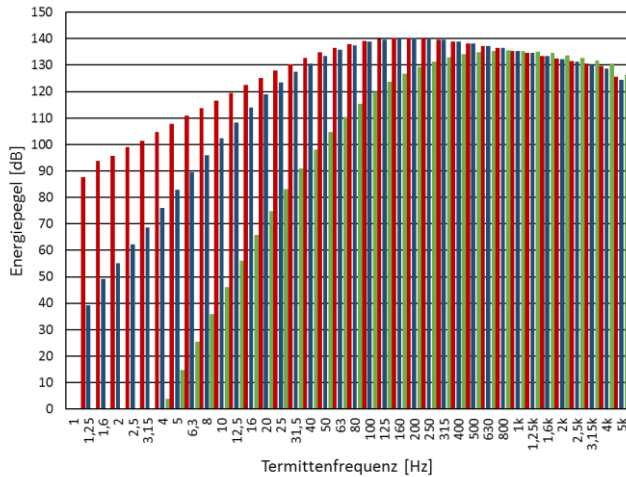


Abbildung 1 Bewertete Energiepegel (L_{ZE} , L_{CE} , L_{AW}) und WEBER-Radius R_W in Abhängigkeit von der effektiven Explosivstoffmasse

Zu diesem Zeitpunkt ist die Physik in erster Näherung aber einfach: Bei freier Explosion ist die Form der Gase aus Symmetriegründen eine Kugel. Die Schnelle auf der Kugeloberfläche entspricht gerade der Schallgeschwindigkeit. Dies ist das Bild zum WEBER-Modell [4], dem einfachsten Ansatz zur Beschreibung einer Explosion. Die Größe der Kugel hängt in diesem Modell allein von der Masse des Sprengmittels ab, weil sie das Volumen der Kugel bestimmt.

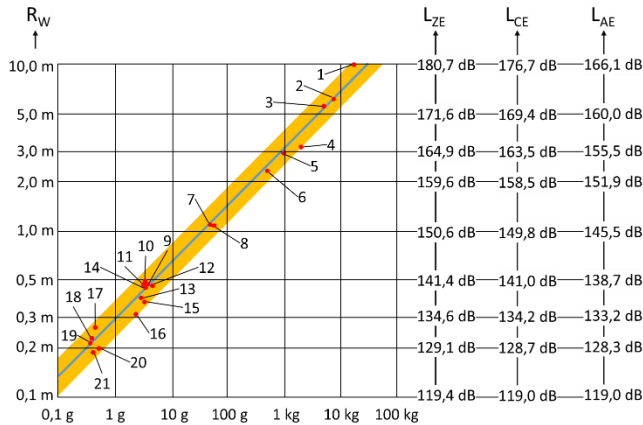


Abbildung 2 Bewertete Energiepegel (L_{ZE} , L_{CE} , L_{AW}) und WEBER-Radius R_W in Abhängigkeit von der effektiven Explosivstoffmasse bei Sprengungen und Mündungsknalle

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| 1 16,5 kg Sprengung | 12 .300 Winchester Magnum |
| 2 120 mm Kanone | 13 6,5 × 68 mm Gewehr |
| 3 105 mm Kanone | 14 9 mm Pistole |
| 4 155 mm Haubitze | 15 .243 Winchester |
| 5 1 kg Sprengung | 16 5,6 × 50 mm Gewehr |
| 6 500 g PETN | 17 9 mm Pistole (SIG) |
| 7 150 g Sprengung | 18 9 mm Pistole (P1) |
| 8 20 mm Kanone | 19 9 mm Signalpistole |
| 9 .300 Winchester | 20 9 mm Pistole MP5 |
| 10 .300 Winchester | 21 .22 Hornett Gewehr |
| 11 .300 Winchester Magnum | |

Die WEBER-Ersatzquelle ist deshalb ein Kugelstrahler nullter Ordnung mit bekannter Quelle. Die Strahlungsimpedanz der Kugel hat den entscheidenden Einfluss auf das Spektrum der Explosion. Abbildung 1 zeigt das Terzspektrum eines WEBER-Knalls.

Die akustischen Kenngrößen der Quelle skalieren über den gesamten Bereich der Sprengmasse bzw. mit der abgeleiteten Größe der Kugel, die durch den so genannten WEBER-Radius beschrieben wird. Abbildung 2 belegt die Skalierung anhand von Messungen von Sprengungen und Mündungsknallen. Diese Abbildung ist in die DIN EN ISO 17201-2 übernommen worden.

Der Knalle in der Stellung – Mündungsknall

Der Mündungsknall ist in der Regel das bestimmende Einzelgeräusch eines Schusses in der Stellung. Die Ursache des Mündungsknalls von Rohrwaffen (dazu gehören alle Arten von Gewehre, Pistolen, Bordkanonen, Haubitzen und Mörser) ist die Explosion der Treibladung im Rohr. Die bei diesem Vorgang erzeugten heißen Gase treiben das Geschoss aus dem Rohr, das das Rohr letztlich mit der so genannten Mündungsgeschwindigkeit verlässt.

Das Geschoss schiebt eine Luftsäule vor sich her und drückt sie komprimiert aus dem Rohr. Dieser Vorgang ist für den so genannten Pre-Cursor verantwortlich. Die hinter dem Geschoss unten immer noch hohem Druck und mit Überschallgeschwindigkeit (gemessen an der Schallgeschwindigkeit der umgebenden Luft) austretenden Treibladungsgase treffen auf die ruhende Luft und ‚überholen‘ jedes andere Schallereignis‘ beim Abschuss. Die Treibladungsgase dehnen sich aus, kühlen sich ab und werden langsamer. Unterschreitet die Gasgeschwindigkeit die Schallgeschwindigkeit der Luft, kommt es zur Abstrahlung des Mündungsknalls. Hätte die Gaswolke zu diesem Zeitpunkt die Form einer Kugel, wäre der Mündungsknall eine einfache Explosion. Die Form ist aber signifikant anders. Und die Gase bewegen sich insgesamt. Beide Phänomene sind gemeinsam verantwortlich für die starke Richtwirkung von Mündungsknallen und für die Frequenzabhängigkeit des Mündungsknalls. Die Richtwirkung ist in der Regel für große Wellenlängen stärker als für kleine Wellenlängen. Es bildet sich nämlich beim Abbremsvorgang der Gase eine so genannte Mach-Scheibe, die grob anschaulich einen Kolbenstrahler darstellt.

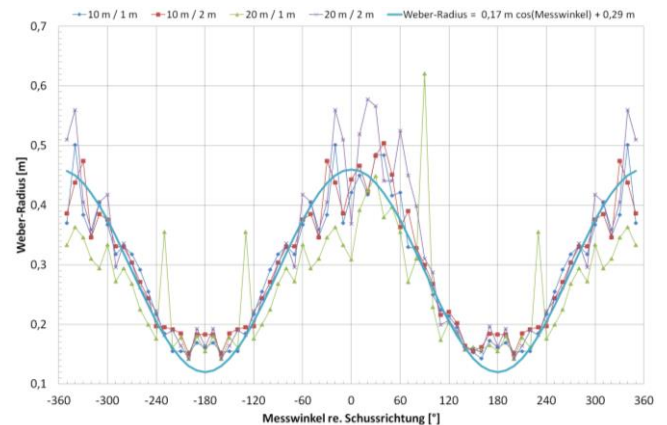


Abbildung 3 Richtwirkung des Mündungsknalls eines Gewehrs dargestellt als WEBER-Radius über die Messwinkel

Abbildung 3 zeigt die Richtcharakteristik eines Gewehrs in einer ungewöhnlichen Darstellung. Aufgetragen ist der aus dem Messsignal bestimmte WEBER-Radius. Basis ist eine Quellmessung nach DIN EN ISO 17201-1 [1]. Allerdings wurde bei der Messung eine deutlich höhere Winkelaufösung von 10° im Bereich von 0° bis 360° gewählt, um gegebenenfalls eine Feinstruktur des Mündungsknalls zu erkennen. Weiterhin wurde in zwei Höhen (1 m und 2 m) und zwei Abständen (10 m und 20 m) gemessen, um mögliche systematische Einflüsse zu analysieren.

Im Mittel folgt der WEBER-Radius offensichtlich einer einfachen Cosinus-Funktion. In Schussrichtung sind die Varianzen größer als im übrigen Winkelbereich, weil die Rückrechnung des WEBER-Radius aus den durch den Geschosknall gestörten Spektren unsicherer

wird. Aus dieser dennoch guten Anpassung lässt sich schließen, dass der Mündungsknall in Schießrichtung nicht nur höhere Pegel liefert, sondern auch deutlich tieferfrequent ist. Insgesamt stellt Abbildung 3 über das WEBER-Modell die Frequenzabhängigkeit des Mündungsknalles dar.

Bei Rohrwrappen wird die Richtcharakteristik wesentlich vom Mündungsgasdruck und von der Mündungsgeschwindigkeit des Gases bestimmt. Dies ist aus innenballistischen Gründen bei effektiven Rohrwrappen rohrkaliberunabhängig so ähnlich, dass auch die Richtcharakteristik ähnlich ist. Eine Faustregel sagt, dass bei Gewehren die Exzentrizität der Richtcharakteristik, also die Pegeldifferenz zwischen vorne und hinten 12 dB beträgt, bei Pistolen eher 18 dB. Die DIN EN ISO 17201-2 [1] nutzt diese Ähnlichkeit, um die akustischen Quelldaten von Handwrappen aus Wrappen und Munitionsdaten zu schätzen.

Insbesondere bei militärischen Rohrwrappen, z. B. Haubitzen werden Mündungsbremsen eingesetzt, die die ausströmenden Gase umlenken, um den Rückstoß zu mindern. Solche Mündungsbremsen haben einen massiven Einfluss auf die Richtcharakteristik. Einen ähnlichen Einfluss haben Aufbauten des Wrappensystems, auf dem die Waffe montiert ist. Bei Handwrappen spielen der Kopf und der Körper des Schützen diese Rolle. Quellnahe Hindernisse ändern die Strömung der Gase oder führen – in der Sprache der Akustik – zu Reflexionen und Beugungen. Es ist Vorsicht geboten: In der engen Nachbarschaft liegen Drücke von über 170 dB vor. Dort ist die ‚lineare Akustik‘ keine zuverlässige Näherung. Deshalb gibt es keine zuverlässigen Modelle, die diese Einflüsse vorhersagen können.

Die Methode der Wahl zu Bestimmung der akustischen Quelldaten ist die Messung. Bei der Messung sind viele besondere Aspekte zu beachten. In der DIN EN ISO 17201-1 wird für Handwrappen eine Messmethode und die Art und Weise festgelegt, wie die akustischen Quelldaten anzugeben sind. Die Bundeswehr bestimmt für ihre Schusskonfigurationen die akustischen Quelldaten durch eine Messung nach dieser Norm. Dabei werden die zusätzlichen Vorschriften nach ISO 13747 [2] beachtet.

Die übrigen Wrappenknalle in der Stellung sind ähnlich komplex. Abschüsse von Gefechtsraketen mit mündungsknallähnlichen Auswurfknallen sind auch beim militärischen Schießbetrieb eines Schießplatzes eher selten. Die häufiger zum Einsatz kommenden Übungsraketen ähneln in der Geräusentwicklung dem Schießen von Feuerwerksraketen. Bei Panzerfäusten spricht man eher von einem Mündungsknall, obwohl zwei Treibsätze angezündet werden, einen, um das Geschoss zu starten, den anderen, um den Rückstoß auszugleichen.

Der Knall von der Flugbahn - Geschossknall

Geschossknalle werden in der Literatur häufig durch die konstruktive Interferenz von Kugelwellen entlang des so genannten MACHschen Kegels, der die Front des Geschossknalls markiert, erklärt. Entsprechend löscht in diesem Bild die destruktive Interferenz den Schalldruck in allen anderen Bereichen aus. Das Bild ist anschaulich, setzt aber voraus, dass die Regeln der linearen Schallausbreitung streng anwendbar sind. Das ist bei Weitem nicht der Fall.

In Schlierenaufnahmen ist die nichtlineare Ausbreitung im Nahbereich des Geschosses deutlich zu erkennen: An jeder Änderung der Form des Geschosses bildet sich eine Schockwelle aus. Schon nach wenigen Geschosslängen ist die Feinstruktur verschwunden; Die positiven Drücke ‚sammeln‘ sich in einer vorderen Druckfront, negative Drücke entsprechen in einer ‚Unterdruckfront‘ dahinter. Das ist dem Effekt geschuldet, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit mit dem Druck steigt. Dazwischen findet ein linearer Druckübergang statt. Die Signalform ist eine so genannte N-Welle.

Da die wesentlichen Beiträge von der Spitze und vom Ende stammen, hängt die Grundwellenlänge der N-Welle eng mit der Länge des Geschosses zusammen. Konkrete Berechnungsvorschriften zur Wellenform sind in DIN EN ISO 17201-2 und -4 [1] angegeben.

Solange nichtlineare Effekte noch erheblichen Einfluss haben, ist die vordere Druckfront schneller als die Unterdruckfront. Der zeitliche Abstand zwischen Druck- und Unterdruckfront nimmt zu. Entsprechend ändert sich das Spektrum.

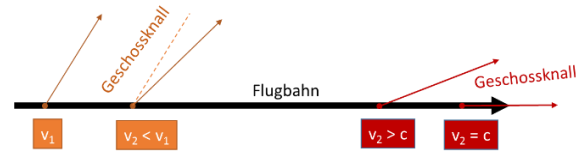


Abbildung 4 Skizze zur geometrischen Dämpfung des Geschossknalls

Die akustische Energie bei nicht angetriebenen Geschossen stammt allein aus der kinetischen Energie des Geschosses. Solange die Flugbahn zu einer Geraden angenähert werden kann und der Geschwindigkeitsverlust vernachlässigt werden kann, ist die Geometrie trivial. Sie wird durch den Öffnungswinkel des MACHschen Kegels bestimmt, die geometrische Ausbreitungsdämpfung entspricht der einer Linienschallquelle.

Dieser Fall kommt als Emissionssituation auf einem militärischen Schießplatz oder auf Anlagen für Handfeuerwrappen nur selten vor. Bei dort typischen Flugbahnlängen ab 50 m beeinflusst das Abbremsen des Geschosses durch Luftreibung und den Energieverlust durch den Geschossknall selbst das Geschossknallfeld signifikant.

Bei Artillerieschießen ist darüber hinaus auch die Krümmung der Flugbahn, ihre Ballistik, von großer Bedeutung. Betrachtet man die Flugbahn in kurzen, z. B. 1-m-Abschnitten, kann man die Bahn als Gerade betrachten, mit einer Anfangs- und einer kleineren Endgeschwindigkeit. Zu beiden Geschwindigkeiten gehören unterschiedliche Machwinkel, s. Abbildung 4.

Dies hat die Konsequenz, dass das die Schallabstrahlung von diesem Abschnitt in Volumen erfolgt, das am Ende der Mantelfläche eines stumpferen Kegels entspricht als am Anfang: Zu dem geometrischen 1/r-Verlust kommt immer die zusätzliche geometrische Dämpfung durch die Aufweitung hinzu, Schema Orange in Abbildung 4. Zu dem Zeitpunkt, an dem das Geschoss unterschallig wird, ist der Kegel an seiner Spitze flach: die Schallabstrahlung erfolgt in Flugrichtung, die geometrische Dämpfung ist 1/r², Schema Rot in Abbildung 4. Das ist der Kern des Geschossknallmodells in DIN 17201-2 und -4. Kommt die Ballistik hin (DIN EN ISO 17201-2), sind die kinematischen Bestimmungsgleichungen entsprechend aufwendig.

Der Knall im Ziel - Explosionsknall der Wirkladung

Im Konzept der Schusskonfiguration, s. o., ist auch ein Handgranatenwurf ‚Schießen‘: Ohne Wrappenknalle in der Stellung und von der Flugbahn, aber mit einer Wirkladung im Ziel. Das gleiche gilt für Bombenabwürfe, Haubitzenwürfe mit Sprengladung und analog für Feuerwerksböllchen und -bomben. In der Regel haben die resultierenden Explosionen keine Richtwirkung und können als freie Explosionen beschrieben und berechnet werden. Das Weber-Modell ist dann hinreichend zuverlässig, um die Quellpegel für Anwendungen im Lärmschutz zu prognostizieren.

Ausgewählte Hinweise zu Wrappenknallen

Im Folgenden werden Aussagen aneinandergereiht, die helfen mögen, die eine oder andere Besonderheit von Schießgeräuschen zu beachten.

Reprozierbarkeit von Schießgeräuschen

Bei der Konfektionierung von Munition sind die Fertigungstoleranzen so klein, dass die Treffsicherheit gewährleistet ist. Der Einfluss der Munition auf die Ablage des Treffpunkts im 100-m-Ziel ist in der Regel deutlich kleiner als 1 cm. Die Toleranz bei der eingefüllten Treibladung sind entsprechend klein. Die Varianz der jeweils freigesetzten akustischen Energie ist deshalb in akustischen Maßstäben verschwindend gering: Mit Explosionen kann man eher Mikrophone bei hohen Pegeln (typisch 155 dB Spitzenpegel) kalibrieren, als mit bei 1 Pa kalibrierten Mikrophenen solche Explosionen zu vermessen.

Nichtlinearität bei Schirmen in Quellnähe

Bei baulichen Schallschutzmaßnahmen, die auf Schirmung des Geschosknalls abzielen, ist dies zu berücksichtigen: Hinter dem Schirm sind zwar die höheren Frequenzen stärker gemindert als tiefere. Die höheren Frequenzen wachsen aber wieder auf. Das Signal wird wieder zu einer N-Welle. Eine einfache Schirmrechnung ist deshalb nicht zielführend anwendbar.

Erhöhung und Richtcharakteristik

Bei der Artillerie im Steilfeuer kommen Erhöhungswinkel von mehr als 10° bis zu 40° vor. Da die Richtcharakteristik von Rohrwaffen grundsätzlich rotationssymmetrisch im die Rohrachse ist, ist die Erhöhung (vertikaler Winkel des Rohres) ist bei der Bestimmung des effektiven Winkels der Richtwirkung bei der Berechnung des immisionswirksamen Emissionspegel zu beachten.

Beugung von gerichteten Schießgeräuschen

Die starke Richtwirkung führt zu Unsicherheiten bei der Anwendung von nicht angepassten Beugungsmodellen. Beispielsweise ist die Schirmrechnung nach DIN ISO 9613-2 für eine Geschossfangblende bei Schüssen bei kurzen Zielentfernungen nur mit großer Unsicherheit anwendbar, weil der Pegel des Direktschalls sich um mehrere Dezibel vom Pegel an der Kante unterscheiden kann.

Doppelter Geschosknall von steilen ballistischen Flugbahnen

Von steilen ballistischen Flugbahnen der Artillerie (Schießen in der hohen Winkelgruppe) können mehrere Geschosknalle ausgehen. Dies ist dann möglich, wenn die Flugbahn überschallig ist, im Scheitelpunkt unterschallig und dann bei Rückfall zur Erde wieder überschallig wird.

Geschosknall und Erhöhungswinkel

Haubitzenschüsse mit geringer Ladung haben keinen Geschosknall (Mündungsgeschwindigkeit $v_0 < \text{Schallgeschwindigkeit } c$), solche mit mittleren Ladungen einen Geschosknall ($v_0 < 2c$), der deutlich nach vorne gerichtet ist.

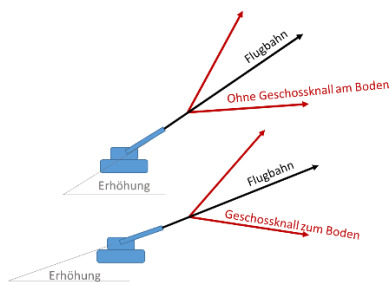


Abbildung 5 Skizze zur Empfindlichkeit des Eintreffens des Geschosknalls in einem Immissionsort bei mittleren Treibladungen

Es kann dann von minimalen Änderungen der Erhöhung abhängen, ob in einem Immissionsort Geschosknall eintrifft oder nicht. Solche Fälle sind keinesfalls ‚sehr selten‘. Abbildung 5 verdeutlicht diese Empfindlichkeit.

Zur Mär von der Schalldruckverdopplung am Boden

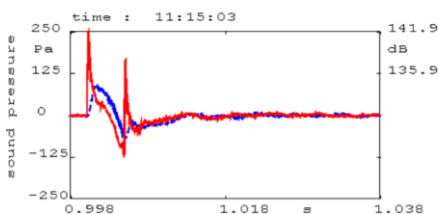


Abbildung 6 Schalldruckzeitverlauf des Geschosknalls in 5 m Höhe (rot) und auf dem Boden (blau) nach [8]

Schießgeräusche offenbaren häufig die Feinheiten der physikalischen Einflüsse bei der Schallausbreitung im Freien. Dies liegt daran, dass sie tatsächlich Kurzzeitereignisse sind, deren Zeitsignal bzw. deren Spektrum bekannt ist. Auswertungen von Immissionspegeln basieren häufig auf der Messung des Zeitsignals oder eines

Schmalbandspektrums, aus denen man viel mehr ablesen kann als bei einer Messung eines Rauschsignals anderer Geräuschquellenarten, die stets über einen längeren Zeitraum gemessen und gemittelt werden. Zudem ist der Quellort in der Regel bekannt und die akustischen Quelldaten hoch reproduzierbar.

Am Beispiel des Geschosknalls einer Panzerhaubitze im Flachschuss zeigt Abbildung 6 den Schalldruckzeitverlauf des Geschosknalls gemessen über Asphalt und darüber in 5 m Höhe. Bei der Messung auf dem Boden werden die hohen Frequenzen bei flachem Schalleinfall ausgelöscht, während in 5 m Höhe die N-Welle noch zu erkennen ist. Das Signal lässt sich im Übrigen vollständig erklären und mit weitentwickelten Modellen nachrechnen [9].

Ein weiteres Beispiel dafür, dass Sprengsignale herausragende Testsignale für die Untersuchung von Schallausbreitungsphänomenen ist, zeigt Abbildung 7: Gleichzeitig entgegengesetzt unter Mitwind- (oben) und Gegenwindrichtung (unten) gemessenen Terzspektren einer 50 g Sprengung in 250 m. Der Unterschied zwischen Mitwind- und Gegenwindspektren lässt sich allein durch den unterschiedlichen Einfallswinkel und seinem Einfluss auf die unter gleichen Parametern berechneten Bodenreflexion erklären

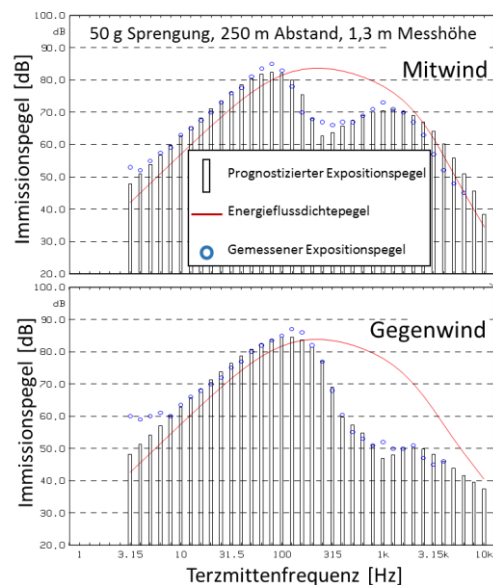


Abbildung 7 Wirkung der Bodenreflexion auf Terzspektren, nach [6]

Absorption von Waffenknallen

Die Absorption von Waffenknallen mit ihrer Impulshaltigkeit und Nichtlinearität bei höchsten Energien folgt den selben Gesetzen wie die Absorption von anderer Geräusche.

Literaturhinweise

- [1] DIN EN ISO 17201-1 bis -5: Akustik - Geräusche von Schießplätzen
- [2] ISO 13474 "Acoustics - Framework for calculating a distribution of sound exposure levels for impulsive sound events for the purposes of environmental noise assessment"
- [3] VDI 3745 Blatt 1: Beurteilung von Schießgeräuschimmissionen
- [4] Weber, W.: „Das Schallspektrum von Knallfunken und Knallpistolen mit einem Beitrag über die Anwendungsmöglichkeiten in der elektroakustischen Meßtechnik“, Akustische Zeitschrift 4(1939), S. 377-391
- [5] Richtlinie für das Lärmmanagement auf Schießplätze – LMR, Herausgeber BMVG in Verbindung mit BAUIDBw
- [6] Hirsch, K.-W.: Anmerkungen zu Schallausbreitungsmodellen für Knallimpulse“, Fortschritte der Akustik, DAGA 1997
- [7] Leitfaden für die Genehmigung von Standortschießanlagen – LeitGeStand, Version 0.96, Herausgeber Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
- [8] Buchta, E.; K.-W. Hirsch: Low-frequency projectile noise from flat howitzer shots“, Proceedings Internoise '2000, Nizza
- [9] Hirsch, K.-W.; Buchta, E.: Analysis of low-frequency projectile noise signals measured close to the ground“, Proceeding Internoise' 2000, Nizza