

Emissionskennwerte von Waffenknallen

K.-W. Hirsch
Institut für Lärmschutz, Düsseldorf

Einführung

Waffenknalle unterscheiden sich in wesentlichen Aspekten von anderen Lärmquellen:

- Sie sind breitbandige, kohärente Schallimpulse. Deshalb ist für eine detaillierte Berechnung der Geräuschmission, beispielsweise für eine im Hinblick auf bauliche Schallschutzmaßnahmen aussagekräftige Prognose, die Berücksichtigung der spektralen Energieverteilung erforderlich.
- Sie sind häufig stark gerichtete Schallquellen. Deshalb kommt der eindeutigen Definition der Richtcharakteristik und ihrer mathematisch-physikalischen Darstellung eine besondere Bedeutung zu.

Sachgerechte Emissionsdaten von Waffenknallen sind beispielsweise richtungsabhängige Fourier-Spektren einer Quellgröße. (Welche akustischen Quellgrößen zur Beschreibung von Waffenknallen herangezogen werden können, wird in /1/ ausführlich diskutiert.)

Im Hinblick auf praktische Anwendungen, z.B. bei der Prognose von Schießgeräuschen, erscheint die Bereitstellung solcher Emissionsdaten im Anbetracht der kaum überschaubaren Vielfalt von Waffen - insbesondere Handfeuerwaffen - und zugehöriger Munition nicht realistisch. Es soll hier dennoch ein möglicher Weg aufgezeigt werden, der dieser Forderung für Mündungs- und Sprengknalle zumindest nahekommmt. Es ist von vornherein zuzugestehen, daß auf diesem Weg erhebliche Vereinfachungen, Näherungen und Pauschalierungen erforderlich sein werden.

Knallquellen ohne Richtwirkung

In /1/ wird gezeigt, daß sich mit Hilfe eines von Weber /2/ entwickelten Modells für Knallfunken auch die Spektren von Waffenknallen überraschend zuverlässig beschreiben lassen. Dieses Modell hängt nur von der Größe einer gedachten, explosionsartig expandierenden Gaskugel zu jenem Zeitpunkt ab, zu dem die Ausdehnungsgeschwindigkeit der Kugel die Schallgeschwindigkeit unterschreitet und deshalb ab dann Schall abstrahlen kann. Dieses Modell liefert auf der Grundlage der Thermodynamik eines idealen Gases und der Strahlungsimpedanz einer Kugel das Fourierspektrum des Schalldrucks $p(\omega)$ einer Knallwelle in Abhängigkeit eines einzigen Parameters, des Radius der Kugel (Weber-Radius).

$$p(\omega) = \frac{P_w}{p} \left[\frac{\mathbf{a}}{\mathbf{a}^2 + \omega^2} + j \frac{\omega}{\mathbf{a}^2 + \omega^2} \right] \quad \text{Gl. 1}$$

$$\text{mit } \mathbf{a} = \frac{3c}{R_w} \left[1 + \left(\frac{c}{\omega R_w} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

In Gl. 1 bedeutet c die Schallgeschwindigkeit und j die imaginäre Einheit. R_w ist der Weber-Radius und $P_w = 14,4 \text{ kPa}$ ist eine aus /2/ übernommene, experimentell bestimmte Konstante.

Zur Modellbildung ist noch abzuleiten, wie sich der Weber-Radius aus den Daten der Explosion bestimmen läßt. Diese Daten müssen im Hinblick auf die Anwendung zugänglich und leicht bestimmbar sein. Als einfachstes Maß bietet sich hier die Masse des eingesetzten Sprengstoffes an, denn die Menge des Sprengstoffes bestimmt ansatzweise die Menge des Gases und damit das Kugelvolumen.

Die Bedenken gegen diese einfachste Betrachtungsweise von akustischer Seite (z.B. Nichtlinearität des Vorganges), von der Seite der Abgangsbalistik (z.B. die Phänomenologie der Schockfronten beim Gasaustritt) und von der Seite der Munitionsbeschreibung (z.B. unterschiedliche Abbrandgeschwindigkeit) sind an dieser Stelle nicht auszuräumen. All diese Phänomene beeinträchtigen die Zuverlässigkeit der prognostizierten Emissionsdaten auf eine zur Zeit nicht ableitbare Weise. Die Aussagekraft des Modells kann deshalb nur insgesamt durch einen Vergleich mit Meßwerten diskutiert werden.

Dieser Vergleich erfordert die Bestimmung der abgestrahlten akustischen Energie der Quelle. Dies ist wiederum nur möglich durch Messungen des Schalldruckes im Nahbereich. Derartige Messungen sind häufig nur im Freien unter den Sicherheitsbedingungen einer Schießanlage möglich. Deshalb sind die aufgenommenen Schalldrucksignale stets das Ergebnis einer Überlagerung des Direktschalles mit Reflexionen an Aufbauten und am Boden. Die Separation des Beitrages des Direktschalles aus dem Gesamtsignal erfordert deshalb einen geeigneten Meßaufbau und zumindest die Eliminierung der stets präsenten Bodenreflexion. Es ist entscheidend, hierbei von der Reflexion einer Kugelschallwelle an einer Oberfläche mit einer komplexen Impedanz auszugehen /3//4/. Das Ergebnis einer derartigen Rückrechnung zeigt, daß die Annahme eines Weber-Spektrums nach Gl. 1 in der Regel völlig ausreicht, um die gemessenen Schalldrucksignale in Verbindung mit einer Bodenimpedanz breitbandig im Hinblick auf Formtreue und auf einen absoluten Pegel zu prognostizieren.

Gerichtete Knallquellen

Schußwaffen zeigen oft eine stark gerichtete Schallabstrahlung. Es ist deshalb zu erwarten, daß das einfache Modell, das von der Vorstellung einer kugelsymmetrisch explodierenden Kugel ausgeht, keine Anpassung mehr liefert. Aber auch hier lassen sich die Signale in den verschiedenen Richtungen noch recht gut an ein Spektrum nach Gl. 1 anpassen. In /1/ wird dies am Beispiel des Mündungskalles eines Gewehres gezeigt. Es ergeben sich für die verschiedenen Richtungen verschiedene Weber-Radien; Die Signale haben aber immer noch ein typisches Weber-Spektrum in ihrer Energieverteilung.

Abb. 1 vergleicht die gemessene Richtcharakteristik des Mündungskalles eines Kleinkalibergewehres im Nahbereich mit den Voraussagen des Modells. Dargestellt ist die Differenz der Terzspektren unter den Meßrichtungen 0° , 30° , 60° , 120° , 150° und 180° zur Messung unter 90° .

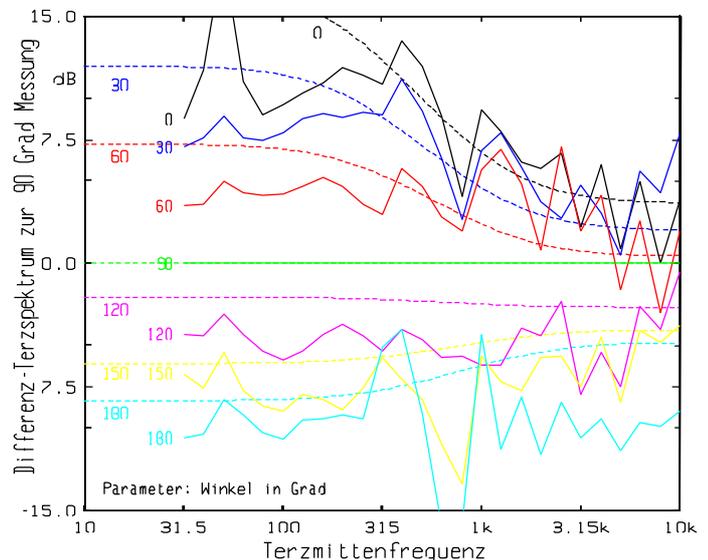


Abb. 1 Gemessene (—) und berechnete (- - -) Richtcharakteristik des Mündungskalles eines Kleinkalibergewehres

Das Modell (gestrichelte Linien) und die Messung (durchgezogene Linien) stimmen im interessanten Frequenzbereich oberhalb von 100 Hz qualitativ und quantitativ tendenziell überein:

Die Richtwirkung ist im Bereich tieferer Frequenzen deutlich stärker ausgeprägt als im Bereich hoher Frequenzen. Dieses Verhalten wurde bei allen bisher untersuchten Mündungsknallen bei Gewehren festgestellt.

Neben der Formtreue zwischen den Weber-Spektren und den gemessenen Quell-Spektren ist die postulierte Korrelation zwischen dem

Weber-Radius und der Masse des Sprengstoffes bzw. Treibladung das wichtigste Kriterium zur Validierung des Modells. Abb. 2 zeigt diese Korrelation für die bisher untersuchten Waffenknalle. Aufgetragen ist zunächst der nach dem oben angedeuteten Verfahren experimentell bestimmte Weber-Radius gegen die sogenannte effektive Sprengstoffmasse. Für Sprengungen ist diese effektive Masse gleich der tatsächlich eingesetzten Masse. Für stark gerichtete Mündungsknalle ist die effektive Masse der Anteil der Gesamtmasse, der nach Maßgabe der gemessenen Richtcharakteristik für das Raumsegment bestimmend ist, für das die 90°-Messung repräsentativ ist (vgl. /1/ zur Ermittlung der Gesamtenergie aus Messungen des Schalldruckpegels auf einem gleichgeteilten Meßkreis bei einer rotationssymmetrischen Schallquelle). Auf die Eintragung der Punkte für die übrigen Richtungen wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet.

Der Weber-Radius liefert über Gl. 1 auch die akustischen Pegel. Deshalb sind als zusätzliche Ordinaten die zugehörigen bewerteten Schallpegel (90°, 1 m Abstand) aufgetragen (L_{1f}, C, A). Neben der durchgezogenen Regressionsgeraden markieren die gestrichelten Linien den Bereich, in dem der Fehler des Modells kleiner ist als 3 dB.

Abb. 2 zeigt ein überraschendes und zugleich ermutigendes Ergebnis: Trotz der Unzulänglichkeiten des Modells, trotz der Unsicherheiten der Schallenergiebestimmung aus Messungen im Nahbereich von Waffen, trotz der groben Berücksichtigung der Richtcharakteristik bei der Bestimmung der effektiven Masse, korreliert der Weber-Radius in einem großen Parameterbereich (0,5 g bis 16,5 kg) eng mit der Sprengstoffmasse. Ein wesentlicher Grund für diese gute Korrelation ist wohl darin zu sehen, daß sowohl der Weber-Radius als auch die Sprengstoffmasse mittelbar die Energie des Vorganges beschreiben. Die Nichtlinearität und die sonstigen oben erwähnten bedenklichen Einflüsse können die akustische Energie - auch ihre Spektralverteilung - offenbar nicht nachhaltig ändern. Insgesamt wird zu dieser Unsicherheit von 3 dB auch der Fehler der Schallenergiebestimmung aus Messung und Analyse in erheblichem Maße beitragen.

Vorläufige Schlußfolgerungen

Unabhängig von der physikalischen Begründung des Modells ist das Ergebnis bemerkenswert. Für die bisher im Rahmen dieser Untersuchung betrachteten Waffenknalle kann man feststellen:

- Durch die Angabe eines Parameters (Weber-Radius in einer Bezugsrichtung) und einer Richtcharakteristik (gegebenenfalls 3 Koeffizienten, vgl. /1/) läßt sich das Fourier-Spektrum der Waffenknalle so festlegen, daß daraus das Terzspektrum sachgerecht beschrieben wird.
- Ist die Richtcharakteristik bekannt (oder kann als typisch angenommen werden), kann der Weber-Radius in Meßrichtung über eine einfache Formel (Regressionsgerade nach Abb. 2) aus der effektiven Treibladungsmasse mit einem Fehler kleiner als 3 dB ausgerechnet werden.

Der Fehler von 3 dB ist im Hinblick auf die Verwendung des Modells als Lieferant für die Emissionsdaten eines Schallausbreitungsmodells für Schießlärm noch unter anderen Gesichtspunkten zu bewerten. Die Zuverlässigkeit solcher Prognosen hängt von der Angabe der wirklich geschossenen Waffen und Munitionen ab. Ein Beispiel mag das verdeutlichen. Eine typische Zeile in der Übersicht zur Erfassung von Schießaktivitäten auf einem Schießstand lautet beispielsweise: 15435 Schuß Gewehr Kaliber .308 auf Schießstand A verschossen. Die präzise Schußzahl suggeriert präzise Eingangsdaten. Die Angabe lediglich des Kalibers eröffnet aber eine Spannweite über die mit diesem Kaliber möglichen Munitionen von 2,2 g - 3,2 g Treibladung, einer Geschoßenergie von 2.600 J - 3.600 J bei mehr als 52 verschiedenen Patronen. (Dabei korrelieren Treibladung und Geschoßenergie keineswegs sehr eng, die höchste Geschoßenergie wird z.B. mit einer Patrone mit einer Treibladung von 2,6 g erreicht.) Die Zeile im Aktivitätsbericht enthält also bereits eine Unsicherheit von ca. 2 dB in der Treibladung. Schießlärm genauer als 3 dB prognostizieren zu wollen, ist deshalb zunächst eine Herausforderung an die Datenerfassung.

Im Hinblick auf eine Prognoserechnung für Schießgeräusche könnte es daher ausreichend sein, die Emissionsdaten der Waffen nach dem hier vorgestellten Zusammenhang in Abb. 2 zu bestimmen. Die Vorteile dieses Verfahrens sind:

- Die Emissionsdaten sind durchgängig standardisierbar. Einschlägige Richtlinien kämen ohne einen nie vollständigen Katalog von Meßwerten zu Waffen und Munitionen aus.
- Die Emissionsdaten gelten für einen großen Bereich von Waffenknallen und machen eine Unterscheidung in Modelle für schwere Waffen und Handfeuerwaffen überflüssig.
- Alle frequenz- und zeitbewerteten Pegel können über Gl. 1 aus den Emissionsdaten abgeleitet werden.
- Schallminderungsmaßnahmen können unter Berücksichtigung der spektralen Energie- bzw. Pegelverteilung im Quellsignal ausgelegt und optimiert werden.

Die in diese Untersuchung einbezogenen Waffen decken zwar einen großen Bereich ab, dennoch sind erheblich mehr Messungen erforderlich, um diese Vorgehensweise weiter abzustützen.

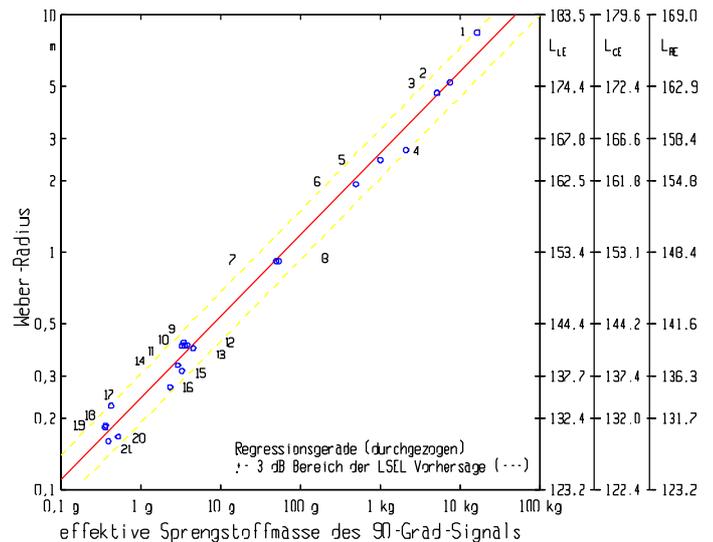


Abb. 2 Korrelation zwischen effektiver Sprengstoffmasse und Weber-Radius

1	16,5 kg TNT Sprengung	12	.300 Magnum Gewehr
2	120 mm KPz Leopard 2	13	6,5x68 Stutzen Gewehr
3	105 mm KPz Leopard 1	14	PSG 1 Gewehr
4	155 mm Haubitze (5GB)	15	.243 Winch. Gewehr
5	1 kg TNT Sprengung	16	5,6x50 Stutzen Gewehr
6	500 g PETN Sprengung	17	Pistole SIG
7	DM54 Sprengsimulator	18	Pistole P1
8	20 mm SPz Marder	19	9 mm Signalpistole
9	.300 Winch. Hohlsplitz	20	Maschinenpistole MP5
10	.300 Winch. Vollmantel	21	.22 Hornett Gewehr
11	Mauser SR93 Gewehr		

Literaturhinweise

- /1/ K.-W. Hirsch: „Messung der Emissionsdaten von Mündungsknallen“, VDI Bericht zur Schalltechnik '98, Freizeitanlagen und Schießgeräusche, NALS im DIN und VDI, im Druck
- /2/ W. Weber: „Das Schallspektrum von Knallfunken und Knallpistolen mit einem Beitrag über die Anwendungsmöglichkeiten in der elektroakustischen Meßtechnik“, Akustische Zeitschrift 4(1939), 377-391
- /3/ J. Wempen: „Schallausbreitung über Erdboden“, Dissertation Universität Oldenburg, Bibliotheks- und Informationssystem der Universität Oldenburg, Oldenburg 1991
- /4/ K.-W. Hirsch: „Anmerkungen zu Schallausbreitungsmodellen für Knallimpulse“, Fortschritte der Akustik, DAGA 97 Kiel, 264-265