

# Messung und Prognose von Schießlärm

## ISO 17201 Teile 1 bis 5

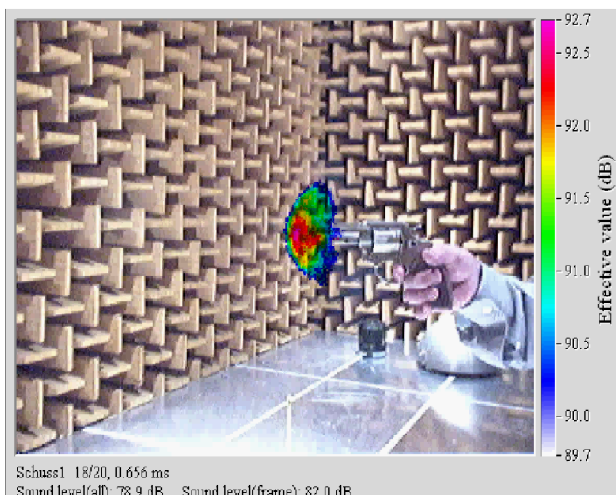
D. Kühner

deBAKOM GmbH, 51519 Odenthal, Deutschland, Email: Kuehner@debakom.de

### Einleitung

Schießlärm unterscheidet sich von Industrie- oder Verkehrslärm durch seinen transienten zeitlichen Verlauf. Ein Schallleistungspegel – die klassische Kenngröße in der Akustik für die Emission – kann für eine solche Quelle physikalisch sinnvoll nicht angegeben werden. Der Geschosknall ist keine Punktquelle wie der Mündungsknall, sondern eine kohärente Linienschallquelle. Auch eine solche Quelle entzieht sich den gewohnten Beschreibungsmethoden.

Die Schallabstrahlung des Mündungsknalls, der durch die sich mit Überschallgeschwindigkeit ausdehnenden Gase an der Mündung entsteht, ist stark gerichtet. Dies sei anhand eines kurzen Videos mit der Aufnahme des Schusses einer Schreckschusspistole dargestellt.



**Abbildung 1:** Abstrahlung von Schall vom heißen, sich bewegenden Treibgas.

Deutlich ist erkennbar, dass sich die heißen Gase der Treibladung bewegen und dabei in Schussrichtung stark abstrahlen (blau) und in der Gegenrichtung schwach (gelb). Die Quelle selbst bewegt sich.

Ausgehend von diesen physikalisch komplexen, instationären Vorgängen war klar, dass die bekannten Methoden zur Beschreibung der Schallquelle und der Schallausbreitung nicht ohne weiteres auf Schießlärm übertragen werden können.

Ausgehend von der unterschiedlichen Praxis im Umgang mit den Schallemissionen und –immissionen von Schießanlagen im militärischen und zivilen Bereich, ist Mitte der 90er Jahre der Antrag des Verbandes der europäischen Munitionshersteller (AFEMS) entstanden, dieses Problem durch eine Reihe von Normen bei CEN anzugehen, um sicherzustellen, dass die im Zusammenhang mit Schießlärmimmissionen

auf tretenden Probleme zumindest innerhalb der Europäischen Union in gleicher Weise angegangen werden. Einigkeit bestand von Anfang an, dass diese Normen die Beurteilung von Schießlärm nicht einschließen sollen, da dies in der Hoheit der jeweiligen Länder liegt. Das CEN hat die ISO aufgefordert, eine solche Norm zu erstellen.

Aus der komplexen Aufgabenstellung sind 5 Normen konzipiert worden, die alle die gemeinsame Überschrift:

*Akustik – Geräusche von Schießplätzen*

tragen. Die Titel der einzelnen Teile lauten:

- Teil 1: Bestimmung des Mündungsknalls durch Messungen
- Teil 2: Berechnung von Quelldaten – Mündungsknall und Geschosknall
- Teil 3: Hinweise zur Schallausbreitungsberechnung
- Teil 4: Abschätzung des Geschosgeräusches
- Teil 5: Lärmmanagement.

Der Teil 1 ist internationale Norm, die Teile 2 und 4 liegen als internationale Entwürfe bzw. letzte Entwürfe (final drafts FDIS) vor. Die Teile 3 und 5 sollen 2006 als Entwurf (Committee Draft) abgeschlossen werden.

Im Folgenden soll auf die unterschiedlichen Normen eingegangen und das grundsätzlich Neue erläutert werden. Der Teil 1 bildet die Grundlage für die Teile 2 bis 5.

### Bestimmung des Mündungsknalls durch Messungen

Dieser Teil legt ein Messverfahren fest, mit dem die akustische Schallenergie des Mündungsknalls für Waffen mit Kalibern kleiner 20 mm und Treibladungen von weniger als 50 g TNT-Äquivalent gemessen werden kann. Damit sind alle im zivilen Bereich genutzten Waffen abgedeckt.

Die Basis des Messverfahrens ist die Schallexposition:

$$E = \int_T p^2 \cdot (t) dt \quad (1)$$

wobei sich die Integrationszeit T über das Ereignis erstreckt. Daraus ergibt sich der Schallexpositionspegel:

$$L_E = 10 \lg \left[ \frac{E}{E_0} \right] \text{ dB} \quad (2)$$

wobei  $E_0 = 400 \text{ m Pa}^2 \cdot \text{s}$  ist.

Aus der Schallexposition kann unmittelbar die Schallenergie  $Q$  über Luftschallimpedanz und Integration über die Oberfläche errechnet werden. Daraus ergibt sich der Schallenergiepegel:

$$L_Q = 10 \lg \frac{Q}{Q_0} \text{ dB} \quad (3)$$

wobei  $Q_0=10^{-12} \cdot \text{J}$  ist.

Die Schlüsselgröße zur Erfassung ist jedoch nicht der Schallenergiepegel, sondern die winkelabhängige Schallenergieverteilung  $S_q$ :

$$S_q(\alpha) = \frac{dQ}{d\Omega} \quad (4)$$

wobei  $\Omega$  der Raumwinkel in sterad sr ist und  $\alpha$  der Winkel zwischen der Schussrichtung und dem Beobachtungspunkt von der Mündung aus gesehen. Der Definition liegt die Annahme zugrunde, dass die Abstrahlung des Mündungsknalls rotationssymmetrisch zur Schussrichtung ist. Der Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung  $L_q(\alpha)$  mit dem Bezugswert  $S_0 = 10^{-12} \text{J/sr}$  (Joules pro sterad).

$$L_q(\alpha) = 10 \lg \left( \frac{S_q(\alpha)}{S_0} \right) \quad (5)$$

Die Geometrie, die der Norm zugrunde liegt, ist in Abb. 2 dargestellt:

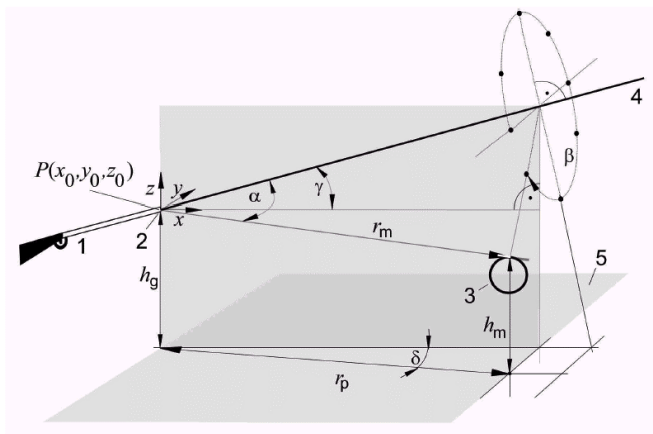


Abbildung 2: Der Norm zugrunde liegende Geometrie.

Die Grundgleichung, mit der der Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung bestimmt wird, lautet:

$$L_q(\alpha_n) = L_E(r_m, \alpha_n) + A_{div}(r_m) - 11 + A_{atm}(r_m) + A_z + A_{gr} \quad (6)$$

wobei die Messung im Abstand  $r_m$  unter dem Winkel  $\alpha_n$  erfolgt. Dabei ist anlehnend an die Bezeichnungen der ISO 9613-2

- $A_{div}$  : die geometrische Ausbreitung
- $A_{atm}$  : die Luftabsorption
- $A_{gr}$  : eine Freifeldkorrektur, da die Messungen

nur über reflektierendem Grund im Freien durchgeführt werden können

- $A_z$  : eine Korrektur für Temperatur und Luftdruck

gemeint. Die Norm legt neu fest, dass die Messungen kreisförmig um die Mündung in äquidistanten Winkeln durchgeführt werden. Die mittlere winkelabhängige Schallenergieverteilung wird durch eine räumliche Fouriertransformation bestimmt:

$$\bar{L}_q(\alpha) = a_0 + \sum_{j=1}^{N=1} a_j \cdot \cos(j \cdot \alpha) \quad (7)$$

Der Schallenergiepegel ergibt sich durch Integration über die Oberfläche:

$$L_Q = 10 \lg \frac{1}{r_0^2} \int_{\beta=0}^{2\pi} \int_{\alpha=J}^{\pi} 10^{0.1 \bar{L}_q(\alpha)} r_0 \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha \cdot d\beta \quad (8)$$

Das Richtwirkungsmaß  $D(\alpha)$  erhält man aus

$$D(\alpha) = \bar{L}_q(\alpha) - (L_Q - 10 \log(4\pi)) \quad (9)$$

In der Praxis ist die Bestimmung von  $A_{gr}$  von erheblicher Bedeutung. Die Norm legt kein bestimmtes Verfahren dazu fest; im Anhang wird auf das Verfahren von Wempen [1] hingewiesen, das die Bodenimpedanz durch den Strömungswiderstand des Bodens beschreibt und die Tatsache berücksichtigt, dass es sich bei dem Mündungsknall um eine Kugelwelle handelt. Es zeigt sich, dass die Auswertung nicht sehr sensibel auf Variationen des Strömungswiderstandes reagiert.

Die mit dem Verfahren erreichbaren Genauigkeiten liegen bei ca. 0.5 dB, so dass unterschiedliche Waffen und Munitionsorten gut zu unterscheiden sind.

Der Pegelunterschied bei gleicher Munition und einem Lauf der Länge von 68 cm und 71 cm kann gerade noch nachgewiesen werden.

Die Messungen sind aufwendig, so dass es nahe liegend ist, die winkelabhängige Schallenergieverteilung aus theoretischen Modellen und Daten über den Waffentyp und die Treibladungsennergie zu bestimmen. Dies ist ausführlich im Teil 2 dargestellt. Die Grundzüge der Theorie sind seit den 40er Jahren bekannt. Man geht davon aus, dass der Mündungsknall durch Abstrahlung von der Oberfläche der Treibladungswolke erzeugt wird und zwar in dem Augenblick, in dem die Oberfläche dieser Wolke Schallgeschwindigkeit erreicht. Ist die Form der Wolke bekannt, kann die Schallabstrahlung unmittelbar berechnet werden (siehe Abb. 1).

Diese Norm enthält ein Ablaufdiagramm, mit dem  $S\alpha(q)$  aus verfügbaren Daten errechnet werden kann.

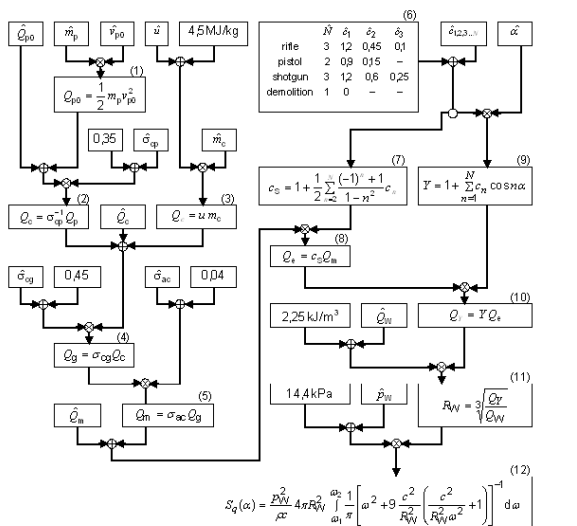


Abbildung 3: Flussdiagramm zur Abschätzung der Quelldaten des Mündungsknalls.

Die Übereinstimmung zwischen berechnetem und gemessenem Schallenergiepegel und Richtcharakteristik ist ausreichend.

Im Abschnitt 5.2 der ISO 17201-2 findet sich u.a. eine Abschätzung der Schallenergie des Geschossgeräusches sowie eine Darstellung, wie die Schockwelle zu berechnen ist. Dies wird ergänzt durch den Teil 4 der Norm „Abschätzung des Geschossgeräusches“, der es erlaubt, die Schallexposition des Geschosknalls am Immissionsort unmittelbar abzuschätzen. Diese Norm baut auf detaillierte Untersuchungen der holländischen Armee auf.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Geschosknall für kleinkalibrige Projektile bedingt durch die Länge des Geschosses durch ein Pfeifen charakterisiert ist und nicht durch einen Knall, wie es in dem Buch von Erich Remarque „Im Westen nichts Neues“ sehr anschaulich beschrieben ist.

Der Teil 3 der Norm befasst sich insbesondere mit der Schallabstrahlung von Schießständen und mit dem Problem der Mehrfachabschirmung und der Beugung zur Seite von Sicherheitsbarrieren. Die Behandlung dieser Frage unterliegt derzeit noch einer detaillierten fachlichen Diskussion.

Teil 5 befasst sich mit dem Management eines Schießstandes. Die dabei zugrunde liegende Idee baut darauf auf, dass für jeden Schießstand in einer Schießanlage für die lauteste Waffen-Munitionskombination der Expositionspegel oder der LAFmax oder LAImax etc. berechnet werden kann. Dann wird berechnet, wie viele Schüsse jeweils maximal von jedem Stand aus einzeln möglich sind. Angenommen dies wären für einen Tag 50 Schuss, dann kann für jede leisere Waffen-Munitionskombination die maximale Schusszahl genannt werden. Angenommen diese läge 6 dB niedriger, dann wären maximal 200 Schuss mit dieser Kombination möglich. Das bedeutet, dass diese Norm Nicht-Akustikern eine einfache Anleitung an die Hand gibt, mit der für unterschiedliche Nutzungen am Tage die Einhaltung der Richtwerte sichergestellt werden kann.

Diese Norm zeigt auch auf, wie die berechneten Resultate auf den Maximalpegel der TALärm [2] umgerechnet werden können. Dazu werden die Umrechnungsfaktoren von Expositionspegel auf Maximalpegel in der Zeitbewertung „schnell“ unter anderem genannt.

Weiter enthält diese Norm den Umgang mit der „Emergence“. Dies ist ein Begriff, der schon in der ISO 1996-1 [3] eingeführt wurde. Unter Emergence ist der Mittelungspegel aller an einem Immissionsort einwirkenden Geräusche außer denen, die von der zu untersuchenden Anlage stammen. Dabei ist zu beachten, dass nur solche Geräusche bei der Bestimmung des Mittelungspegels zu berücksichtigen sind, die für den Immissionsort längerfristig repräsentativ sind. Nach diesem Konzept sind die Geräusche der Anlage soweit zu beschränken, dass dieser Pegel nicht überschritten wird. Dieses in England, Frankreich und neuerdings auch in Italien zur Anwendung kommende Regelung kann in Deutschland zur Anwendung kommen, wenn die Richtwerte der TALärm durch den Schießbetrieb nicht erreicht werden und daher eine ergänzende Optimierung für ein optimales Lärmmanagement gesucht wird. So könnten die Aktivitäten auf dem Schießplatz so gesteuert werden, dass die Schallimmissionen des Schießplatzes für Aufpunkte mit niedriger Emergence niedrig und für solche mit höheren Werten höher ist, falls dies so beeinflussbar ist.

### Zusammenfassung

Mit der Normenreihe ISO 17201 stehen nunmehr 5 Normen weitgehend zur Verfügung, mit denen beginnend von der Schallemission alle typisch in Schießständen auftretenden Fragen gelöst werden können. Die Anwendung insbesondere des Teils 1 hat schon dazu geführt, dass für bestimmte Waffen- und Munitionstypen über Lärminderungsmaßnahmen nachgedacht wird. Dazu gehören auch Waffen, deren Mündungsknall definiert um 5 oder 10 dB reduziert werden kann, ohne dass dazu ein Schalldämpfer im engeren Sinne erforderlich wäre.

### Literatur

[1] Schallausbreitung über Erdboden, J. Wempfen, Bibliotheks-Informationssystem der Universität Oldenburg, 1991  
 [2] TALärm, Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm, rechtsgültige Fassung vom 26.08.1998 (GMBL 1998, Nr. 26, Seite 503)  
 [3] ISO 1996-1, Akustik – Beschreibung und Messung von Umweltlärm, Teil 1: Grundeinheiten und Verfahren