

Von Ereignissen und ihren Pegeln - nicht nur bei Schießlärm

Karl-Wilhelm Hirsch

Cervus Consult, hirsch@cervus.de

Einleitung

Viele Geräusche sind auf Ereignisse zurückzuführen, die über ihren Ereignispegel und ihre Häufigkeit in der Lärmakustik beurteilt werden. Beim Schießlärm ist das direkt offensichtlich. Schüsse lassen sich einfach zählen und sind scheinbar das grundlegende Ereignis des Schießlärms.

Schießgeräusche haben aber besondere Herausforderungen. Wichtige Kenngrößen sind nicht gegeben. Sie kennen keine Schallleistung und keinen Dauerschallpegel. Sie belästigen in besondere Weise, was zu besonderen Beurteilungsverfahren führt. Schießgeräusche zwingen zu klaren Definitionen von Begriffen. Einer davon ist das ‚Ereignis‘. Der Aufsatz wird zeigen, dass aus dessen Definition auch eine andere Sichtweise auf die Pegel folgt, die ein Ereignis kennzeichnen.

Das Ereignis

Der Begriff ‚Ereignis‘ wird in der Lärmakustik nur selten thematisiert. Er gehört zum Vokabular, das man in der Lärmakustik schlicht benutzt, und davon ausgehen kann, dass er schon richtig verstanden wird. Bei vielen Geräuschquellenarten werden durchweg Ereignisse betrachtet. Immer dann, wenn man eine Anzahl oder Häufigkeit in den Formeln zur Bestimmung eines Immissionspegels angeben muss, werden Ereignisse gezählt. Bei Verkehrsgeräuschen oder Fluggeräuschen sind das Vorbeifahrten bzw. Überflüge (oder Starts oder Landungen).

Auch bei den ‚Gewerbegeräuschen‘ also die Geräusche, die die TA Lärm [1] behandelt, ist das Ereignis allgegenwärtig. Die TA Lärm spricht von Geräuschspitzen und deren Maximalpegel, bestimmt den Impulszuschlag durch den Taktmaximalpegel usw. Die Bestimmung eines Maximalpegels und eines Expositionspegels benötigt aber immer ein Ereignis, dessen Beobachtungszeitraum oder dessen Dauer.

Anmerkung

Der Einwand, es gäbe auch Dauergeräusche, z. B. von Windenergieanlagen, für die der Ereignisbegriff nicht zutrifft, läuft ins Leere. Allein die Angabe einer Betriebszeit macht auch aus dem Dauergeräusch ein Ereignis. Ein mittlerer Maximalpegel lässt sich bestimmen, in dem man beispielsweise 5-Minuten-Intervalle auswertet und darüber den 5-Minuten-Intervallpegel-Maximalpegel mittelt. Hier ist der Betrieb der Windenergieanlage über 5 Minuten das Ereignis.

Natürlich trifft diese Denkweise insbesondere auf Schießgeräusche zu. Dort ist scheinbar der Schuss (oder der ‚Einzelschuss‘ nach VDI 3745 Blatt 1) das Ereignis, das man zählen kann.

Möglicherweise lässt sich bisher Einvernehmen im Verständnis des Begriffes Ereignis erzielen. Die folgenden Aspekte könnten dieses gemeinsame Verständnis infrage stellen. Die Vorbeifahrt eines PKW besteht eigentlich aus zwei Teilen, dem ‚Vorbeirollen‘ und dem ‚Vorbeibrummen‘. Bei einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor, bilden beide untrennbar zusammen das Ereignis. Bei einem Elektrofahrzeug ist das Ereignis nur das Vorbeirollen.

Es gibt viele solcher Vorgänge, die aus einander bedingenden Teilen bestehen, die verschiedene Geräuschquellen im zeitlichen Ablauf einbringen, aber dennoch nur zusammen das Ereignis bilden. Der Vorgang des Beladens eines LKW mit Radladern in einem Kieswerk ist ein Ereignis, das aus Fahrgeräuschen des LKW und dem Fahren des Radladers und dem Geräusch des Kiesschüttens besteht. Den Vorgang ‚Beladen des LKW‘ kann man zählen.

Anmerkung

In der anlagenbezogenen Verwaltungsakustik spricht man auch von einer Betriebsituation. Das gilt auch für Schießereignisse, siehe [3].

Bei Schießgeräuschen ist das ebenfalls ersichtlich. Der Mündungsknall eines Schusses ist das Ereignis par Excellence. Aber auch der Feuerstoß aus einem Maschinengewehr ist ein Ereignis, das denkbareweise aus mehreren Schüssen besteht. Das gleiche gilt für Tontaubenschießen. Dort fallen in der Regel 2 Schüsse in einem engen zeitlichen und betrieblichen Zusammenhang auf einem Tontaubenschießstand.

Es wird im Folgenden gerade um diese drei eindeutig definierten Ereignisse gehen, die stellvertretend für viele komplexe Ereignisse stehen, die gerade bei Gewerbegeräuschen zu beschreiben sind.

Schießgeräuschpegel

Die TA Lärm gibt zusammen mit der VDI 3745 Blatt 1 ein Verfahren an, nach dem Schießgeräusche für die Beurteilung zu messen sind. Bei der normativen Festlegung des Beurteilungsverfahrens für Schießgeräusche gab es im zuständigen Ausschuss zwei Lager. Das eine Lager vertrat die Auffassung, den 5-s-Takt-Maximalpegel des Schießgeräusches als Beurteilungspegel festzulegen.

Anmerkung

Der 5-s-Taktmaximalpegel ist in der TA Lärm, Abschnitt 2.9 festgelegt. Er dient dort zur Festlegung des Impulszuschlags bei Geräuschen.

Das andere Lager wollte einen Impulszuschlag ausweisen, um nahe an dem Vorgehen der TA Lärm zu bleiben, das geräuschspezifische Immissionspegel in der Regel aus einem Mittelungspegel durch Zuschläge (Ton-, Informations- und Impulszuschläge) an ihr Richtliniensystem anpasst. Das Lager mit dem Impulszuschlag hat sich durchgesetzt.

Hinweis

Alle im folgenden Text angesprochenen Kenngrößen sind grundsätzlich A-bewertet. Das Symbol der A-Bewertung wird stets weggelassen. Der L_{Fmax} ist also der L_{AFmax} usw.

Das Verfahren lässt sich wie folgt skizzieren: Es wird der L_{Fmax} des Ereignisses gemessen, 9 dB abgezogen, um formal einen Ersatz-Expositionspegel zu erhalten. Dieser Expositionspegel, er möge mit $L_{E,1s,VDI}$ bezeichnet werden, ist ein wenig versteckt in Gleichung 3 und Gleichung 4. Dort wird der maximale Schalldruck aus seinem Pegel bestimmt, um ihn dann mit $\tau = 125$ ms zu multiplizieren und wieder mit noch, mit Beurteilungszeit-spezifischen Zeitfaktoren verziert, als Pegel $L_{m,W}$ auszugeben. Im Kern wird zu dem der $L_{E,1s,VDI}$ der

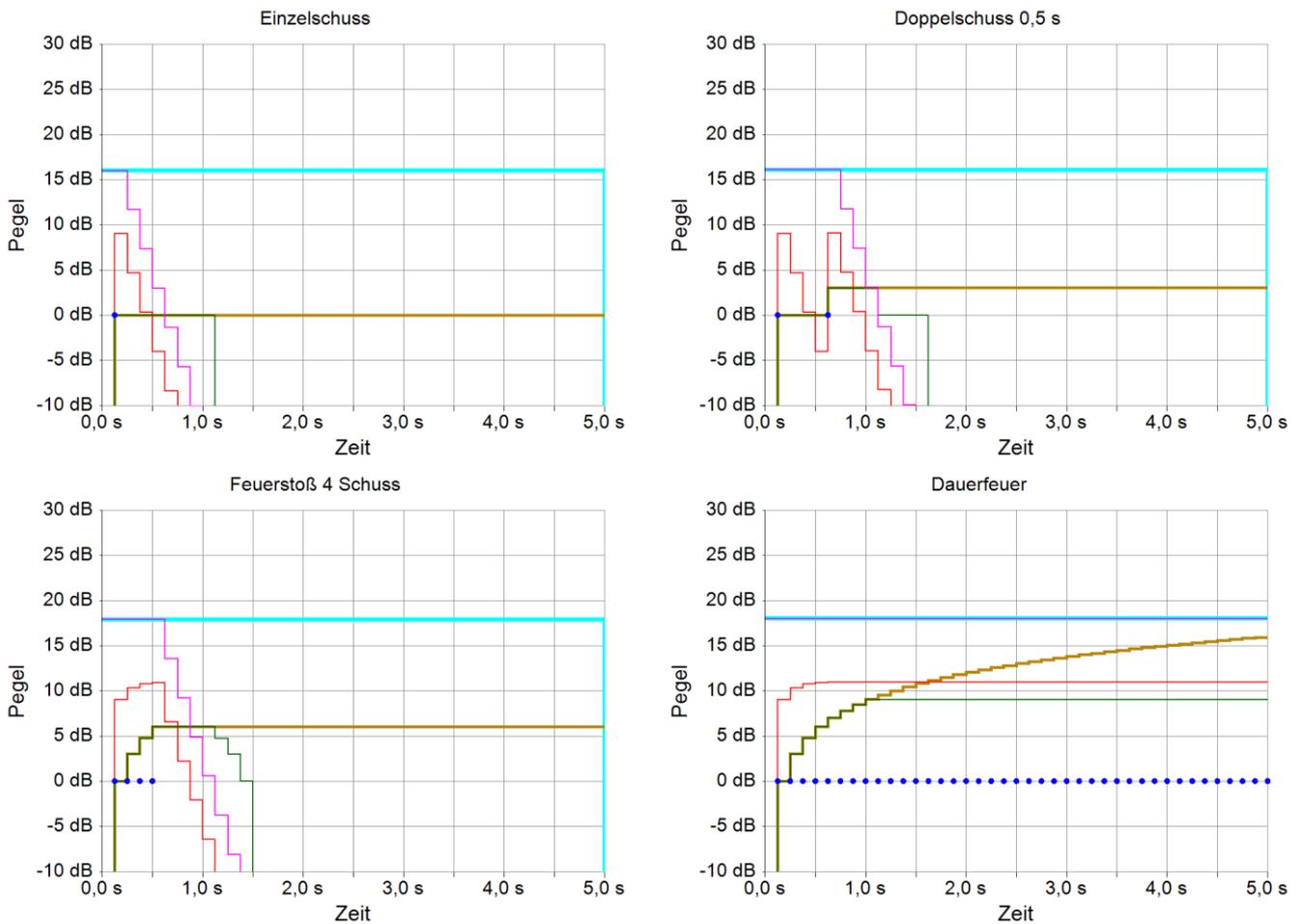


Abbildung 1 Idealisierte Pegelzeitverläufe des L_E , $L_{E,1s}$, L_F , L_{Tmax} , $L_{Tmax,r}$ für die Ereignisse Einzelschuss, Doppelschuss, Feuerstoß und Dauerfeuer

Kreise in Blau: Die Zeitzelle des Eintreffens des Mündungsknalles

Linie in Braun: Der L_E eines Zeitrasters ist die energetische Summe aller Beiträge der vergangenen Zeitraster.

Linie in Grün: Der $L_{E,1s}$ eines Zeitrasters ist die energetische Summe aller Beiträge der vergangenen Sekunde.

Linie in Rot: Der L_F eines Zeitrasters ist die fortlaufende, Fast-gewichtete energetische Summe aller Beiträge von Mündungsknallen der vergangenen Zeitraster. Die Fast-Gewichtung reduziert die um n Zeitraster in der Vergangenheit liegenden Zeitraster Beiträge um $n \cdot 34,7$ dB/8 vor der Summation. Dabei kennzeichnen die 34,7 dB den Pegelabfall eines Fast-Filters über eine Sekunde.

Linie in Magenta: Der L_{FTmax} eines Zeitrasters ist das um 16 dB (die Anzahl der 125-ms-Zeitzellen im Takt von 5 s in Dezibel) erhöhte Maximum des L_F der in der vergangenen 5 s.

Linie in Cyan: Der $L_{FTmax,r}$ eines Zeitrasters ist der L_{FTmax} in einem festen Taktraster von 5 s. Das Taktraster beginnt bei 0 s und setzt sich periodisch fort.

Impulszuschlag von 16 dB addiert, um den Beurteilungspegel des Ereignisses zu erhalten. Der Taktmaximalpegel kommt ohne Umwege zu exakt dem gleichen Ergebnis.

Der $L_{E,1s,VDI}$ ist nicht gleich dem $L_{E,1s}$. Man kann den $L_{E,1s,VDI}$ nicht messen sondern nur aus dem L_{AFmax} berechnen. Und er wird sich in der Praxis vom $L_{E,1s}$ unterscheiden, s. [5].

Beispiele

Im Folgenden wird dieses Verfahren an Beispielen erläutert. Die Schallquelle ist stets ein Mündungsknall mit einer Schallenergie von 11 dB (re. $+10^{-12}$ Ws). In 1 m Abstand ergibt sich daraus ein Expositionspegel von 0 dB (re. 400 $(\mu\text{Pa})^2$).

Anmerkung

Diese Rechnung unterstellt eine Impedanz der Luft von 400 N s/m. Auf einer Alm an einem schwül-heißen Sommertag sinkt die Impedanz um ca. 20 %, sodass bei gleicher Schallenergie, der Expositionspegel um ca. 1 dB kleiner ist!

In einer numerischen Simulation wird die fortlaufende Zeitachse in 125 ms lange Zeitzellen klassiert. Für das jeweilige Ereignis werden die Zeitverläufe des Expositionspegels L_E , des Sekunden-Expositionspegels $L_{E,1s}$, des Fast-bewerteten Schalldruckpegels L_F , des fortlaufenden Taktmaximalpegels L_{FTmax} und des gerasterten Taktmaximalpegels $L_{FTmax,r}$ diskutiert. Für jeden Schuss wird sein Expositionspegel von 0 dB zu dem entsprechenden Zeitraster des Expositionspegels und 0 dB + 9 dB zum L_F addiert.

Anmerkung

Die verwendeten Ereignispegel werden in der Bildunterschrift von Abbildung 1 definiert und erläutert.

Abb. 1 zeigt die Ereignispegel für die Ereignisse Einzelschuss, Doppelschuss, Feuerstoß und 5 s-Dauerfeuer mit 40 Schuss. Bei allen Ereignissen kommt der erste Schuss in der zweiten Zeitzelle.

Einzelschuss

Der L_E steigt beim Schuss auf 0 dB und verharrt über die gesamte Zeit bei diesem Wert. Der $L_{E,1s}$ steigt ebenfalls auf 0 dB, fällt aber nach der einen Sekunde wieder auf $-\infty$ dB. Der L_F steigt beim Schuss auf 9 dB und fällt entsprechend der Fast-Gewichtung. Der L_{FTmax} liegt schon 6 Zeitzellen rückwirkend bei 16 dB und fällt entsprechend der Fast-Gewichtung nach Eintreffen des Schusses ab. Den $L_{FTmax,r}$ kennzeichnet der Takt von 0 s bis 5 s und liegt in diesem Takt bei 16 dB.

Doppelschuss

Der L_E steigt beim ersten Schuss auf 0 dB, beim zweiten auf 3 dB und verharrt über die gesamte Zeit bei diesem Wert. Der $L_{E,1s}$ steigt ebenfalls auf 0 dB und danach auf 3 dB, fällt aber 1 s nach dem zweiten Schuss wieder auf $-\infty$ dB. Der L_F steigt beim Schuss auf 9 dB und fällt entsprechend der Fast-Gewichtung bis zum zweiten Schuss. Der zweite Schuss addiert auf den Wert des vom ersten Schuss verbliebenen Werts 9 dB und liegt nur unwesentlich über 9 dB. Die Taktmaximalpegel ergeben sich wie beim Einzelschuss.

Feuerstoß

Der L_E steigt beim ersten Schuss auf 0 dB und bis zum vierten Schuss auf 6 dB und verharrt über die gesamte Zeit bei diesem Wert. Der $L_{E,1s}$ steigt auf 6 dB, fällt aber 1 s nach dem letzten Schuss wieder auf $-\infty$ dB. Der L_F steigt bei jedem weiteren Schuss. Da die Schüsse in einem Zeitabstand einer Zeitzelle eintreffen, erhöht jeder neue Schuss den L_F immer weniger und erreicht letztlich ca. 11 dB. Der L_{FTmax} liegt rückwirkend bei 18 dB und fällt entsprechend der Fast-Gewichtung nach Eintreffen des letzten Schusses ab. Der $L_{FTmax,r}$ liegt bei 18 dB, bestimmt durch den L_F des letzten Schusses.

Dauerfeuer

Der L_F ist nicht signifikant größer als beim Feuerstoß. Infolgedessen bleiben beide Taktmaximalpegel bei ca. 18 dB. Auch der $L_{E,1s}$ steigt nicht weiter als 9 dB. Lediglich der L_E steigt naturgemäß mit jedem Schuss.

Diskussion

Nach dem Beurteilungsverfahren der VDI 3745 Blatt 1 hängt der Beurteilungspegel ausschließlich vom Maximalpegel des Ereignisses ab. Es ergeben sich auf der Basis der Ereignis-Maximalpegel und der Ereignis-Taktmaximalpegel jeweils die gleichen Ereignis-Beurteilungspegel, s. Tabelle 1.

Ereignis	L_{Fmax}	L_{FTmax}	$L_{r,Ereignis}$	N-facher Einzelpegel
Einzelschuss	9 dB	16 dB	16 dB	16 dB
Doppelschuss	9 dB	16 dB	16 dB	19 dB
Feuerstoß	11 dB	18 dB	18 dB	22 dB
Dauerfeuer	ca. 11 dB	ca. 18 dB	ca. 18 dB	32 dB

Tabelle 1 Gegenüberstellung der entscheidenden Ereignispegel

Diese Aussage wird in der Verwaltungskustik nicht ohne Widerspruch bleiben. Man kann auf die Verwendung des Begriffs ‚Einzelschuss‘ in der VDI 3745 Blatt 1 verweisen und daraus schließen, dass nur der Pegel des Einzelschusses maßgeblich ist und deshalb der Beurteilungspegel für den Doppelschuss die Anzahl 2 und dem Feuerstoß die Anzahl 4 und dem Dauerfeuer die Anzahl 40 zuzuordnen ist, um den relevanten Beurteilungspegel zu ermitteln. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Tabelle 1 in der Spalte ‚N-facher Einzelpegel‘ angeführt. Bei dieser Interpretation ist Vorwissen erforderlich, das man tatsächlich im Idealfall hat, wenn man quellbezogen argumentiert, also eine gesteuerte Messung in der Sprache der VDI 3745 Blatt 1 zugrunde legt.

Betrachtet man das Geschehen in einem Immissionsort, also aus Sicht des Empfängers, ist das Ereignis ohne dieses Vorwissen und wegen der nun deutlich komplexeren Signale nicht mehr eindeutig identifiziert. Schüsse werden in Schießanlagen abgegeben, die zur Sicherstellung der Schießsicherheit Hoch- und Tiefblenden, seitliche Wälle und/oder Wände und eine Geschossfangkammer haben. Schießereignisse von dort sind geprägt durch viele Schallwege von der Quelle zum Empfänger. Das Ereignis im Empfangsort wird deutlich länger. Welcher Weg tatsächlich den ‚letzten Kick‘ zum Maximalpegel beträgt, kann aus Messungen nur mit einer intensiven Signalanalyse abgeleitet werden.

Das empfängerbezogene Ereignis ist also etwas ganz anders. Man mag dort Einzelschüsse hören. Es ist aber für den Zuhörenden unmöglich zu entscheiden, ob es ein Einzelschuss war, denn der Direktschall und die Reflexion an der Geschossfangblende könne den gleichem Pegelbeitrag auch in einem zeitlichen Abstand von einer halben Sekunde liefern. Es hört sich an wie ein Doppelschuss.

Anmerkung

Das ist konkret auf einem 100-m-Schießstand der Fall, wenn der Immissionsort hinter dem Schützen liegt und die Pegelminderung wegen des längeren Laufwegs der Reflexion durch die massive Richtcharakteristik des Mündungsknalls ausgeglichen wird.

Man kann durch die Einbeziehung von weiteren Blendenreflexionen und auch die Wechselwirkung mit empfängerseitigen Aufbauten die gleiche Argumentation auch für den Feuerstoß aufbauen. Auf Seiten des Empfängers werden die unterschiedlichen quellbezogene Ereignisse zu einem empfängerbezogenen Ereignis ‚Schießgeräusch‘ werden.

Im Kontext der VDI 3745 Blatt 1 kann man das quellbezogene Ereignis auch das ‚gesteuerte Ereignis‘ und das empfängerbezogene Ereignis das ‚ungesteuerte Ereignis‘ nennen.

Die Ermittlung der Beurteilungspegel für Schießgeräusche basiert nach VDI 3745 Blatt 1 auf Messungen am Immissionsort, also auf die Vermessung des empfängerbezogenen Ereignisses ‚Schießgeräusch‘. Es ist deshalb regelwerkskonform, den L_{Fmax} im Empfangsort nach den Regeln der Richtlinie zu bestimmen und auch entsprechend zu beurteilen.

Zwischenbemerkung

Die Komposition des Empfängersignals aus der Vielzahl der möglichen Schallwege bei einem Einzelschuss lässt sich über das Prognosemodell des LeitGeStand [3] mit dem dort beschriebenen PROPPER Modell analysieren. In den meisten Immissionsorten ist der Abstand zwischen dem L_{Fmax} und dem L_E zwischen 5 dB und 7 dB und nicht 9 dB, wie man es im Idealfall erwartet. Wie in [5] ausführlicher diskutiert, wird in vielen Ländern der Schießlärm auf der Grundlage einer Messung des L_E des Schießgeräusches im Immissionsort beurteilt. Dann wird aber der in ISO 1996 [6] festgelegte Impulszuschlag von 12 dB verwendet.

Anmerkung

Die häufig von Betreiberseite zu hörende Behauptung, das Verfahren der TA Lärm/VDI 3745 Blatt 1 mit ihrem Impulszuschlag von 16 dB liege im internationalen Vergleich zu sehr auf der konservativen, von Lärmschützern gern auch als ‚richtigen‘ Seite bezeichnet, ist deshalb nicht zu belegen. Vielmehr liefern beide Verfahren ähnliche Beurteilungen.

Messung des Beurteilungspegels

Der Unterschied zwischen dem gesteuerten und dem nicht gesteuerten Verfahren in der VDI 3745 Blatt 1 betrifft insbesondere die Bestimmung der Anzahl der Ereignisse. Im gesteuerten Verfahren wird anlagenseitig gezählt, im ungesteuerten Fall wird empirisch geschätzt. Eine Nachmessung des Beurteilungspegels ist in der VDI 3745 Blatt 1 nicht vorgesehen.

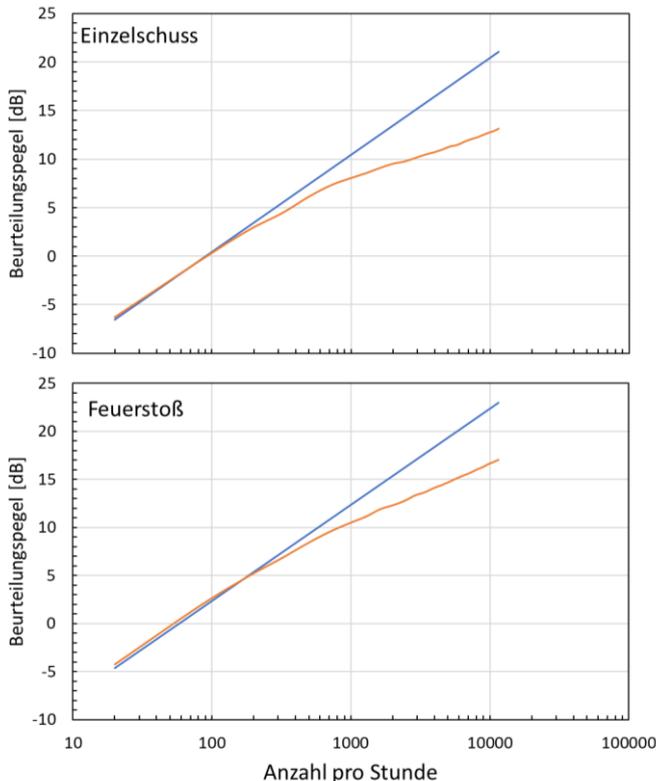


Abb. 2 Abhängigkeit des Beurteilungspegels der Stunde von der Anzahl des Ereignisses nach VDI 3745 Blatt 1: Linie in Blau simulierte Messung; Linie in Orange oben: Einzelschuss mit einem $L_{r,Ereignis}$ von 16 dB unten: Feuerstoß mit einem $L_{r,Ereignis}$ von 18 dB

Mit der oben vorgestellten Definition des Ereignisses als Schießgeräusch im Immissionsort und der Tatsache, dass der Taktmaximalpegel stets dieselben Ergebnisse liefert, wie das Verfahren mit L_{Fmax} und Zuschlag, lässt sich ein Messverfahren etablieren, das den Regeln des Anhangs der TA Lärm, Abschnitt A 3.3, folgt: Man unterteilt die Beurteilungszeit (oder eine repräsentative Teilzeit) in 5-s-Raster und misst in diesem Raster die Taktmaximalpegel. Die energetische Summe dieser Taktmaximalpegel ist der Beurteilungspegel für den Schießlärm im Immissionsort. Siehe auch [8] und die Diskussion dazu weiter unten.

Eine solche Messung lässt sich für die Ereignisse simulieren. Das ist nicht trivial, weil die Ereignisse von verschiedenen Anlagen bzw. Teilanlagen stammen können. Man muss also von einer stochastischen ‚Ankunft‘ der Ereignisse ausgehen. Je mehr Ereignisse beteiligt sind, umso häufiger werden die Ereignisse in denselben Takt fallen oder gar in dieselbe Zeitzelle.

Abb. 2 zeigt für den Einzelschuss (oben) und für den Feuerstoß (unten) das Ergebnis einer simulierten Messung. Über die Messzeit von einer Stunde ($3600 \cdot 8$ Zeitzellen und 720 5-s-Takte) geht eine bestimmte Anzahl von Ereignissen ein. Die

Zeitzelle des Eintreffens wird ‚gewürfelt‘. Der gemessene Beurteilungspegel für die Stunde wird in der Abbildung mit dem Beurteilungspegel verglichen, der sich aus der Multiplikation der Anzahl mit dem $L_{m,Ereignis}$ (nach VDI 3745 Blatt 1) aus Tabelle 1 ergibt. Bis ca. 200 Ereignisse sind beide Beurteilungen ununterscheidbar. Bei typischen, jagdlich oder sportlich genutzten Schießplätzen bzw. Schießständen liegt die Auslastung in dieser Größenordnung. Der nach dem Verfahren der VDI 3745 Blatt 1 bestimmte Pegel lässt sich also nachmessen.

Auf den Truppenübungsplätzen der Bundeswehr wird ebenfalls mit Handwaffen geschossen. Dies geschieht mit hohen Schusszahlen möglicherweise gleichzeitig auf den verschiedenen Schießbahnen und Feuerstellungen. In weit entfernten (z. B. 5 km), aber durchaus ‚maßgeblichen‘ Immissionsorten (der Einwirkungsbereich ist bei Schießgeräuschen sehr groß, vgl. [7]) können beispielsweise Ereignispegel von $L_{m,Einzel}$ um 52 dB, also L_{Fmax} um 45 dB, prognostiziert werden. An einigen Übungstagen können auch mal 20000 Schuss auf einen Immissionsort einwirken, was regelmäßig dort zu formalen Richtwertüberschreitungen führt, obwohl erfahrungsgemäß ein Gewehrschuss in 5 km Abstand nicht hörbar ist.

Zur Korrektur K_T dieser Überschätzung lässt sich aus dem Vergleich des Messpegels und der Pegel der VDI 3745 Blatt 1 nachfolgende Formel für K_T ableiten.

$$K_T = 51g(N/400) \text{ dB} \quad \text{für } N > 400$$

mit N als Anzahl der Schüsse pro Stunde

Durch die Bedingung $N > 400$ ist das K_T für zivile Schießplätze im Regelfall nicht anzuwenden.

TRIMPOP [8] geht einen anderen Weg, um die Überschätzung zu vermeiden. Er schlägt vor, den Impulszuschlag nicht nach VDI 3745 Blatt 1 zu messen, sondern nach den Regeln der TA Lärm. Die Ergebnisse sind grundsätzlich vergleichbar. Es bleibt aber die Frage, ob man rechtssicher das in der TA Lärm ausdrücklich für Schießlärm vorgeschriebene Messverfahren der VDI 3745 durch das allgemeinere Verfahren ersetzen darf.

Verweise

- [1] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm vom 26. August 1998. GMBL.
- [2] VDI 3745 Blatt 1, „Beurteilung von Schießgeräuschimmissionen“, Beuth Verlag, Mai 1993
- [3] Schallimmissionsschutz an Schießständen, Leitfaden für die Genehmigung von Standortschießanlagen -LeitGeStand-, Version 1.0, 2019, Herausgeber Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
- [4] DIN ISO 9613-2:1999-10, Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien
- [5] Hirsch, K.-W.; Hammelmann, F.: „Bestimmung des Beurteilungspegels der VDI 3745 Blatt 1 durch Prognose“, Fortschritte der Akustik, DAGA 2015, DEGA e.V., Nürnberg
- [6] ISO 1996-2:2017: „Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 2: Determination of sound pressure levels
- [7] Hirsch K.-W.; Vogelsang B. M.: „Zum Einwirkungsbereich der TA Lärm“, Fortschritte der Akustik, DAGA 2021, DEGA e.V., Wien
- [8] Trimpop, M.: „Impulszuschlag der VDI 3745 bei militärischem Schießlärm“, Fortschritte der Akustik, DAGA 2015, DEGA e. V., Nürnberg