

ZUR SCHALLAUSBREITUNG TIEFFREQUENTER IMPULSGERÄUSCHE
 ÜBER GROSSE ENTFERNUNGEN

K.-W. Hirsch, E. Buchta

Institut für Lärmschutz, Düsseldorf

Einleitung

Tieffrequente Impulsgeräusche mit einem spektralen Energieschwerpunkt unterhalb von 50 Hz prägen die Geräuschsituation in der Umgebung von Truppenübungsplätzen (Tr.Üb.Pl.). Zur Berechnung von Langzeit- oder Tagesmittlungspegeln nach einem Kalkül, das die Beiträge verschiedenartiger Impulsgeräusche aus den auf einer ausgedehnten Fläche verteilt liegenden Emissionsorten zu einer Einzahlangabe zusammenfaßt /1/, ist ein sachgerechtes Schallausbreitungsmodell für Impulsgeräusche über große Entfernungen eine wichtige Voraussetzung.

Die Schallausbreitung im Freien wird maßgeblich durch die Witterung (Wind- und Temperaturverteilungen) und durch das Gelände (Schirmwirkungen, Bodenbeschaffenheit, Bewuchs) beeinflusst. Die Witterungseinflüsse führen einerseits zu großen statistischen Streuungen in den Einzelereignispegeln, andererseits bewirken sie systematische Pegelverschiebungen. Das Ausbreitungsmodell sollte es gestatten, die Witterungs- und Geländeeinflüsse zu beschreiben. Da jedoch einfache und zuverlässige theoretische Ansätze zur Beschreibung dieser Phänomene fehlen, ist beim Modellansatz für diese Phänomene jeweils abzuwägen, wie weitgehend dieser Einfluß im Hinblick auf den Zweck des Ausbreitungsmodells zu formulieren ist oder überhaupt formuliert werden kann. Bei dieser Abwägung spielt sowohl der Aufwand bei der numerischen Rechnung, der relative Beitrag des Phänomens zum Pegel als auch die Verfügbarkeit gegebenenfalls notwendiger Detailangaben zur Charakterisierung der Phänomene eine Rolle.

Schallausbreitungsmodell für tieffrequente Impulsgeräusche

Es wird ein Schallausbreitungsmodell für Impulsgeräusche verwendet, das von theoretischen Ansätzen für die geometrische Schallausbreitung und für die Luftabsorption ausgeht und Witterungs- und Geländeeinflüsse durch pragmatische Ansätze empirisch erfaßt. Gleichung Gl.1 beschreibt den mittleren Einzelereignispegel L eines Impulsgeräusches in Abhängigkeit vom Abstand vom Emissionsort und vom Winkel zur Symmetrieachse der Quelle.

$$L(s, \phi) = L_1(s_1, \phi_1) + \Delta L_R(\phi - \phi_1) + \Delta L_g(s/s_1) + \Delta L_A(s, s - s_1) + \Delta L_u(s/s_1) + \Delta L_w(s/s_1, g) \quad (1)$$

$L_g(s/s_1)$	"Emissionspegel"		
$\Delta L_R(\phi - \phi_1) = 10 \lg(\phi - \phi_1)$	Richtungskorrektur	s, s_1	Abstand, Bezugsabstand
$\Delta L_g(s/s_1) = -20 \lg(s/s_1)$	Abstandskorrektur	ϕ, ϕ_1	Winkel, Bezugswinkel
$\Delta L_A(s, s - s_1) = a(s)(s - s_1)$	Absorptionkorrektur	g	Schallgeschwindigkeitsgradient
$\Delta L_u(s/s_1) = -u \lg(s/s_1)$	Geländekorrektur	ϕ	Richtungsfaktor
$\Delta L_w(s/s_1, g) = -b g \lg(s/s_1)$	Gradientenkorrektur	a	Absorptionskoeffizient

Der Pegel L_1 als Pegel bei den Bezugskoordinaten wird durch die Richtungskorrektur ΔL_R nach Maßgabe des Richtungsfaktors der Quelle auf die Schallausbreitungsrichtung bezogen. Die Abstandskorrektur ΔL_g berücksichtigt die Pegelminderung durch die geometrische Schallausbreitung.

Die Absorptionskorrektur ΔL_A erfaßt die Dissipation in Luft, die in Abhängigkeit von der Frequenz für mittlere Werte der Luftfeuchtigkeit und Temperatur aus Tabellen zu entnehmen ist. Allerdings erfordert die Breitbandigkeit der Impulsgeräusche eine Berücksichtigung der Frequenzabhängigkeit dieses Pegelbeitrages. Dies kann beispielsweise durch eine in Frequenzbändern separierte Berechnung der Verluste erfolgen, die aber einen numerischen Aufwand zur Folge hat, der der Korrektur im Hinblick auf ihren relativen Beitrag zum Gesamtpegel nicht gerecht wird. Einen problemgerechten Ansatz, wie im IfL-Prognoseverfahren /1/ enthalten, erhält man, wenn man die Absorptionskorrektur im Abstand s nach Maßgabe der Absorption in der in diesem Abstand pegelbestimmenden Terz berechnet. Diese Terz läßt sich vorab für jedes spezifische Impulsgeräusch angeben. Für die hier zu beschreibenden Impulsgeräusche wird der Energieschwerpunkt im Spektrum jedes Geräusches bei den Bezugskordinaten gemessen und unter der Annahme eines theoretischen Knallspektrums /2/ die benötigte Abhängigkeit berechnet.

Die Geländekorrektur ΔL_u erfaßt empirisch die Einflüsse durch Schirmwirkungen, Bodenbeschaffenheit und Vegetation. Für den Zweck des Modells ist es sachgerecht, einen pragmatischen Ansatz mit einer logarithmischen Abstandsabhängigkeit zu wählen. Eine differenziertere Berücksichtigung dieser Phänomene würde zum einen von einer Fülle von Eingabeparametern abhängig machen (Topographie von 300 km²), zum anderen würde wegen der Wellenabhängigkeit der Schirmeffekte und wegen der Frequenzabhängigkeit der Zusatzdämpfung durch die Bodenbeschaffenheit ein in Frequenzbändern separierte Berechnung erforderlich sein. Der Koeffizient u ist nur pauschal abhängig von der vorherrschenden Geländeform (z.B. Mittelgebirgslandschaft oder Flachland) und vom Spektrum des jeweiligen Impulsgeräusches.

Die Gradientenkorrektur ΔL_w berücksichtigt den Einfluß von Schallgeschwindigkeitsgradienten. Ein Schallgeschwindigkeitsgradient kann durch die Änderung des Betrages und/oder der Richtung des Windvektors oder durch Temperaturschichtungen bewirkt sein. Es ist offensichtlich, daß in Bodennähe durch Einwirkung des Geländes, des Bewuchses und sonstiger Hindernisse turbulente Strömungen entstehen, die in Verbindung mit lokalen Temperaturgradienten ein bodennahes "chaotisches" Gradientenfeld erzeugen. Das Modell kann die Einflüsse dieser Mikrometeorologie nicht berücksichtigen. Allerdings werden bei der Schallausbreitung über große Entfernungen zunehmend regionale Windverhältnisse und Temperaturen an Einfluß gewinnen. Zur Charakterisierung des regionalen Wetters stehen zweistündliche Abtastwerte für die horizontalen Komponenten des Windvektors und für die Lufttemperatur in 10 m Höhe und in Höhe der 900 hPa-Isobaren zur Verfügung. Unterstellt man sowohl für das Windprofil (Höhenabhängigkeit der horizontalen Windgeschwindigkeitskomponente in Schallausbreitungsrichtung) wie für das Temperaturprofil (Höhenabhängigkeit der Temperatur) eine logarithmische Höhenabhängigkeit, läßt sich ein regionaler Schallgeschwindigkeitsgradient ableiten. Diese sehr grobe Näherung ist in Anbetracht der langen Schallwege und der Verfügbarkeit der Wetterdaten ein sachgerechter Ansatz. Der Koeffizient b wird für jede Geräuschart empirisch bestimmt.

Modell des Mündungsknalles für Panzerkanonen

Im folgenden wird exemplarisch das IfL-Modell für den C-bewerteten Fast-Maximalpegel von Mündungsknallen von Panzerkanonen vorgestellt. Für die Modellbildung wird eine Richtcharakteristik für die Mündungsknalke nach /3/ verwendet, s. Abb. 1. Es stehen 177 gemessene mittlere Einzelereignispegel \bar{L}_{CFmax} (jeweils aus 15 Abschüssen energetisch gemittelte Maximalpegel L_{CFmax}) von verschiedenen Schießbahnen eines Tr.Üb.Pl. und die zugehörigen Wetterbeobachtungen zur Verfügung. Die Pegel stammen aus über ein Jahr verteilten Meßperioden; sie repräsentieren die jahres- und tageszeitlich bedingten Einflüsse des Zustandes der Vegetation, der Lufttemperatur und der Bodenbeschaffenheit.

Der Energieschwerpunkt dieses Impulsgeräusches wird aus den gemessenen Spektren in 250 m vom Emissionsort zu 35 Hz bestimmt. Daraus folgt die in Abb. 2 für drei Bewertungen dargestellte Abstandsabhängigkeit der pegelbestimmenden Terz. Dementsprechend werden die Koeffizienten a(s) festgelegt. Die noch freien Modellparameter L_1 , b, u, werden durch eine multilinearen Regression nach Gl. (2) aus den gemessenen Pegeln L_k unter Berücksichtigung der Schallausbreitungsrichtung in ϕ_k und für den aus den zur Meßzeit gültigen Wetterdaten berechneten Schallgeschwindigkeitsgradienten g_k bestimmt.

$$L_k - \Delta L_R(\phi_k) - \Delta L_w(s_k) - \Delta L_A(s_k) = L_1 - b g_k \lg(s_k/s_1) - u \lg(s_k/s_1) \quad (2)$$

Abb. 3 dokumentiert die aus dieser Datenbasis folgende Pegelabnahme des \bar{L}_{CFmax} der Mündungsknalke von Panzern für diesen Tr.Üb.Pl. für die Bezugsrichtung $\phi_1 = 135^\circ$ zur Schießrichtung der Kanone. Die Meßwerte sind nach Maßgabe der Richtcharakteristik korrigiert. Die eingetragenen Linien repräsentieren 5 verschiedene Annahmen des Schallgeschwindigkeitsgradienten. Die Regression ist durch die Korrelationskoeffizienten r (multiple) = 0,53, $r(u)$ = 0,48 und $r(b)$ = 0,31 charakterisiert.

Zur Anwendung des Modells im Zusammenhang mit Lärmprognosen ist es hilfreich, die Abhängigkeit des Modells vom regionalen Schallgeschwindigkeitsgradienten auf eine Abhängigkeit von der Bodenwindkomponente zurückzuführen. Dies gelingt näherungsweise durch die Analyse des Zusammenhanges zwischen dem nach der oben beschriebenen Methode berechneten regionalen Gradienten und der Bodenwindkomponente w aus der Datenbasis. Mit der Hypothese eines linearen Zusammenhanges ergibt sich (Gl. (3)) mit einem Korrelationskoeffizienten $r = 0,39$.

$$g(w) = 0,0012 [(m/s)/m] + 0,042 [1/m] w \quad (3)$$

Das Modell und daher das IfL-Prognoseverfahren erlaubt die Berechnung mittlerer Immissionspegel bei verschiedenen Windsituationen. Ein Wind von ± 5 m/s ergibt danach eine Pegelverschiebung zur Windstillekurve von ca. ± 1 dB/Abstandsdekade; in einem Abstand von 10 km ca. ± 4 dB.

Das Modell für die A-bewerteten Fast-Maximalpegel ergibt andere Modellparameter. Wegen der insgesamt stärkeren Einflüsse der Absorption krümmen sich die Kurven stärker. Die Abhängigkeit der Pegel vom Windeinfluß wird deutlich schwächer.

Abb. 1: Richtcharakteristik des Mündungsknalles einer Panzerkanone (nach /3/)

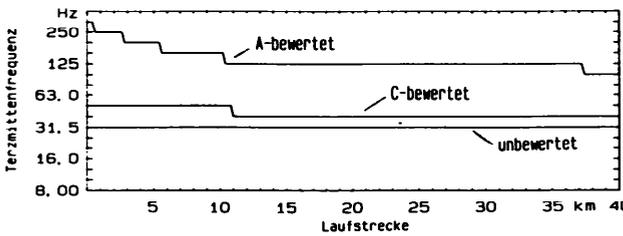
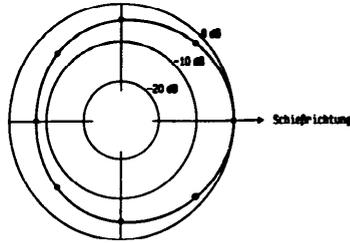


Abb. 2: Abstandsabhängigkeit der pegelbestimmenden Terz des Mündungsknalles von Panzern für drei Bewertungsarten

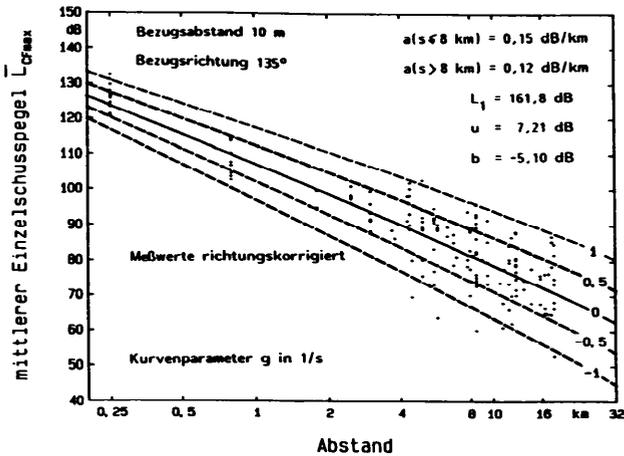


Abb. 3: Abstandsabhängigkeit des C- und FAST-bewerteten mittleren Maximalpegels des Mündungsknalles von Panzerkanonen

Literatur:

- /1/ BUCHTA, E.; HIRSCH, K.-W.: "Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Lärmzonen in der Umgebung hochintensiver Impulschallquellen", Fortschritte der Akustik, DAGA '89, Duisburg
- /2/ WEBER, W. : "Das Schallspektrum von Knallfunken und Knallpistolen", AZ (1959), 373-391
- /3/ SCHOMER, P.D.; RASPET, R. : " Acoustic Directivity Pattern for Army Weapons", CERL Report No. 60 (1984)