

# Berechnung der Abschirmung und der Beugung bei stark gerichteten Quellen

D. Kühner

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

## Einleitung

Nach einer Untersuchung von L. Pater [1] an überdachten Schießständen ist kann die Abschirmung von Mündungsknallen nicht unmittelbar nach ISO 9613-2 [2] berechnet werden. Die Abschirmungsnäherung der ISO 9613-2 [2] baut auf Maekawa [3] auf und hat sich in der Praxis vielfältig bewährt. Pater führt die Abweichungen auf die starke Richtcharakteristik des Mündungsknalls zurück.

Ausgehend davon wurde im Rahmen der Arbeiten für die Schießlärmmnorm ISO 17201-3 [4] ein Lösungsweg gesucht dieses Problem zu lösen.

## Lösungsansatz

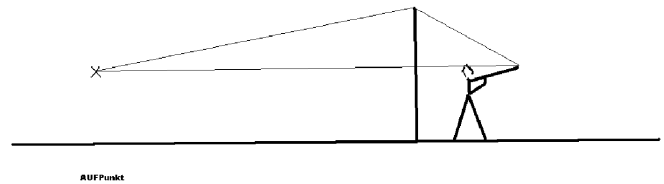
Die Abschirmung wird angenommen, wenn die Sichtverbindung Quelle zum Immissionsort durch ein Hindernis unterbrochen ist. Die Schallenergie gelangt über die offene Fläche F durch Beugung zum Immissionsort.

Der nach einem Mündungsknall auf den Immissionsort mit der Frequenz f einwirkende Schallenergiepegel  $Lq(x,y,z,f)$  kann ohne Bodenreflexion wie folgt beschrieben werden:

$$Lq(x, y, z, f) = 10 \lg \left( \frac{r^2 k_0^2}{s_0} \int_F \frac{\sqrt{St\alpha} \cdot e^{ik_0(r_0+r_1)}}{4\pi \cdot r_0 \cdot r_1 (\cos \alpha + \cos \alpha')} \cdot dF \right) \quad (1)$$

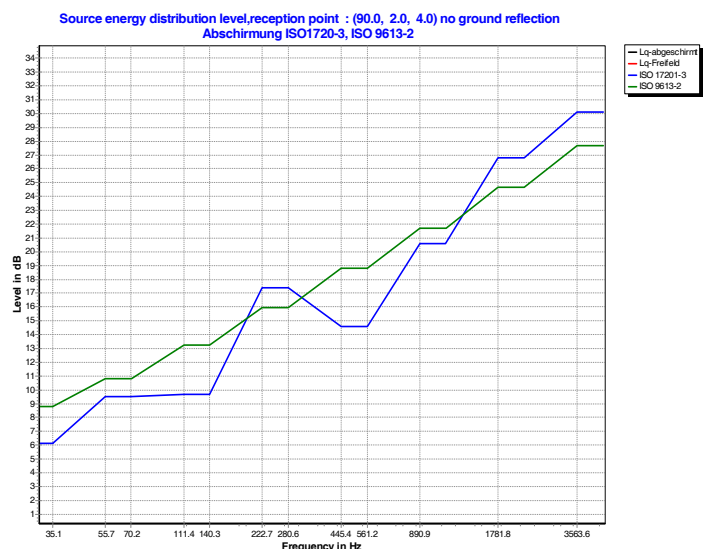
wobei  $k_0$  de Wellenvektor ist,  $s_0=10^{-12}$  J/sr (Joule per steradian) und  $s_\alpha$  die winkelabhängige Energieverteilung des Mündungsknalls. Die Integration erfolgt über die offene Fläche, die durch die Öffnung eines Schießstandes zur Schießbahn oder die Fläche oberhalb eines Schirms etc. vorgegeben ist.  $r_0$  ist der Abstand von der Mündung  $(x_0,y_0,z_0)$  zu einem Punkt auf der Fläche F und  $r_1$  der Abstand zum Aufpunkt  $(x,y,z)$ . Der Winkel  $\alpha$  ist der Winkel zwischen dem Vektor  $r_0$  und der Geschossbahn und  $\alpha'$  der Winkel des Vektors  $r_1$  zur Flächennormalen der Fläche F ist. Gl.(1) stellt die Huygen-Kirchhoff'sche Näherung für die Beugung dar [5].

Mit ihr lässt sich die Schallenergiepegel eines Mündungsknalls sowohl hinter einem überdachten Schießstand oder einer 3 oder 4m hohen Wand durch Integration über die Öffnungsflächen berechnen. In Abb.1 ist die Situation eines Trappschützen dargestellt, der vor einer 3 m hohen Schirmwand stehend entgegen der Richtung zum Immissionsort schießt.



**Abbildung 1:** Schirmwand mit Schützen und Aufpunkt P (90,0,2,0,4,0). Abstand Mündung zur Wand 2 m, Wandhöhe 4 m, Mündungshöhe 1.8 m.

In Abb. 2 ist grün die Berechnung der Abschirmung ohne Bodenreflexion nach ISO 9613-2 und blau nach Gl.(1) dargestellt.



**Abbildung 2:** Berechnung der Abschirmung ohne Bodenreflexion (grün) und nach Gl.(1) (blau), Schirmhöhe 4m Position der Mündung (2,0,0,0,1,5), Waffe 67FC400..

Die Richtcharakteristik der Waffe beträgt für den A-bewerteten Pegel 19.3dB zwischen Schuss- und Gegenrichtung.

Erwartungsgemäß ist die Abschirmung oberhalb von 1500 Hz nach Gl.(1) höher, darunter ist die Abschirmung ca. 4 bis 6 dB niedriger als die nach ISO 9613-2 [2], unter Ausnahme des Bereiches um 250 Hz. Die Berechnung wurde anhand eines gemessenen Schrotschusses durchgeführt, dessen winkelabhängige Schallenergieverteilung  $Lq(\alpha)$  dem Beispiel B der ISO 17201-1 [6] entnommen ist.

Die ISO 9613-2 [2] geht davon aus, dass sich die Abschirmung durch die Einfügungsdämpfung des Schusses ergibt, d.h. die Abschirmung ergibt sich aus der Pegeldifferenz am Aufpunkt mit und ohne Wand. Für die Beugung entscheidend ist jedoch das akustische Feld an und oberhalb der Schirmkante. Eine denkbare Korrektur wäre daher, die Richtcharakteristik  $D(\alpha)$  des Mündungsknalls für den Winkel  $\alpha$  zwischen Geschossbahn und Vektor zur Oberkante des Schirms in die Berechnung einzustellen. Dies führt zu einer Korrektur von 3 bis 4 dB und ist damit ausreichend genau.

Die Integration nach Gl.(1) lässt sich mit circa 50 Zeilen programmieren und ist Bestandteil des Anhangs des der ISO 17201-3 [4]. Mit der Näherung von Maekawa lässt sich jedoch nicht die Abstrahlung nach außen berechnen, mit Gl.(1) ist dies unmittelbar möglich unter der Voraussetzung, dass das Dach und die Innenseiten absorbierend ausgekleidet sind. Dies ist in Abb.3 dargestellt.

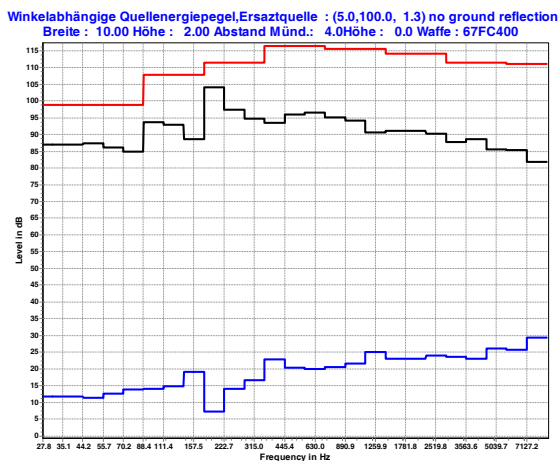


Abb.3 Freifeldpegel (rot), Ersatzquelle Mitte der Öffnung (schwarz) und Abschirmung (blau), der Immissionsort liegt 5 m vor und 90 m seitlich von der Öffnung .

Die Abschirmung von 12 dB im tieffrequenten Bereich erscheint unrealistisch. Die Reduzierung beruht darauf, dass die Öffnungsfläche 20 m\*m beträgt und damit die abgestrahlte Energie aufgrund der Absorption innen auf diese Fläche begrenzt ist, d.h die Pegelabnahme ist primär verursacht durch die reduziert abgestrahlte Energie von circa 12 dB. Ab 100 Hz macht sich zusätzlich Abschirmung zur Seite bemerkbar.

Mit Gl.(1) kann auch die Beugung der Schallenergie durch für Schießstände typische Hochblenden zur Seite berechnet werden. Dabei wird die Quelle gespiegelt zur reflektierenden Oberfläche angenommen und über die Oberfläche der Barriere als Öffnung betrachtet. Dabei kann die Absorption der Hochblende berücksichtigt werden.

In Abb. 4 ist die seitliche Beugung für einen Punkt unter 90° in 100 m Abstand dargestellt bei akustisch harter Oberfläche der Blende.

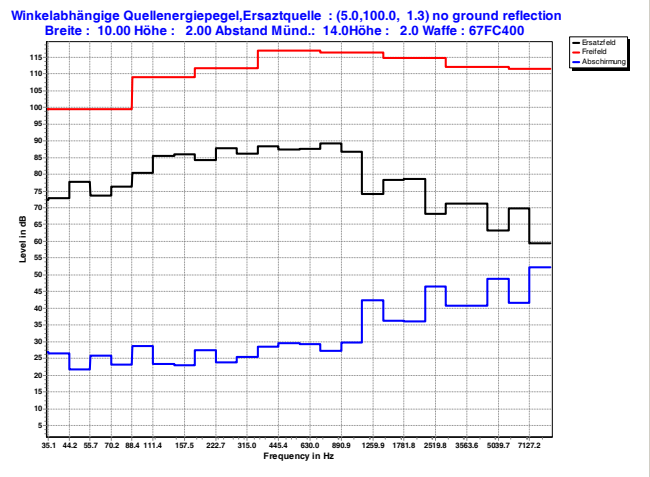


Abbildung 4: Seitliche Beugung für einen Punkt unter 90 ° in 100 m Abstand entsprechend dem Aufpunkt Abb.3.

Im Frequenzbereich unter 1000 Hz, der bei gut abgeschirmten Schießplätzen kritisch, kann der bestimmende Anteil der Schallimmission durch Beugung zur Seite bestimmt sein. Dies gilt insbesondere für solche Schießplätze bei denen die Schallabstrahlung von der Öffnung des Schießstandes durch einen seitlichen Wall abgeschirmt wird.

### Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Untersuchung wurde gezeigt, dass bei stark gerichteten Quellen die Beugung an einem Schirm nur mit Korrekturen nach ISO 9613-2 [2] berechnet werden kann. Beugung zur Seite und die Abstrahlung über die Öffnung eines überdachten Schießstandes lassen sich mit der Huygens Kirchhoff'schen Näherung, wie im Entwurf ISO 17201-3 [4] dargestellt berechnen.

### Literatur

- [1] Pater L.,
- [2] ISO 9613-2
- [3] Markawa
- [4] Hirsch
- [5] Stumpf
- [6] ISO 17201-1