

# Zur Weiterentwicklung der VDI 3745, Blatt 2 „Prognose von Schießlärm“

K.-W. Hirsch, Institut für Lärmschutz, Düsseldorf

## Einleitung

In der TA Lärm wird die VDI Richtlinie 3745, Blatt 1 /1/ als Grundlage für die Beurteilung von Schießlärm von Waffen mit Kalibern < 20 mm eingesetzt. Nach dieser Richtlinie wird die Lärmbelastung an maßgeblichen Immissionsorten auf Grund von Messungen des AFmax für den Tag mit voraussehbar maximalem Schießbetrieb beurteilt. Für die Planung einer neuen Anlage einerseits und die Optimierung und Bewertung von aktiven Schallschutzmaßnahmen auf einer vorhandenen Schießanlage andererseits ist das Verfahren der VDI 3745, Blatt 1 nicht vorgesehen. Dazu ist ein Prognoseverfahren erforderlich, das z.B. das Frequenzspektrum des Knalles und die besonderen Aspekte der Ausbreitung kohärenter Schalle bei einer geplanten Anlage berücksichtigt.

Die Entwicklung und Standardisierung eines solchen Prognoseverfahrens ist auf internationaler Ebene Ziel der ISO/TC 43/SC 1/WG 51. Auf nationaler Ebene begleitet das Spiegelgremium NALS A 2 AK 7 diese Arbeit. In beiden Gremien stand die Diskussion um die sachgerechte Ziel- und Rechengröße der Prognose zunächst im Vordergrund. Die Zielgröße ist die lärmakustische Größe bzw. der Pegel, der die zu erwartende Belästigung kennzeichnen soll. Die Zielgröße kann durch nationale Normen unterschiedlich vorgegeben sein; in Deutschland sollte es im Hinblick auf die VDI 3745 der AFmax sein. Die Rechengröße ist die physikalisch-akustische Größe, mit deren Hilfe die physikalischen Eigenschaften der Quelle und die Phänomene der Ausbreitung sachgerecht beschrieben werden können.

Für viele Geräuscharten ist die Zielgröße auch die Rechengröße. Das folgende Kapitel wird darstellen, warum der AFmax, aber auch die in anderen Ländern bevorzugten Immissionspegel, den Kriterien einer Rechengröße für Waffeknalle für eine Schallausbreitungsrechnung nicht gerecht werden können. Aus dieser Argumentation wird dann das Konzept deutlich, das zur Zeit verfolgt wird, um ein sachgerechtes und international – im Hinblick auf die verschiedenen Beurteilungspegel (Zielgrößen) – akzeptables Quellmodell für den Mündungsknall zu standardisieren.

## Diskussion der Ziel- und Rechengröße

Traditionell werden in der Lärmbekämpfung A-bewertete, energieäquivalente Einzahlpiegel zur Prognose des Lärms bevorzugt verwendet. Dabei soll die A-Bewertung zum einen eine gehörliche Messung sicherstellen und zum anderen die Energieäquivalenz die Erfahrung der Wirkungsforschung berücksichtigen, dass die Belästigung mit der Energie des Schalldrucksignals korreliert.

In einigen Fällen werden ersatzweise auch Maximalpegel verwendet; häufig mit der Argumentation, dass diese Pegel sicherer zu messen seien oder dass Maximalpegel besser mit der Belästigung korrelieren. Die Ersatzfunktion für die Energieäquivalenz wird in den Regelwerken dann deutlich, wenn die Anzahl der Ereignisse über die energetischen Summenbildungen berechnet werden. Ein Beispiel hierfür ist gerade die Richtlinie VDI 3745, Blatt 1 /1/.

Diese Zielgrößen der Prognose sind jeweils auf das Hören bzw. auf die Belästigung ausgerichtet. Dennoch werden diese Maße oftmals auch verwendet, um Schallschutzmaßnahmen auszulegen und zu bewerten, obwohl hier allein physikalische Phänomene zu beschreiben sind. In den meisten Situationen und für viele Geräusche im Freien führt dies zu guten, zuverlässigen Prognosen, weil es sich in der Regel um geräuschartige Lärmarten handelt, die im zeitlichen und räumlichen Mittel eine innere Korrelation zwischen Intensitäts-, Schalldruck-, Maximal- und Energiepegeln herstellen bzw. in besonderen Situationen, - z.B. vor einer reflektierenden Wand - für diese Messgrößen zu einfachen Zusammenhängen führen.

Die gute Erfahrung mit dieser inneren Korrelation und die häufig sie voraussetzende Sprache in den Regelwerken zur Lärmbekämpfung unterstützt durch einfach gestaltete Formeln beispielsweise die Pegeladdition von Maximalpegeln, ein manchmal unreflektiertes Verlassen auf die weitgehende Gültigkeit dieser inneren Korrelation. Bei Schießgeräuschen ist jedoch vieles anders. Es sind hochenergetische Knalle, bei denen sowohl im Nahbereich als auch nach Ausbreitung über größere Entfernungen Richtwirkung und Kohärenz stark ausge-

prägt sind. Eine sachgerechte Quellbeschreibung und eine zuverlässige Lärm-Immissionsprognose kann diese besonderen Eigenschaften nicht außer Acht lassen.

Die VDI 3745, Blatt 1 beschreibt die Lärmbeurteilung von Schießlärm auf der Basis des gesteuerten Messens von auftretenden Emissionssituationen. Diese Messung erfasst implizit alle besonderen Eigenschaften der Quelle und der Knallausbreitung, ohne dass diese selbst – Quelle und Ausbreitung – beschrieben oder verstanden werden müssen. Man gelangt so zu einer zuverlässigen Grundlage für die Lärmbeurteilung in dem betrachteten Messort. Das Ergebnis gilt allerdings nur für diesen Ort. Die Richtlinie ist deshalb keine Grundlage für eine Prognose, die voraussetzt, dass man die Quelle und die Knallausbreitung kennt und beschreiben kann. Flächige Darstellungen der Lärmimmission, also Schallimmissionspläne beispielsweise, können nach dieser Richtlinie nicht entstehen.

Es gibt sehr gute Gründe dafür, dass die VDI 3745 den AFmax der Emissionssituation als Messgröße gewählt hat: Sie ist bei Einzelereignissen relativ einfach zu bestimmen. Ihre eigentliche Zielgröße im Hinblick auf die Ermittlung einer Lärmbeurteilung ist jedoch der AX. Dies wird deutlich, wenn aus den Einzelereignispegeln Beurteilungspegel berechnet werden: Die Umrechnung erfolgt durch „die mittlere Dauer der einzelnen Schüsse“, die auf 125 ms festgesetzt ist. Hier wird also die oben als innere Korrelation zwischen den Pegelarten bezeichnete Behauptung ausgenutzt und implizit verwendet: De facto wird also vorausgesetzt, dass der AX gerade um 9 dB kleiner ist als der AFmax.

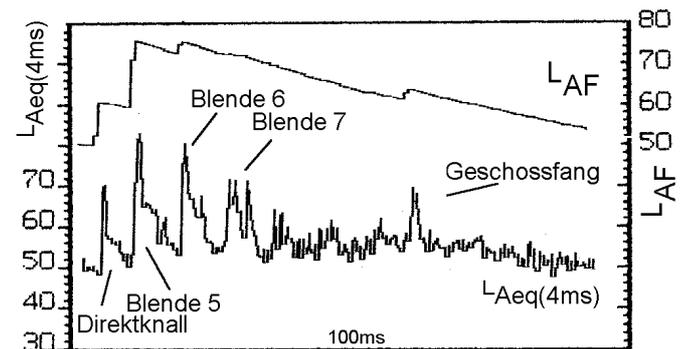


Abb. 1 Zeitverlauf des  $L_{AF}$  und des  $L_{Aeq(4ms)}$  in einem Messort 400 m hinter dem Schützen eines Schießstandes

Immer dann, wenn Reflexionen im Nahbereich der Quelle zu deutlich zeitversetzten Signalen im Empfangsort führen, kennzeichnet aber der AFmax nicht mehr den wirklich eintreffenden Schall. Ein Beispiel aus der Praxis soll das belegen. Abb. 1 zeigt den Zeitverlauf des  $L_{AF}$  und des  $L_{Aeq(4ms)}$ , aufgenommen in 400 m Abstand hinter einem Schießstand beim Schießen an der 100 m Position, hier zwischen der 4. und 5. Blende des Schießstandes. In diesem Fall führen die Reflexionen an den Sicherheitsblenden des Schießstandes zu einer Folge von Signalspitzen. Der Höreindruck des Signals gleicht dem eines Feuerstoßes. Der AFmax wird durch die Reflexion an der in Schießrichtung ersten Blende (Blende 5) bestimmt, während der AX die Signalenergie der gesamten Folge integriert. Die Reflexion an Blende 7 wird bereits erheblich durch Mehrfachreflexionen an den Blenden überlagert. Die Korrelation zwischen Maximalpegel und energieäquivalentem Pegel ist aufgehoben. Das Verhältnis vom AFmax zum AX hängt vom zeitlichen Abstand relativ zur 125 ms Zeitkonstante ab.

Diese Diskussion zeigt, dass bei Schießgeräuschen die typisch unterstellte Entartung bzw. innere Korrelation der Messgrößen in vielen Fällen aufgehoben ist: Maximalpegel korrelieren nicht mehr mit Pegeln der Signalenergie, Signalenergiepegel korrelieren nicht mehr mit Pegeln der akustischen Energie. Das Beispiel macht auch deutlich, dass bei der Beurteilung einer Schießanlage nach VDI 3745, Blatt 1 sowohl die Auswahl der maßgeblichen Immissionsorte als auch die Bestimmung eines sachgerechten AFmax einer Emissionssituation stets durch eine Signalanalyse begleitet werden sollte. Für eine Prognoserechnung für Maximalpegel folgt aus dem Beispiel, dass für

derartige Zielgrößen auch die zeitliche Signalfolge zu berechnen ist; eine ungewöhnliche Forderung an Schallausbreitungsmodelle.

Nach dieser Betrachtung scheinen signalenergie-äquivalente Schallpegel wie der AX hier Vorteile zu haben, da sie als Summe der Einzelbeiträge unabhängig von ihrer Eintreffzeit berechnet werden können. Diese Vorteile relativieren sich aber dann, wenn man berücksichtigt, wie diese Signale entstehen. Wegen der kohärenten Überlagerung der Bodenreflexion (im Bereich des Empfangsortes) und des Direktschalls für jeden Signalanteil (Blendenreflexion o.ä.) hat die Bodenbeschaffenheit in der Umgebung des Empfangsortes und die Messhöhe einen sehr großen Einfluss auf den gemessenen Zeitverlauf des Schalldruckes /2/. Bei flachen Einfallswinkeln löschen sich Frequenzanteile aus, andere zeigen eine Pegelverdopplung. Diese Einbrüche und Verdopplungen gleichen sich beim Schießlärm bei Wiederholungsmessungen nicht aus, da der Mündungsknall eine reproduzierbare Schallquelle ist und auch der Quellort selbst kaum verändert wird: Das Integral des Schalldruckquadrates ist nicht mehr – auch nicht statistisch – mit der am Empfangsort vorhandenen akustischen Energie korreliert. Die Ergebnisse aus /2/ zeigen auch, dass die akustische Energie, die im Bereich des Empfangsortes nach einem Einzelereignis auftritt, von vielen Schwankungen der Ausbreitungs- und Einfallsbedingungen nahezu unberührt bleibt.

In Abb. 1 wird eine weitere Besonderheit des Mündungsknalles deutlich. Die Reflexion an Blende 5 ist nicht deshalb pegelbestimmend, weil der direkte Mündungsknall durch Maßnahmen besonders abgeschirmt ist, sondern weil die starke Richtwirkung des Mündungsknalles in Schießrichtung die Blendenreflexionen bestimmt, während der Direktschall durch mehr als 10 dB kleinere Pegel entgegengesetzt der Schießrichtung bestimmt ist. Bei der Prognose ist die Kenntnis der Quelle und hier insbesondere ihre Richtwirkung von entscheidender Bedeutung.

### Das Konzept der ISO/TC 43/SC 1/WG 51

In einigen Ländern gibt es bereits Richtlinien zur Beurteilung von Schießlärm. Die jeweils vorgeschriebenen Methoden basieren auf unterschiedlichen Zielgrößen. Es würde daher die Akzeptanz eines angestrebten Prognoseverfahrens behindern, falls ein einheitliches Beurteilungsverfahren vorgeben würde. Dieser Verzicht auf eine einheitliche Festlegung der Beurteilung hat die entscheidende Konsequenz, dass auch keine einheitliche Zielgröße angegeben werden kann. Die zu erarbeitende Richtlinie muss also für alle international zur Beurteilung von Schießlärm gebräuchlichen frequenz- bzw. zeitbewerteten Schallpegel anwendbar sein. Diese Herausforderung wiederum hat nachhaltige Konsequenzen für die Wahl der einheitlichen Rechengröße des Prognoseverfahrens: Die Rechengröße darf nicht durch Frequenz- oder Zeitbewertungen o.ä. von vorneherein in ihrer Aussagekraft beschränkt werden.

Das Konzept für ein Prognoseverfahren geht deshalb davon aus, dass die Eigenschaften der Quelle und die Phänomene der Ausbreitung physikalisch-akustisch beschrieben werden können und erst am Immissionsort aus der prognostizierten Rechengröße mit Hilfe besonderer Verfahren die jeweiligen zweckorientierten Zielgrößen bestimmt werden können. Als Rechengröße dient das Frequenzspektrum der akustischen Energie. Im Folgenden wird der Stand der Arbeit bzw. der Diskussion in der ISO/TC 43/SC 1/WG 51 skizziert

Wichtige Voraussetzung für das Durchhalten dieses Konzeptes ist eine zuverlässige Beschreibung der Schallquelle und die Bestimmung der Parameter. Der Mündungsknall wird als Punktschallquelle mit den beiden von einander unabhängigen Kenngrößen Quellstärke und Richtwirkung beschrieben. Beide Kenngrößen werden dabei mindestens in Oktavbändern betrachtet. Dabei ist die akustische Energie (eigentlich spektrale Energiedichte) des gesamten Vorgangs das Maß für die Quellstärke. Die (spektrale) Richtwirkung wird durch einen Richtfaktor beschrieben. Wegen der vorausgesetzten Symmetrie des Schallfeldes um die Schussrichtung wird der Richtfaktor durch die Koeffizienten einer Fourier-Entwicklung des Richtfaktors angegeben. Beide Kenngrößen beschreiben die Quelle im Freifeld. Die Beschreibung folgt in wesentlichen Teilen der Diskussion in /4/.

Die Bestimmung der spektralen Kenngrößen soll über eine Rundum-Messung des Schalldruckes auf einem Messkreis mit dem Radius von typisch 10 m erfolgen. Die gemessenen Schalldrucksignale sind wegen quellnaher Reflexionen bzw. durch die Bodenreflexion nicht ein direktes Maß für die akustische Energie. Die WG 51 wird deshalb Verfahren angeben, die in Abhängigkeit vom Messaufbau erlauben,

aus dem gemessenen Schalldruck die akustische Energie zu bestimmen.

Wegen der Vielfalt der Waffen und der großen Bandbreite der Munition wird es kaum möglich sein, die Kenngrößen für alle möglichen Mündungsknalle messtechnisch zu bestimmen. Der Vorschlag wird deshalb ein Schätzverfahren enthalten, das es erlaubt, auf der Basis von im Regelfall bekannter Waffen- und Munitionseigenschaften – z.B. der Mündungsgeschwindigkeit des Geschosses und der Geschossmasse o.ä. – zu bestimmen. Eine Übersicht über dieses Schätzverfahren gibt /3/. Auch dieses Schätzverfahren liefert das Spektrum der akustischen Energie und eine frequenzabhängige Richtcharakteristik.

Nach dem Stand der Diskussion soll zunächst geprüft werden, ob sich die ISO 9613-2 zur Ausbreitungsrechnung eignet. Bisher liegen noch keine Erfahrungswerte aus Vergleichen zwischen einer Rechnung nach dieser Norm und Messungen vor. Bei vielen Schießständen sind die Schützenstände überbaut. Auch diese komplexe Umgebung in Quellnähe kann in Verbindung mit der starken Richtwirkung zu besonderen Effekten führen, die bei der Ausbreitungsrechnung berücksichtigt werden müssen. Gegebenenfalls ist es auch möglich – wie Kurze und Martner es in /5/ vorschlagen – dies nicht bei der Ausbreitungsrechnung zu berücksichtigen, sondern als Quelleigenschaft mit modifizierter Richtwirkung aufzunehmen. Es gibt auch Anhaltspunkte, dass z.B. die Streuung von Blendenkanten den Pegel in der Nachbarschaft bestimmen können, ein Phänomen, das in der ISO 9613-2 nicht berücksichtigt wird.

Die Schallausbreitungsrechnung wird als Rechengröße das Spektrum der akustischen Energie (Oktav-/Terzspektrum) im Empfangsort bereitstellen. Diese Energie ist die Summe aller Einzelbeiträge, also aller Signalanteile, die auf verschiedenen Wegen aus gegebenenfalls verschiedenen Richtungen und mit verschiedenen Spektralanteilen am Empfangsort eintreffen. Es wird von der Höhe des Empfangsortes, der Bodenbeschaffenheit in seiner Umgebung und gegebenenfalls sonstiger Reflexionsflächen etc. abhängen, wie aus der dort präsenten Energie bewertete Einzahlpegel gebildet werden müssen. Die WG 51 beabsichtigt im Hinblick auf die Beurteilung lediglich eine Zusammenstellung über die in einigen Ländern festgelegten Verfahren zur Beurteilung von Schießlärm zu geben.

### Zusammenfassung

Nach dem aktuellen Stand der Diskussion in der WG 51 wird sich der internationale Standard für ein Prognoseverfahren für Schießlärm auf die Beschreibung der Quellen und der Schallausbreitungsrechnung konzentrieren. Die Beurteilungsverfahren sollen weitgehend länderspezifisch geregelt werden bzw. nach anderen internationalen Normen erfolgen. Dies hat die Konsequenz, dass Quellbeschreibung und Ausbreitungsrechnung so angelegt werden müssen, dass alle z.Z. gebräuchlichen Zielgrößen für die Beurteilung von Schießlärm daraus abgeleitet werden können. Das Konzept des neuen Standards weicht deshalb von vergleichbaren Normen für andere Lärmarten ab. Quelle und Ausbreitung werden mit physikalisch-akustischen Kenngrößen beschrieben, die erst im Empfangsort in lärmakustische bewertete Pegel umgerechnet werden.

Wahrscheinlich noch in diesem Jahr wird für die Beschreibung des Mündungsknalles als Schallquelle, die Mess- und Schätzverfahren ihrer Kenngrößen ein Entwurf vorliegen.

### Literatur

- /1/ VDI 3745, Blatt 1: „Beurteilung von Schießgeräuschimmissionen“
- /2/ Hirsch, K.-W.: „On the influence of local ground reflections on sound levels from distant blasts at large distances“, Noise Control Engineering Journal, 46(1998)5, S. 215-226
- /3/ Hirsch, K.-W.: „Estimation of acoustical source strength of muzzle blasts on the basis of launch speed and bullet weight“, Proceedings of Internoise '99, Ft. Lauderdale, USA, 1999, Editors J. Cuschieri, S. Glegg, Y. Yong, S.61-63
- /4/ Hirsch, K.-W.: „Messungen der Emissionsdaten von Mündungsknallen“, in VDI-Berichte, Nr. 1386, 1998, S.159-174
- /5/ Kurze, U.J.; Martner, O.: „Richtlinie zur Prognose von Schießgeräuschen“, Schriftenreihe Umwelplanung, Arbeits- und Umweltschutz der Hessischen Landesanstalt für Umwelt, Heft 227, 1997

Diese Untersuchungen werden vom Bundesministerium der Verteidigung gefördert.