

Zum Standardverfahren für die Berechnung der Schallimmissionen in der Umgebung von Truppenübungsplätzen

K.-W. HIRSCH, E. BUCHTA (Institut für Lärmschutz, Düsseldorf)

Einleitung

Sowohl national wie auch international existiert kein Standardverfahren zur Beurteilung der Lärmbelastung, die in der Nachbarschaft eines Truppenübungsplatzes vom Schießbetrieb mit schweren Waffen ausgeht. Ansätze für ein Berechnungsverfahren zur objektivierbaren und nachvollziehbaren Ermittlung der Geräuschbelastung liegen allerdings vor und werden weiterentwickelt (s. z.B. /1/, /2/). Für Teilaspekte des sehr heterogenen Problemfeldes gibt es Lösungsansätze.

Stand der Entwicklung

Eine inoffizielle Adhoc-Working-Group 'On Low Frequency Impulse Noise' (mit Teilnehmern aus Dänemark, Deutschland, Großbritannien, den Niederlanden, Norwegen, der Schweiz und den USA) hat inzwischen Regeln zur Beschreibung und Messung tieffrequenter Emissionen von Schießgeräuschen niedergelegt. Die Working Group koordiniert z.Z. internationale Bemühungen zur Lösung weiterer Teilaspekte.

Die ISO bereitet eine Arbeitsgruppe vor, die sich mit der Ausbreitung tieffrequenter Impulse über große Entfernungen beschäftigen wird. Grundlegende Untersuchungen zum Aspekt der Beurteilung der Lästigkeit tieffrequenter Impulsgeräusche sind noch nicht abgeschlossen /3/. Messungen der Geräuschemission und der Schallausbreitung tieffrequenter Schießgeräusche zur Schaffung einer Datenbasis laufen in internationaler Zusammenarbeit.

Vorschlag eines standardisierbaren Berechnungsverfahrens für die Geräuschbelastung in der Umgebung von Truppenübungsplätzen

Auf lange Sicht kann auf ein international vereinheitlichtes Berechnungsverfahren nicht verzichtet werden, weil militärische Anlagen in der Regel international genutzt werden. National jedoch wird kurzfristig ein Standardverfahren benötigt.

Der folgende Vorschlag für die Berechnung der Schallimmissionen in der Umgebung von Truppenübungsplätzen liefert die mittlere Geräuschbelastung im Sinne einer überschlägigen Prognose. Unter Berücksichtigung des heutigen Erkenntnisstandes orientiert sich der Vorschlag in der Vorgehensweise weitgehend an vergleichbaren einschlägigen Verfahren. Die Prognosewerte können sowohl für einen Vergleich verschiedener Lärmsituationen untereinander als auch zur Abschätzung der Lärmbelastung herangezogen werden.

Die Vorgehensweise und die notwendigen Definitionen des Berechnungsverfahrens sind in den Tabellen 1 und 2 niedergelegt. Im Rahmen dieses Beitrages kann nur auf das allgemeine Konzept und auf einige besondere Aspekte des Berechnungsverfahrens eingegangen werden.

Berechnung der gesamten Geräuschimmission als Summe der Beiträge einzelner Emissionssituationen

Das Berechnungsverfahren geht vom C-bewerteten Jahresmittelungspegel L_{Cm} als Zielgröße zur Beschreibung der Geräuschbelastung aus. Der L_{Cm} beschreibt die über ein Jahr in einen Immissionsort eingetragene Gesamtenergie aller Schießgeräusche bezogen auf die Jahresbetriebsdauer T eines Truppenübungsplatzes. Die Gesamtenergie setzt sich aus der Summe der Beiträge L_k der verschiedenen Emissionssituationen k zusammen, (Gl. 1). L_k wird durch Berücksichtigung der Ereigniszahl n_k der Emissionssituation k auf den Einzelereignispegel $L_{e(k)}$ zurückgeführt (Gl. 2). (Diese Gleichung und die folgenden gelten für jede Emissionssituation, der Index k wird deshalb weggelassen).

Einzelereignispegel des Mündungs-, Explosions- und Geschoßknalles als Beiträge zum Einzelschußpegel

Eine Übung mit schweren Waffen führt zu einer Emissionssituation mit drei typischen, unabhängig zu betrachtenden Geräuscharten: dem Mündungsknall von der Abfeuerungsstelle (dazu gehören auch Abfeuerungsgeräusche von Raketen), dem Geschoßknall von der Bahn der Flugkörper und dem Explosionsknall von der Explosionsstelle der Sprengladung. Zur Beschreibung einer Emissionssituation können alle drei Knalle (z.B. beim Haubitzeneschuß mit Sprenggeschöß) oder auch nur zwei Knalle (z.B. Mündungs- und Geschoßknall

Nr.		Bestimmungsgleichungen		
1	Jahresmitte- lungs- pegel	$L_{Cm} = 10 \lg \left(\sum_{k=1}^N 10^{0,1 L_k} \right) - 10 \lg \left(\frac{T}{T_S} \right)$		
2	Emissi- ons- situation	$L_k = L_s + 10 \lg (n_k)$		
3		$L_s = 10 \lg (10^{0,1 L_M} + 10^{0,1 L_D} + 10^{0,1 L_G})$		
		Mündungsknall	Explosionsknall	Geschoßknall
4	Einzel- ereignis- pegel	$L_i = L_{i,E} - D_i$		
5	Emissi- ons- pegel	$L_{i,E} = L_{i,E250} + D_{i,I} + D_{i,U}$		
6		$D_{i,I} = R_i(\alpha)$		
7		$D_{M,U} = R_U(\theta)$	$D_{D,U} = R_U(\theta)$	$D_{G,U} \equiv 0$
8	Pegel- min- derung auf dem Schall- ausbrei- tungs- weg	$D_i = D_{i,dis} + D_{i,abs} + D_{i,sit} + D_{i,res}$		
9		$D_{M,dis} = 20 \lg \left(\frac{d}{250m} \right)$	$D_{D,dis} = 20 \lg \left(\frac{d}{250m} \right)$	$D_{G,dis} = 10 \lg \left(\frac{d}{250m} \right)$
10		$D_{i,abs} = \beta_{i,0} \left(\frac{d}{1m} \right)^{\beta_{i,1}} (d - 250m)$		
11		$D_{i,sit} = -K_{i,lin} (d - 250m) - K_{i,log} \lg \left(\frac{d}{250m} \right)$		
12		$D_{M,res} = \sum_{j=1}^G K_{res,j} d_{res,j}$	$D_{D,res} = \sum_{j=1}^G K_{res,j} d_{res,j}$	$D_{G,res} \equiv 0$

Tab. 1 Gleichungen des vorgeschlagenen Berechnungsverfahrens

beim Haubitzenschuß mit Beleuchtungsgeschoß) oder auch nur ein Knall (z.B. Explosionsknall bei einer Sprengübung) erforderlich sein. Im allgemeinen jedoch setzt sich der Einzelschußpegel L_e einer Emissions-situation aus den Einzelereignispegeln des Mündungskalles L_M , des Explosionskalles L_D und des Geschoßkalles L_G zusammen. Da die Energiebeiträge der Geräusche zu betrachten sind, läßt sich L_e als energetische Summe dieser Beiträge darstellen (Gl. 3).

Bis zu diesem Schritt ist dieser Vorschlag weitgehend kompatibel zu verwandten einschlägigen Berechnungs-verfahren. Die nun folgenden Schritte zur Bestimmung des L_i (L_M , L_D bzw. L_G) sind so angelegt, daß das Berechnungsverfahren für alle drei Geräuscharten sowohl die gleiche prozedurale Struktur als auch die gleichen emissions-situations- und geräuschartspezifischen Modellkoeffizienten aufweist. Dieser inneren Kompatibilität wurde der Vorzug gegeben vor dem Argument der physikalischen Plausibilität. Während Mündungs- und Explosionsknalle als ruhende Punktschallquellen mit den impliziten Schallabstrahlungseigenschaften zu betrachten sind, ist die Quelle des Geschoßkalles eine sich auf einer ballistischen Flugbahn mit veränderlicher Geschwindigkeit bewegendes Punktschallquelle. Allein die Berechnung der geometrischen Ausbreitungs-dämpfung stellt in diesem Fall so hohe Anforderung an ein an den physikalischen Gegebenheiten angelehntes Modell zur Beschreibung der Schallabstrahlung und -ausbreitung, daß es den Rahmen eines Standards sprengen würde (s. /4/). Es läßt sich jedoch nachweisen, daß sich auch der Beitrag des Geschoßkalles mit sachgerechter Zuverlässigkeit durch ein Modell beschreiben läßt, das von einem festen Emissionsort ausgeht.

Symbol	Einheit	Erläuterung verwendeter Bezeichnungen
abgeleitete Größen		
L_{Cm}	dB	C-bewerteter Jahresmittelungspegel
L_k		Pegelbeitrag einer Emissionssituation
T	s	Jahresbetriebsdauer eines Truppenübungsplatzes
L_s	dB	Einzelschußpegel einer Emissionssituation
L_i		Einzelereignispegel einer Geräuschart
$L_{i, E}$		Emissionspegel einer Geräuschart
$D_{i, s}$		Pegelminderung bei der Schallausbreitung einer Geräuschart
$D_{i, l}$		Richtwirkungsmaß, abgeleitet aus der Richtwirkung der Schallabstrahlung
$D_{i, U}$		Richtwirkungsmaß, abgeleitet aus der Richtwirkung des Emissionsortes
$D_{i, dis}$		Pegelminderung durch geometrische Schallausbreitung
$D_{i, abs}$		Pegelminderung durch Absorption
$D_{i, sit}$		Pegelminderung durch sonstige Einflüsse
$D_{i, res}$		Pegelminderung über besondere Gebiete
d		m
$d_{res, j}$	Laufstrecke über das besondere Gebiet j	
α	°	Winkel zwischen Schießrichtung und Schallausbreitung
θ		Winkel zwischen Schallausbreitungsrichtung und Norden
n_k	1	Ereigniszahl der Emissionssituation k
Indices		
M	keine	Index des Mündungsknalles
D		Index des Explosionsknalles
G		Index des Geschosßknalles
i		Für diesen Index sind jeweils sinngemäß die Indices M, D, G einzusetzen
k	1	Zähler der Emissionssituationen
N		Gesamtzahl der Emissionssituationen
j		Zähler der besonderen Gebiete
G		Gesamtzahl der besonderen Gebiete
Modellkoeffizienten		
$L_{i, E250}$	dB	Pegel, 250 m Abstand, Winkel 135°, 135° bzw. 0° re. Schießrichtung bei M, D bzw. G
$R_l(\varphi)$	dB	Richtcharakteristik des Pegel in 250 m Abstand, $\varphi = 0$ ist die Schießrichtung
$K_{i, log}$	dB	logarithmischer Ausbreitungskoeffizient
$K_{i, lin}$	dB/km	linearer Ausbreitungskoeffizient
$\beta_{i, 0}$	dB/km	1. Absorptionskoeffizient
$\beta_{i, 1}$	1	2. Absorptionskoeffizient
$R_U(\varphi)$	dB	Richtcharakteristik des Emissionsortes, $\varphi = 0$ ist Norden
K_{res}	dB/km	Dämpfungskoeffizient besonderer Gebiete

Tab. 2 Definitionen der Bezeichnungen und Symbole des vorgeschlagenen Berechnungsverfahrens

Berechnung des Einzelereignispegels jeder Geräuschart

Der Einzelereignispegel für jede Geräuschart wird aus dem Emissionspegel $L_{M,E}$, $L_{D,E}$ bzw. $L_{G,E}$ und der Pegelminderung auf dem Ausbreitungsweg D_M , D_D , D_G ermittelt (Gl. 4). (Hier und in den Tabellen wird i als Index für die Geräuschart benutzt, wenn die Gleichung oder der Koeffizient für alle Geräuscharten gilt.) Bei der Berechnung des Emissionspegels $L_{i,E}$ wird sowohl die gerichtete Schallabstrahlung des Geräusches selbst $D_{i,1}$ als auch eine mögliche Richtwirkung der Topographie im Nahbereich des Emissionsortes $D_{i,U}$ berücksichtigt (Gl. 6). Die zweite Korrektur ist nur selten notwendig, beim Geschoßknall tritt sie nicht auf.

Die Pegelminderung auf dem Schallausbreitungsweg wird durch drei abstandsabhängige Beiträge und einem laufstreckenabhängigen Beitrag berücksichtigt (Gl. 8). Der Abstand d ist auch für den Geschoßknall der Abstand zwischen der Abschußstelle und dem Immissionsort. Für die geometrische Ausbreitungsdämpfung $D_{i,dis}$ ist für Mündungs- und Explosionsknalle eine kugelförmige, für den Geschoßknall eine zylinderförmige Ausbreitung unterstellt (Gl. 9). Der Beitrag der Absorption $D_{i,abs}$ ist abstandsproportional. Der Koeffizient $\beta_{i,1}$ modifiziert den typischen Absorptionskoeffizienten $\beta_{i,0}$ in Abhängigkeit vom Abstand, um Verschiebungen des spektralen Energieschwerpunktes im Knallgeräusch während der Ausbreitung für die Bildung des Einzelpegels berücksichtigen zu können (Gl. 10). Dies ist insbesondere bei höherfrequenten Knallen erforderlich, deren Pegel im Nahbereich stärker abfällt als im Fernbereich.

Der Beitrag $D_{i,sit}$ faßt alle sonstigen Einflüsse auf die Schallausbreitung zusammen, ohne sie explizit einzelnen physikalischen Phänomenen zuzuordnen. $D_{i,sit}$ bietet jeweils einen im Bezug auf den Abstand logarithmischen und einen linearen Term. Die Bereitstellung dieser beiden Terme ist ausreichend, um das Modell an empirisch ermittelte Schallausbreitungen anpassen zu können (Gl. 11). Die Anpassung hat immer so zu erfolgen, daß die Koeffizienten eine Ausbreitung bei günstigen Schallausbreitungsbedingungen beschreiben.

Die Einführung einer Pegelminderung über besondere Gebiete $D_{i,res}$ ist erforderlich, um pauschal zusätzliche, von der lokalen Topographie abhängige Pegeländerungen berücksichtigen zu können (Gl. 12). Als besonderes Gebiet kann z.B. der Bereich der hohen Bebauung einer Stadt eine Bebauungsdämpfung liefern. Durch $D_{i,res}$ ist es auch möglich, die in $D_{i,sit}$ vorgegebene Pegelminderung für den Bereich einer Wasseroberfläche teilweise aufzuheben. Für den Geschoßknall ist dieser Term identisch Null.

Aufbereitung der Modellkoeffizienten

Die Modellkoeffizienten sind waffen- und geräuschartspezifisch. Es ist daher für jede Emissionssituation ein ganzer Satz von Modellkoeffizienten erforderlich. Da selbst waffentechnische scheinbar geringfügige Änderungen der Emissionssituation (z.B. die Wahl einer anderen Munition) zu einer signifikanten Änderung der akustischen Emission führen können, sind die Modellkoeffizientensätze so aufzubereiten, daß sowohl eher pauschale wie auch sehr spezifische Angaben zur Aktivität zu einer sachgerechten Pegelrechnung führen. Sachgerecht im Sinne dieses Verfahrens heißt, daß pauschalere Angaben stets zu gleichen oder höheren Pegeln führen sollen, als spezifischere Angaben.

Das Konzept der vorgeschlagenen Datenbank berücksichtigt diese Maxime durch die Anwendung der vier Ordnungskriterien: Klasse, Gruppe, Waffe, Munition. Die 'Klasse' ordnet und klassiert die Aktivität im Hinblick auf den Energieumsatz hierarchisch. Die 'Gruppe' gliedert die jeweilige Klasse nach Waffensystemen mne-motechnisch. 'Waffe' und 'Munition' setzen diese Klassierung innerhalb einer Gruppe sinngemäß fort.

Der Zugriff auf die Koeffizientensätze kann mit voller Spezifikation der Kriterien oder nur unter Angabe bekannter höherwertiger Kriterien erfolgen. Bei dem nicht voll spezifizierten Zugriff erhält man Referenz-Koeffizienten, die bei unspezifizierter Munition allgemein für die Waffe, bei unspezifizierter Munition und Waffe allgemein für die Gruppe und bei unspezifizierter Munition, Waffe und Gruppe allgemein für die Klasse pauschal gelten. Die Klassenreferenz läßt sich immer angeben, da sich die emittierte akustische Energie hinreichend zuverlässig aus dem Energieumsatz abschätzen läßt.

Literaturhinweise

- /1/ Schomer, P.D. et al.: Blast Noise Prediction, US CERL Technical Reports N-98, 1981, N-86/12, 1986
- /2/ Hirsch, K.-W.; Buchta, E.: Zur Schallausbreitung tieffrequenter Impulsgeräusche über große Entfernungen, Fortschritte der Akustik - DAGA '91, Bad Honnef: DPG-GmbH 1991, S.539 - 542
- /3/ Buchta E. et al.; Schomer, P.D. et al.: Belästigung durch Kanonenlärm in dB(C) und Straßenverkehrslärm in dB(A), noch zu veröffentlichen
- /4/ Hirsch, K.-W.; Buchta, E.: Zur Berücksichtigung des Geschoßknalles bei der Berechnung von Lärmkarten für die Umgebung von Truppenübungsplätzen, Fortschritte der Akustik - DAGA '91, Bad Honnef: DPG-GmbH 1991, S.393 - 396