

Lärmkarten für die Umgebung von Truppenübungsplätzen

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

1.0 Einleitung

Die sachgerechte Beurteilung der Geräuschbelastung in der Umgebung von Tr.Üb.Pl. ist Voraussetzung für die Begründung der Notwendigkeit von Schallschutzmaßnahmen und für die Gewährung von Beihilfen der öffentlichen Hand. Die vorherrschenden und die die Lärmimmission dominierenden Geräusche in der Nachbarschaft von Tr.Üb.Pl. stammen vom Übungsbetrieb mit schweren Waffen, z.B. Panzer, Kanonen und Haubitzen.

Die Knalle dieser Waffen sind hochintensive, tieffrequente Impulsschallereignisse, die wegen ihrer großen Reichweite in einer weiten Umgebung um den Emissionsort mit hohen Spitzenpegeln auftreten. In einigen am Rande von Tr.Üb.Pl. liegenden Wohnbebauungen werden Spitzenpegel bis zu 130 dB gemessen. Die Belästigung der Anwohner erfolgt sowohl durch den direkt gehörten Knall als auch durch den Sekundärschall - "Rappeln" von Türen und Fenstern, "Klirren" von Geschirr -, der durch die angeregten tieffrequenten Schwingungen von Bauumfassungsteilen ausgelöst wird.

1.1 Ziel der Untersuchung

Ziel der Untersuchungen ist die Prognose der Geräuschbelastung in der Umgebung von Tr.Üb.Pl. zur Beurteilung der Belästigung der Anwohner. Dazu sind zwei grundsätzliche Aufgaben sachgerecht zu erfüllen:

- 1.) Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung einer mittleren Geräuschbelastung als Einzahlwert für jeden Immissionsort, das die Lärmimmission der verschiedenen Lärmquellen unter Berücksichtigung der Schießhäufigkeit und der Schallausbreitungsbedingung über einen Mittelungszeitraum zusammenfaßt.
- 2.) Bestimmung eines physikalischen Maßes der Geräuschbelastung, für das eine hinreichend hohe Korrelation zur Belästigungsreaktion der Anwohner nachgewiesen werden kann.

Die erste Aufgabe umfaßt einerseits die Entwicklung eines Schallausbreitungsmodells für tieffrequente Knalle schwerer Waffen. Sie schließt andererseits die Anwendung numerischer mathematischer Verfahren zur Addition der Lärmemissionen verschiedener Lärmquellen und die Darstellung der Ergebnisse in sogenannten Lärmkatastern ein.

Die zweite Aufgabe erfordert sozialwissenschaftliche Untersuchungen zur empirischen Bestimmung der Beeinträchtigung der Anwohner durch den Lärm des Tr.Üb.Pl. und die Korrelation der Ergebnisse zu den unterschiedlich bewerteten Einzahlangaben der Geräuschbelastung. Das daraus folgende Kriterium zur Beurteilung von Schießlärm von tieffrequenten Waffenknallen sollte mit den etablierten Methoden zur Beurteilung anderer Lärmquellen, z.B. Verkehrslärm oder Schießlärm kleinkalibriger Waffen vergleichbar sein.

2.0 Erkenntnisstand

Untersuchungen zur Berechnung der Geräuschbelastung für die Umgebung von Schießanlagen und Tr.Üb.Pl. stammen von FÖLLER u. SAHM et al. /1/ und SCHOMER et al. /2/.

Die Dosis-Wirkung-Beziehung durch Schallereignisse von Tr.Üb.Pl. wurde bisher von SCHOMER /3/, HEDE + BULLEN /4/ und BUCHTA /5/ in Feldstudien untersucht. Gegenübergestellt wurde dabei die subjektive Belästigungsreaktion zur objektiven Geräuschbelastung durch Tr.Üb.Pl.-Lärm. SCHOMER /3/ wendet zur Messung der Belastung den C - bewerteten Energiepegel CDNL über 24 Std. an, wobei für die Nachtzeit ein Aufschlag von 10 dB in Ansatz gebracht wird. Die C-Bewertung der Schallereignisse ergab dabei die beste Beziehung zur Belästigungsreaktion der Bevölkerung. In der Untersuchung HEDE + BULLEN /4/ wird der C-bewertete L_{eq} und der energetisch akkumulierte unbewertete Peak-Pegel APL, der auf einen Tag bezogen wird, zur Bestimmung der Belästigung empfohlen.

Die Tr.Üb.Pl.-Studie "Untersuchung in der Umgebung von Truppenübungsplätzen" BUCHTA /5/ ergab, daß die 3 Mittelungspegel als Belastungsmaße L_{Lm} (unbewertet), L_{Cm} (C-bewertet) und L_{Am} (A-bewertet) in ihrer Korrelation mit der objekt- bzw. reizzentrierten (Kanonenschießlärm bezogenen) Belästigungsreaktion sowie der globalen Belästigungsreaktion sich nur geringfügig unterscheiden. Es ist jedoch für das Belastungsmaß L_{Cm} der höchste Korrelationsgrad mit der globalen Belästigungsreaktion und mit der objektzentrierten Belästigungsreaktion ermittelt worden. Durchschnittlich 50 % der Befragten in der Umgebung von fünf Tr.Üb.Pl. in der Bundesrepublik /5/ fühlten sich durch Kanonen-Schießlärm "stark" bis "sehr stark" belästigt. 46 % sprachen von einer unerträglichen Belästigung.

3.0 Ermittlung einer mittleren Geräuschbelastung

Da die mittlere Geräuschbelastung die Lärmimmissionen von verschiedenen stochastisch emittierender Quellen insgesamt charakterisieren soll, wird eine Vorschrift benötigt, Beiträge verschiedener Quellen zu akkumulieren. Im Falle energieäquivalenter Maße für die Geräuschbelastung, auf die sich die vorliegende Untersuchung beschränkt, ist diese Vorschrift die Addition der Beiträge zu einer Gesamtbelastung. Es wird für das folgende weiterhin vereinbart, daß ein Jahresmittelungspegel ermittelt wird. D.h., es werden die Schießhäufigkeiten für ein Betriebsjahr insgesamt der Berechnung zugrunde gelegt.

Die Geräuschbelastung muß die Dosiswirkung von allen Emissionsorten auf dem Tr.Üb.Pl. berücksichtigen. Die Beiträge von den einzelnen Emissionsorten hängen von der Lage der Emissionsorte (Koordinaten x, y) und von den dort eingesetzten verschiedenen Waffen mit verschiedenen Lärmentwicklungen ab. Der Jahresmittelungspegel in einem Immissionsort $L_m(x,y)$ setzt sich daher zunächst aus der energetisch gebildeten Summe über die energieäquivalenten Beiträge $L_{eq,k,l}$ aller Emissionsorte k und Waffen l und der relativen Schießhäufigkeit $n_{k,l}$ der Quelle zusammen.

$$L_m(x,y) = 10 \lg \sum_{k,l} [n_{k,l} 10^{L_{eq,k,l}}] \quad (1)$$

Der Beitrag $L_{eq,k,l}$ ist ein Einzelschußpegel der Waffe l am Emissionsort k geschossen im Immissionspunkt (x,y) . Die Berechnung von $L_{eq,k,l}$ setzt ein Schallausbreitungsmodell für tieffrequente Knalle voraus, das soweit wie möglich viele Eigenschaften der Schallquelle und Einflüsse auf den Ausbreitungspfad erfassen sollte. Die Eigenschaften der Quelle sind gekennzeichnet durch einen Emissionspegel, einen spektralen Energieschwerpunkt und eine Richtcharakteristik. Die Schallausbreitung im Freien wird durch die geometrische Abstandabhängigkeit, durch die frequenzabhängige Absorption, aber auch 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 Pegeländerungen. 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 der relative Beitrags des Phänomens zum Pegel als auch die Verfügbarkeit gegebenenfalls notwendiger Detailangaben zur Charakterisierung der Phänomene eine Rolle. Aus der Diskussion der Einflüsse auf den Einzelereignispegel folgt, daß der Pegel eines Einzelschusses nicht prognostiziert werden kann, sondern nur ein mittlerer Einzelereignispegel $L_{eq,k,l}$. Da für das im folgenden diskutierte Schallausbreitungsmodell der Energiebezug und sonstige Kennzeichnungen keine Rolle spielen - das Modell kann für jeden bewerteten Einzahlpegel aufgestellt werden - werden hier alle diesbezüglichen Indizes weggelassen.

4.0 Schallausbreitungsmodell für tieffrequente Impulsgeräusche

Es wird ein Schallausbreitungsmodell für Impulsgeräusche vorgeschlagen, das von theoretischen Ansätzen für die geometrische Schallausbreitung und für die Luftabsorption ausgeht und Witterungs- und Geländeeinflüsse durch pragmatische Ansätze empirisch erfaßt. Gleichung (2) beschreibt den mittleren Einzelereignispegel L eines Impulsgeräusches in Abhängigkeit vom Abstand vom Emissionsort und vom Winkel zur Symmetrieachse der Quelle.

$$L(s,\phi) = L_1(s_1,\phi_1) + \Delta L_R(\phi-\phi_1) + \Delta L_s(s/s_1) + \Delta L_A(s,s-s_1) + \Delta L_u(s/s_1) + \Delta L_w(s/s_1,g) \quad (2)$$

$L_1(s_1,\phi_1)$	"Emissionspegel"
$\Delta L_R(\phi-\phi_1) = 10 \lg(\Phi(\phi-\phi_1))$	Richtungskorrektur
s, s_1	Abstand, Bezugsabstand
$\Delta L_s(s/s_1) = -20 \lg(s/s_1)$	Abstandskorrektur
ϕ, ϕ_1	Winkel, Bezugswinkel
$\Delta L_A(s,s-s_1) = a(s)(s-s_1)$	Absorptionskorrektur
g	Schallgeschwindigkeitsgradient
$\Delta L_u(s/s_1) = -a \lg(s/s_1)$	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 Bezugskordinaten s_1 und ϕ_1 wird durch die Richtungskorrektur ΔL_R nach Maßgabe des Richtungsfaktors der Quelle auf die Schallausbreitungsrichtung bezogen. Die Abstandskorrektur ΔL_s 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 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 /6/ die benötigte Abhängigkeit berechnet.

Die Geländekorrektur ΔL_G 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 die Korrektur zum einen von einer Fülle von Eingabeparametern abhängig machen (Topographie von 300 km^2), zum anderen würde wegen der Wellenlängenabhängigkeit 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 "turbulentes" 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. Über die regionalen Wind- und Temperaturverhältnisse können Meßwerte bei Wetterbeobachtungstationen eingeholt werden, so daß der Koeffizient b aus Pegelmessungen für jede Geräuschart empirisch bestimmt werden kann.

Die Koeffizienten des Ausbreitungsmodells sind -soweit sie nicht theoretisch festliegen- durch eine Regressionanalyse aus einer hinreichend großen Basis von Meßwerten zu bestimmen. Da dies implizit nicht von einer Bewertung der Pegel abhängt, läßt sich das Modell für jede erforderliche akustische Bewertungsart aufstellen. Erst die Verwendung dieses Pegels als ein Maß für den Beitrag einer Schallquelle zur Geräuschbelastung erfordert die Energieäquivalenz und damit eine darauf gerichtete Bewertung.

4.1 Modell des Mündungsknalles für Panzerkanonen

Im folgenden wird exemplarisch das IFL-Modell für den C-bewerteten Fast-Maximalpegel von Mündungsknalles von Panzerkanonen vorgestellt. Für die Modellbildung wird eine Richtcharakteristik für die Mündungsknalles nach /7/ verwendet, s. Abb. 1. Für die empirische Anpassung der Koeffizienten des Schallausbreitungsmodells stehen 177 gemessene mittlere Einzelereignispegel 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.

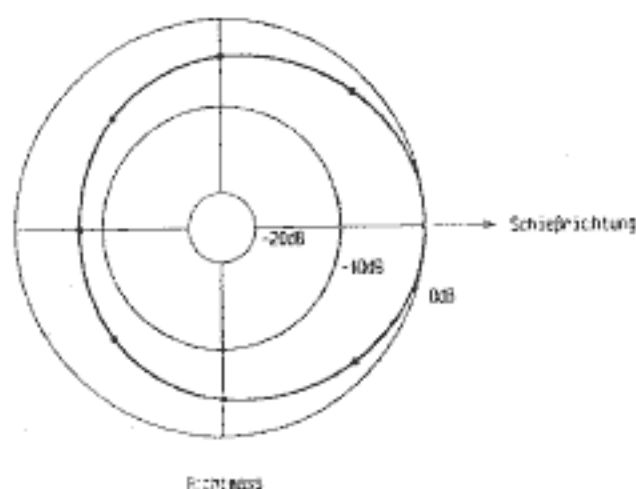


Abb. 1: Richtcharakteristik des Mündungsknalles einer Panzerkanone (nach /9/)

Der Energieschwerpunkt dieser Mündungsknalles 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.

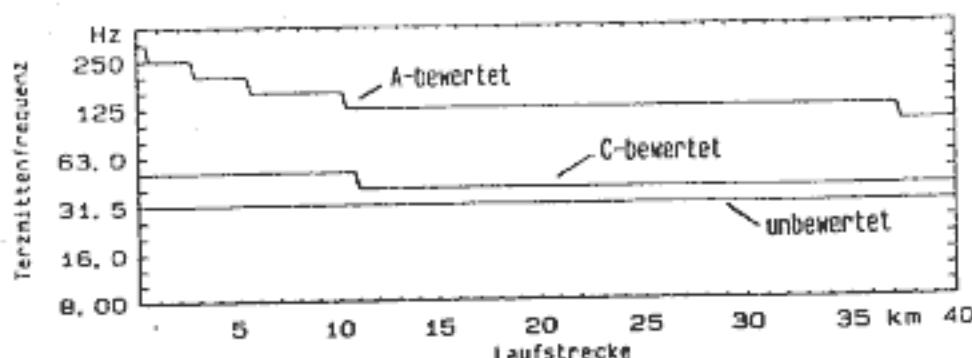
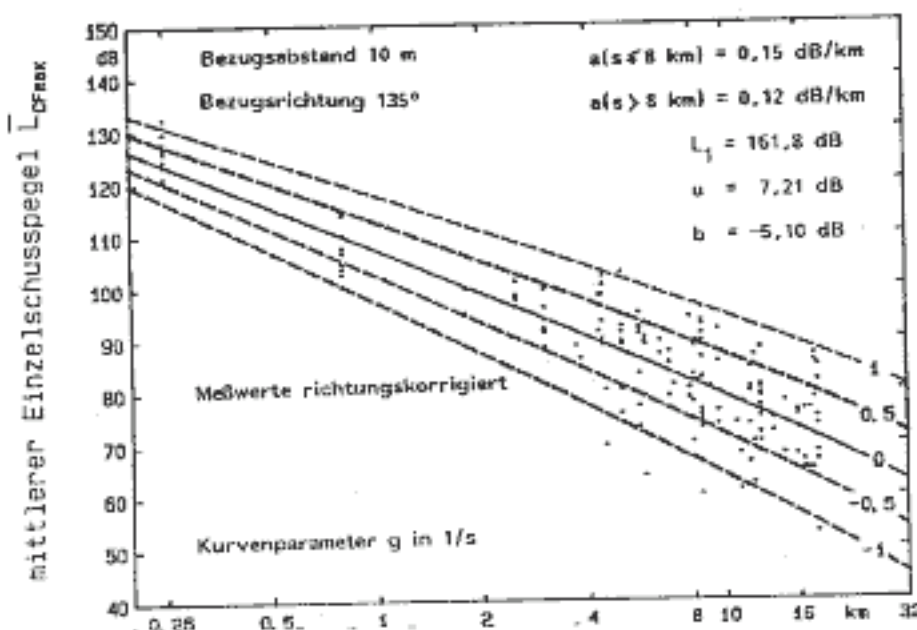


Abb. 2: Abstandsabhängigkeit der pegelbestimmenden Terz des Mündungsknalles von Panzern für drei Bewertungsarten

Dementsprechend werden die Koeffizienten $a(s)$ festgelegt. Die noch freien Modellparameter L_1 , b und u werden durch eine multilineare Regression nach Gl. (3) aus den gemessenen Pegeln \bar{L}_k unter Berücksichtigung der Schallausbreitungsrichtung in ϕ_k und für den aus den zur Meßzeit gültigen Wetterdaten berechneten Schallgeschwindigkeitsgradienten g_k bestimmt.

$$\bar{L}_k - \Delta L_R(\phi_k) - \Delta L_S(s_k) - \Delta L_A(s_k) = L_1 - b g_k \lg(s_k/s_1) - u \lg(s_k/s_1) \quad (3)$$

Abb. 3 dokumentiert die aus dieser Datenbasis folgende Pegelabnahme des \bar{L}_{CFmax} der Mündungsknalle 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 $r(\text{multiple}) = 0,53$, $r(u) = 0,48$ und $r(b) = 0,31$ charakterisiert.

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

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 Gradient und der Bodenwindkomponente w aus der Datenbasis. Mit der Hypothese eines linearen Zusammenhanges ergibt sich (Gl. (4)) mit einem Korrelationskoeffizienten $r = 0,39$.

$$g(w) = 0,0012 [(m/s)/m] + 0,042 [1/m] w \quad (4)$$

Das Modell (IfL-Prognoseverfahren) erlaubt die Berechnung mittlerer Immissionspegel bei verschiedenen Windsituationen. Ein Wind von ± 5 m/s ergibt danach eine Pegeländerung zur Windstillekurve von ca. ± 1 dB/Abstandsdekade. In einem Abstand von 10 km beträgt die Pegeländerung ca. ± 4 dB.

5.0 Berechnung einer Lärmkarte

Ist die Lage und Schießrichtung aller Übungsplatzanlagen, die Waffen, die verwendete Munition, die Schußzahl und die diesbezüglichen Koeffizienten des Schallausbreitungsmodells in der gewählten Bewertungsart bekannt, läßt sich die Geräuschbelastung für jeden beliebigen Immissionsort nach Gl. (1) berechnen. Dabei läßt sich im Rahmen des Modells die Wetterbedingung, d.h. die Windsituation, z.B. durch Gewichtung nach einer Langzeit-Stärkewindrose oder auch bei Zugrundelegung einer Mitwindsituation für alle Schallquellen berücksichtigen. Dies ist erforderlich, um die Geräuschbelastung im Zusammenhang mit einer Beurteilung in Anlehnung an Richtlinien, die in der Regel Mitwindsituationen vorschreiben, zu verwenden. Die Geräuschbelastung läßt sich mit üblichen numerischen Methoden in Form von Kurven gleicher Geräuschbelastung ausrechnen und direkt als Karte oder Kataster für die Umgebung eines Tr.Üb.Pl. darstellen.

Auf Tr.Üb.Pl. wird mit vielen verschiedenartigen Waffen und Munition geübt. Es ist zweckmäßig, die Waffen im Hinblick auf ihre Lärmemission in Klassen zusammenzufassen. Die Untersuchungen der Verfasser haben gezeigt, daß z.B. zwischen den Mündungsknallen von Panzern mit einer 105 mm und einer 120 mm Glattrohrkanone oder zwischen dem Mündungsknall einer Haubitze 155 mm und einer Kanone 175 mm nur so kleine Unterschiede bestehen, daß man in erster Näherung für eine Waffenklasse Panzer oder Artillerie auskommt. Das IfL-Modell berücksichtigt bisher 5 verschiedene Waffenklassen: Panzer, Artillerie, Mörser, große Explosion und kleine Explosion. Der gesamte Übungsbetrieb auf einem Tr.Üb.Pl. wird nach Erfahrungswerten diesen Waffenklassen zugeordnet.

5.1 Beurteilung der Geräuschbelastung

Für die Beurteilung der Geräuschbelastung durch tieffrequente Knalle sind z.Z. noch keine Festlegungen in Richtlinien oder Normen getroffen worden. Aus den physikalischen Daten stehen zur Verfügung:

- 1) Frequenzbewertungen, z.B. C und A
- 2) Zeitbewertungen, z.B. Fast, Slow oder Impulse
- 3) Impulszuschläge wegen erhöhter Störwirkung, z.B. 18 dB(A) zum L_{eq} für Schießlärm von Handfeuerwaffen
- 4) Beurteilungszeiten (Bezugszeiten)
 - a) Tageszeit (6⁰⁰ - 22⁰⁰ Uhr, Nachtzeit 22⁰⁰ - 6⁰⁰ Uhr), lauteste Nachtstunde
 - b) Langzeitbeurteilung, z.B. Tag, Woche, Monat oder Jahr mit der größten Schußenergie
- 5) Wetterbedingungen: Mitwind, Windrose, Schallgeschwindigkeitsgradient

Nach der Wahl dieser Kriterien sind die Geräuschbelastungen als Katasterkarten darstellbar, die als Grundlage für die Beurteilung herangezogen werden können, wenn Richtwerte oder Orientierungswerte für diese tieffrequenten Impulsgeräusche vorgegeben sein würden. Als Basis für die Beurteilung können die Ergebnisse von sozialwissenschaftlichen Feld-Untersuchungen herangezogen werden /4, 5/. Abb. 4 zeigt aus zwei Studien /4, 5/ die Abhängigkeit der objektzentrierten Belästigungsreaktion (Störung) über dem Jahresmittelungspegel L_{Cm} . Daraus ist erkennbar, daß eine starke (4) und sehr starke (5) Belästigung von der Mehrheit der Befragten (ca. 80 %) bei einem Mittelungspegel von $L_{Cm} = 62$ dB(C) auftritt.

Legt man diesen Wert für die Beurteilung dieser starken und sehr starken Belastung zugrunde, so ist aus dem Lärmkataster der Flächenbereich zu ersehen, den z.B. die 62 dB(C) Mittelungspegel-Kontur einschließt.

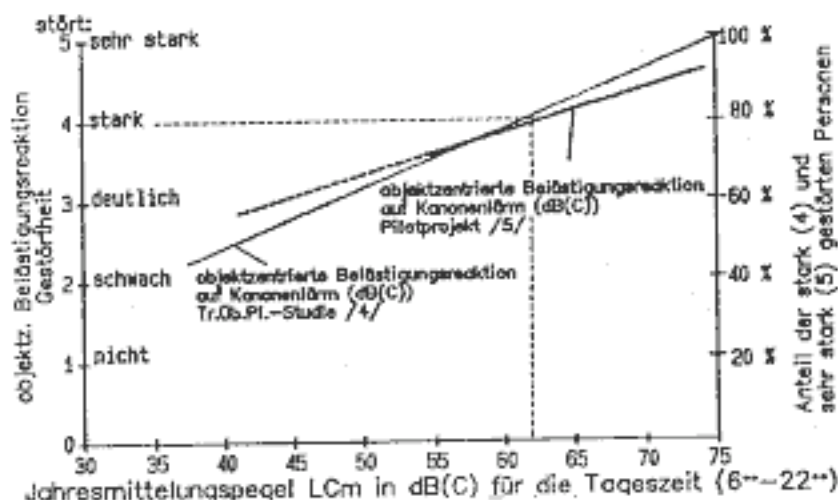


Abb. 4: Belästigungsreaktion sowie Anteil der stark Gestörten über dem Jahresmittelungspegel LC_m in dB(C) für die Tageszeit (6⁰⁰ - 22⁰⁰ Uhr)

Die A-bewertete Geräuschbelastung ist nach /8/ ca. 16 dB(A) niedriger als die C-bewertete. Für den A-bewerteten Schießlärm von Handfeuerwaffen ist ein Impulszuschlag nach dem Entwurf der Richtlinie VDI 3745 von ca. 18 dB(A) hinzuzufügen; eigene Felduntersuchungen ergaben jedoch einen Impulszuschlag bei Handfeuerwaffen von 13 dB(A).

6.0 Ausblick

Das hier vorgestellte Verfahren zur Berechnung der Geräuschbelastung ist nur dann anwendbar, wenn die Mündungsknalleschwerer Waffen bzw. die Explosionen im Zielgebiet die wesentlichen Komponenten der Geräuschbelastung sind. Werden auch Außenfeuerstellungen betrieben, von denen Artillerie in das Zielgebiet über Wohngebiete hinwegschießt oder die Flugbahnen der Geschosse parallel oder in der Nähe von Behausungen entlang führen, ist die Berücksichtigung des Geschößknalles unbedingt erforderlich. Erste Untersuchungen zeigen, daß der Geschößknall in solchen Gebieten pegelbestimmend ist. Für derartige Tr.Üb.Pl. ist daher das Berechnungsverfahren für die Geräuschbelastung zu erweitern.

Nach /8/9/ wird der tieffrequente Kanonenlärm, gemessen mit der C-Bewertung in dB(C) als gleich belästigend bzw. gleichstörend empfunden wie der A-bewertete Schießlärm in dB(A) von Handfeuerwaffen.

Literatur:

- /1/ FÖLLER u. SAHM et al. : Fortschritte der Akustik, DAGA '88 S. 351
- /2/ SCHOMER et al. : "Refined and Validated Noise Contour System"; CERL-Reports N-98 ff.
- /3/ SCHOMER, P.D. : "Community Reaction to Impulsive Noise, Initial Army Survey", CERL Report N-100 1981
- /4/ HEDE, A.J. + BULLEN, R.B. : "Community Response to Impulsive Noise: A Survey around Holsworthy Army Range. National Acoustic Laboratories; Commonwealth Dep. of Health; Commissioned Report No.3
- /5/ BUCHTA et al. : "Lärmbelästigung in der Umgebung von Truppenübungsplätzen", Umweltbundesamt (1986)
- /6/ WEBER, W. : "Das Schallspektrum von Knallfunken und Knallpistolen", AZ (1939), S. 373-391
- /7/ SCHOMER, P.D.; RASPET, R. : "Acoustic Directivity Pattern for Army Weapons", CERL Report No. 60
- /8/ BUCHTA, E. : "Pilotprojekt für passive Schallschutzmaßnahmen am Tr.Üb.Pl. Grafenwöhr" 1989, z. V.
- /9/ BUCHTA, E. : "Gestörtheit von Anliegern durch tieffrequente (Kanonenlärm) und hochfrequente (Handfeuerwaffen) Impulsgeräusche", DAGA '88