

# Ansätze zur Berücksichtigung des Geschosknalls beim Lärmmanagement auf Schießanlagen

Karl-Wilhelm Hirsch, Institut für Lärmschutz, Düsseldorf

## Einleitung

Grundlage des Lärmmanagements auf Schießanlagen ist eine hinreichend zuverlässige Prognose der Immissionspegel für geplante Schießübungen. Erst nach einer Prognose kann durch betriebliche Maßnahmen, z.B. durch Reduzierung der Schusshäufigkeit, durch Verlagerung der Schießübungen innerhalb der Anlage oder durch eine Veränderung der Geschossflugbahnen die Lärmbelastung gemindert und die Wirkung solcher Managementmaßnahmen beurteilt werden. Während die ersten beiden Maßnahmen sowohl für den Mündungsknall als auch für den Geschosknall erfolgreich sein können, zielt die Änderung der Flugbahn insbesondere auf die Reduzierung des Geschosknalles.

## Managementmaßnahmen für den Geschosknall

Unter Flugbahn wird hier nicht nur die Geometrie der Flugkurve verstanden. Zu den Flugbahneigenschaften gehören neben ihrer Lage im Raum und den Geschosseigenschaften wie Masse, Durchmesser, Länge und die Form insbesondere die Geschwindigkeit und ihre Veränderung entlang der Flugbahn. Die lokale Geschwindigkeit bestimmt zusammen mit der lokalen Orientierung der Kurve im Raum die Richtung der Abstrahlung, also die flugbahnabhängige Öffnung des Machschen Kegels. Die lokale Änderung der Geschwindigkeit – eigentlich die Änderung des Anteils der lateralen kinetischen Energie abzüglich des in das Erdschwerefeld zu investierenden Anteils – bestimmt die Energie des Geschosknalls und seine geometrische Ausbreitungsdämpfung. Diese Änderung wiederum hängt entscheidend vom Reibbeiwert des Geschosses ab, der letztlich wieder signifikant von der Geschossform und der Geschwindigkeit abhängt.

Maßnahmen des betrieblichen oder baulichen Lärmmanagements können beispielsweise die Wahl einer anderen Munition bei Handfeuerwaffen, die Änderung der Flugbahn bei Haubitzen oder die Änderung der Schießrichtung sein. Diese Maßnahmen sind jeweils im Einzelfall zu betrachten. Sicherheitsmaßnahmen, die verhindern, dass das Geschoss weder direkt noch als Abpraller einen Schießstand verlässt, lassen sich in der Regel direkt auch als Schallschutzmaßnahmen für den Mündungsknall auslegen. Aber auch in so behandelten Schießanlagen wird der Geschosknall meist nur unzureichend durch die seitlichen Wälle am direkten Verlassen des Schießstandes gehindert. Deshalb kann auch auf diesen Schießständen durch eine andere Munitionswahl, eine andere Mündungsgeschwindigkeit aber auch durch die Wahl eines leichteren Geschosses unter Berücksichtigung des ballistischen Koeffizienten gegebenenfalls in Verbindung mit einer fallspezifischen Baumaßnahme ein Beitrag zur Reduzierung des Schießlärms erreicht werden.

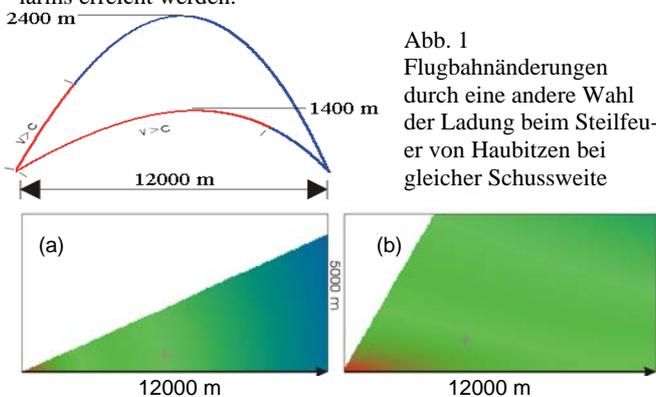
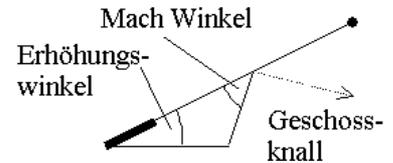


Abb. 1 Flugbahnänderungen durch eine andere Wahl der Ladung beim Steilfeuer von Haubitzen bei gleicher Schussweite

Abb. 2 Halbseitiges Geschosknallfeld der Flugbahnen in Abb. 1, (a) steile Flugbahn, (b) flache Flugbahn. Die Farben kennzeichnen von Rot über Grün nach Blau die Expositionspiegel, Abszisse ist die Projektion der Flugbahn

Eine Änderung der Schießrichtung ist auf freien, breiten Schießbahnen dann eine sachgerechte Maßnahme, wenn dadurch die

betrachtete Bebauung nicht mehr im Geschosknallbereich liegt. Besonders beim Steilfeuer, z. B. von Haubitzen o.ä., lässt sich durch die Wahl höherer Flugbahnen der



Geschosknallbereich signifikant verringern. Abb. 1 zeigt die Flugbahnen zweier Haubitzenschüsse bei gleicher Schussentfernung mit unterschiedlichen Ladungen. Abb. 2 stellt die Felder des zu erwartenden Schallpositionspegels auf dem Boden dar. Steilere Schüsse weisen einen deutlich kleineren Geschosknallbereich auf. Dies liegt auch daran, dass der Machsche Kegel stärker nach oben ausgerichtet ist.

## Prognose des Geschosknalls

Eine im obigen Sinne zuverlässige Prognose des Geschosknalls setzt erstens ein Modell zur Beschreibung der Flugbahn in Abhängigkeit und Kenntnis der oben genannten Parameter, zweitens ein Modell zur Berechnung des Geschosknalls selber und drittens – wie weiter unten deutlich wird – eine weitergehende Beschreibung der Schallausbreitung dieser Knalle voraus.

## Berechnung der Flugbahn

Modelle und Programme zur Berechnung der äußeren Ballistik für Flachfeuer von Handwaffen, z. B. nach McCoy 1978, finden sich im Internet. Für das Schießen auf Entfernungen von kleiner 300 m kann die Krümmung der Flugbahn im Hinblick auf die Berechnung des Geschosknalls vernachlässigt werden. Entscheidend für diese Fälle ist die Geschwindigkeitsabnahme des Geschosses von der Mündung bis zum Ziel. Diese Abnahme lässt sich aus dem ‚ballistischen Koeffizienten‘ des Geschosses ermitteln, der häufig vom Munitionshersteller angegeben wird. Als Anhaltspunkte können auch die allerdings groben tabellarischen Angaben über die Geschossgeschwindigkeit in typischen Schießentfernungen dienen, die ebenfalls häufig in Katalogen zu finden sind. Das IfL benutzt zur Berechnung der Flugbahnen das eigene Programm ‚Shooter‘, das auch für Steilfeuer von Haubitzen und Raketen die für das Geschosknallmodell notwendigen Parameter problemorientiert angibt.

## Berechnung des Geschosknalls

Im Entwurf der DIN ISO 17201-2, /1/, wird ein Energiemodell für den Geschosknall für flache, annähernd gerade Flugbahnen der Geschosse von Handfeuerwaffen beschrieben. Es berechnet aus den Flugbahndaten die Quellenergiedichte und die geometrische Ausbreitungsdämpfung des Geschosknalls. Der Ansatz dieses Modells ist nicht auf Geschosse von Handfeuerwaffen beschränkt. Es lässt sich auf ballistische Flugbahnen anwenden, in dem die gekrümmte Flugbahn stückweise als gerade angenommen wird.

## Diskussion einer Messung des Geschosknalls

Mit der folgenden Diskussion einer Messung des Geschosknalls wird einerseits beabsichtigt, die Anwendbarkeit des Modells der ISO 17201-2 für ballistische Flugbahnen zu unterstützen. Andererseits soll die Diskussion aber auch deutlich machen, wie komplex die Einbeziehung des Geschosknalls in ein Lärmmanagement sein wird.

Während des normalen Übungsbetriebs auf einem Truppenübungsplatz wurden die Geschosknalle von Haubitzenschüssen aus zwei verschiedenen Feuerstellungen, die auf verschiedene Ziele in einer typischen Entfernung von 10 km bis 12 km abgegeben wurden, an 7 Messpunkten im Geschosknallfeld aufgenommen. In jedem Messpunkt wurde auf dem Boden und in 5 m Höhe gemessen. Die Flugbahnen und damit die jeweils relativen Positionen der Messpunkte im Geschosknallfeld waren während der Auswertung bekannt. Im wesentlichen liegen die Messpunkte im Gegenwindsegment des Bodenwindes. Der Versuchsaufbau wird in /2/ näher beschrieben.

Zur Beurteilung der Qualität der Prognose zeigt Abb. 3 die Differenz zwischen den gemessenen unbewerteten Schallexpositionspiegeln der Geschossknalle und den ‚Modellpegeln‘. Zur Bestimmung der Modellpegel wurden zunächst mit dem Programm ‚Shooter‘ die jeweiligen Flugbahnen berechnet. Aus den Flugbahndaten ergibt sich der Freifeld-Schallexpositionspiegel in den jeweiligen Messpunkten nach den Vorschriften der ISO 17201-2. Die Modellpegel in Abb. 3 ergeben sich aus diesen Pegeln durch Addition der Luftabsorptionskorrektur, die ihrerseits nach Maßgabe des Spektrums einer N-Welle mit der nach ISO 17201-2 bestimmten Dauer und der ISO 9613-1 bestimmt wurde.

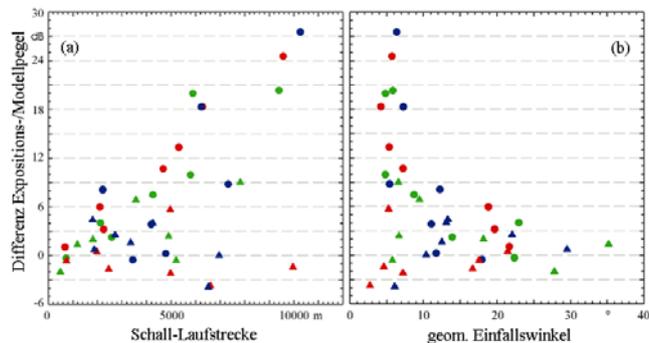


Abb. 3 Differenz zwischen dem gemessenen Freifeld-Expositionspegel und dem Modellpegel, aufgetragen über der Schall-Laufstrecke (a) und dem geometrischen Einfallswinkel (b). Die Symbole kennzeichnen unterschiedliche Flugbahnen und Messorte

In Abb. 3 bedeuten positive Differenzpegel, dass die Modellwerte höher sind als die Messwerte. Die Auftragung in Abb. 3a, die die Differenzpegel über der Laufstrecke des Geschossknalls darstellt, legt zunächst nahe, dass die Pegelüberschätzung mit der Laufstrecke tendenziell zunimmt. Diese Darstellung legt also eine Abhängigkeit von der Länge der Laufstrecke nahe und deutet somit scheinbar auf eine Schwäche der Berechnung der geometrischen Dämpfung im Geschossknallmodell der ISO 17201 hin.

Die Auftragung derselben Differenzpegel über den sich aus der Geometrie ergebenden Einfallswinkel in Abb. 3b zeigt ebenfalls eine klare Tendenz: Die Streuung und die Überschätzung nehmen zu kleineren Einfallswinkeln drastisch zu. Bei den hier betrachteten Flugbahnen sind Einfallswinkel und Schall-Laufstrecke nicht unabhängig voneinander. Die Geschossknalle stammen alle vom aufsteigenden Ast der ersten 2,5 km der Flugbahnen, die nach dieser Flugstrecke eine Höhe von etwa 1.250 m erreichen. Je kleiner der geometrische Einfallswinkel, um so größer ist deshalb tendenziell auch der Schall-Laufweg. Die folgende Diskussion legt zumindest nahe, die Abhängigkeit vom Einfallswinkel als die entscheidendere anzusehen.

Der Einfallswinkel hat durch die Bodenreflexion einen signifikanten Einfluss auf den gemessenen Pegel. In [3] wurde im Zusammenhang mit den Messungen von Flachschnüssen aufgezeigt, dass die Reflexion von Geschossknall am Erdboden durch die Reflexion von Kugelwellen an komplexen Bodenimpedanzen beschrieben werden kann. Abb. 4 zeigt deshalb die aus einer solchen Berechnung folgenden Bodendämpfungen in Abhängigkeit vom Einfallswinkel. Abb. 4a und Abb. 4b stellen den Zusammenhang für 0,05 m (Messung auf dem Boden mit Windschirm) bzw. 5 m Messhöhe für unbewertete, C-bewertete und A-bewertete Schall-expositionspegel dar. Bei der Rechnung wurde vernachlässigt, dass der Direktschall und der sich am Empfangsort überlagernde bodenreflektierte Schall von unterschiedlichen Flugbahnpunkten stammen. Diese Vernachlässigung spielt bei den Messwerten am Boden praktisch keine Rolle, bei den 5 m Messwerten ist aber ein Einfluss zu erwarten. Der Verlauf der Bodendämpfungen über dem Einfallswinkel ist bei den 5 m Werten nicht monoton. Dies ist eine Konsequenz aus der winkelabhängigen Lage des ‚Bodendips‘ relativ zum Spektrum der N-Welle, das ja ebenfalls Einbrüche hat. Die wichtige Erkenntnis aus Abb. 4 ist, dass bei kleinen Einfallswinkeln die Schall-expositionspegel drastisch einbrechen können, während bei Einfallswinkeln ab etwa 10° nur noch eine Korrektur im niedrigen Dezibelbereich erfolgt. Beim Vergleich der Bodendämpfungen mit den Differenzpegeln in Abb. 3b ist zu berücksichtigen, dass sich die Messpunkte im wesentlichen im

sichtigen, dass sich die Messpunkte im wesentlichen im Gegenwindbereich befanden. Dies hat die Folge, dass die tatsächlichen Einfallswinkel kleiner sind als die geometrischen Einfallswinkel, denn die Geschossknalle entstehen durchweg hoch über dem Erdboden und breiten sich zunächst durch ein nur schwaches Schallgeschwindigkeitsprofil aus. Erst im letzten Stück, in Bodennähe, erfahren sie tatsächlich eine Brechung nach oben und können dann mit beinahe streifendem Einfall am Empfangsort eintreffen. Immer dann, wenn Schalle streifend an einem Empfangsort eintreffen, ist die Spannweite der Empfangspegel groß.

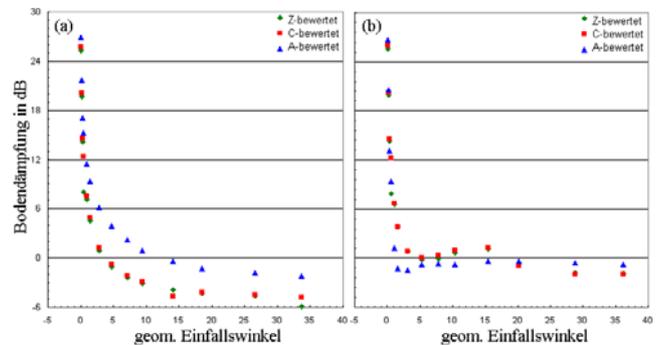


Abb. 4 Bodendämpfung des Geschossknalls in Abhängigkeit vom Einfallswinkel für eine Bodenimpedanz, die annähernd Heideboden beschreiben kann, und für eine N-Welle mit einer Dauer von 10 ms für eine Empfangshöhe von 0,05 m Messung auf dem Boden (a) bzw. 5 m (b)

Dieser Effekt tritt natürlich auch bei bodennahen Quellen und auch bei anderen Geräuschen auf. Auch dort ist er verantwortlich für große Streuungen im Empfangspegel. Es ist im Zusammenhang mit einem Lärmmanagement darauf hinzuweisen, dass die Bodendämpfung zum weitaus überwiegenden Teil ein Superpositionseffekt des Schalldrucks ist und keinesfalls bedeutet, dass am Empfangsort die akustische Energie so streut oder so gemindert wird. Ein Maß für die dort anwesende Energie ist die Freifeld-Schallexposition. Ein Prognoseverfahren für das Lärmmanagement darf diesen Effekte nicht berücksichtigen.

## Zusammenfassung

Die Einbeziehung des Geschossknalls in das bauliche und betriebliche Lärmmanagement setzt sowohl ein Modell zur Berechnung der Flugbahn als auch ein Modell zur Entstehung und Ausbreitung des Geschossknalls voraus. Die Diskussion der Messung an ballistischen Flugbahnen von Haubitzen-geschossen legt nahe, dass der Einfluss der Bodenreflexion die wesentliche Ursache für die Streuung der Messwerte bei kleinen Einfallswinkeln ist und nicht auf Schwächen des Geschossknallmodells in der ISO 17201-2 zurückzuführen ist. Es ist festzustellen, dass das Geschossknallmodell die Freifeld-Schallexposition in den Messpunkten nicht unterschätzt.

Nicht nur durch bauliche Schallschutzmaßnahmen, sondern auch durch betriebliche Maßnahmen lässt sich der Geschossknall in der Nachbarschaft von Schießanlagen mindern. Das Potential betrieblicher Maßnahmen gerade bei der Reduzierung der Beeinträchtigung durch Geschossknall ist erheblich, weil bereits durch geringfügige Änderungen an der Flugbahn der Geschossknall signifikant beeinflusst werden kann. Die Einbeziehung des Geschossknalls in das tägliche Lärmmanagement, insbesondere bei Schießplätzen für Steilfeuerwaffen, ist allerdings eine große datentechnische und betriebliche Herausforderung.

## Literatur

- /1/ ISO 17201, "Acoustics – Noise from shooting ranges", Part 2
- /2/ Hirsch, K.-W.: "On the application of the projectile sound models in ISO 17201 to ballistic trajectories", Proceedings of Internoise, Prag, 2004
- /3/ Hirsch, K.-W.; Buchta, E.: "Analysis of low-frequency projectile noise signals measured close to the ground", Proceedings of Internoise, Nizza 2000, p. 1998-2001

Diese Untersuchungen wurden vom Bundesministerium der Verteidigung gefördert.