

	DIN EN ISO 17201-4	
ICS 17.140.20; 95.020; 97.220.10	<div>Entwurf</div>	Einsprüche bis 2024-08-28 Vorgesehen als Ersatz für DIN EN ISO 17201-4:2006-07
<p>Akustik – Geräusche von Schießplätzen – Teil 4: Berechnung des Geschossgeräusches (ISO/DIS 17201-4:2024); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 17201-4:2024</p> <p>Acoustics – Noise from shooting ranges – Part 4: Calculation of projectile sound (ISO/DIS 17201-4:2024); German and English version prEN ISO 17201-4:2024</p> <p>Acoustique – Bruit des stands de tir – Partie 4: Estimation du bruit du projectile (ISO/DIS 17201-4:2024); Version allemande et anglaise prEN ISO 17201-4:2024</p> <p>Anwendungswarnvermerk</p> <p>Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-06-28 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</p> <p>Weil das beabsichtigte Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.</p> <p>Stellungnahmen werden erbeten</p> <ul style="list-style-type: none">– vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;– oder als Datei per E-Mail an nals@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;– oder in Papierform an den DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin. <p>Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.</p> <p>Gesamtumfang 102 Seiten</p> <p>DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)</p>		

Nationales Vorwort

Das Dokument prEN ISO 17201-4:2024 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 43 „Acoustics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 211 „Akustik“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 001-01-09 AA „Akustik — Geräusche von Schießplätzen“ im DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 9613-2	siehe	DIN ISO 9613-2
ISO 17201-2	siehe	DIN EN ISO 17201-2
ISO 80000-8	siehe	DIN EN ISO 80000-8

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 17201-4:2006-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Umstrukturierung des Dokuments in neue Abschnitte 1) Geschossgeräusch, 2) Quellenbeschreibung, 3) Schallexpositionspegel am Empfänger und 4) Unsicherheit;
- b) Trennung von Quellen- und Ausbreitungsbegriffen;
- c) Aufnahme (aus ISO 17201-2) und Aktualisierung: des Quellenpegels für nicht stromlinienförmige Geschosse;
- d) Aktualisierung des Abschnitts über die Unsicherheit;
- e) Anhang B über ballistische Flugbahnen hinzugefügt;
- f) Anhang C über die Änderung der Geschossgeschwindigkeit hinzugefügt;
- g) Anhang D mit informativen Beispielen hinzugefügt.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 9613-2, *Akustik — Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien — Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren*

DIN EN ISO 17201-2, *Akustik — Geräusche von Schießplätzen — Teil 2: Bestimmung des Mündungsknalls und des Geschossgeräusches durch Berechnung*

DIN EN ISO 80000-8, *Größen und Einheiten — Teil 8: Akustik*

– Leerseite –

Juni 2024

prEN ISO 17201-4

**Akustik – Geräusche von Schießplätzen – Teil 4: Berechnung des Geschossgeräusches
(ISO/DIS 17201-4:2024)**

Acoustics – Noise from shooting ranges – Part 4: Calculation of projectile sound (ISO/DIS 17201-4:2024)

Acoustique – Bruit des stands de tir – Partie 4: Estimation du bruit du projectile (ISO/DIS 17201-4:2024)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Geschossgeräusch	12
4.1 Einleitung	12
4.2 Bereiche	12
4.3 Das Spektrum einer N-Welle	13
5 Beschreibung der Quelle	14
5.1 Quellpunkt	14
5.2 Schallexpositionspegel der Quelle bei stromlinienförmigen Geschossen	15
5.3 Schallexpositionspegel der Quelle bei nicht stromlinienförmigen Geschossen	15
5.4 Spektrum des Schallexpositionspegels der Quelle	18
6 Berechnung des Schallexpositionspegels am Empfangsort	19
6.1 Grundgleichung	19
6.2 Berechnung der Dämpfungsterme	19
6.2.1 Geometrische Dämpfung	19
6.2.2 Nichtlineare Dämpfung	21
6.2.3 Nichtlineare Verschiebung des Spektrums	22
6.2.4 Luftabsorption, übrige Dämpfung und Schirmwirkungen	22
7 Unsicherheit in der Beschreibung der Quelle und in der Ausbreitung	23
7.1 Unsicherheiten in der Beschreibung der Quelle	24
7.2 Unsicherheiten bei der Bestimmung des Schallexpositionspegels am Empfangsort	26
Anhang A (informativ) Ableitung von Konstanten und Berücksichtigung von Schirm- und sonstigen Wirkungen	28
A.1 Allgemeines	28
A.2 Berechnung von L_0	28
A.3 Berechnung von f_0	29
A.4 Überlegungen zu Schirmwirkungen und zusätzlichen Wirkungen	29
A.4.1 Allgemeines	29
A.4.2 Grenzregion von Bereich II	29
A.4.3 Unterschiedliche Anteile um einen Schallschirm herum und darüber hinweg	30
Anhang B (informativ) Berechnung des Geschossgeräuschs für Geschosse auf ballistischen Flugbahnen	32
B.1 Berechnung der Geschossflugbahn	32
B.2 Berechnung des Flugbahn-Emissionspunktes	33
B.3 Berechnung des Geschossenergieverlusts	34
Anhang C (informativ) Schätzung der Änderung der Geschossgeschwindigkeit	35
Anhang D (informativ) Berechnungsbeispiele	38
D.1 Geschossgeräusch an der Quelle und am Empfänger	38
D.2 Beispiel für die Berechnung der übrigen Dämpfung in Situationen mit und ohne Schallschirm	39
D.2.1 Situationen	39
D.2.2 Verfahren zur Berechnung der übrigen Dämpfung	41
D.2.3 Situation ohne Schallschirm	42
D.2.4 Situation mit einem Schallschirm bei ausschließlicher Einbeziehung der Beugung an der Oberkante	44
D.2.5 Situation mit einem Schallschirm; Beugung an der Oberkante und laterale Beugungen	47
D.3 Schätzung der Schallexposition eines nicht stromlinienförmigen Geschosses	49

Literaturhinweise	50
-----------------------------	----

Bilder

Bild 1 — Beispiele für nicht stromlinienförmige Geschosse	9
Bild 2 — Effektive Geschosslänge	9
Bild 3 — Angenommene N-förmige Schallwelle eines Überschallgeschosses bei einem Abstand von 1 m zu einem Quellpunkt auf der Geschossflugbahn	10
Bild 4 — Die drei Bereiche zur Beschreibung des durch ein Geschoss verursachten Geräusches .	13
Bild 5 — Geometrie der Mach-Front für eine gegebene Zeitspanne	16
Bild 6 — Flussdiagramm zur Berechnung der Schallexposition	18
Bild 7 — Zu berücksichtigende Abstände beim Empfänger im Bereich III	21
Bild 8 — Nichtlineare Dämpfung als Funktion des Abstands	22
Bild A.1 — Grenzregion von Bereich II	30
Bild A.2 — Schirmwirkung durch einen Schallschirm	31
Bild B.1 — Flugbahn-Emissionspunkte, Geschossgeräusch-Abstrahlkegel und die Mach-Bereichsgrenze	33
Bild C.1 — Flussdiagramm zur Schätzung der Änderung der Geschossgeschwindigkeit, κ , anhand verschiedener Inputparameter	37
Bild D.1 —	39
Bild D.2 — Perspektivdarstellung der drei Situationen	41
Bild D.3 — Situation ohne Schallschirm in der horizontalen xy-Ebene	42
Bild D.4 — Terzbandspektren der übrigen Dämpfung für die in Bild D.3 dargestellte Situation .	43
Bild D.5 — Terzbandspektren des Schallexpositionspegels für die in Bild D.3 dargestellte Situation	44
Bild D.6 — Situation mit einem Schallschirm bei Berücksichtigung des an der Oberkante des Schallschirms gebeugten Schallweges	45
Bild D.7 — Terzbandspektren der übrigen Dämpfung für die in Bild D.6 dargestellte Situation .	46
Bild D.8 — Terzbandspektren der übrigen Dämpfung für die in Bild D.6 dargestellte Situation .	46
Bild D.9 — Situation mit einem Schallschirm bei Berücksichtigung des an der Oberkante des Schallschirms gebeugten Schallweges	47
Bild D.10 — Terzbandspektren der übrigen Dämpfung für die in Bild D.9 dargestellte Situation .	48
Bild D.11 — Terzbandspektren des Schallexpositionspegels für die in Bild D.9 dargestellte Situation Zur Bezugnahme ist das Freifeldspektrum mit angegeben.	49

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 17201-4:2024) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 43 „Acoustics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 211 „Akustik“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 17201-4:2006 ersetzen.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 17201-4:2024 wurde von CEN als prEN ISO 17201-4:2024 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC Directives, Teil 1, beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC Directives, Teil 2, erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

ISO weist auf die Möglichkeit hin, dass die Anwendung dieses Dokuments mit der Verwendung eines oder mehrerer Patente verbunden sein kann. ISO bezieht jedoch in dieser Hinsicht keinerlei Stellung bezüglich Nachweis, Gültigkeit oder Anwendbarkeit jeglicher beanspruchten Patentrechte. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments lag ISO keine Mitteilung über ein Patent bzw. mehrere Patente vor, welche/s zur Umsetzung dieses Dokuments erforderlich sein könnte/n Anwender werden jedoch darauf hingewiesen, dass dies möglicherweise nicht der aktuelle Informationsstand ist. Dieser kann jedoch der Patentdatenbank unter www.iso.org/patents entnommen werden. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 43, *Acoustics*, Unterkomitee SC 1 *Noise* in Zusammenarbeit mit dem Europäischen Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/TC 211, *Akustik* in Übereinstimmung mit der zwischen ISO und CEN getroffenen Vereinbarung zur technischen Zusammenarbeit (Wiener Vereinbarung) erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 17201-4:2006), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen sind folgende:

- Neugliederung des Dokuments in die neuen Abschnitte 1) Geschossgeräusch, 2) Beschreibung der Quelle, 3) Schallexpositionspegel am Empfänger und 4) Unsicherheit;
- Trennung der Quellterme von den Ausbreitungstermen;
- Übernahme (aus ISO 17201-2) und Aktualisierung der Quellpegel für nicht stromlinienförmige Geschosse;
- Aktualisierung des Abschnittes zur Unsicherheit;
- Hinzufügung von Anhang B zu den ballistischen Flugbahnen;

E DIN EN ISO 17201-4:2024-08
prEN ISO 17201-4:2024 (D)

- Hinzufügung von Anhang C zur Geschossgeschwindigkeitsänderung;
- Hinzufügung von Anhang D mit informativen Beispielen.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 17201 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Die auf und in der Umgebung von Schießplätzen wahrgenommenen Schießgeräusche bestehen im Allgemeinen aus drei Komponenten: Mündungsknallgeräusch, Einschlaggeräusch und Geschossgeräusch. Dieses Dokument behandelt ausschließlich das Geschossgeräusch von Überschallgeschossen. Es legt ein Verfahren zur Berechnung des Schallexpositionspegels der Quelle des Geschossgeräusches fest. Darüber hinaus enthält es ein Verfahren zur Berechnung der Ausbreitung des Geschossgeräusches, das dessen spezifischen Eigenschaften Rechnung trägt, die es von der Ausbreitung des von anderen Quellen kommenden Geräusches unterscheidet.

Dieses Dokument ist für Kaliber unter 20 mm bestimmt, kann aber auch auf größere Kaliber angewendet werden.

Das Geschossgeräusch wird als von einem bestimmten Punkt auf der Geschossflugbahn, dem „Quellpunkt“, ausgehend beschrieben.

Der Schallexpositionspegel der Quelle wird aus den geometrischen Kenndaten und der Geschwindigkeit des Geschosses auf seiner Flugbahn ermittelt. Es sind Verfahren dazu angegeben, wie der Schallexpositionspegel an einem Empfangsort anhand dieses Schallexpositionspegels der Quelle unter Berücksichtigung der geometrischen Dämpfung, der Luftabsorption sowie der Dämpfungs- und Frequenzverschiebung durch nichtlineare Effekte zu berechnen ist. Ebenso werden die Wirkungen auf den Schallexpositionspegel in Folge der Abnahme der Geschwindigkeit und der atmosphärischen Turbulenz berücksichtigt.

In einem begrenzten Bereich, dem Mach-Bereich (Bereich II — siehe 4.2), ist der Geschossgeräusch-Expositionspegel signifikant im Vergleich zum Mündungsknall-Schallexpositionspegel. Außerhalb dieses Bereiches werden Geschossgeräusche nur durch Beugung oder Streuung empfangen, aber mit deutlich niedrigeren Pegeln als in diesem Mach-Bereich. Das Geschossgeräusch jenseits des Mach-Bereichs (Bereich I) ist im Vergleich zum Mündungsgeräusch vernachlässigbar mit Ausnahme der Anteile, die durch aus anderen Bereichen kommende Reflexionen hervorgerufen werden. Dieses Dokument enthält ein Berechnungsschema für die Pegel in den Bereichen II und III. Die Pegel in Bereich III liegen üblicherweise 10 dB bis 15 dB unter denen von Bereich II.

Es werden zwei Berechnungsverfahren angegeben, um die Geschossgeräusche für stromlinienförmige und nicht stromlinienförmige Geschosse, wie z. B. Schrote, berechnen zu können. Die in diesem Dokument verwendeten Parametervorgabewerte sind für eine Temperatur von 10 °C, eine relative Luftfeuchte von 80 % und einen Druck von 1 013 hPa angegeben. Anhang A kann für Berechnungen für andere atmosphärische Bedingungen angewendet werden. Bei Kalibern unter 20 mm herrschen im Quellenspektrum hochfrequente Komponenten vor. Da die Luftabsorption bei diesen Frequenzkomponenten relativ hoch ist, werden die Berechnungen in Terzbändern durchgeführt, um genauere Ergebnisse zu erhalten.

Bei Geschossen mit einer Geschwindigkeit nur geringfügig über der Schallgeschwindigkeit sind die Berechnungsverfahren von geringerer Präzision. Es werden Hinweise gegeben, wie mit dieser größeren Unsicherheit umzugehen ist.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument stellt Berechnungsverfahren zur Bestimmung des Quellschallpegels des Geschossgeräusches und dessen Terzspektrums, ausgedrückt als Schallexpositionspegel für Nenn-Mittenfrequenzen von 12,5 Hz bis 10 kHz, zur Verfügung. Außerdem enthält es ein Verfahren, wie dieser Quellpegel zur Berechnung des Schallexpositionspegels am Empfangsort anzuwenden ist.

Die nach dieser Norm erhaltenen Ergebnisse können als Grundlage für Studien zur Beurteilung des Schalls in der Umgebung von Schießplätzen herangezogen werden. Außerdem können die Daten genutzt werden, um die Schallemission oder -immission unterschiedlicher für dieselbe Waffe verwendeter Munitionsarten miteinander zu vergleichen. Die Vorhersageverfahren gelten für Freiluftbedingungen und gerade Geschossflugbahnen. Es sind zwei Berechnungsverfahren zur Bestimmung des Quellschallpegels angegeben: eines für stromlinienförmige und eines für nicht stromlinienförmige Geschosse, wie z. B. Schrotkugeln bzw. Schrote.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 9613-2, *Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 2: Engineering method for the prediction of sound pressure levels outdoors*

ISO 80000-8, *Quantities and units — Part 8: Acoustics*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 80000-8 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1

stromlinienförmiges Geschoss

Geschoss mit einer Form, die als Rotationskörper beschrieben werden kann, dessen erste Ableitung der Querschnittsfläche $A(x)$ im Abstand x hinter der Spitze des Körpers für $0 < x < l_p$ stetig ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Zur Definition der effektiven Geschosslänge l_p siehe 3.3.

3.2

nicht stromlinienförmiges Geschoss

Geschosse, deren Körper eine andere Form als der von stromlinienförmigen Geschossen hat. Das können mehrteilige Geschosse, wie z. B. Schrotpatronen, oder einteilige, nicht stromlinienförmige Geschosse, wie z. B. Flintenlaufgeschosse, sein (siehe Bild 1)

Anmerkung 1 zum Begriff: Zur Definition der effektiven Geschosslänge l_p siehe 3.3.



Bild 1 — Beispiele für nicht stromlinienförmige Geschosse

3.3 effektive Geschosslänge

l_p

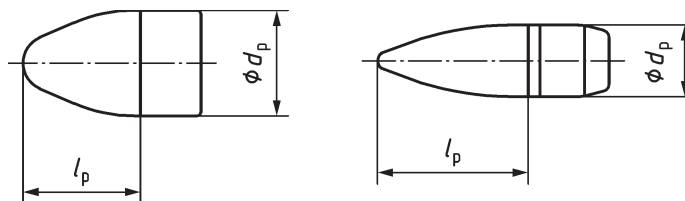
Entfernung zwischen der Geschossspitze und dem Querschnitt von stromlinienförmigen Geschossen, an dem sich der größte Durchmesser des Geschosses ergibt (siehe Bild 2).

Anmerkung 1 zum Begriff: Die effektive Länge des Geschosses wird entlang der Längsachse des Geschosses gemessen und in Meter (m) angegeben.

Für nicht stromlinienförmige Geschosse gilt: Der Abstand zwischen den beiden Punkten auf der Längsachse des Geschosses, die die größte Änderung des Geschossradius ergeben, wird als effektive Länge des nicht stromlinienförmigen Geschosses angesetzt. Falls dies aufgrund der besonderen Form des Geschosses nicht möglich ist, müssen zur Bestimmung der effektiven Länge andere Verfahren, wie z. B. Schallmessungen, angewendet werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Für nicht stromlinienförmige Geschosse gilt: Der Abstand zwischen den beiden Punkten auf der Längsachse des Geschosses, die die größte Änderung des Geschossradius ergeben, wird als effektive Länge des nicht stromlinienförmigen Geschosses angesetzt. Falls dies aufgrund der besonderen Form des Geschosses nicht möglich ist, müssen zur Bestimmung der effektiven Länge andere Verfahren, wie z. B. Schallmessungen, angewendet werden.

Bei Geschossen, die aus Schrotkugeln bestehen, wie sie hauptsächlich in Flinten verwendet werden, wird die effektive Länge durch den Durchmesser des Gewehrlaufs bestimmt.



Legende

l_p effektive Geschosslänge, angegeben in Meter (m)

d_p größter Geschossdurchmesser, angegeben in Meter (m)

Bild 2 — Effektive Geschosslänge

3.4 N-Welle

idealisierte Wellenform eines Schalls mit einer Druckschwankung, deren Zeitverlauf mit einem steilen Anstieg auf ein Maximum beginnt, dann linear auf einen Mindestwert abfällt und schließlich wieder steil auf den Anfangsschalldruck ansteigt (siehe Bild 3)

Anmerkung 1 zum Begriff: Messungen zeigen Abweichungen von der idealisierten N-Welle, die mit dem Abstand zunehmen.

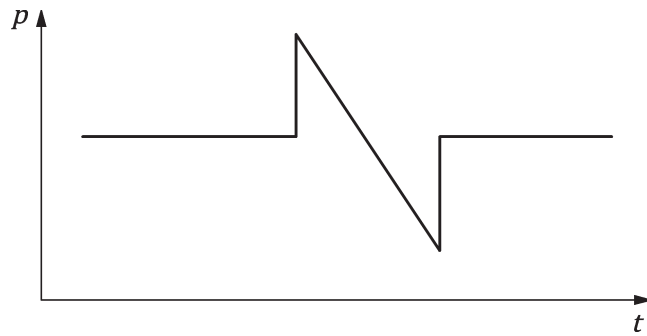


Bild 3 — Angenommene N-förmige Schallwelle eines Überschallgeschosses bei einem Abstand von 1 m zu einem Quellpunkt auf der Geschossflugbahn

3.5

Signatur-Intervall

T_c

Zeit zwischen zwei Druckanstiegen der N-Welle

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Signatur-Intervall wird in Sekunden (s) angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: T_c ändert sich im Verlauf des Schallausbreitungsweges aufgrund nichtlinearer akustischer Wirkungen.

3.6

Signaturfrequenz

f_c

Kehrwert des Signatur-Intervalls, T_c

$$f_c = \frac{1}{T_c}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Signaturfrequenz wird in Hertz (Hz) angegeben.

3.7

Koordinatensystem (x,y)

ebenes Koordinatensystem (x,y), die Geometrie beschreibend, wobei die x-Achse die Schussrichtung mit $x = 0$ an der Mündung bezeichnet und die y-Achse den senkrechten Abstand zur Schussrichtung in einer beliebigen Ebene um die Schussrichtung misst

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Schallfeld des Geschossgeräuschs ist rotationssymmetrisch um die Schussrichtung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Koordinaten werden in Meter (m) angegeben.

3.8

Kohärenzabstand

R_{coh}

Abstand zwischen dem Quellpunkt auf der Geschossflugbahn und einem Empfänger, über den hinaus der Anteil unterschiedlicher Abschnitte der Flugbahn aufgrund von atmosphärischen Turbulenzen inkohärent ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Kohärenzabstand wird in Meter (m) angegeben.

3.9

Mach-Zahl

M

Quotient aus Geschossgeschwindigkeit und örtlicher Schallgeschwindigkeit

3.10

Schallexpositionspegel der Quelle

$L_{E,s}$

Schallexpositionspegel, der für einen Abstand von 1 m vom Quellpunkt erwartet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Schallexpositionspegel der Quelle wird in Dezibel (dB) angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Bezugsabstand von 1 m ist in Richtung des Empfängers und nicht senkrecht zur Flugbahn definiert.

3.11

Quellpunkt

Punkt, an dem eine vom Empfänger ausgehende, senkrecht zur Wellenfront des Geschossgeräuschs verlaufende Linie die Geschossflugbahn schneidet

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Geschoss strahlt über seine gesamte Flugbahn Schall ab und ist daher im Grundsatz eine linienförmige Quelle. In diesem Dokument wird ein Quellpunkt verwendet, um die Position der Flugbahn darzustellen [siehe Gleichung (9)].

3.12

Abschussgeschwindigkeit des Geschosses

v_{p0}

Geschwindigkeit des Geschosses, mit der es aus der Mündung austritt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Mündungsgeschwindigkeit wird in Meter je Sekunde (m/s) angegeben.

3.13

Geschossgeschwindigkeit

v_p

Geschwindigkeit des Geschosses auf der Flugbahn

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Geschossgeschwindigkeit wird in Meter je Sekunde (m/s) angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Veröffentlichte Daten zur Geschossgeschwindigkeit als eine Funktion des Abstands sind bezogen auf die Luftdichte in Meereshöhe. Bei anderen Höhen über dem Meeresspiegel muss die entsprechende Dichteänderung berücksichtigt werden.

3.14

Bezugsschallgeschwindigkeit

c_{ref}

adiabatische Schallgeschwindigkeit, die über einen Zeitraum von mindestens 10 min gemittelt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Bezugsschallgeschwindigkeit wird in Meter je Sekunde (m/s) angegeben.

3.15

fluktuierende effektive Schallgeschwindigkeit

Summe aus dem Augenblickswert der adiabatischen Schallgeschwindigkeit und dem Momentanwert der horizontalen Windgeschwindigkeitskomponente in Richtung der Schallausbreitung

Anmerkung 1 zum Begriff: Die fluktuierende effektive Schallgeschwindigkeit wird in Meter je Sekunde (m/s) angegeben.

3.16

Standardabweichung des fluktuierenden Schallbrechungsindex

μ_0
Standardabweichung des Quotienten aus der Bezugsschallgeschwindigkeit und der fluktuierenden effektiven Schallgeschwindigkeit

Anmerkung 1 zum Begriff: In Übereinstimmung mit [3] wird im Kontext dieses Dokuments ein Wert von $\mu_0^2 = 10^{-5}$ angewendet [siehe Gleichung (20)].

3.17

Änderung der Geschossgeschwindigkeit

κ
örtliche Änderung der Geschwindigkeit des Geschosses auf der Flugbahn je Längeneinheit der Flugbahn

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Änderung der Geschossgeschwindigkeit wird in 1 durch Sekunde [(m/s per m) = 1/s] angegeben.

Anmerkung 2 zum Begriff: Sie ist für Geschosse ohne Eigenantrieb negativ.

4 Geschossgeräusch

4.1 Einleitung

Durch den Überschallflug eines Geschosses wird eine Stoßwelle erzeugt, deren kegelförmige Wellenfront von der Geschossspitze ausgeht. Dies ist in Bild 3 für eine konstante Geschossgeschwindigkeit dargestellt. Da jedoch die Geschossgeschwindigkeit im Verlauf seiner Flugbahn abnimmt, wird die Wellenfront gekrümmt. Der Bereich um die Flugbahn kann in drei Regionen bzw. Bereiche unterteilt werden, für die jeweils unterschiedliche Verfahren zur Berechnung des Schallpegels erforderlich sind. Das wird in 4.2 näher erläutert.

Der zeitliche Verlauf der Stoßwelle hat die Form des Buchstabens N und wird daher als N-Welle bezeichnet. Das Spektrum dieser N-Welle lässt sich wie in 4.3 ausführlich beschrieben berechnen.

In Abschnitt 5 wird die Berechnung des Schallexpositionspegels der Quelle sowohl für stromlinienförmige als auch nicht stromlinienförmige Geschosse behandelt.

In Abschnitt 6 ist ein Verfahren beschrieben, nach dem sich der Schallexpositionspegel des Geschossgeräuschs an einem bestimmten Empfangsort unter Berücksichtigung mehrerer Dämpfungsterme, die vom Schallexpositionspegel der Quelle abgezogen werden müssen, berechnen lässt.

4.2 Bereiche

Um das Geschossgeräusch beschreiben zu können, werden drei Bereiche (I, II und III) um die Flugbahn herum unterschieden (siehe Bild 4). In den Bereichen I und III treten im Vergleich zu Bereich II deutlich geringere Schallexpositionspegel auf. Dieses Dokument enthält ein Ablaufschema für die Berechnung der Schallexpositionspegel in den Bereichen II und III. Die Pegel in Bereich I sind im Vergleich zum Mündungsknall vernachlässigbar. Die Geschossgeschwindigkeit wird lokal und näherungsweise durch eine lineare Funktion des Abstands x entlang der Geschossflugbahn nach Gleichung (1) bestimmt:

$$v_p(x) = v_{p0} + \kappa x \quad (1)$$

Die Grenzen von Bereich II werden durch die in Bild 4 dargestellten Winkel ξ_0 und ξ_e beschrieben. Diese Winkel sind mit Gleichung (2) gegeben:

$$\xi_0 = \arccos\left(\frac{c_{\text{am}}}{v_{p0}}\right) \quad \text{and} \quad \xi_e = \arccos\left(\frac{c_{\text{am}}}{v_{pe}}\right) \quad (2)$$

Dabei ist

v_{pe} die Geschossgeschwindigkeit am Flugbahnende, in Meter je Sekunde (m/s);

c_{am} die Schallgeschwindigkeit, in Meter je Sekunde (m/s);

Die Schallgeschwindigkeit ist eine Funktion der absoluten Temperatur der Umgebungsluft, T_{am} , in Kelvin, und mit Gleichung (3) gegeben:

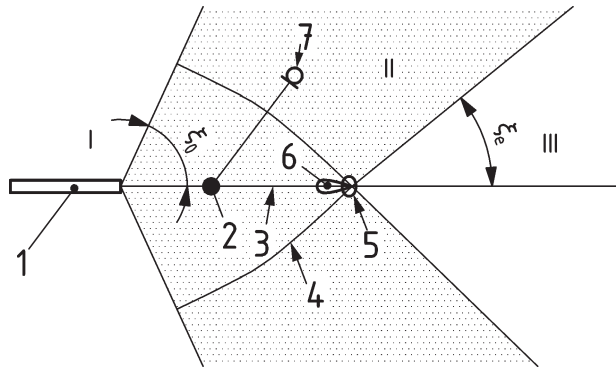
$$c_{am} = c_{ref} \left(\frac{T_{am}}{T_{ref}} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Dabei ist

$$T_{ref} = 283,15 \text{ K (10 °C);}$$

$$c_{ref} = 337,6 \text{ m/s (die Schallgeschwindigkeit bei } T_{ref}\text{).}$$

Wenn die Geschossgeschwindigkeit entlang der Flugbahn die Schallgeschwindigkeit unterschreitet, nimmt der Winkel ξ_e den Wert null an, und in diesem Fall verschwindet der Bereich III.



Legende

- | | |
|--------------------|-------------|
| 1 Waffe | 5 Ziel |
| 2 Quellpunkt | 6 Geschoss |
| 3 Geschossflugbahn | 7 Empfänger |
| 4 Wellenfront | |

Bild 4 — Die drei Bereiche zur Beschreibung des durch ein Geschoss verursachten Geräusches

4.3 Das Spektrum einer N-Welle

Um das Spektrum des Geschossgeräusches in einem Abstand r_s vom Quellpunkt zu bestimmen, wird ein auf der Signaturfrequenz f_c der N-Welle in diesem Abstand beruhendes relatives Spektrum $L_{E,rel}(f_i, r_s)$ verwendet. Diese in Hertz bestimmte Signaturfrequenz ist nach Gleichung (4) zu berechnen:

$$f_c(r_s) = f_0 \frac{(M^2 - 1)^{\frac{1}{4}} l_p^{\frac{1}{4}} r_0}{M^{\frac{3}{4}} d_p r_s^{\frac{1}{4}}} \quad (4)$$

Dabei ist

r_s der Abstand zwischen Quellpunkt und Empfänger (siehe Bild 4), in Meter (m);

f_0 die Bezugsfrequenz, gleich 175,2 Hz bei 10 °C (siehe Abschnitt A.3);

M die Mach-Zahl des Geschosses am Quellpunkt (x_s). In diese Gleichung muss ein Mindestwert $M = 1,02$ eingesetzt werden, um zu vermeiden, dass Gleichung (6) und Gleichung (7) zu unbestimmten Ergebnissen führen.

ANMERKUNG 1 Gleichung (4) verdeutlicht, dass sich die Signaturfrequenz f_c mit größer werdendem Abstand r_s verringert. Dies ist eine Folge der Impulsverbreiterung aufgrund nichtlinearer Effekte.

Über den Bereich der Nenn-Mittenfrequenzen f_i , von 12,5 Hz bis 10 kHz und mit der nach Gleichung (4) berechneten Signaturfrequenz f_c , ist das relative Spektrum im Terzband mit spektraler Abschwächung zu niedrigeren und höheren Frequenzen mit Gleichung (5) gegeben:

$$L_{E,rel}(f_i; r_s) = C_i(f_i; r_s) - C_{tot}(r_s) \quad (5)$$

Dabei ist

$$C_i(f_i; r_s) = 2,5 + 28 \lg\left(\frac{f_i}{f_c(r_s)}\right) \text{ dB} \quad \text{wenn } f_i < 0,65 f_c \quad (6)$$

$$C_i(f_i; r_s) = -5,0 - 12 \lg\left(\frac{f_i}{f_c(r_s)}\right) \text{ dB} \quad \text{wenn } f_i \geq 0,65 f_c \quad (7)$$

$$C_{tot}(r_s) = 10 \lg \sum_{i=11}^{40} 10^{\frac{C_i(r_s)}{10}} \text{ dB} \quad (8)$$

und dabei ist $f_i = 10^{i/10}$ die Mittenfrequenz des Terzbandes (12,5 Hz bis 10 kHz, wobei $i = 11$ einer Mittenfrequenz von 12,5 Hz und $i = 40$ einer Mittenfrequenz von 10 kHz entspricht).

ANMERKUNG 2 Es können Nennfrequenzen oder konkret angegebene Frequenzen (Basis 2 oder 10) verwendet werden.

ANMERKUNG 3 Der Frequenzbereich ist derselbe wie in ISO 17201-1 und ISO 17201-2 für das Mündungsknallgeräusch angegeben.

5 Beschreibung der Quelle

5.1 Quellpunkt

Die Position des Quellpunktes ($x_s, 0$) hängt von der Position des Empfängers ab. Befindet sich der Empfänger im Bereich II, so kann die Position der Quelle nach numerischen Verfahren bestimmt werden, für gerade Flugbahnen lässt sich diese nach Gleichung (9) bestimmen. Angewendet wird ein Koordinatensystem (x, y), wobei die x -Achse entlang der Geschossflugbahn verläuft und der Ursprung sich an der Mündung befindet.

$$(x - x_s)^2 \times (v_{p0} + \kappa x_s + c_{am}) \times (v_{p0} + \kappa x_s - c_{am}) = c_{am}^2 y^2 \quad (9)$$

$$\text{mit } 0 < x_s < x \quad \text{und} \quad x_s < \left| \frac{1,02 c_{am} - v_{p0}}{\kappa} \right|$$

Dabei ist (x, y) die Position des Empfängers.

ANMERKUNG In Gleichung (9) wird, ähnlich wie bei Gleichung (4), ein Mindestwert von $M = 1,02$ verwendet.

Falls der berechnete Quellpunkt hinter dem Ziel liegt oder bei Empfängern im Bereich III, wird der Quellpunkt in das Ziel gelegt.

5.2 Schallexpositionspegel der Quelle bei stromlinienförmigen Geschossen

Der (Breitband-)Schallexpositionspegel der Quelle, $L_{E,s,bb}(x_s)$, angegeben in Dezibel, ist gegeben durch die geometrischen Eigenschaften des Geschosses und dessen Geschwindigkeit am Quellpunkt, [4] nach Gleichung (10):

$$L_{E,s,bb}(x_s) = L_0 + 10 \lg \left(\frac{d_p^3}{l_p^4 r_0^{9/4}} \right) + 10 \lg \left[\frac{M(x_s)^{9/4}}{(M(x_s)^2 - 1)^{3/4}} \right] \quad (10)$$

Dabei ist

L_0 [re (20 µPa)²s] = 161,9 dB (siehe Abschnitt A.1);

$M(x_s)$ = $v(x_s)/c_{am}$ die lokale Mach-Zahl des Geschosses am Quellpunkt x_s , wobei die Geschoss-geschwindigkeit nach Gleichung (1) und die Schallgeschwindigkeit bei der Umgebungs-lufttemperatur nach Gleichung (3) berechnet wird;

r_0 = 1 m.

Wenn sich die Mach-Zahl dem Wert 1 nähert, wird der dritte Term der Gleichung (10) unbestimmt. Daher wird in diesen Ausdrücken als untere Grenze $M = 1,02$ angesetzt.

ANMERKUNG Grundsätzlich kann an Stelle der effektiven Länge auch die Gesamtlänge des Geschosses zur Berechnung des (Breitband-)Schallexpositionspegels angewendet werden, allerdings sollte die Gesamtlänge in diesem Fall auch zur Berechnung des Formfaktors K und der sich daraus ergebenden Konstante L_0 angewendet werden (siehe Anhang A), damit sich keine Widersprüche ergeben.

5.3 Schallexpositionspegel der Quelle bei nicht stromlinienförmigen Geschossen

Das Berechnungsverfahren für nicht stromlinienförmige Geschosse basiert auf der Annahme, dass ein bestimmter Anteil der kinetischen Energie des sich mit Überschallgeschwindigkeit bewegenden Geschosses in einer Stoßwelle verloren geht. Aus diesem Energieverlust errechnet sich die Schallexposition, wobei von linearer Akustik ausgegangen wird.

Im Zusammenhang mit diesem Verfahren sind Vorgabewerte angegeben, die bei einigen Parametern Anwendung finden. Von den Vorgabewerten abweichende Werte dürfen, sofern geeignet, verwendet werden, dies muss aber begründet werden.

Die von einem bestimmten Emissionspunkt P_S abgestrahlte Energie der Schallquelle verhält sich proportional zum Energieverlust über eine Flugbahnlänge Δx um diesen Emissionspunkt. Der Energieverlust des Geschosses wird als das Integral der Strömungswiderstandskraft im Verlauf der Flugbahn von $x - \Delta x/2$ bis $x + \Delta x/2$ mit einer Länge Δx von 0,01 m berechnet:

$$Q_1(x_s) = \frac{1}{2} \int_{x_s - \frac{\Delta x}{2}}^{x_s + \frac{\Delta x}{2}} \rho A C_W(x) v_p^2(x) dx \quad (11)$$

Dabei ist

$v_p(x)$ die Geschosseschwindigkeit an der Position x , in m/s;

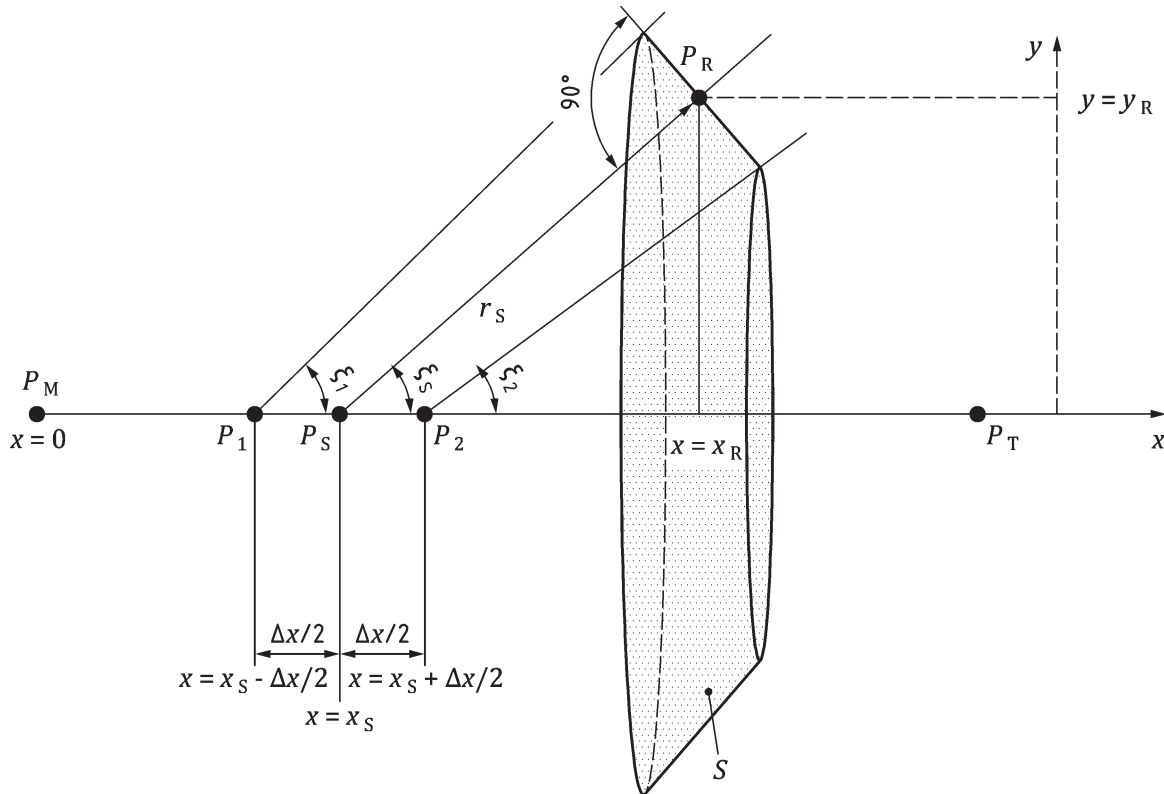
ρ die Luftdichte (höhenabhängig), in kg/m³;

A die Querschnittsfläche des Geschosses senkrecht zur Schussrichtung, in m²;

$C_W(x)$ der von der Mach-Zahl abhängige Luftreibungsbeiwert;

x die Position des Geschosses auf der x -Achse; in m;

Δx die räumliche Schrittweite, für die die abgegebene Schallenergie berechnet wird, in m.



Legende

P_M Position der Mündung

P_R Empfangspunkt

x Schussrichtung

y senkrecht zur Schussrichtung verlaufende Richtung in beliebiger Richtung um die Schussrichtung

r_S Abstand des Quellpunkts vom Empfangspunkt

P_S Position des Quellpunkts

P_T Position des Zielpunktes

Bild 5 — Geometrie der Mach-Front für eine gegebene Zeitspanne

In Bild 5 bezeichnet der Winkel ξ_1 den Abstrahlwinkel an der Position $x = x_S - \Delta x/2$ und ξ_2 den Abstrahlwinkel an der Position $x = x_S + \Delta x/2$.

Weil Δx klein ist, kann die Strömungswiderstandskraft über diesen kleinen Teil der Flugbahn als konstant angenommen werden. Gleichung (11) verkürzt sich dann auf die folgende Gleichung (12):

$$Q_1(x_S) = \frac{1}{2} \rho A C_W(x_S) v_p^2(x_S) \Delta x \quad (12)$$

Dabei ist

$v_p(x_S)$ die Geschwindigkeit des Geschosses am Quellpunkt x_S , in m/s;

- ρ die Luftdichte (höhenabhängig), angegeben in kg/m^3 ;
- A die Querschnittsfläche, angegeben in m^2 ;
- $C_W(x_s)$ der von der Mach-Zahl abhängige Luftreibungsbeiwert;
- x_s die Position des Geschosses auf der x -Achse, angegeben in m;
- Δx der Teil der Flugbahn, für den die abgegebene Schallenergie berechnet wird, angegeben in m.

Falls $C_W(M)$ nicht bekannt ist, die Änderung der Geschossgeschwindigkeit κ aber verfügbar ist oder gemessen wird, kann der Geschossenergieverlust Q_1 alternativ wie folgt berechnet werden:

$$Q_1(x_s) = -m_p \kappa \Delta x v_p(x_s) \quad (13)$$

Dabei ist m_p die Geschossmasse, in kg. Siehe auch Anhang C.

Falls $C_W(M)$ und κ nicht bekannt sind, muss bei nicht stromlinienförmigen Geschossen $C_W(M) = 1,1$ verwendet werden.

ANMERKUNG Der Wert von 1,1 wurde für Schrotpatronen ermittelt und aus zwei typischen Sorten von Schrotflintenmunition (Kaliber 16/70 und Kaliber 12/70) abgeleitet. Bei stromlinienförmigen Gewehrgeschossen wurde ein Wert von $C_W(M) = 0,3$ und bei Pistolengeschossen ein Wert von $C_W(M) = 0,5$ ermittelt.

Die Energie der Geschossgeräuschquelle, Q_p , ist das Produkt aus dem Geschossenergieverlust Q_1 und dem akustischen Wirkungsgrad σ_{ac} . Falls σ_{ac} für das zu betrachtende Geschoss nicht bekannt ist, muss als Vorgabewert $\sigma_{ac} = 0,25$ verwendet werden.

$$Q_p(x_s) = \sigma_{ac} Q_1(x_s) \quad (14)$$

Die Energie wird vom Element Δx auf der Flugbahn durch die Streufläche S abgestrahlt, was die Situation für die Position x_s auf der x -Achse darstellt. Die Streufläche S hängt von x_s , Δx , ξ_s und r_s ab. Diese Fläche ist mit Gleichung (15) gegeben:

$$S(r_s) = 2\pi \sin(\xi_s) r_s (\Delta x \sin(\xi_s) + r_s \tan(\varepsilon_s)) \quad (15)$$

Dabei ist

$$\varepsilon_s = \xi_1 - \xi_2$$

$$\xi_1 = \arccos \left[\frac{c}{v(x_s - \Delta x/2)} \right]$$

$$\xi_2 = \arccos \left[\frac{c}{v(x_s + \Delta x/2)} \right]$$

Die Schallexposition wird anhand der Streufläche S berechnet, siehe Bild 5.

Die Schallexposition der Quelle wird für einen Bezugsabstand r_0 von 1 m senkrecht zur Wellenfront berechnet und ist mit Gleichung (16) gegeben:

$$E_S(x_s) = \rho c \frac{Q_p(x_s)}{S(r_0)} \quad (16)$$

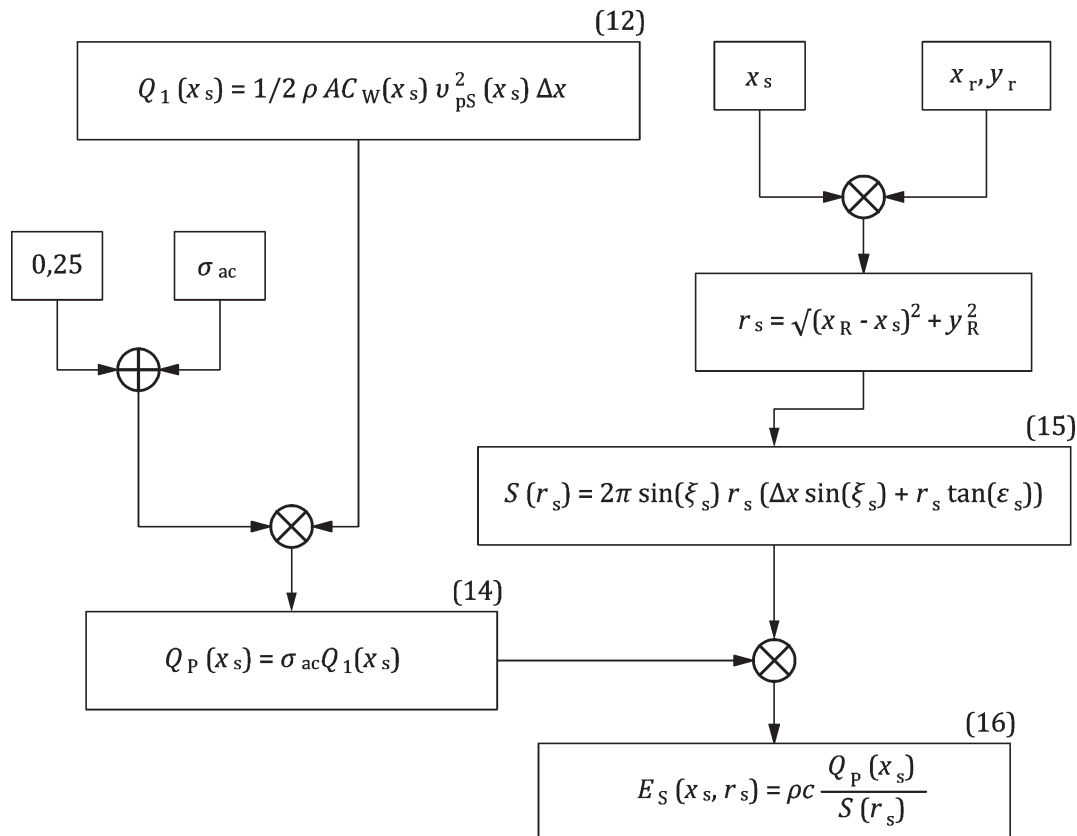
Der Breitbandpegel der Quelle ist wie folgt definiert:

$$L_{E,s,bb}(x_s) = 10 \lg(E_S(x_s)/E_0) \quad (17)$$

E_0 , wie in ISO 80000-8:2020 für Luft definiert [vergleiche ISO, 400 (mPa)² s].

Dieser Ansatz ist gültig, solange das Geschoss eine Geschwindigkeit größer als die Schallgeschwindigkeit hat.

Das Flussdiagramm in Bild 6 zeigt das Ablaufschema der Schallexpositionsberechnung.



ANMERKUNG Die Zahlen oben rechts über den Kästchen sind die Nummern der Gleichungen, auf die im Text verwiesen wird.

Bild 6 — Flussdiagramm zur Berechnung der Schallexposition

Ein Beispiel ist in Abschnitt D.3 angegeben.

5.4 Spektrum des Schallexpositionspegels der Quelle

Für den Bereich der Nenn-Mittenfrequenzen f_i , von 12,5 Hz bis 10 kHz für genormte Terzbandfilter mit einer nach Gleichung (4) berechneten Signaturfrequenz f_c ist das Terzbandspektrum des Schallexpositionspegels der Quelle mit Gleichung (18) gegeben:

$$L_{E,s}(f_i; x_s) = L_{E,s,bb}(x_s) + L_{E,rel}(f_i; r_0) \quad (18)$$

Dabei ist

$r_0 = 1 \text{ m}$ der Bezugsabstand vom Quellpunkt senkrecht zur Wellenfront;

x_s die Position der Quelle.

6 Berechnung des Schallexpositionspegels am Empfangsort

6.1 Grundgleichung

Es ist notwendig, dass das Terzbandspektrum des Schallexpositionspegels am Empfangsort, $L_{E,r}(f_i)$, der Dämpfung Rechnung trägt, die durch verschiedene Faktoren hervorgerufen wird, die die Schallamplitude bei der Ausbreitung vom Bezugsabstand 1 m zum Empfangsort im Abstand r_s verringern. Der folgende Ausdruck trägt den zu berücksichtigenden Hauptfaktoren Rechnung.

$$L_{E,r}(f_i) = L_{E,s}(f_i; x_s) - A_{\text{div}}(r_s) - A_{\text{nlin}}(r_s) - A_{\text{SpecShift}}(f_i; r_s) - A_{\text{atm}}(f_i; r_s) - A_{\text{excess}}(f_i; r_s) \quad (19)$$

Dabei ist

$L_{E,s}(f_i; x_s)$	der Terzband-Schallexpositionspegel der Quelle bei einer Mittenfrequenz f_i und dem Bezugsabstand von 1 m zum Quellpunkt [siehe Gleichung (17)], angegeben in Dezibel;
$A_{\text{div}}(r_s)$	die Dämpfung des Schallpegels in einem reflexionsfreien Feld, die sich aus der Divergenz der geometrischen Fläche der Wellenfront mit zunehmendem Abstand vom Bezugsabstand 1 m ergibt, angegeben in Dezibel;
$A_{\text{nlin}}(r_s)$	die Dämpfung durch nichtlineare Wirkungen, die mit der großen Anfangsamplitude des Geschossgeräusches in der Nähe des Quellpunktes verbunden sind, angegeben in Dezibel;
$A_{\text{SpecShift}}(f_i; r_s)$	die Verschiebung des Spektrums entsprechend der nichtlinearen Ausbreitungsimpulsverbreiterung der N-Welle, angegeben in Dezibel;
$A_{\text{atm}}(f_i; r_s)$	die Dämpfung durch Absorptionsvorgänge in der Atmosphäre bei der Ausbreitung des Schalls über den Schallweg vom Bezugsabstand 1 m zum Empfangsort, angegeben in Dezibel;
$A_{\text{excess}}(f_i; r_s)$	die übrige Dämpfung, zu der Verluste aufgrund der Wechselwirkung mit dem Boden, atmosphärischer Brechung und Schirmung durch einen Schallschirm gehören, angegeben in Dezibel.

ANMERKUNG 1 Da sich das Geschossgeräusch vom Bezugsabstand 1 m zu einem Empfänger in einem Abstand r ausbreitet, enthält die Dämpfung Verluste, die sich aus der Wechselwirkung von Schallwelle und Bodenoberfläche, Brechung oder Beugung des Schallweges durch Gradienten im vertikalen Profil der Schallgeschwindigkeit in Luft sowie Schirmung durch einen Schallschirm ergeben. ISO 9613-2 enthält Hinweise zu geeigneten Vorgehensweisen zur Berücksichtigung der zusätzlichen Dämpfungsterme bei der Vorhersage des Geschossgeräusches. Abschnitt A.4 enthält Hinweise zur näherungsweisen Bestimmung der Schirmwirkung.

ANMERKUNG 2 Zu Beispielen für $L_{E,s}$ und $A_{\text{SpecShift}}$ siehe Anhang D.

6.2 Berechnung der Dämpfungsterme

6.2.1 Geometrische Dämpfung

Zur Berechnung der geometrischen Dämpfung A_{div} werden Empfängerpositionen in den Bereichen II und III unterschieden. Im Bereich II schwankt die geometrische Dämpfung zwischen $10 \lg(r_s/r_0)$ dB und $25 \lg(r_s/r_0)$ dB, wobei r der Abstand des Quellpunktes vom Empfänger ist, der sich aus zwei Wirkungen ergibt:

- Wirkung der Abnahme der Geschossgeschwindigkeit entlang der Flugbahn; und
- Wirkung von atmosphärischen Turbulenzen.

E DIN EN ISO 17201-4:2024-08
prEN ISO 17201-4:2024 (D)

Bei geringen Abständen dominiert die erste Wirkung. Nach einem gewissen Kohärenzabstand (R_{coh}) dominiert die zweite Wirkung. Bei Abständen von mehr als 10 km zum Quellpunkt auf der Geschossflugbahn nähert sich die Dämpfung der Sphärengrenze von $20 \lg(r_s/r_0)$ dB [3].

Der Kohärenzabstand R_{coh} , in Meter, ist mit Gleichung (20) gegeben:

$$R_{\text{coh}} = \min \left\{ \frac{(M^2 - 1) \left(\frac{l_t}{2}\right)^2}{M^2 c_{\text{am}} / f_c}, \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left[\frac{\frac{3}{2} l_0 l_t^2 (M^2 - 1)}{M^2 \mu_0^2} \right]^{1/3} \right\} \quad (20)$$

Dabei ist

l_t die Gesamtlänge der Flugbahn, entweder bis zum Ziel oder bis zu dem Punkt, an dem die lokale Mach-Zahl auf 1 gesunken ist, angegeben in Meter (m);

$l_0 = 1,1$ m siehe Literaturhinweis [3];

$\mu_0^2 = 10^{-5}$;

M die lokale Mach-Zahl am Ort des Quellpunktes;

c_{am} die Schallgeschwindigkeit bei der jeweils betrachteten Temperatur der Umgebungsluft, siehe Gleichung (3), angegeben in Meter je Sekunde (m/s).

Die geometrische Dämpfung für den Bereich II ist mit Gleichung (21) und Gleichung (22) gegeben:

$$A_{\text{div,II}} = 10 \lg \left(\frac{r_s^2 k + r_s (M^2 - 1)}{r_0^2 k + r_0 (M^2 - 1)} \right) \text{ dB} \quad \text{für } r_s < R_{\text{coh}} \quad (21)$$

$$A_{\text{div,II}} = 10 \lg \left(\frac{R_{\text{coh}}^2 k + R_{\text{coh}} (M^2 - 1)}{r_0^2 k + r_0 (M^2 - 1)} \right) + 25 \lg \left(\frac{r_s}{R_{\text{coh}}} \right) \text{ dB} \quad \text{für } r_s < R_{\text{coh}} \quad (22)$$

Dabei ist

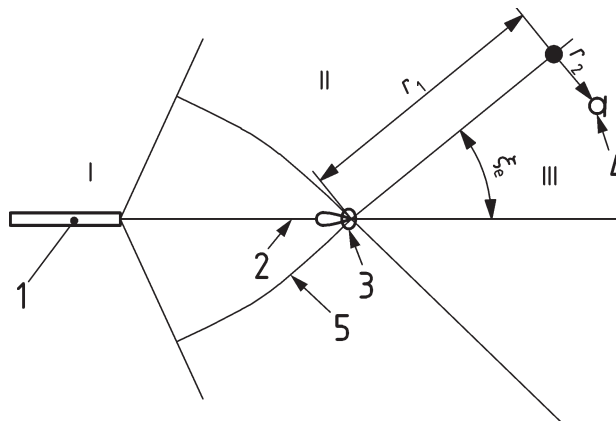
$k = -\kappa / c_{\text{am}}$;

$r_0 = 1$ m.

Im Bereich III vor der Waffe wird die geometrische Dämpfung des Geschossgeräusches durch Addition der beiden Terme nach Gleichung (23) näherungsweise mit den in Bild 7 angegebenen Abständen r_1 und r_2 bestimmt.

$$A_{\text{div,III}} = A_{\text{div,II}}(r = r_1) + 20 \lg \left(\frac{\max(r_2, R_0)}{R_0} \right) \text{ dB} \quad \text{mit} \quad R_0 = 2 + \frac{r_1}{100} \quad (23)$$

Der erste Term auf der rechten Seite von Gleichung (22) ist die nach Gleichung (20) oder Gleichung (21) berechnete geometrische Dämpfung für einen Punkt an der Grenze zwischen Bereich II und Bereich III und in einem Abstand r_1 , der am dichtesten am Empfangsort in Bereich III liegt. Der zusätzliche Anteil des zweiten Terms hängt vom Abstand r_2 ab (siehe Bild 7).



Legende

- 1 Waffe
- 2 Geschossflugbahn
- 3 Ziel
- 4 Empfänger
- 5 Wellenfront

Bild 7 — Zu berücksichtigende Abstände beim Empfänger im Bereich III

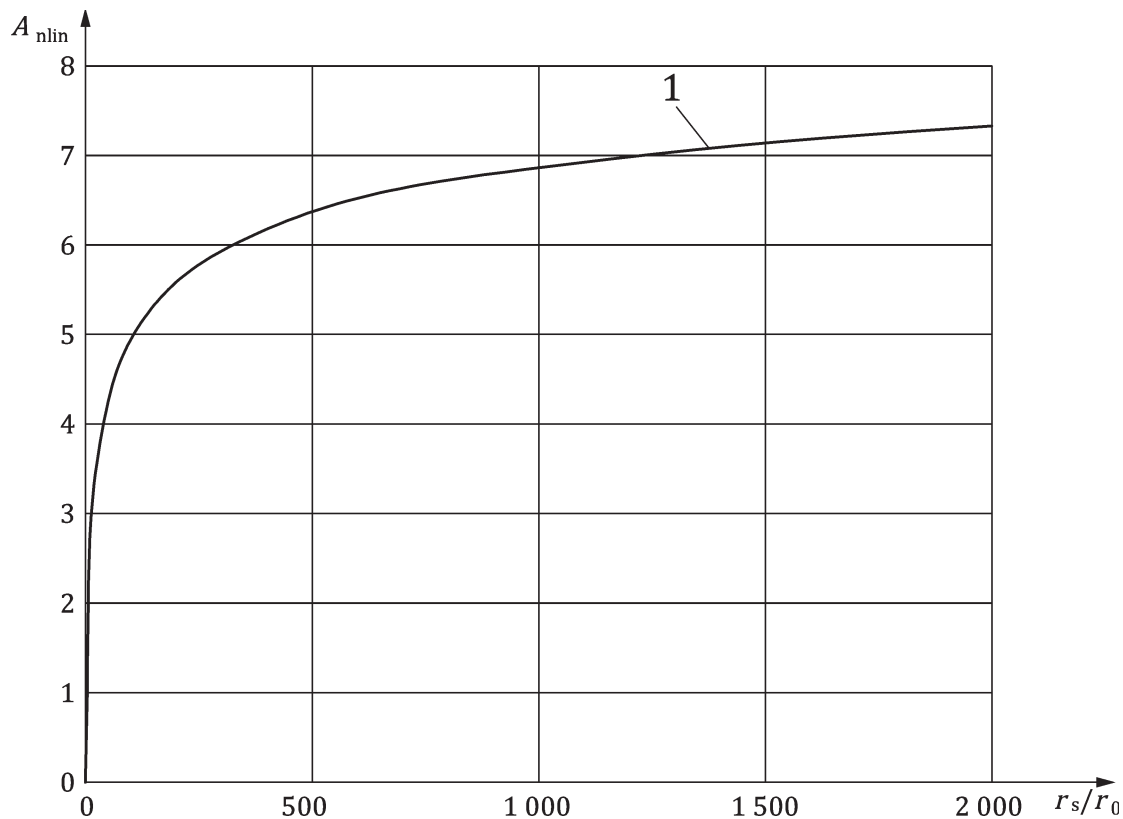
6.2.2 Nichtlineare Dämpfung

Bei Empfängern im Bereich II ist die Dämpfung durch nichtlineare Wellenausbreitung, angegeben in Dezibel, mit Gleichung (24) gegeben:

$$A_{\text{nlín}} = 5 \lg \left\{ 1 + \frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{(M^2 - 1)}{r_0 k}} \ln \left[\frac{r_s + \frac{M^2 - 1}{2k} + \sqrt{r_s^2 + r_s \left(\frac{M^2 - 1}{k} \right)}}{r_0 + \frac{M^2 - 1}{2k} + \sqrt{r_0^2 + r_0 \left(\frac{M^2 - 1}{k} \right)}} \right] \right\} \text{ dB} \quad (24)$$

Das übliche nichtlineare Verhalten ist in Bild 8 dargestellt.

Bei Empfangsorten im Bereich III wird die nichtlineare Dämpfung nach Gleichung (24) ermittelt; dabei gilt für den Abstand r_1 statt r_s .



Legende

A_{nlin} nichtlineare Dämpfung, angegeben in Dezibel (dB)

r_s Abstand des Quellpunktes vom Empfänger, angegeben in Meter (m)

$r_0 = 1$ m

Kurve 1 basiert auf $M = 1,3$ und $k = 0,8/340$ m/s²

Bild 8 — Nichtlineare Dämpfung als Funktion des Abstands

6.2.3 Nichtlineare Verschiebung des Spektrums

Die nichtlineare Verschiebung des Spektrums $A_{\text{SpecShift}}(f_i; r_s)$ ist für die Nenn-Mittenfrequenz der Terzband-Schallexpositionspegel in einem Abstand r zum Quellpunkt nach Gleichung (25) zu berechnen:

$$A_{\text{SpecShift}}(f_i; r_s) = L_{E,\text{rel}}(f_i; r_0) - L_{E,\text{rel}}(f_i; r_s) \quad (25)$$

6.2.4 Luftabsorption, übrige Dämpfung und Schirmwirkungen

Die durch Absorptionsmechanismen bei der Ausbreitung vom Quellpunkt im Bezugsabstand von 1 m verursachte Dämpfung $A_{\text{abs}}(f_i)$, in Dezibel, ist für die Mittenfrequenz der Terzband-Schallexpositionspegel nach Gleichung (26) zu berechnen:

$$A_{\text{abs}}(f_i) = \alpha(f_i) r_s \quad (26)$$

Dabei ist

$\alpha(f_i)$ der Reinton-Dämpfungskoeffizient der Luftabsorption bei der Mittenfrequenz, in Dezibel je Meter, für den jeweiligen statischen Luftdruck, die jeweilige Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte (siehe ISO 9613-1);

r_s die Länge des Ausbreitungsweges vom Bezugsabstand 1 m zum Empfangsort, in Meter.

ANMERKUNG Auf Grund der nichtlinearen Wirkung der Energieverschiebung zu tieferen Frequenzen durch Impulsverbreiterung ist die Dämpfung komplex. Aus Gleichung (4) lässt sich entnehmen, dass die Signaturfrequenz mit zunehmendem Abstand zwischen Quelle und Empfänger aufgrund der $1/r$ -Beziehung abnimmt. Daraus folgt bei einem zunehmenden Abstand zwischen Quelle und Empfänger eine Verschiebung des Quellspektrums zu tieferen Frequenzen. Da der Frequenzgehalt nahe an der Quelle höher ist, ist in diesem Bereich auch die Luftabsorption im Verhältnis höher. Im oben beschriebenen Verfahren wird dieser nichtlineare Effekt bei der Berechnung der Luftabsorption nicht berücksichtigt. Das Verfahren stellt jedoch eine gute Annäherung dar, weil diese Frequenzverschiebung nur im quellenahen Bereich signifikant ist.

Die Bodendämpfungswirkung, die einen Teil von A_{excess} darstellt, kann mit Hilfe jedes maßgebenden Verfahrens zur Vorhersage der Schallausbreitung im Freien (z. B. nach ISO 9613-2) berechnet werden. Für unterschiedliche Bodenoberflächentypen und meteorologische Gegebenheiten kann das Verfahren der parabolischen Gleichung [3] angewendet werden.

Abschnitt A.4 enthält Hinweise zur näherungsweisen Bestimmung der Schirmwirkung. Beispiele sind in Abschnitt D.2 angegeben.

7 Unsicherheit in der Beschreibung der Quelle und in der Ausbreitung

Die mit den hier vorgestellten Berechnungsverfahren verbundenen Unsicherheiten werden für die Schallquelle sowie für die Schallausbreitung beschrieben. In der Regel gibt es zwei Ursachen für die Entstehung von Unsicherheiten in den Ergebnissen dieser Verfahren.

Eine erste Quelle der Unsicherheit wird dadurch bestimmt, wie gut das Verfahren die Realität abbildet und inwieweit seine Näherungen für die betrachtete Situation gültig sind. Diese Art von Unsicherheit kann durch den Vergleich der durch Berechnungen erhaltenen Ergebnisse mit Messungen ermittelt werden. Es wurde festgestellt [2], dass die für verschiedene Kaliber und Abstände gemessenen A-bewerteten Breitband-Schallexpositionspegel im Durchschnitt 2 dB unter den Pegeln liegen, die nach dem in dieser Norm angegebenen Verfahren für stromlinienförmige Geschosse berechnet wurden. Für einzelne Terzbänder können sich größere Unterschiede ergeben, die hauptsächlich auf Bodenwirkungen zurückzuführen sind.

Bei diesem Vergleich sollte ein Rechenergebnis mit einem gemittelten Ergebnis verglichen werden, das für eine unter ähnlichen Bedingungen durchgeführte Messreihe erhalten wurde. Einzelmessungen (Breitband-Schallexpositionspegel) in einer solchen Reihe, die in Abständen > 100 m vom Quellpunkt vorgenommen wurden, zeigen im Allgemeinen aufgrund der schwankenden atmosphärischen Bedingungen eine Streuung von mehreren Dezibel um den Mittelwert.

Eine weitere Unsicherheitsquelle ergibt sich aus Unsicherheiten der Inputparameter des Modells, die sich in den Unsicherheiten des Rechenergebnisses widerspiegeln. Jeder Inputparameter hat seine eigene Empfindlichkeit hierfür. Mathematisch betrachtet sind diese Empfindlichkeiten gleich der partiellen Ableitung der physikalischen Beziehung des Modells nach dem jeweils maßgebenden Inputparameter.

Die kombinierte Unsicherheit des Rechenergebnisses aufgrund von Unsicherheiten aller Inputparameter kann nach folgender Gleichung abgeleitet werden:

$$u = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i u_i)^2}$$

Dabei ist

u die kombinierte Unsicherheit;

c_i der Empfindlichkeitskoeffizient des i -ten Inputparameters;

u_i die Standardunsicherheit des i -ten Inputparameters;

n die Anzahl der Inputparameter des Modells.

Die Unsicherheit der Inputparameter im Verhältnis zur Unsicherheit des Quellenverfahrens wird in 7.1 ausführlicher beschrieben. Die Unsicherheit der Inputparameter im Verhältnis zur Unsicherheit des Ausbreitungsverfahrens wird in 7.2 ausführlicher beschrieben.

7.1 Unsicherheiten in der Beschreibung der Quelle

Die Unsicherheiten in der Bestimmung der Schallquelle resultieren aus den Unsicherheiten

- im Ort des Quellpunktes, in Meter (beschrieben in 5.1);
- im Breitband-Schallexpositionspegel der Quelle, in dB (beschrieben in 5.2);
- in der Signaturfrequenz der N-Welle, in Hz (beschrieben in 4.3).

Der Ort des Quellpunktes

Die mit der Bestimmung des Ortes des Quellpunktes verbundenen Unsicherheiten führen zu Unsicherheiten bei der Berechnung der Schallausbreitung zu einem Empfänger. Die Position des Quellpunktes hängt von der Abschussgeschwindigkeit des Geschosses, v_{p0} , und der Änderung der Geschosseschwindigkeit, κ , ab. Bei Abschussgeschwindigkeiten des Geschosses deutlich über der Schallgeschwindigkeit sind diese Unsicherheiten vergleichsweise gering. Bei der Betrachtung eines rechnerischen A-bewerteten Schallexpositionspegels am Empfänger ergibt sich z. B. eine Unsicherheit kleiner als 1 dB. Bei einer Abschussgeschwindigkeit des Geschosses nur wenig größer als die Schallgeschwindigkeit ergibt sich eine starke Abhängigkeit des Strömungswiderstandskoeffizienten C_w von der Mach-Geschwindigkeit, die zu größeren Unsicherheiten bei der Ortung des Quellpunktes führt. Diese Unsicherheiten lassen sich durch Verwendung eines Mindestwertes von 1,02 für die Mach-Geschwindigkeit des Geschosses verringern.

Bei Empfängern, die sich am Übergang zum Bereich II befinden, können ebenfalls größere Unsicherheiten auftreten. Die Empfängerpegel nehmen vom Bereich II ausgehend zu einem benachbarten Bereich hin steil ab (um » 10 dB von Bereich I zu Bereich II und um bis zu 10 dB von Bereich II zu Bereich III). Daher kann eine kleine Änderung des Ortes der Schallquelle (aus der Sicht des Empfängers) zu großen Änderungen beim Schallexpositionspegel führen.

Der Breitband-Schallexpositionspegel der Quelle für stromlinienförmige Geschosse

Der mit Gleichung (10) gegebene Breitband-Schallexpositionspegel der Quelle hängt vom Durchmesser und der effektiven Länge des Geschosses sowie von dessen Geschwindigkeit ab. Die Abhängigkeit vom Durchmesser ist stärker ausgeprägt als die von der effektiven Geschosslänge. Für den Empfindlichkeitskoeffizienten des Durchmessers (die partielle Ableitung nach dem Durchmesser) gilt:

$$\frac{\partial L_{E,s,bb}}{\partial d_p} = \frac{30}{\ln(10) d_p} = 13,0/d_p \text{ in dB/m}$$

Daher führt eine Unsicherheit des Durchmessers von 10 % zu einer Unsicherheit von 1,3 dB beim Schallexpositionspegel der Quelle.

Für den Empfindlichkeitskoeffizienten der Länge gilt:

$$\frac{\partial L_{E,s,bb}}{\partial l_p} = \frac{-7,5}{\ln(10) l_p} = -3,3/l_p \text{ in dB/m}$$

Daher führt eine Unsicherheit der effektiven Länge von 10 % zu einer Unsicherheit von 0,33 dB.

Die Abhängigkeit des Breitband-Schallexpositionspegels der Quelle von der Geschossgeschwindigkeit hängt ihrerseits von der Mach-Zahl ab. Der Empfindlichkeitskoeffizient in Bezug auf diesen Parameter ist mit der folgenden Gleichung gegeben:

$$\frac{\partial L_{E,s,bb}}{\partial M} = \frac{15}{M \ln(10)} \left[1,5 - \frac{M^2}{(M^2 - 1)} \right]$$

Bei $M > 1,5$ ist die Abhängigkeit nur schwach ausgeprägt und der Absolutwert des Empfindlichkeitskoeffizienten kleiner als 1,3, so dass eine Geschwindigkeitsänderung von 10 % zu einer Abweichung des Breitband-Schallexpositionspegels der Quelle kleiner als 0,2 dB führt. Bei $M < 1,5$ nimmt die Abhängigkeit jedoch zu, z. B. mit einer Abweichung des Breitbandpegels von 2,8 dB bei einer Geschwindigkeitsänderung von 10 % bei $M = 1,1$ (der Empfindlichkeitskoeffizient beträgt somit -25,2).

Der Schallexpositionspegel der Quelle bei nicht stromlinienförmigen Geschossen

Der mit Gleichung (17) gegebene (Breitband-)Schallexpositionspegel der Quelle hängt von einer Reihe von Parametern ab. Die anhand des Verlustes an kinetischer Energie berechnete akustische Energie ist über den Bereich II verteilt. Falls das Geschoss das Ziel mit einer Geschwindigkeit unterhalb der Schallgeschwindigkeit trifft (wie bei Pistolen und Flinten üblicherweise der Fall), hängt die Unsicherheit der gesamten Quellenenergie in erster Linie von der Mündungsgeschwindigkeit v_0 und dem akustischen Wirkungsgrad σ_{ac} ab. Die anderen maßgebenden Parameter sind mit geringeren Grenzabweichungen bekannt.

Für den Empfindlichkeitskoeffizienten der Geschossgeschwindigkeit beim Austritt aus der Mündung (die partielle Ableitung nach der Geschossgeschwindigkeit beim Austritt aus der Mündung) gilt:

$$\frac{\partial L_{E,s,bb}}{\partial v_0} = \frac{20}{\ln(10) v_0} = 8,7/v_0 \text{ in dB/(m/s)}$$

Die Geschossgeschwindigkeit beim Austritt aus der Mündung ist in der Regel mit sehr geringer Grenzabweichung bekannt, um die Zielgenauigkeit garantieren zu können. Eine Unsicherheit der Geschossgeschwindigkeit beim Austritt aus der Mündung von 1 % führt zu einer Unsicherheit von 0,09 dB.

Der akustische Wirkungsgrad σ_{ac} hängt von der Geschossform ab und soll bestimmungsgemäß im Wertebereich von 0,16 bis 0,4 liegen. Für den Empfindlichkeitskoeffizienten des akustischen Wirkungsgrades σ_{ac} gilt:

$$\frac{\partial L_{E,s,bb}}{\partial \sigma_{ac}} = \frac{20}{\ln(10) \sigma_{ac}} = 4,3/\sigma_{ac} \text{ in dB/(m/s)}$$

Daher führt eine Unsicherheit des akustischen Wirkungsgrades von 10 % zu einer Unsicherheit von 0,43 dB.

Falls das Geschoss für Überschallgeschwindigkeit vorgesehen ist (wie üblicherweise bei Büchsen der Fall), kann zusätzlich der Luftreibungsbeiwert C_w die Ursache für weitere Unsicherheiten sein, weil in diesem Fall der gesamte kinetische Energieverlust des Geschosses von der Mündung bis zum Ziel davon abhängt. Für den Luftreibungsbeiwert C_w werden Werte zwischen 0,3 (stromlinienförmiges Büchsengeschoss) und Werte von bis zu 2 für nicht stromlinienförmige Geschosse vorgeschlagen. Es wird davon ausgegangen, dass eine Unsicherheit des Luftreibungsbeiwertes C_w von 10 % zu einer Unsicherheit des Schallexpositionspegels der Quelle von 1 dB führt.

Es bestehen ein linearer und ein quadratischer Zusammenhang zwischen dem Verlust an kinetischer Energie und der abgestrahlten Schallenergie. In der Regel ist $\kappa \times x_s$ klein im Verhältnis zu v_0 , sodass für die Unsicherheit gilt:

$$\frac{\partial L_{E,s,bb}}{\partial \kappa} = \frac{10}{\ln(10) \kappa} = 4,3/\kappa \text{ in dB/(m/s)}$$

Eine in kappa und für nicht stromlinienförmige Geschosse auch in C_w enthaltene Unsicherheit von 10 % führt zu einer Unsicherheit kleiner als 0,5 dB beim Pegel.

Die Signaturfrequenz der N-Welle

Das Spektrum der N-Welle hängt von der Signaturfrequenz ab, wobei es sich hierbei um eine komplexe Beziehung handelt, die vom Durchmesser, der effektiven Geschosslänge, der Geschossgeschwindigkeit und dem Abstand zwischen Empfänger und Quellpunkt abhängt. Wie oben ausgeführt, ergeben sich bei kleineren Mach-Zahlen größere Unsicherheiten. Um diese Unsicherheiten zu verringern, wird ein unterer Grenzwert von $M = 1,02$ verwendet. Vergleiche mit Messungen zeigen, dass das Spektrum in den meisten Fällen um nicht mehr als ein Terzband vom berechneten Spektrum abweicht.

Darüber hinaus zeigen Messungen bei Abständen > 100 m und unter Abwindbedingungen ein mehrfaches Eintreffen der N-Welle. Die Signaturfrequenz verschiebt sich mit zunehmendem Abstand hin zu niedrigeren Werten, die Messungen zeigen jedoch, dass diese Frequenzverschiebung besonders im Falle eines schallabsorbierenden Bodens unter dem Ausbreitungsweg abnimmt.

Spektrum des Schallexpositionspegels der Quelle

Die in der Signaturfrequenz enthaltene Unsicherheit wirkt sich auf die Unsicherheit des Schallexpositionspegels der Quelle in den einzelnen Terzbändern aus. Die diesbezügliche Empfindlichkeit ist in den nachstehenden Gleichungen angegeben.

$$\frac{\partial L_{E,rel}(f_i; r_s)}{\partial 10 \lg(f_c)} = -2,7 \text{ dB if } f_i < 0,65 f_c$$

$$\frac{\partial L_{E,rel}(f_i; r_s)}{\partial 10 \lg(f_c)} = 1,3 \text{ dB if } f_i \geq 0,65 f_c$$

7.2 Unsicherheiten bei der Bestimmung des Schallexpositionspegels am Empfangsort

In diesem Dokument wird, wenn es um die Berechnung der übrigen Dämpfung in Oktavbändern geht, auf ISO 9613-2 verwiesen. In ISO 9613-2 wird die Präzision für den langzeitgemittelten A-bewerteten Breitband-schall unter Abwindbedingungen für Abstände $< 1\,000$ m bei einer Höhe von Quelle und Empfänger unter 5 m auf ± 3 dB geschätzt. Die in ISO 9613-2 für die einzelnen Oktavbänder verwendete Unsicherheit ist größer. In diesem Dokument werden Terzbänder verwendet. Ein mögliches Verfahren der Umrechnung von Oktavbändern in Terzbänder ist in Anhang D beschrieben.

Ein Beispiel mit Ergebnissen für die Abweichungen zwischen Messungen und Berechnungen ist in [2] beschrieben. Darin werden Messungen mit Berechnungen verglichen, und zwar unter Anwendung der in dieser Norm festgelegten Verfahren auf eine Reihe von stromlinienförmigen Geschossen und auf entsprechende Abstände zwischen Quellpunkt und Empfangsort. Diese Reihe zeigt eine leichte Tendenz zur Überschätzung des Geschossgeräusches: im Durchschnitt 2 dB für den A-bewerteten Schallpegel am Empfänger.

Der Anstieg der nichtlinearen Dämpfung A_{nlin} bei Abständen > 100 m ist klein im Verhältnis zur übrigen geometrischen Dämpfung. Deswegen konnte die Unsicherheit der nichtlinearen Dämpfung nicht gesondert anhand eines Vergleichs mit Messungen ermittelt werden. Daher kann diese Unsicherheit im Kontext dieser Norm im Verhältnis zu den Unsicherheiten der anderen Dämpfungsfaktoren (A_{div} , $A_{SpecShift}$, A_{atm} , A_{excess}) als vernachlässigbar angesehen werden.

Die Unsicherheiten an einem Empfangsort für nicht stromlinienförmige Geschosse

Im Falle von Büchsen, deren Geschosse sich über ihre gesamte Flugbahn mit Überschallgeschwindigkeit bewegen, kann davon ausgegangen werden, dass die Unsicherheit im Bereich II kleiner als 1 dB ist.

Die Unsicherheit am Empfangsort ist im Falle von Flinten und Pistolen größer in der Nähe des Schießstandes und bei allen (anderen) Waffentypen größer in der Nähe der Grenzen von Bereich II. In Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass die Unsicherheit im Bereich II kleiner als 1 dB ist. Im Falle von Pistolen und Flinten, bei denen die Geschwindigkeit des Geschosses auf der Flugbahn unter die Schallgeschwindigkeit abfällt,

kann davon ausgegangen werden, dass die Unsicherheit bei kleineren Abständen zwischen Quellpunkt und Empfangsort (< 100 m) höchstens 2 dB beträgt.