

DIN EN ISO 17201-3



ICS 17.140.20; 95.020; 97.220.10

Einsprüche bis 2019-01-02
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 17201-3:2010-06

Entwurf

**Akustik –
Geräusche von Schießplätzen –
Teil 3: Berechnung der Schallausbreitung (ISO/FDIS 17201-3:2018);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 17201-3:2018**

Acoustics –
Noise from shooting ranges –
Part 3: Sound propagation calculations (ISO/FDIS 17201-3:2018);
German and English version prEN ISO 17201-3:2018

Acoustique –
Bruit des stands de tir –
Partie 3: Calcul de la propagation du son (ISO/FDIS 17201-3:2018);
Version allemande et anglaise prEN ISO 17201-3:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-11-02 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- 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, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 126 Seiten

DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 17201-3:2018) 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.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitskreis NA 001-01-02-07 AK „Akustik — Geräusche von Schießplätzen“ im DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) verantwortlich.

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 internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

IEC 61672-1:2013	siehe DIN EN 61672-1:2014-07
IEC 61672-2	siehe DIN EN 61672-2
ISO 3741	siehe DIN EN ISO 3741
ISO 3745	siehe DIN EN ISO 3745
ISO 9613-2:1996	siehe DIN ISO 9613-2:1999-10
ISO 9614-3	siehe DIN EN ISO 9614-3
ISO 17201-1	siehe DIN EN ISO 17201-1
ISO 17201-2	siehe DIN EN ISO 17201-2
ISO 17201-4	siehe DIN EN ISO 17201-4

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 17201-3:2010-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Gleichungen (B.1) und (B.3) wurden mit dem Einfügen von F_0 berichtigt;
- b) geringfügige Berichtigungen wurden im Anhang C vorgenommen.

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 61672-1:2014-07, *Elektroakustik — Schallpegelmesser — Teil 1: Anforderungen (IEC 61672-1:2013); Deutsche Fassung EN 61672-1:2013*

DIN EN 61672-2, *Elektroakustik — Schallpegelmesser — Teil 2: Baumusterprüfung*

DIN EN ISO 3741, *Akustik — Bestimmung der Schallleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen — Hallraumverfahren der Genauigkeitsklasse 1*

DIN EN ISO 3745, *Akustik — Bestimmung der Schallleistungs- und Schallenergiepegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen — Verfahren der Genauigkeitsklasse 1 für reflexionsarme Räume und Halbräume*

DIN EN ISO 9614-3, *Akustik — Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen — Teil 3: Scanning-Verfahren der Genauigkeitsklasse 1*

DIN EN ISO 17201-1, *Akustik — Geräusche von Schießplätzen — Teil 1: Bestimmung des Mündungsknalls durch Messung*

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

DIN EN ISO 17201-4, *Akustik — Geräusche von Schießplätzen — Teil 4: Abschätzung des Geschossgeräusches*

DIN ISO 9613-2:1999-10, *Akustik — Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien — Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren (ISO 9613-2:1996)*

— Leerseite —

Akustik — Geräusche von Schießplätzen — Teil 3: Berechnung der Schallausbreitung (ISO/FDIS 17201-3:2018)

Acoustique — Bruit des stands de tir — Partie 3 : Calcul de la propagation du son (ISO/FDIS 17201-3:2018)

Acoustics — Noise from shooting ranges — Part 3: Sound propagation calculations (ISO/FDIS 17201-3:2018)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.9d

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Quellenmodellierung	7
4.1 Allgemeines	7
4.2 Mündungsknall	7
4.2.1 Hintergrundinformationen	7
4.2.2 Freifeldbedingung	8
4.2.3 Nicht-Freifeldbedingung	8
4.3 Geschossgeräusch	10
5 Schallausbreitungsberechnung	11
5.1 Allgemeines	11
5.2 Anwendung von ISO 9613-2 für Freifeldbedingungen	11
5.3 Anwendung von ISO 9613-2 für Nicht-Freifeldbedingungen	13
5.4 Hoch entwickelte Modelle	14
6 Umrechnung von Schallexpositionspegeln	14
7 Unsicherheiten	15
Anhang A (normativ) Referenzfall für einen Schießstand mit Blenden	16
Anhang B (informativ) Hoch entwickelte Modellierungsansätze	31
Anhang C (informativ) Modellierung von Schießszenarien — Beispiele von Schießplätzen	40
Anhang D (informativ) Unsicherheit	56
Literaturhinweise	60

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 17201-3:2018) 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 17201-3:2010 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/FDIS 17201-3:2018 wurde von CEN als prEN ISO 17201-3:2018 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (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 Themen 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-Direktiven, 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-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

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 Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 43, *Acoustics*, Unterkomitee SC 1, *Noise*, erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 17201-3:2010), bei welcher es sich um eine geringfügige Überarbeitung handelt. Änderungen im Vergleich mit der Vorgängerfassung sind die Folgenden:

- die Gleichungen (B.1) und (B.3) sind durch das Einfügen von F_0 korrigiert worden;
- geringfügige Korrekturen wurden im Anhang C ausgeführt.

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

Jede Resonanz oder Fragen hinsichtlich dieses Dokuments sollten an das nationale Mitglied des Nutzers in der internationalen Normenorganisation gerichtet werden. Eine komplette Liste solcher Mitglieder kann gefunden werden über www.iso.org/members.html.

Einleitung

Die Initiative für die Erstellung einer Norm zu Impulsgeräuschen von Schießplätzen wurde durch AFEMS, die Association of European Manufacturers of Sporting Ammunition, im April 1996 durch das Einreichen eines formalen Vorschlages bei CEN getätigt. Nach Konsultation in CEN im Jahre 1998 bat CEN/TC 211, *Akustik*, ISO/TC 43, *Acoustics*, SC 1, *Noise*, ISO 17201 (alle Teile) zu erstellen.

Dieses Dokument gibt Hinweise für die Berechnung der Schallausbreitung von Schießgeräuschen ausgehend von Schießplätzen. Falls lokale oder nationale Behörden keine diesbezüglichen Berechnungsvorschriften in Form von Regeln oder Regularien vorgegeben haben und höher entwickelte Berechnungsverfahren nicht verfügbar sind, kann ISO 9613-2 unter Berücksichtigung der in diesem Dokument festgelegten Rahmenbedingungen und Empfehlungen angewandt werden.

Die Schallenergie des Mündungsknalls wird üblicherweise unter Freifeldbedingungen gemessen oder berechnet und zeichnet sich oft durch eine starke Richtwirkung aus. In vielen Fällen werden Waffen jedoch auf Schießplätzen abgefeuert, die über überdachte Schießstände, Wände oder Sicherheitsblenden verfügen. Weiter ist zu beachten, dass insbesondere Flinten in unterschiedliche Richtungen abgefeuert werden, welche durch die Flugbahn der Tonscheiben bestimmt werden. Dieses Dokument empfiehlt konkrete Verfahrensweisen, wie die Quelldaten für die Anwendung der ISO 9613-2 aufbereitet werden können, um die in der Umgebung des Schießplatzes zu erwartenden Schallexpositionspegel zu erhalten.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Verfahren für die Prognose von Schallexpositionspegeln des Schießgeräusches eines Schusses an einem gegebenen Empfangs- bzw. Immissionspunkt fest. Anleitungen werden gegeben, wie andere akustische Indizes über den Schallexpositionspegel berechnet werden können. Die Prognose beruht auf der nach ISO 17201-1 gemessenen oder auf der nach ISO 17201-2 berechneten winkelabhängigen Schall- bzw. Quellenenergieverteilung des Mündungsknalls.

Dieses Dokument ist anwendbar für Waffen mit einem Kaliber kleiner als 20 mm oder für Treibladungen von weniger als 50 g TNT-Äquivalent, für Entfernungen, wo die Spitzendrücke, einschließlich des Beitrags vom Geschossknall, kleiner als 1 kPa (154 dB) sind.

ANMERKUNG Nationale oder andere Regelwerke, die noch stringenter sein könnten, können angewendet werden.

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 9613-2:1996, *Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 2: General method of calculation*

ISO 17201-1:2005, *Acoustics — Noise from shooting ranges — Part 1: Determination of muzzle blast by measurement*

ISO/IEC Guide 98-3¹, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

— IEC Electropedia: unter <https://www.electropedia.org/>

— ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

**3.1
Ersatzquelle**
Ersatz einer Schallquelle, einschließlich des zugehörigen *Schießstandes* (3.4), durch eine Modellquelle ohne Schießstand, die im Zentrum der Öffnung des Schießstandes positioniert ist, um die Emission in Richtung des Empfangspunktes darzustellen

**3.2
Sicherheitsbarriere**
<Schießplätze> Barriere, geschaffen, um Projektilen am Verlassen des Schießplatzes zu hindern

1 ISO/IEC Guide 98-3 wurde veröffentlicht als Wiederausgabe von „Messunsicherheit - Teil 3: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen (GUM), 1995“

3.3

Sicherheitsblende

<Schießplätze> über Kopfhöhe angeordneter Blende, geschaffen, um Projektile am Verlassen des Schießplatzes zu hindern

3.4

Schießstand

Struktur, errichtet zum Schutz des Schützen und dessen Ausrüstung vor Niederschlägen und Wind, versehen mit einer Öffnung, die das Schießen auf ein Ziel im offenen Gelände erlaubt

3.5

Schießplatz

umschlossene Anordnung von *Schießpositionen* (3.7) und zugehörigen Zielen, die in Abhängigkeit von der planerischen Gestaltung mit Einrichtungen, wie einem *Schießstand* (3.4), *Sicherheitsbarrieren* (3.2), *Sicherheitsblenden* (3.3) und Sicherheitsbereichen versehen sein können

3.6

Schießanlage

organisatorische Einheit bestehend aus einem oder mehreren *Schießplätzen* (3.5) und angegliederten Gebäuden und Infrastruktur

3.7

Schützenposition

Position des Schützen innerhalb eines *Schießplatzes* (3.5)

3.8

Einschlagschall

Schall produziert beim Einschlag des Geschosses ins Ziel

3.9

Beugungspunkt

Punkt auf der Oberkante einer Barriere bzw. eines Schirm, welcher die kürzeste Pfadlänge für den sich über diese Barriere zum Empfangspunkt ausbreitenden Schall bereitstellt

4 Quellenmodellierung

4.1 Allgemeines

Die grundlegenden zu verwendenden Kenngrößen sind die winkelabhängige Schallenergieverteilung, $S_q(\alpha)$, und der Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung, $L_q(\alpha)$, wie in ISO 17201-1 definiert. Der Winkel zwischen der Schusslinie und der Geraden von der Mündung zum Empfangspunkt wird durch α ausgewiesen. Falls die Waffe in einer Freifeldbedingung abgefeuert wird, kann $S_q(\alpha)$ zur Beschreibung des Mündungsknalls verwendet werden. Bei Gewehrschüssen ist das Geschossgeräusch mit einzubeziehen (siehe 4.3). Ersatzquellen können für überdachte Schießstände und zur Einbeziehung von Reflektionen und Beugungen so angesetzt werden, dass der Pegel am Empfangspunkt danach unter Freifeldbedingungen ermittelt werden kann. Schall, verursacht durch den Einschlag des Geschosses im Ziel, kann üblicherweise vernachlässigt werden. Dieses Dokument ist nicht anwendbar für Geschosse, die eine Landung beinhalten, die am Ziel detoniert.

4.2 Mündungsknall

4.2.1 Hintergrundinformationen

Für Nicht-Freifeldbedingungen (solche wie ein Schießstand mit einer Öffnung) ist das Ausbreitungsmodell der ISO 9613-2 unzureichend und höher entwickelte Schallausbreitungsmodelle und Berechnungsverfahren werden benötigt. Anhang A stellt einen Referenzfall zur Verfügung und zeigt auf, wie mit hoch entwickelten Ansätzen (siehe Anhang B), ausgehend von den Freifeldwerten des Pegels der winkelabhängigen Schallenergieverteilung, der von solch einer Anlage emittierte Schall berechnet werden kann. Die Schall-

emission wird dazu durch den Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung einer Ersatzquelle ausgedrückt, die an einem repräsentativen Ort vor oder über dem Schießstand positioniert wird. Alle weiteren Berechnungen des Schalldruckpegels werden, wie im Abschnitt 5 festgelegt, durch eine Punktquelle mit Richtwirkung unabhängig vom Schießstand, der durch eine Blende, über Kopfhöhe angeordneter Blenden und Seitenblenden u.s.w. aufgebaut sein kann, ausgeführt.

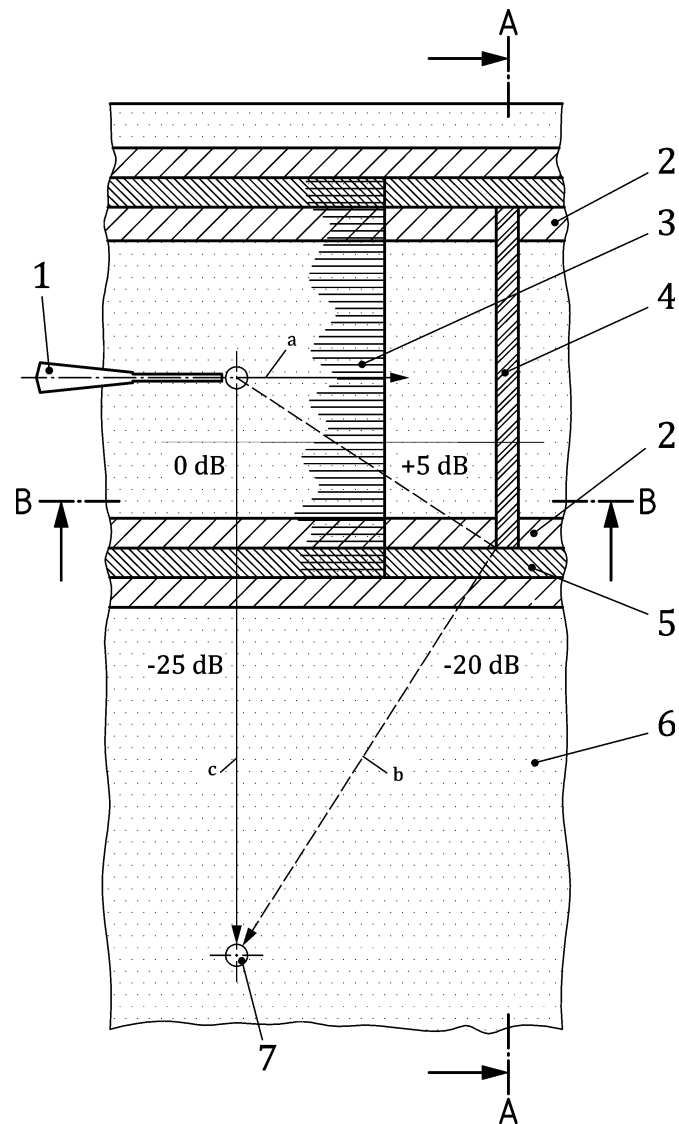
4.2.2 Freifeldbedingung

Falls die zu betrachtende Waffe außerhalb eines Schießstandes oder einer vergleichbaren Struktur genutzt wird, ist der Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung, $L_q(\alpha)$, der jeweiligen Waffe/Munitions-Kombination direkt zu verwenden. Falls ein Schuss vom Schützen nahe einer reflektierenden Oberfläche abgefeuert wird, ist die Reflexion zu berücksichtigen. Die Richtwirkung ist in entsprechender Weise anzupassen. Falls die Waffe horizontal und vertikal in unterschiedlichen Richtungen abgefeuert werden kann, sind diese Richtungen jeweils separat zu betrachten. Beispiele für Freifeldbedingungen sind im Anhang C beschrieben.

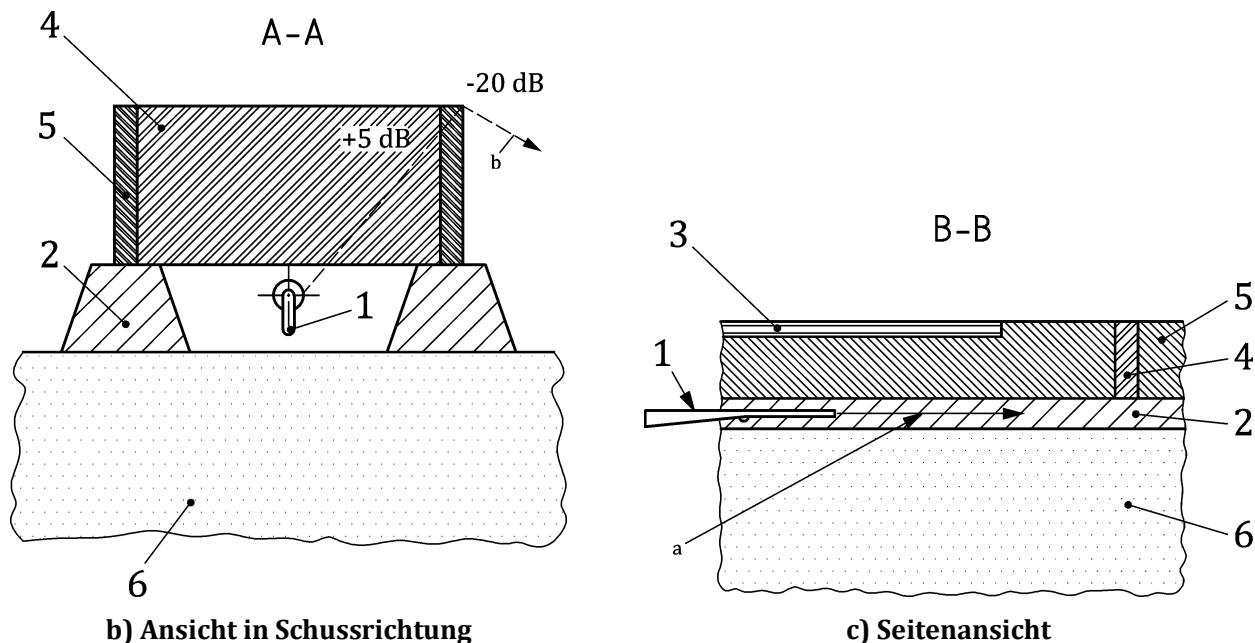
4.2.3 Nicht-Freifeldbedingung

4.2.3.1 Schießstand

In diesem Fall wird der Schuss in einem Stand abgefeuert (siehe z. B. Anhang B). Teile der abgestrahlten Energie – als Folge des Mündungsknalls – werden durch Wände und Boden absorbiert. Falls Sicherheitsblenden und Seitenwände vorhanden, sind die Reflexionen vom Boden, von Sicherheitsblenden und Seitenwänden zu berücksichtigen (siehe Anhang A). Das Vorhandensein einer absorbierenden Decke im Schießstand kann als Stand der Technik betrachtet werden. Die verbleibende Energie wird durch die Öffnung des Schießstandes abgestrahlt. Im Bild 1 wird ein Schießstand mit Seitenwänden und über Kopf angeordneten Sicherheitsblenden gezeigt. Deshalb dürfen Freifeldwerte nicht direkt verwendet werden. Falls keine Absorption innerhalb des Schießstandes und an den Schirmen erfolgt, ist der Referenzfall kein geeignetes Modell für die Beschreibung der abgestrahlten Schallenergie.



a) Draufsicht



Legende

1 Waffe/Gewehr	5 Barriere bzw. Schirm	a Schussrichtung.
2 seitlicher Wall	6 Boden	b Gebeugter Schall.
3 Dach	7 Empfangspunkt	c Abgeschirmter Schall.
4 Sicherheitsblende		

Bild 1 — Überdachter Schießstand mit der Darstellung von Beugungseffekten auf dem Ausbreitungsweg

4.2.3.2 Komplexere Situationen

Für komplexere Situationen, die sich aus unterschiedlichen Schießständen zusammensetzen, wie einen Trap- und Skeetschießstand in Kombination mit Büchschenschießständen für große und kleine Kaliber, ist manchmal eine größere Anzahl von Quellen und Ersatzquellen für eine angemessene Modellierung erforderlich. Diese Quellen gelten als inkohärent. Reflexionen werden jedoch als kohärent betrachtet, wenn am Empfangspunkt der zeitliche Versatz zwischen dem Eintreffen des Mündungsknalls und seinen Reflexionen geringer ist als 3 ms. In diesem Fall müssen diese als eine Ersatzquelle modelliert werden. Wenn die Prognose auf Fast-bewertete Pegel ausgerichtet ist, können Ersatzquellen mehrere Schallpfade kombinieren, falls diese mit ihrem zeitlichen Versatz innerhalb einer Zeitspanne von weniger als $(125/2)$ ms liegen.

ANMERKUNG 62,5 ms ist die halbe Exponentialzeitkonstante der Fast-Bewertung (125 ms) nach IEC 61672-1:2013, 5.8.1.

4.3 Geschossgeräusch

Die Modellierung des Geschossgeräusches ist in ISO 17201-2 und ISO 17201-4 beschrieben. ISO 17201-4 gibt auch Hinweise zur Berechnung der Schallausbreitung des Geschossgeräusches, insofern sich dies von der Schallausbreitung anderen Schalls unterscheidet. Dies bedeutet, dass für die Dämpfung beim Geschossgeräusch, A_{excess} , ISO 9613-2 angewandt werden kann. Die anderen Dämpfungsparameter, solche wie Divergenz, Luftabsorption und Dämpfung bei Nicht-Linearität sind in ISO 17201-4 festgelegt. Unter Freifeldbedingungen, insbesondere vor der Waffe im geringen Abstand zur Schussbahn, kann das Geschossgeräusch eine relevante Quelle des Schallexpositionspegels des Schießgeräusches sein. Falls ein Schuss aus einem Schießstand abgefeuert wird, kann dem Geschossgeräusch bei der Bestimmung des Schallexpositionspegels am Empfangspunkt im Allgemeinen eine kleinere Bedeutung beigemessen werden. Falls jedoch Maßnahmen zur Minderung der Schallexposition des Mündungsknalls unternommen wurden, kann das Geschossgeräusch ein dominierender Faktor werden.

5 Schallausbreitungsberechnung

5.1 Allgemeines

Die Schallausbreitungsberechnung kann mit Strahlverfolgungsmethoden oder mit höher entwickelten Modellen ausgeführt werden, die vorgegebene Wetterbedingungen berücksichtigen. Zur Berechnung des Langzeit- L_{eq} werden die Ergebnisse hinsichtlich der Häufigkeit des Auftretens dieser Wetterbedingungen in interessierenden Zeitabschnitten während der Betriebszeiten des Schießplatzes gewichtet.

5.2 Anwendung von ISO 9613-2 für Freifeldbedingungen

Es ist zu beachten, dass ISO 9613-2 weder für Schießgeräusche anwendbar ist, noch Änderungen hinsichtlich des Schalldruckzeitverlaufes bei der Ausbreitung entsprechend Rechnung trägt. Deshalb können keine Ergebnisse für zeitbewertete Größen, wie den $L_{F,max}$ (siehe Abschnitt 6) gewonnen werden. ISO 9613-2 beschreibt meteorologische Effekte bei der Ausbreitung über Entfernungen von größer als 1 km nicht mehr adäquat. Weiterhin wird die Anwendung von ISO 9613-2 nicht empfohlen, wenn das Spektrum am Empfangspunkt durch Frequenzen dominiert wird, die unter 100 Hz liegen.

ISO 9613-2 darf jedoch für die Modellierung der Schallausbreitung von Schießgeräuschen verwendet werden, wenn Anpassungen eingeführt und berücksichtigt werden.

Der Schallleistungspegel und die Richtwirkung müssen durch den Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung ersetzt werden und der Umgebungspegel durch den resultierenden Schallexpositionspegel, $L_E(f)$, am Empfangspunkt verursacht durch einen Schuss bei günstigen Schallausbreitungsbedingungen.

Der Schallexpositionspegel für einen abgefeuerten Schuss berechnet sich wie folgt:

$$L_E(f) = L_q(\alpha, f) - A_{div}(r) + 11 \text{ dB} - A_{atm}(r, f) - A_{bar}(r, f) - A_{gr}(r, f) - A_z(r, f) - A_{misc}(r, f) \quad (1)$$

Dabei ist

$L_q(\alpha, f)$	der Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung, in Dezibel, der betrachteten Kombination von Waffe und Munition;
r	der Abstand, in Metern, von der Quelle oder der Ersatzquelle $P(x_0, y_0, z_0)$ bis hin zum Empfangspunkt $P(x, y, z)$;
α	der Winkel zwischen der Geschossbahn und der Geraden von der Quelle zum Empfangspunkt $P(x, y, z)$, vorausgesetzt, dass diese Gerade keinen Schirm schneidet;
f	die Band-Mittenfrequenz, in Hertz, der jeweiligen Frequenzbänder;
A_{div}	die Korrektur, in Dezibel, aufgrund geometrischer Ausbreitung;
A_{atm}	die Dämpfung aufgrund von Luftabsorption, in Dezibel, nach ISO 9613-1;
A_{bar}	die Dämpfung aufgrund von Abschirmung, in Dezibel, nach ISO 9613-2;
A_{gr}	die Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts, in Dezibel, nach ISO 9613-2;
A_z	eine Korrektur von meteorologischen Bedingungen, die von den Standardwerten abweichen (siehe ISO 3741 [2], ISO 3745 [3], ISO 9614-3 [4] und ISO 17201-1:2005, Gleichung (8));
A_{misc}	eine Korrektur, in Dezibel, aufgrund verschiedener anderer Effekte nach ISO 9613-2.

Bezüglich α , falls der Schall durch einen Schirm abgeschirmt wird, ist die Berechnung für jeden Beugungspunkt separat auszuführen. Der Winkel α , der gebraucht wird um $L_q(\alpha, f)$ zu erhalten, ist der Winkel zwischen der Geschossbahn und der Linie vom Quellenpunkt zum betrachteten Beugungspunkt. Dieser Ansatz weicht von der ISO 9613-2 ab.

Die Einfügungsdämpfung A_{bar} wird zum Schallexpositionspegel in Richtung des Beugungspunktes für den gleichen Abstand zwischen dem Empfangspunkt und dem Quellenpunkt in Beziehung gesetzt (siehe Beispiel im Anhang C); (siehe Literaturhinweis [11]).

Bezüglich A_{gr} , falls ISO 9613-2:1996, 7.3.1 angewendet wird, ist der Bodeneffekt bereits involviert. Bei Anwendung von ISO 9613-2, 7.3.2 wird die Reflexion durch Addition von 3 dB zu $L_q(\alpha, f)$ oder die Anwendung von ISO 9613-2:1996, Gleichung (11) berücksichtigt.

Die Berechnung von $L_q(x, y, z, f)$ für eine Schießstandöffnung ist in 5.3 festgelegt.

Der Langzeit-Schallexpositionspegel wird gewonnen durch:

$$L_{E, \text{long term}} = L_E - C_{\text{met}} \quad (2)$$

Die Methode, mit der C_{met} bestimmt wird, hängt stark davon ab, wie die Wetterbedingungen definiert werden, für die der Schallexpositionspegel $L_E(f)$ zu berechnen ist. Falls der Langzeit- L_{eq} benötigt wird, sind die Langzeit-Wetterbedingungen des Standortes zu berücksichtigen. Falls diese Information nicht verfügbar ist, kann C_{met} für den Langzeit- $L_{A, \text{eq}}$ nach ISO 9613-2:1996, Gleichung (22), mit Ansatz von $C_0 = 5$ dB bestimmt werden. Bei Anwendung von Strahlverfolgungsmodellen und bei Nutzbarmachung von Langzeitstatistiken hinsichtlich der Windrichtung, der Windgeschwindigkeit und der atmosphärischer Stabilität kann ein genauerer Wert für Langzeitpegel gewonnen werden (siehe Literaturhinweise [12], [13]).

ANMERKUNG Der Wert von 5 dB für C_0 basiert auf der Annahme, dass in einem Drittel der Zeit günstige Schallausbreitungsbedingungen vorliegen.

Bei Anwendung von ISO 9613-2 sind die folgenden Einschränkungen zu beachten.

- Für größere Entfernungen zeigt ISO 9613-2 die Tendenz der Überschätzung des Langzeit-Schallexpositionspegel, $L_{E, \text{long term}}$, während der Tageszeit (siehe Literaturhinweis [14]).
- Für Mitwindbedingungen kann der Effekt von Schirmen als Folge des induzierten Luftstroms an der Oberkante des Schirms überschätzt werden (siehe Literaturhinweis [15]).
- Die Dämpfung aufgrund von Abschirmung tendiert während der Tageszeit zu höheren Werten, verglichen mit Werten, die mit ISO 9613-2 gewonnen werden (siehe Literaturhinweis [16]).
- ISO 9613-2 berücksichtigt, abgesehen von der Abschirmung, keine Beugung. Gebeugter Schall, so z. B. von Sicherheitsblenden (siehe Bild 1) kann jedoch einen wesentlichen Beitrag am Empfangspunkt liefern.

Es ist zu beachten, dass Streuung nur näherungsweise berücksichtigt wird. Dieser Effekt kann jedoch einen wesentlichen Beitrag zum Gesamtpegel am Empfangspunkt für Situationen liefern, wo die Quellen gut abgeschirmt sind.

5.3 Anwendung von ISO 9613-2 für Nicht-Freifeldbedingungen

Zur Berechnung der Schallimmission unter Nicht-Freifeldbedingungen sind höher entwickelt Schallausbreitungsmodelle erforderlich (siehe 5.4). Diese Modellberechnungen sind zumeist sehr zeitaufwendig. Selbst für den Fall, dass die Entfernung zwischen dem Schießplatz und dem Empfangspunkt nicht mehr als wenige hundert Meter beträgt, ist die Berechnung über alle Frequenzen für die Lärmkartierung zu zeitaufwendig.

Deshalb wurde das Konzept der Ersatzquelle eingeführt, um den Einsatz von allgemein verfügbarer Software zur Lärmkartierung zugänglich zu machen. Das höher entwickelte, wellentheoretische Modell wird zur Berechnung des Schallexpositionspegels, $L_E(f)$, an einigen immissionsrelevanten Empfangspunkten, $P(x, y, z)$, eingesetzt, die so weit vom Schießstand entfernt sind, dass der Ersatz der Originalquelle und seiner direkten Umgebung durch eine Punktquelle mit Richtwirkung möglich ist. Die Entfernung zwischen dem Schießstand und solchen Empfangspunkten sollte mindestens das Zweifache der größten Abmessung des Schießstandes sein. Die Position der Quelle mit dem Pegel der Schallenergieverteilung, $L_q(x, y, z, f)$, für den Empfangspunkt und andere Empfangspunkte wird in der Mitte der Öffnung angesetzt, durch die der größte Anteil an Schallenergie emittiert wird. Für einen einfachen Stand ohne Schirme und Blenden wird der Quellenpunkt in der Mitte der Öffnung des Schießstandes positioniert. Für Schießplätze mit einem Schießstand, Schirmen und Blenden wird der Quellenpunkt im Zentrum der ersten Öffnung gewählt (siehe Bild B.1, Punkt P).

Es ist zu berücksichtigen, dass die zu berechneten Pegel auch auf einem Kreis gewählt werden können, und dass dafür der Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung entsprechend der in ISO 17201-1 festgelegten Verfahren für die Messung berechnet werden kann.

Der Pegel der Schallenergieverteilung der Ersatzquelle, $L_{q,s}(\alpha, f)$, wird dann mit dem Expositionspegels nach Gleichung (3) berechnet.

$$L_{q,s}(\alpha, f) = L_E(x, y, z, f) - 11 \text{ dB} + A_{\text{div}}(r) \quad (3)$$

Dabei ist

- $L_E(x, y, z, f)$ der Schallexpositionspegel, angegeben in Dezibel, für die Frequenz f am Punkt $P(x, y, z)$, gewonnen mittels der Boundary-Element-Methode (BEM) oder einem vergleichbaren Verfahren (siehe Anhang B);
- $A_{\text{div}}(r)$ die Korrektur, angegeben in Dezibel, aufgrund geometrischer Ausbreitung zwischen der angenommenen Quellenposition und dem Punkt $P(x, y, z)$;
- r der Abstand, angegeben in Metern, zwischen der Position der gewählten Ersatzquelle und $P(x, y, z)$.

In diesem Modell werden die ursprüngliche Quelle und deren direkte Umgebung durch die Ersatzquelle beschrieben. Falls nur die Richtung von α von Interesse ist, kann Gleichung (1) direkt angewandt werden. Falls die Richtwirkung, z. B. für die Lärmkartierung benötigt wird, ist das in ISO 17201-1 festgelegte Verfahren anzuwenden. A_{atm} , A_{bar} , A_{gr} , A_{misc} werden bei der Berechnung von $L_{q,s}(\alpha)$ nicht berücksichtigt. Berücksichtigung finden nur Abschirmungseffekte usw. für solche Schirme, die bei der Berechnung mit dem hoch entwickelten Modell nicht mit einbezogen sind.

Bild 1 zeigt einen typischen Schießstand mit über Kopfhöhe angeordneten Blenden und mit Seitenwänden. In Anhang A ist der Schallexpositionspegel eines in solch einem Schießstand abgefeuerten Gewehrs aufgezeigt. Dies ist mit BEM über festem Boden für eine Anzahl von Höhen und Positionen in der Umgebung berechnet worden. Für den Referenzfall wurde die Bodenreflexion einbezogen; A_{atm} , A_{bar} und A_{misc} wurden mit Null angenommen.

Für bestehende Situationen wird empfohlen, dass das jeweils gewählte hoch entwickelte Modell anhand von Messungen des Schallexpositionspegels am Empfangspunkt nachgeprüft wird. Voraussetzung dafür ist, dass die tatsächlichen Schallausbreitungsbedingungen bei der Messung gut beschreibbar sind. Für Ausbreitungsberechnungen für Bereiche außerhalb des Schießstandes wird die Bodenreflexion einbezogen. Sicher zu stellen ist, dass derselbe Oberflächentyp sowohl für das jeweilige höher entwickelte Modell als auch für die Anwendung von ISO 9613-2 verwendet wird.

5.4 Hoch entwickelte Modelle

Für Nicht-Freifeldbedingungen sind höher entwickelte Modelle – im Vergleich zu ISO 9613-2 – erforderlich. BEM, Strahlverfolgungs-Modelle, Wellenmodelle oder Kombinationen, die es erlauben, Reflexion, Beugung und Streuung detaillierter zu berücksichtigen, können herangezogen werden (siehe Anhang A, Anhang B, und Literaturhinweise [17], [18], [19], [20]).

Im Anhang A ist für den im Bild A.1 gezeigten Schießstand eine mittels BEM ausgeführte Referenzfallberechnung dargestellt.

Falls andere Modelle oder Näherungen verwendet werden, wie:

- Kirchhoff-Näherungsmodell (siehe B.2) oder
- Strahlverfolgungsmodelle (siehe B.3),

ist sicher zu stellen, dass der Schallexpositionspegel des Referenzfalls nach Anhang A bei 100 Hz und 200 Hz durch den Pegel des höher entwickelten Modells ohne signifikante Abweichungen wiedergegeben wird. Für zweifach größere Entfernungen sollte der Pegel des Modells nicht größer als +5 dB und nicht kleiner als -1 dB verglichen mit dem Referenzfall sein:

$$L_{\text{benchmark}} + 5 \text{ dB} > L_{\text{model}} > L_{\text{benchmark}} - 1 \text{ dB} \quad (4)$$

mit einer Wahrscheinlichkeit von weniger als 5%.

6 Umrechnung von Schallexpositionspegeln

Der Schallexpositionspegel, L_E , ist eine weit verbreitete Kenngröße für Geräusche von Handfeuerwaffen. Jedoch werden in einer Reihe von gesetzlichen Vorschriften oder Regelwerken, die im Allgemeinen zur Beschreibung der Geräusche von Handfeuerwaffen verwendet werden, Kenngrößen basierend auf dem Maximal-Pegel für eine bestimmte Zeitbewertung verwendet. Eine Abschätzung dieser Kenngrößen kann mit Beziehungsgleichungen erfolgen:

$$L_{S,\text{max}} \approx L_E \quad (5)$$

$$L_{F,\text{max}} \leq L_E + 9,0 \text{ dB} \quad (6)$$

$$L_{I,\text{max}} \leq L_E + 14,6 \text{ dB} \quad (7)$$

$$L_{I,\text{max}} \leq L_{F,\text{max}} + 5,6 \text{ dB} \quad (8)$$

Dabei ist

- $L_{S,\text{max}}$ der höchste S-bewertete Schalldruckpegel innerhalb eines festgelegten Zeitintervalls, angegeben in Dezibel;
- $L_{F,\text{max}}$ der höchste F-bewertete Schalldruckpegel innerhalb eines festgelegten Zeitintervalls, angegeben in Dezibel;
- $L_{I,\text{max}}$ der höchste I-bewertete Schalldruckpegel innerhalb eines festgelegten Zeitintervalls, angegeben in Dezibel.

Das Gleichheitszeichen ist gültig, falls die Ereignisdauer kürzer als 10 % der Zeitkonstanten der exponentiellen Zeitbewertung, τ , (S: $\tau = 1$ s, F: $\tau = 0,125$ s, I: Anstiegszeitkonstante $\tau = 0,035$ s unterscheidet sich von der Abklingzeitkonstanten $\tau = 1,5$ s) ist. Dies ist nahe der Quelle der Fall und wenn keine Reflexionen auftreten.

Bei zunehmender Entfernung verlängert sich die Dauer des Zeitsignals, z. B. als Folge von Bodenreflexionen. Der Schalldruckzeitverlauf des Signals, inklusive dessen Reflexionen, müssen berechnet werden, um eine angemessene Bestimmung der obigen Kenngrößen sicherzustellen. Wenn keine ausreichenden Informationen verfügbar sind, kann $L_{I,max}$ nach Literaturhinweis [21] wie folgt geschätzt werden:

$$L_{I,max} = \begin{cases} L_E + 14,6 \text{ dB} - 0,003 r/R_0 \text{ dB} & \text{for } r < 2\,000 \text{ m} \\ L_E + 8,6 \text{ dB} & \text{for } r \geq 2\,000 \text{ m} \end{cases} \quad (9)$$

Dabei ist

r der Abstand, in Metern, zwischen der Ersatzquelle und dem Empfangspunkt $P(x, y, z)$;

$R_0 = 1$ m.

Die Beziehungen gelten für Einzelschüsse, wenn der Zeitverlauf zwischen aufeinander folgenden Schüssen größer als die Zeitkonstante ist.

7 Unsicherheiten

Die Unsicherheit des Terzspektrums, des nach diesem Dokument bestimmten Schallexpositionspegels des Mündungsknalls, muss vorzugsweise in Übereinstimmung mit ISO/IEC Guide 98-3 ausgewertet werden.

Unsicherheiten ergeben sich aus einer Anzahl von Gründen:

- dem Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung für die Fälle, in denen dieser durch Messung bestimmt wird (siehe ISO 17201-1), oder nach ISO 17201-2, bei der dieser auf der Grundlage der chemischen Energie der Treibladung abgeschätzt wird;
- der Modellbildung der tatsächlich komplexen Quellsituation in Form von Ersatzquellen oder einer Anzahl von Ersatzquellen;
- der Modellierung der tatsächlichen Situation durch Vereinfachung der Objekte, die die Schallausbreitung beeinflussen (Modellierung komplexer Strukturen durch Würfel, Modellierung von nicht ebenen Terrain durch ebenes Terrain, usw.);
- der Position der Schallquelle hinsichtlich der Einflüsse von Objekten, die die Schallausbreitung und die tatsächliche Schussrichtung beeinflussen;
- dem verwendeten Schallausbreitungsmodell.

Falls anstatt des Schallexpositionspegels eine andere Kenngröße für die Bewertung des Schießgeräusches verwendet wird, ergeben sich zusätzliche Unsicherheiten bei der Abschätzung dieser aus dem Schallexpositionspegel.

Falls die Prognose auf der akustischen Energie aller Schüsse über einen bestimmten Zeitabschnitt aufbaut, ergeben sich auch Unsicherheiten hinsichtlich der tatsächlichen Anzahl abgefeuerter Schüsse und der tatsächlichen Waffen-Munitions-Kombinationen.

Die erweiterte Unsicherheit ist zusammen mit dem entsprechenden Erweiterungsfaktor für ein Vertrauensniveau von 95 % anzugeben, wie im ISO/IEC Guide 98-3 definiert.

Eine Anleitung für die Abschätzung und die Angabe der Unsicherheit ist im Anhang D gegeben.

Anhang A (normativ)

Referenzfall für einen Schießstand mit Blenden

A.1 Allgemeines

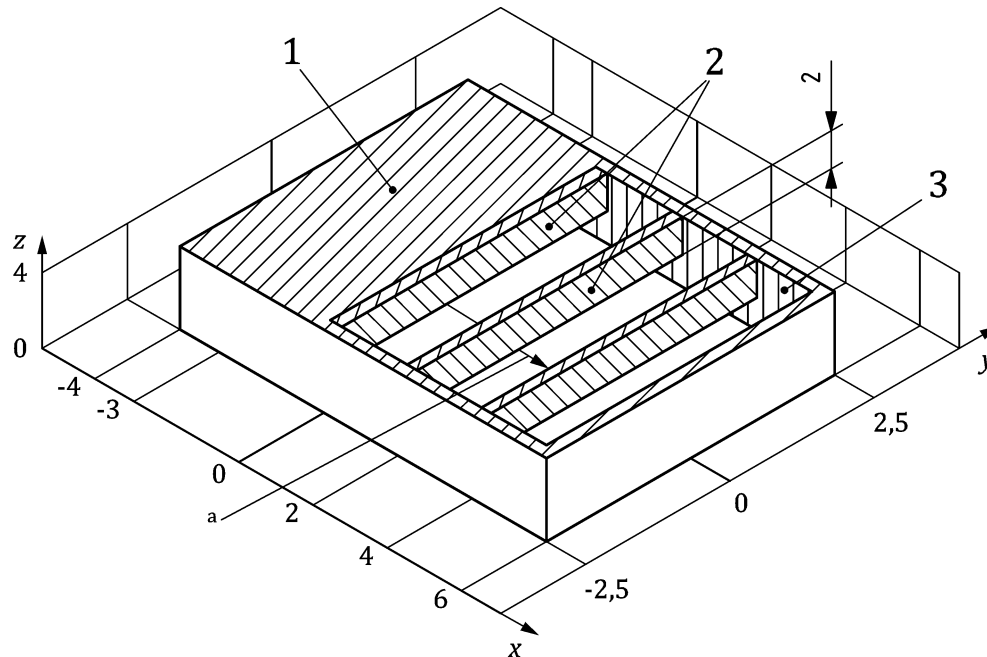
Der Referenzfall basiert auf einer numerischen Lösung der Helmholtz-Kirchhoff-Wellengleichung mittels BEM (siehe Literaturhinweis [22]). Zur Einfachheit halber wird ein kleiner Schießstand mit drei über Kopfhöhe angeordneten Blenden verwendet, das Geschossgeräusch wird vernachlässigt und die Richtwirkung wird rundum als einheitlich angenommen.

A.2 Referenzfall

A.2.1 Modellschießstand

Bild A.1 zeigt die Geometrie des modellierten Schießstandes. Dieser besteht aus einer rechteckigen Box mit halboffener Decke und drei Blenden. Die Geometrie entspricht näherungsweise einem typischen 25 m langen Schießstand, wie er in den Niederlanden genutzt wird. Im Referenzfall wurde jedoch die Länge, zum Zwecke der geeigneten Lösbarkeit für große Wellenlängen, verkürzt. Verwendet wird ein xyz-Koordinatensystem, wobei die x-Achse entlang der Schussrichtung verläuft. Die Abmessungen sind im Bild 1 angegeben. Die Blenden sind 2 m hoch, der Zwischenraum zwischen Boden und Blenden ist ebenfalls 2 m.

Alle Wände und die Decke haben eine endliche Dicke, von ungefähr einem Sechstel der Wellenlänge (aus rechentechnischen Gründen). Für eine Frequenz von 100 Hz ist die Dicke 0,5 m und für eine Frequenz von 200 Hz ist die Dicke 0,25 m. Die Quelle ist eine Monopolquelle, positioniert auf dem Boden $P(-3 \text{ m}, 0 \text{ m}, 0 \text{ m})$. Alle innen liegenden Oberflächen sind absorbierend (gezeigt in Bild A.1), außer der Bodenfläche und den Blenden, die akustisch hart sind (gezeigt in Bild A.1). Alle außen liegenden Flächen sind akustisch hart. Für die absorbierenden Oberflächen wurde eine normalisierte Impedanz der betrachteten Einheit angenommen (normalisiert zur Impedanz der Luft).



Legende

- | | | | |
|---|----------------------------|---|-----------------|
| 1 | Dach | 3 | Seitenwand |
| 2 | Überkopf-Sicherheitsblende | a | Schussrichtung. |

Bild A.1 — Geometrie des Referenzmodellschießstandes

A.2.2 Berechnungsverfahren

Die BEM ist in der Akustik (siehe Literaturhinweis [22]) ein numerisches Verfahren zur Lösung der Kichhoff-Helmholtz-Integral-Gleichung. Die grundlegende Idee dieser Methode ist, dass das Kichhoff-Helmholtz-Integral durch Repräsentation aller festen Grenzen des Systems durch eine endliche Anzahl von Oberflächenelementen numerisch angenähert wird. Diese Elemente haben lineare Abmessungen von einem Sechstel der Wellenlänge oder kürzer. Die Berechnungen werden mit einer BEM-Implementation ausgeführt, die die Variationen des Schalldrucks innerhalb eines einzelnen Oberflächenelements vernachlässigt. Die harte Bodenoberfläche wird durch eine Symmetrieebene für ein System von Bildquellen unter der Bodenoberfläche beschrieben.

A.3 Ergebnisse

Bild A.2 und Bild A.3 zeigen BEM-Ergebnisse für zwei Frequenzen (100 Hz bzw. 200 Hz) und drei Empfängerhöhen (2 m, 5 m und 8 m) in einem rechteckigen Bereich von 160 m × 160 m um den Schießstand. Die Farbe repräsentiert den relativen Schalldruckpegel, d. h. den Pegel *mit* Schießstand minus den Pegel *ohne* Schießstand. Mit anderen Worten, der relative Schalldruckpegel ist gleich der negativen Einfügungsdämpfung des Schießstandes. Folglich ist der relative Schalldruckpegel niedrig und die Einfügungsdämpfung hoch in der Schattenzone.

Werte der Einfügungsdämpfung in einem Raster von 10 m sind in den Tabellen A.1 bis A.6 dargestellt.

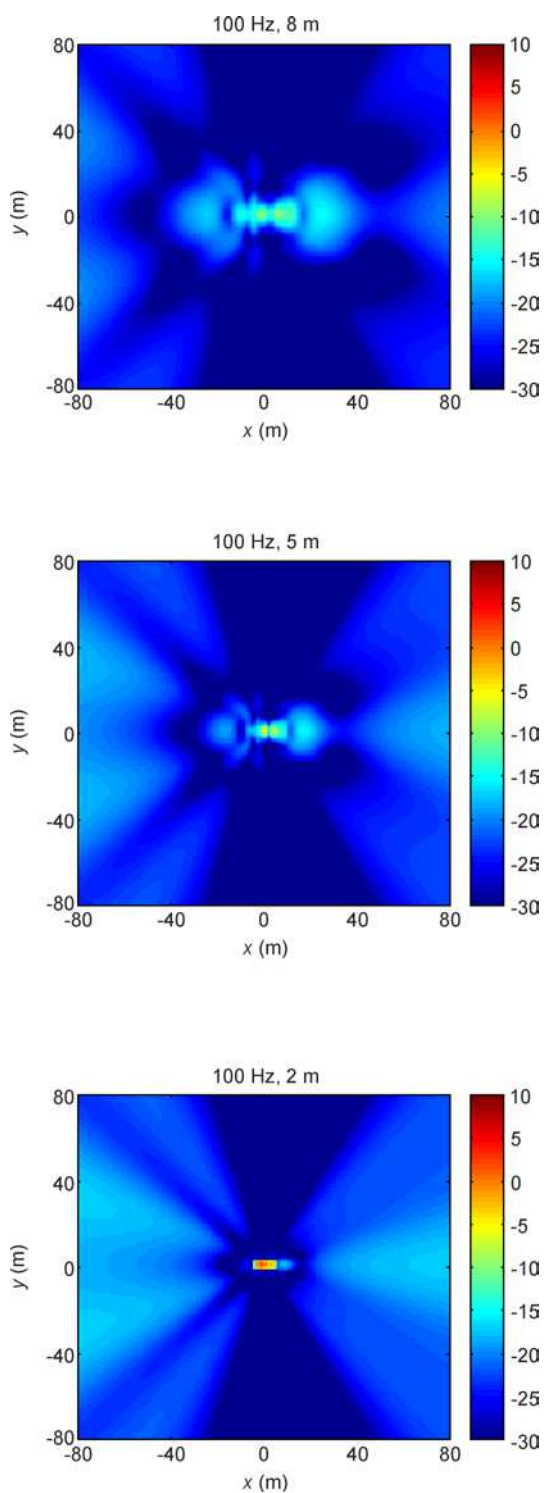


Bild A.2 — Relativer Schalldruckpegel, in Dezibel, bei der Frequenz 100 Hz für drei Empfängerhöhen (2 m, 5 m und 8 m)

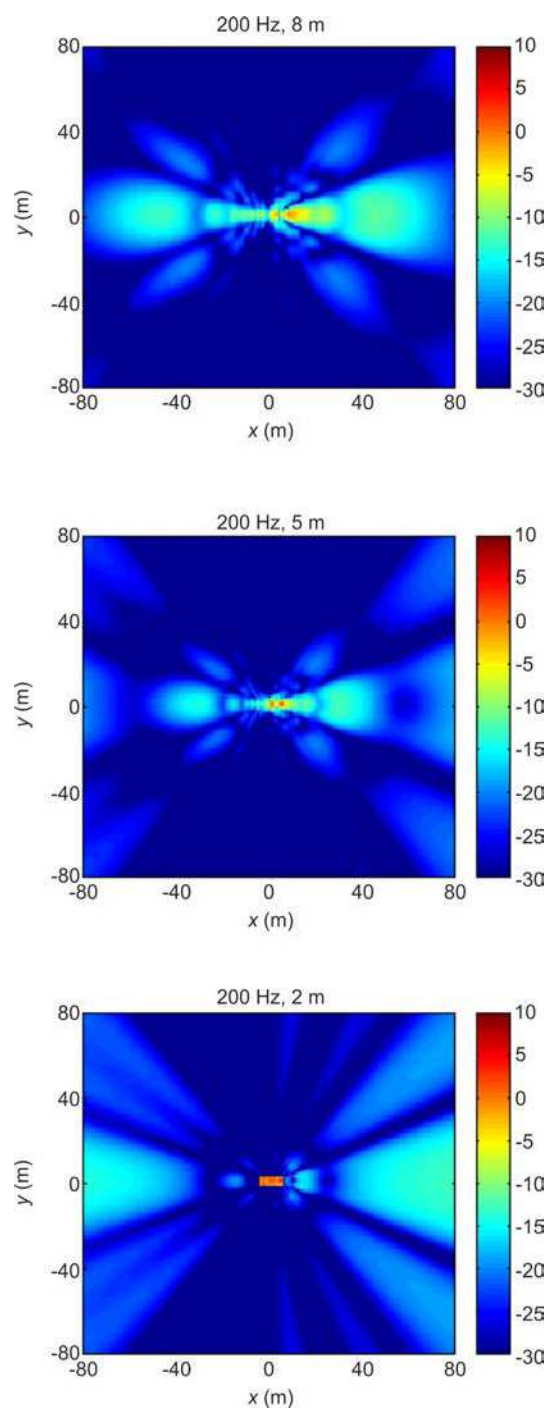


Bild A.3 — Relativer Schalldruckpegel, in Dezibel, bei der Frequenz 200 Hz für drei Empfängerhöhen (2 m, 5 m und 8 m)

Tabelle A.1 — Einfügungsdämpfung bei einer Frequenz von 100 Hz, für y von 0 m bis 80 m und x von –80 m bis 80 m, bei einer Empfängerhöhe von 8 m

x m	y m								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
	Einfügungsdämpfung dB								
–80	22,8	22,2	20,9	20,0	20,0	21,0	22,9	24,5	24,9
–70	24,7	23,7	21,9	20,9	21,4	23,2	25,2	25,5	24,5
–60	28,0	26,2	23,5	22,7	24,0	26,4	26,5	24,9	23,6
–50	30,5	29,0	26,1	26,2	28,7	28,2	25,6	23,9	23,3
–40	24,3	26,6	31,2	34,9	31,1	26,6	24,6	24,1	24,3
–30	18,7	21,8	28,8	30,5	28,5	26,3	25,8	26,4	27,6
–20	18,8	20,1	23,0	30,9	31,3	30,5	31,7	33,6	35,5
–10	15,0	21,8	28,9	35,3	39,9	49,6	46,5	41,0	38,3
0	10,2	32,1	28,2	31,2	35,3	36,1	35,1	34,1	33,3
10	12,4	25,3	29,6	40,2	44,2	36,9	34,2	32,8	32,0
20	17,8	18,0	25,2	33,5	49,2	41,9	36,4	34,1	32,7
30	16,3	18,8	25,2	34,9	32,1	35,7	39,3	37,3	34,9
40	21,1	24,0	30,1	45,9	30,2	28,5	30,3	33,5	35,6
50	24,4	27,7	46,2	34,9	29,6	26,8	26,4	27,8	30,1
60	23,5	25,2	30,4	30,9	28,1	26,3	25,2	25,3	26,3
70	21,7	22,7	25,5	27,6	26,9	25,7	24,8	24,3	24,5
80	20,5	21,2	23,0	25,1	25,7	25,1	24,4	23,9	23,8

Tabelle A.2 — Einfügungsdämpfung bei einer Frequenz von 100 Hz, für y von 0 m bis 80 m, und x von –80 m bis 80 m, bei einer Empfängerhöhe von 5 m

x m	y m								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
	Einfügungsdämpfung dB								
–80	19,8	19,4	18,6	18,1	18,3	19,5	21,4	23,2	23,9
–70	20,6	20,0	19,0	18,5	19,3	21,2	23,3	24,2	23,5
–60	21,7	20,9	19,5	19,4	21,0	23,6	24,6	23,7	22,6
–50	23,8	22,3	20,5	21,2	24,0	25,3	23,9	22,7	22,3
–40	28,3	24,7	22,5	25,1	26,6	24,2	22,9	22,7	23,2
–30	30,7	28,8	28,6	29,5	24,9	23,5	23,8	24,8	26,2
–20	20,5	28,7	32,2	26,8	25,5	26,6	28,6	30,8	32,8
–10	29,8	22,0	38,4	35,0	37,7	39,2	38,1	36,7	35,6
0	8,2	31,7	32,0	36,5	35,0	33,5	32,7	32,1	31,8
10	16,1	26,2	36,5	41,5	34,8	32,5	31,5	30,9	30,6
20	16,3	22,2	35,1	32,8	38,9	36,3	33,6	32,2	31,3
30	23,7	33,9	34,6	27,5	27,6	31,3	34,8	34,7	33,4
40	23,8	27,7	29,3	26,4	24,9	25,5	28,0	31,2	33,6
50	21,2	22,9	25,7	25,3	24,3	23,8	24,5	26,3	28,7
60	19,7	20,7	23,2	24,2	23,8	23,4	23,3	23,9	25,2
70	18,9	19,6	21,5	23,1	23,4	23,1	22,9	23,0	23,5
80	18,3	18,9	20,4	22,1	22,9	22,9	22,7	22,6	22,8

Tabelle A.3 — Einfügungsdämpfung bei einer Frequenz von 100 Hz, für y von 0 m bis 80 m und x von –80 m bis 80 m, bei einer Empfängerhöhe von 2 m

x m	y m								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
	Einfügungsdämpfung dB								
–80	18,4	18,1	17,5	17,1	17,5	18,7	20,6	22,5	23,3
–70	18,7	18,3	17,6	17,4	18,2	20,2	22,4	23,4	23,0
–60	19,1	18,6	17,7	17,9	19,6	22,3	23,6	23,0	22,2
–50	19,7	18,9	18,0	19,1	22,1	23,8	23,0	22,1	21,8
–40	20,6	19,3	18,8	21,7	24,2	22,9	22,0	22,0	22,6
–30	22,6	20,1	21,3	25,0	22,9	22,2	22,8	24,0	25,5
–20	28,5	22,4	27,0	23,0	23,1	24,9	27,2	29,5	31,6
–10	27,6	37,3	24,9	27,7	31,6	34,1	34,8	34,7	34,2
0	–0,8	36,6	34,1	32,3	31,6	31,3	31,2	31,1	31,0
10	18,1	29,9	37,0	34,2	31,6	30,6	30,2	30,0	29,9
20	25,3	25,0	24,0	27,7	33,7	33,9	32,3	31,3	30,6
30	20,0	22,4	22,9	22,9	25,1	29,3	32,9	33,5	32,6
40	18,6	20,3	22,3	22,3	22,6	24,0	26,8	30,1	32,6
50	17,9	19,1	21,4	22,1	22,1	22,4	23,5	25,5	28,0
60	17,6	18,4	20,5	21,8	22,0	22,0	22,3	23,2	24,7
70	17,4	18,0	19,7	21,3	21,9	22,0	22,0	22,3	23,0
80	17,2	17,7	19,1	20,7	21,7	21,9	21,9	22,0	22,2

Tabelle A.4 — Einfügungsdämpfung bei einer Frequenz von 200 Hz, für y von 0 m bis 80 m und x von –80 m bis 80 m, bei einer Empfängerhöhe von 8 m

x m	y m								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
	Einfügungsdämpfung dB								
–80	22,7	24,3	28,8	34,2	35,5	37,7	33,0	28,4	26,8
–70	18,5	20,7	26,9	35,2	39,8	34,3	30,8	28,9	30,2
–60	15,2	17,9	25,8	34,3	28,8	30,7	32,5	34,3	40,2
–50	13,2	16,5	27,6	24,6	25,8	35,5	46,9	43,1	42,7
–40	13,9	17,7	25,4	21,4	29,3	37,1	35,9	38,5	39,5
–30	20,1	24,2	21,1	25,2	30,5	31,7	37,1	37,1	35,9
–20	14,9	26,3	36,7	28,3	31,1	37,0	37,9	38,8	37,6
–10	11,2	24,1	45,2	37,7	37,3	35,9	37,6	40,5	41,8
0	12,2	46,9	41,0	35,0	31,1	31,2	32,4	33,9	35,2
10	1,4	20,8	26,0	35,3	28,8	31,3	38,5	49,6	38,3
20	10,2	32,7	31,3	23,5	31,8	34,9	34,0	36,1	43,0
30	13,5	21,2	26,1	20,3	23,4	30,8	60,9	43,2	43,9
40	12,8	14,1	36,1	23,6	23,0	26,3	32,7	49,9	34,9
50	12,0	13,5	23,4	31,8	29,4	27,6	30,6	36,7	51,5
60	14,2	15,4	21,0	39,5	48,4	33,4	29,2	32,6	41,4
70	17,8	18,6	21,9	30,7	37,8	32,3	28,5	27,3	30,2
80	22,7	22,5	23,2	28,0	35,4	30,2	26,9	25,5	25,4

Tabelle A.5 — Einfügungsdämpfung bei einer Frequenz von 200 Hz, für y von 0 m bis 80 m und x von –80 m bis 80 m, bei einer Empfängerhöhe von 5 m

x m	y m								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
	Einfügungsdämpfung dB								
–80	19,8	20,2	22,8	30,1	26,9	25,7	25,9	24,2	23,4
–70	22,8	23,0	26,7	31,2	27,3	27,8	25,4	24,1	25,7
–60	26,9	27,1	32,8	30,7	31,2	27,6	25,2	27,1	32,5
–50	23,0	27,3	34,8	38,7	31,7	27,1	29,5	37,3	49,2
–40	17,1	23,2	36,9	31,1	31,1	34,4	49,5	44,1	37,0
–30	14,4	23,1	23,8	32,9	46,4	42,2	39,3	35,0	34,5
–20	23,0	26,4	24,8	32,4	36,9	36,0	36,4	38,1	37,9
–10	17,5	27,7	29,3	37,6	38,3	37,0	37,8	38,7	38,8
0	9,6	37,9	35,9	32,1	33,2	35,0	36,3	37,0	37,3
10	9,4	24,5	35,4	31,4	34,7	44,4	34,9	31,2	29,6
20	15,4	25,5	20,6	27,0	47,5	42,3	44,0	54,1	40,9
30	12,9	18,3	26,4	26,2	32,1	43,8	31,7	33,1	38,0
40	15,5	18,3	38,4	35,5	29,0	37,2	42,7	31,5	28,9
50	22,2	22,4	30,1	31,1	26,7	25,9	31,1	37,3	33,0
60	27,0	23,5	25,4	33,4	25,3	23,4	23,8	27,5	32,9
70	22,0	20,8	21,4	31,5	27,1	22,7	21,9	22,6	25,5
80	18,8	18,4	18,8	24,3	33,2	23,7	21,3	21,1	21,9

Tabelle A.6 — Einfügungsdämpfung bei einer Frequenz von 200 Hz, für y von 0 m bis 80 m und x von –80 m bis 80 m, bei einer Empfängerhöhe von 2 m

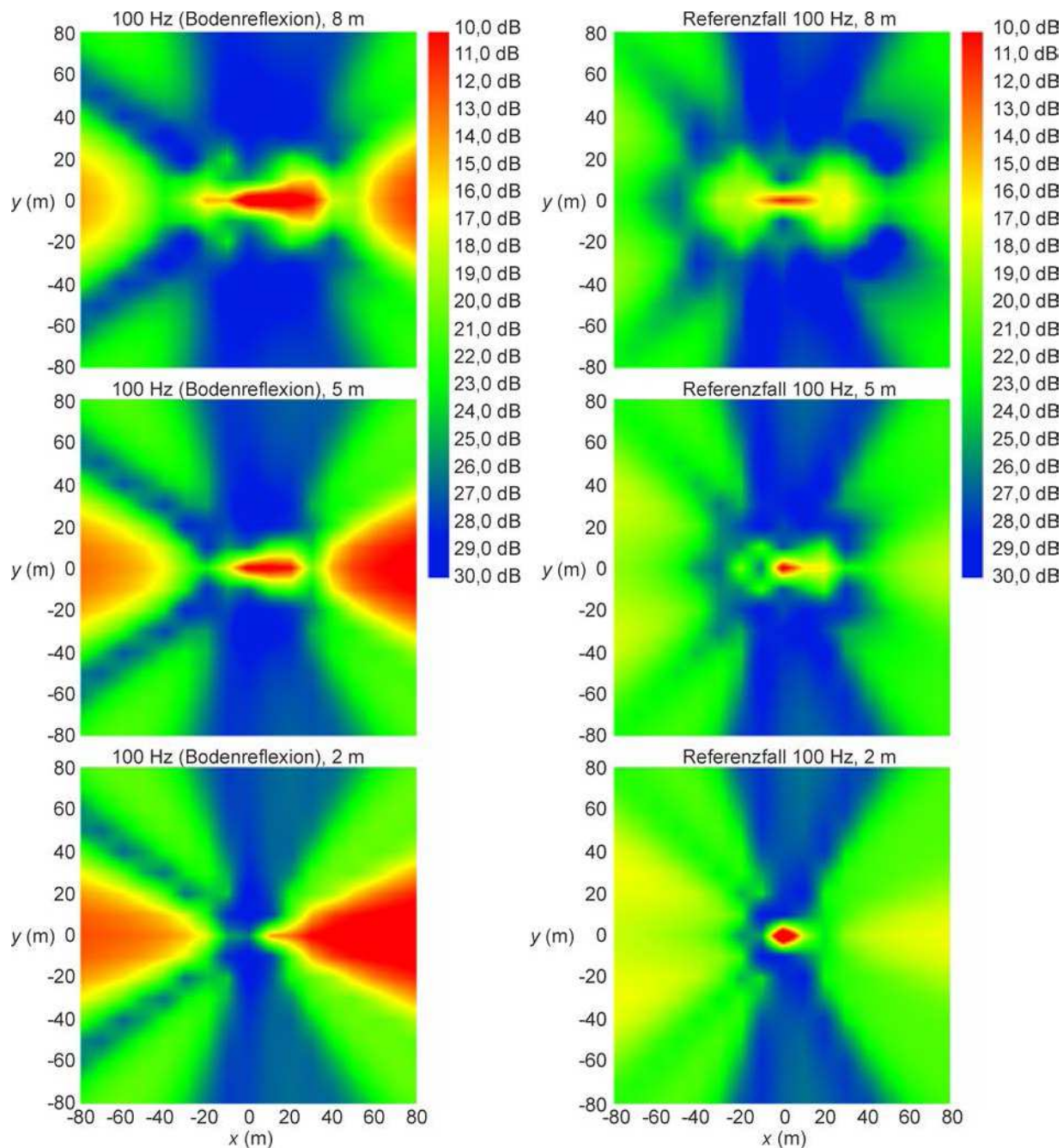
x m	y m								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
	Einfügungsdämpfung dB								
–80	14,0	14,9	18,2	26,4	23,8	22,1	22,8	22,2	21,9
–70	14,6	15,6	20,4	27,4	22,4	23,1	22,6	22,0	23,8
–60	15,4	16,8	24,2	24,4	23,2	23,2	22,2	24,4	29,6
–50	16,7	18,7	29,1	23,5	24,2	22,5	25,4	32,5	40,3
–40	19,1	22,2	26,1	26,1	23,2	27,0	37,0	39,0	34,9
–30	25,6	31,8	28,9	24,6	30,2	41,6	35,7	33,3	33,5
–20	24,6	35,8	29,1	38,2	37,9	33,6	35,1	37,6	38,1
–10	27,9	26,1	38,4	35,5	39,0	37,7	37,3	37,1	37,2
0	-0,8	36,3	36,1	36,6	37,2	37,2	37,0	36,8	36,5
10	26,6	23,4	36,3	39,2	37,1	30,3	27,8	26,8	26,5
20	20,6	33,2	29,0	36,0	28,1	32,5	38,2	38,3	34,3
30	23,4	26,5	23,6	23,4	32,5	29,1	26,9	29,4	33,8
40	17,2	18,5	29,7	20,8	21,7	28,2	30,9	27,6	26,6
50	15,0	15,8	26,2	22,4	19,8	21,0	25,6	30,3	29,2
60	13,9	14,5	19,1	30,9	20,4	19,4	20,6	24,1	28,7
70	13,3	13,7	16,3	28,3	23,6	19,5	19,2	20,3	23,2
80	12,9	13,2	14,9	21,0	32,0	21,1	19,1	19,1	20,2

A.4 Beispiel für die Anwendung des Referenzfalls

Im Anhang B ist die Kirchhoff-Näherung beschrieben. Gleichung (B.2) beschreibt den Fall, in dem die Welle die Öffnung passiert. Der Referenzfall hat drei Öffnungen, welche jeweils separat berechnet werden können. Zuerst passiert die Welle die inneren Öffnungen, welche durch das untere Ende der Blenden gebildet werden. Dies bedeutet, dass Gleichung (B.2) zweimal zur Beschreibung der Schallausbreitung anzuwenden ist. Die Blenden selbst sind beidseitig nicht absorbierend, wobei der Rest der Innenflächen absorbierend ist. Reflexionen werden zur korrekten Beschreibung der Schallausbreitung durch das Einbringen von Spiegelquellen einschließlich der Reflexionen der Öffnungen modelliert. Für die Modellberechnung wurden bis zu zwei Reflexionen angenommen. Zusätzlich wurden die Blenden im Vergleich zur Wellenlänge als sehr dünn angenommen.

Die erste Reflexion erfolgt an der Rückseite der ersten Blende, welche bei $x = 2$ m angebracht ist und das Ende der ersten Öffnung bildet. Die Modellquelle ist dann bei $x = 7$ m, die untere Öffnung von dieser Quelle beginnt bei 2 m und geht bis 4 m. Diese Quelle wird wieder an der ersten Blende bei $x = 0$ reflektiert, was zu einer dritten Spiegelquelle bei -7 m und einer Öffnung von $x = -4$ m bis 2 m führt. Dieser Vorgang ist für alle drei Öffnungen zu wiederholen. Die Einfügungsdämpfung wird berechnet vom Freifeld der Quelle, positioniert bei $P(-3 \text{ m}, 0 \text{ m}, 0 \text{ m})$, und es wird angenommen, dass die Einfügungsdämpfung nicht größer als 30 dB ist (siehe ISO 9613-2). Dies wird durch Addition von -30 dB zum negativen Pegel der Einfügungsdämpfung erreicht.

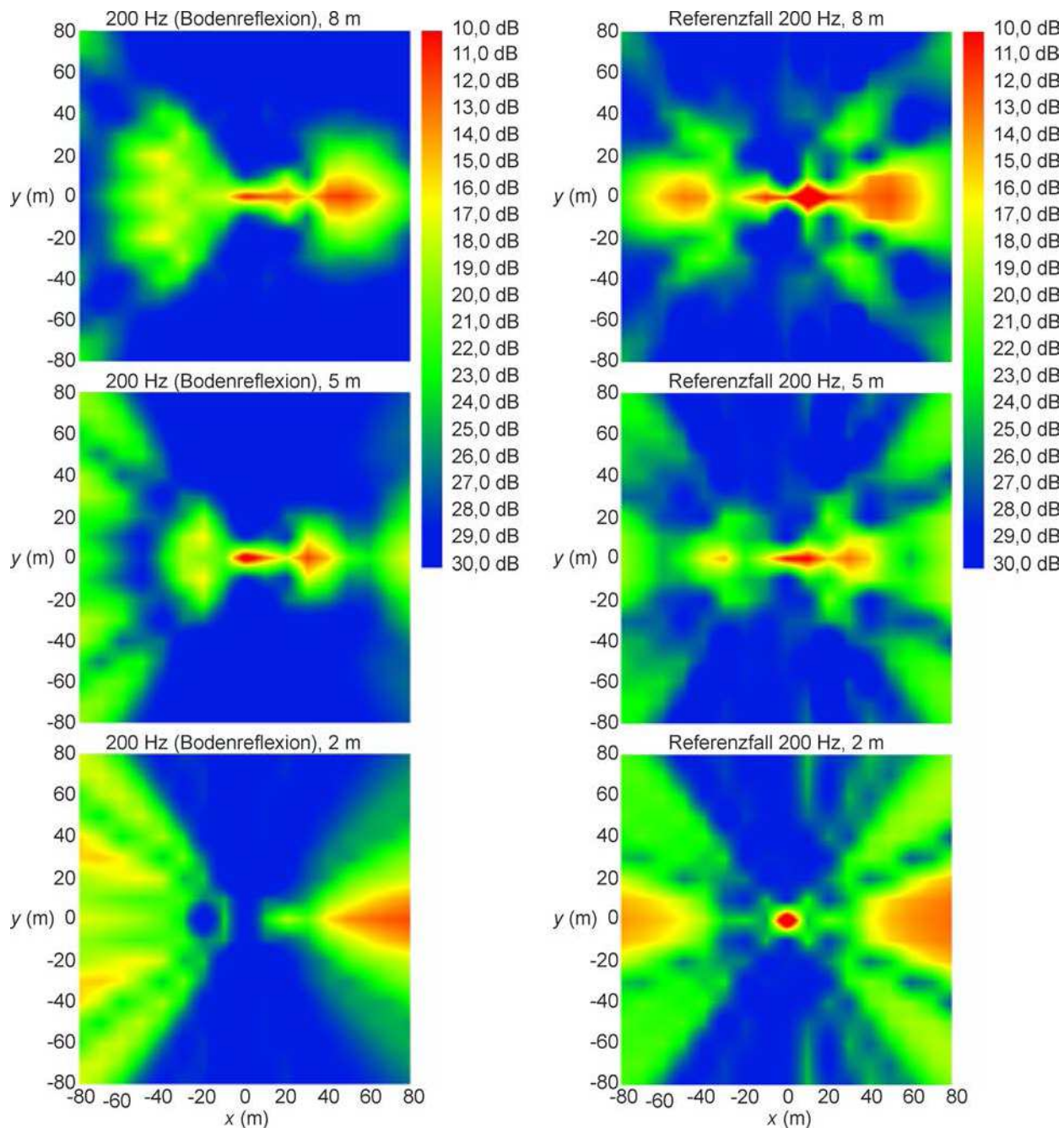
Die Ergebnisse sind in Bild A.4 und Bild A.5 aufgezeigt. Dabei wird auf der rechten Seite die Einfügungsdämpfung verglichen mit dem Referenzfall und auf der linken Seite die Einbeziehung der Bodenreflektion gezeigt.



a) Modell-Berechnung für 100 Hz

b) Referenzfall-Berechnung für 100 Hz

Bild A.4 — Einfügungsdämpfung beschränkt auf 30 dB (für 100 Hz)



a) Modell-Berechnung für 200 Hz

b) Referenzfall-Berechnung für 200 Hz

Bild A.5 — Einfügungsdämpfung beschränkt auf 30 dB (für 200 Hz)

Die Werte für die Einfügungsdämpfung sind in den Tabellen A.7 bis A.12 gegeben.

Tabelle A.7 — Einfügungsdämpfung für die Modellberechnung bei einer Frequenz von 100 Hz; mit einer Quelle P(−3,0 m; 0,0 m; 0,0 m) und einer Höhe über Grund von 8 m

x m	y m								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
	Einfügungsdämpfung dB								
−80	14,2	14,7	16,3	19,3	24,7	34,0	30,2	25,7	23,7
−70	15,2	15,8	17,9	22,0	30,0	33,2	26,8	24,2	23,1
−60	16,7	17,5	20,3	26,3	36,7	28,6	25,0	23,7	23,2
−50	19,4	20,4	24,3	34,6	31,7	26,4	24,6	24,1	24,3
−40	23,2	25,0	32,0	38,0	29,0	26,2	25,5	25,7	26,5
−30	19,9	25,0	41,4	33,5	29,6	28,2	28,3	29,3	30,6
−20	14,3	23,1	28,7	32,9	33,7	33,5	34,4	35,7	37,2
−10	14,6	26,6	25,7	34,8	44,2	45,4	44,4	43,0	41,7
0	5,6	34,7	38,0	42,5	51,1	46,2	42,0	39,9	38,6
10	5,4	22,7	31,8	40,0	49,2	42,8	39,4	37,8	36,8
20	7,4	16,4	23,2	40,8	46,2	41,4	39,0	37,5	36,5
30	9,9	16,0	25,1	34,5	36,9	36,5	37,1	37,2	36,8
40	18,2	22,1	30,5	30,1	29,2	30,1	31,7	33,5	34,9
50	19,6	20,7	24,8	27,2	25,5	25,7	27,1	29,0	30,8
60	15,1	15,9	19,1	23,7	24,3	23,5	24,1	25,5	27,2
70	12,7	13,4	15,8	19,9	23,2	22,9	22,6	23,3	24,5
80	11,4	11,9	13,8	17,1	21,0	22,6	22,1	22,0	22,7

Tabelle A.8 — Einfügungsdämpfung für die Modellberechnung bei einer Frequenz von 100 Hz; mit einer Quelle P(−3,0 m; 0,0 m; 0,0 m) und einer Höhe über Grund von 5 m

x m	y m								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
	Einfügungsdämpfung dB								
−80	12,6	13,1	14,8	18,0	23,5	32,8	29,0	24,7	22,8
−70	13,0	13,7	15,9	20,2	28,5	31,5	25,5	23,1	22,1
−60	13,7	14,6	17,6	24,0	34,1	26,7	23,5	22,4	22,2
−50	14,8	16,0	20,4	31,1	28,6	24,1	22,8	22,6	23,1
−40	16,7	18,5	25,8	32,5	25,2	23,5	23,4	24,1	25,2
−30	20,8	23,6	38,1	27,5	24,8	24,8	25,8	27,4	29,1
−20	23,8	35,3	33,1	28,1	27,8	29,2	31,3	33,5	35,5
−10	17,3	27,9	34,5	36,0	37,6	39,7	40,7	40,6	39,9
0	8,5	33,9	47,4	50,7	42,6	39,7	38,2	37,4	36,8
10	9,0	22,1	45,6	43,0	38,3	36,6	35,7	35,3	35,0
20	10,1	21,1	34,8	36,2	36,8	36,5	35,8	35,2	34,8
30	21,2	25,9	27,2	26,6	29,4	32,3	34,4	35,2	35,3
40	14,5	16,8	23,2	23,0	23,9	26,5	29,3	31,7	33,5
50	11,6	13,2	18,2	22,2	21,7	22,8	24,9	27,3	29,5
60	10,3	11,4	15,0	20,2	21,5	21,2	22,3	24,0	26,0
70	9,6	10,4	13,0	17,4	21,0	21,0	21,0	22,0	23,4
80	9,2	9,8	11,8	15,2	19,3	21,1	20,8	20,9	21,8

Tabelle A.9 — Einfügungsdämpfung für die Modellberechnung bei einer Frequenz von 100 Hz; mit einer Quelle P(–3,0 m; 0,0 m; 0,0 m) und einer Höhe über Grund von 2 m

x m	y m								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
	Einfügungsdämpfung dB								
–80	11,8	12,3	14,0	17,3	22,9	32,3	28,4	24,2	22,4
–70	12,0	12,7	15,0	19,4	27,8	30,6	24,8	22,5	21,7
–60	12,3	13,2	16,4	22,9	32,9	25,7	22,7	21,7	21,6
–50	12,7	14,0	18,7	29,6	27,2	23,0	21,9	21,9	22,5
–40	13,4	15,4	23,1	29,9	23,5	22,1	22,3	23,2	24,5
–30	14,6	18,1	32,3	24,3	22,6	23,2	24,6	26,4	28,3
–20	17,3	24,7	26,1	23,7	24,9	27,3	29,9	32,4	34,7
–10	26,7	33,6	26,9	29,6	33,7	37,2	39,1	39,4	39,1
0	29,8	41,5	46,6	40,2	38,1	37,1	36,5	36,2	35,9
10	14,3	33,1	35,1	34,6	34,2	34,1	34,1	34,1	34,2
20	13,0	21,4	23,4	30,0	33,7	34,5	34,4	34,2	34,0
30	9,7	14,8	20,1	22,0	26,6	30,6	33,1	34,3	34,6
40	8,8	11,6	18,9	19,9	21,6	24,8	28,1	30,8	32,8
50	8,5	10,1	15,6	20,0	20,0	21,4	23,9	26,5	28,9
60	8,3	9,4	13,2	18,6	20,1	20,1	21,3	23,3	25,4
70	8,2	9,0	11,7	16,2	19,9	20,1	20,2	21,3	22,9
80	8,1	8,7	10,8	14,3	18,5	20,3	20,1	20,3	21,3

Tabelle A.10 — Einfügungsdämpfung für die Modellberechnung bei einer Frequenz von 200 Hz; mit einer Quelle P(–3,0 m; 0,0 m; 0,0 m) und einer Höhe über Grund von 8 m

x m	y m								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
	Einfügungsdämpfung dB								
–80	34,4	36,7	34,8	29,5	28,1	33,0	32,1	25,7	24,2
–70	28,3	31,3	31,3	32,3	36,9	40,7	30,0	27,0	27,6
–60	22,6	26,0	23,9	27,0	38,3	35,1	32,4	32,1	34,6
–50	18,8	22,3	18,6	25,4	28,9	31,0	38,2	42,0	43,3
–40	17,0	19,0	16,3	25,4	23,1	30,4	40,4	47,8	49,5
–30	20,7	17,8	21,7	19,0	25,4	35,5	45,2	49,2	46,6
–20	18,8	22,6	23,1	26,2	36,2	38,6	40,8	47,2	50,0
–10	18,1	22,6	30,8	38,8	35,1	41,5	51,4	57,3	58,2
0	10,6	34,4	42,7	52,1	46,1	47,1	50,3	54,2	58,7
10	12,5	30,2	36,8	35,0	32,6	35,7	41,2	50,2	61,3
20	13,0	19,4	43,6	39,1	34,3	38,5	43,0	49,8	51,3
30	16,1	31,1	26,6	31,6	41,1	39,9	42,3	48,6	48,7
40	12,1	16,9	22,4	25,9	35,8	46,5	50,6	49,0	44,9
50	11,6	16,2	20,0	26,8	32,2	44,8	60,5	56,2	47,3
60	14,1	18,0	22,1	27,1	34,0	44,0	52,4	47,3	48,4
70	18,1	21,3	26,6	29,4	36,1	43,5	43,5	41,9	42,4
80	23,0	25,8	32,8	35,6	38,6	38,9	37,3	37,3	38,3

Tabelle A.11 — Einfügungsdämpfung für die Modellberechnung bei einer Frequenz von 200 Hz; mit einer Quelle P(−3,0 m; 0,0 m; 0,0 m) und einer Höhe über Grund von 5 m

x m	y m								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
	Einfügungsdämpfung dB								
−80	21,9	24,1	23,0	18,9	19,1	25,2	25,6	20,6	19,9
−70	24,2	26,8	23,4	19,9	23,0	29,1	22,0	20,7	22,5
−60	28,6	31,4	24,7	22,9	31,2	24,5	22,0	23,9	28,1
−50	35,8	37,4	29,4	31,2	29,6	24,4	26,2	31,0	35,3
−40	25,4	28,2	32,4	39,7	29,9	30,8	35,5	39,0	41,0
−30	19,5	19,4	28,1	29,7	40,6	42,7	44,7	40,7	37,1
−20	20,6	16,5	20,5	30,2	44,6	48,8	41,7	39,7	40,0
−10	21,6	24,9	30,4	38,2	43,5	52,1	51,9	53,3	52,8
0	6,2	36,7	51,0	44,9	49,0	56,0	65,3	69,8	66,5
10	12,9	31,2	37,0	35,6	42,6	55,3	44,9	42,2	41,2
20	17,0	32,9	31,9	41,1	43,9	48,1	43,1	39,6	37,6
30	11,8	17,4	26,0	41,9	64,1	46,0	40,2	39,0	38,7
40	15,0	21,2	27,9	40,1	47,7	46,5	45,5	38,6	36,2
50	21,9	28,6	34,0	39,5	37,9	38,9	41,3	44,3	39,9
60	24,6	28,3	34,3	35,9	33,0	33,3	36,0	38,7	41,9
70	20,1	22,5	26,9	29,5	31,4	30,2	31,6	34,5	37,1
80	17,3	19,3	23,3	25,7	28,6	29,3	29,0	30,9	33,6

Tabelle A.12 — Einfügungsdämpfung für die Modellberechnung bei einer Frequenz von 200 Hz; mit einer Quelle P(−3,0 m; 0,0 m; 0,0 m) und einer Höhe über Grund von 2 m

x m	y m								
	0	10	20	30	40	50	60	70	80
	Einfügungsdämpfung dB								
−80	17,6	19,9	19,1	15,4	16,1	22,5	23,0	18,5	18,1
−70	18,0	20,8	18,1	15,4	19,1	25,4	19,1	18,2	20,4
−60	18,7	21,8	17,1	16,7	25,5	20,1	18,5	21,0	25,6
−50	19,6	22,5	16,6	21,3	22,1	18,9	21,8	27,4	32,3
−40	21,4	22,3	18,3	26,0	19,6	23,2	29,6	34,6	37,7
−30	25,5	22,1	27,4	21,1	25,5	32,5	37,9	36,0	33,6
−20	46,9	29,1	25,8	30,0	37,5	37,1	34,2	34,6	36,3
−10	25,0	27,3	40,6	41,5	37,4	40,2	44,8	48,5	48,8
0	41,0	41,6	58,7	57,9	53,2	53,0	53,8	55,0	56,3
10	25,8	31,8	45,7	38,2	35,5	35,3	35,8	36,5	37,2
20	18,6	31,2	40,2	41,9	35,6	36,2	35,5	34,4	33,9
30	21,9	27,9	29,7	35,0	42,3	36,1	33,6	34,3	35,2
40	16,1	21,2	27,3	27,6	33,4	38,8	39,7	34,5	33,0
50	14,0	18,3	22,5	26,6	27,6	32,7	37,0	40,7	37,1
60	13,0	16,4	20,4	24,8	26,0	27,9	32,2	35,9	39,4
70	12,5	15,0	19,3	22,0	25,8	25,9	28,2	31,9	35,1
80	12,1	14,1	18,3	20,5	24,0	25,8	26,1	28,5	31,7

Tabelle A.13 zeigt die Ergebnisse des Vergleiches der Modell-Berechnung mit dem Referenzfall.

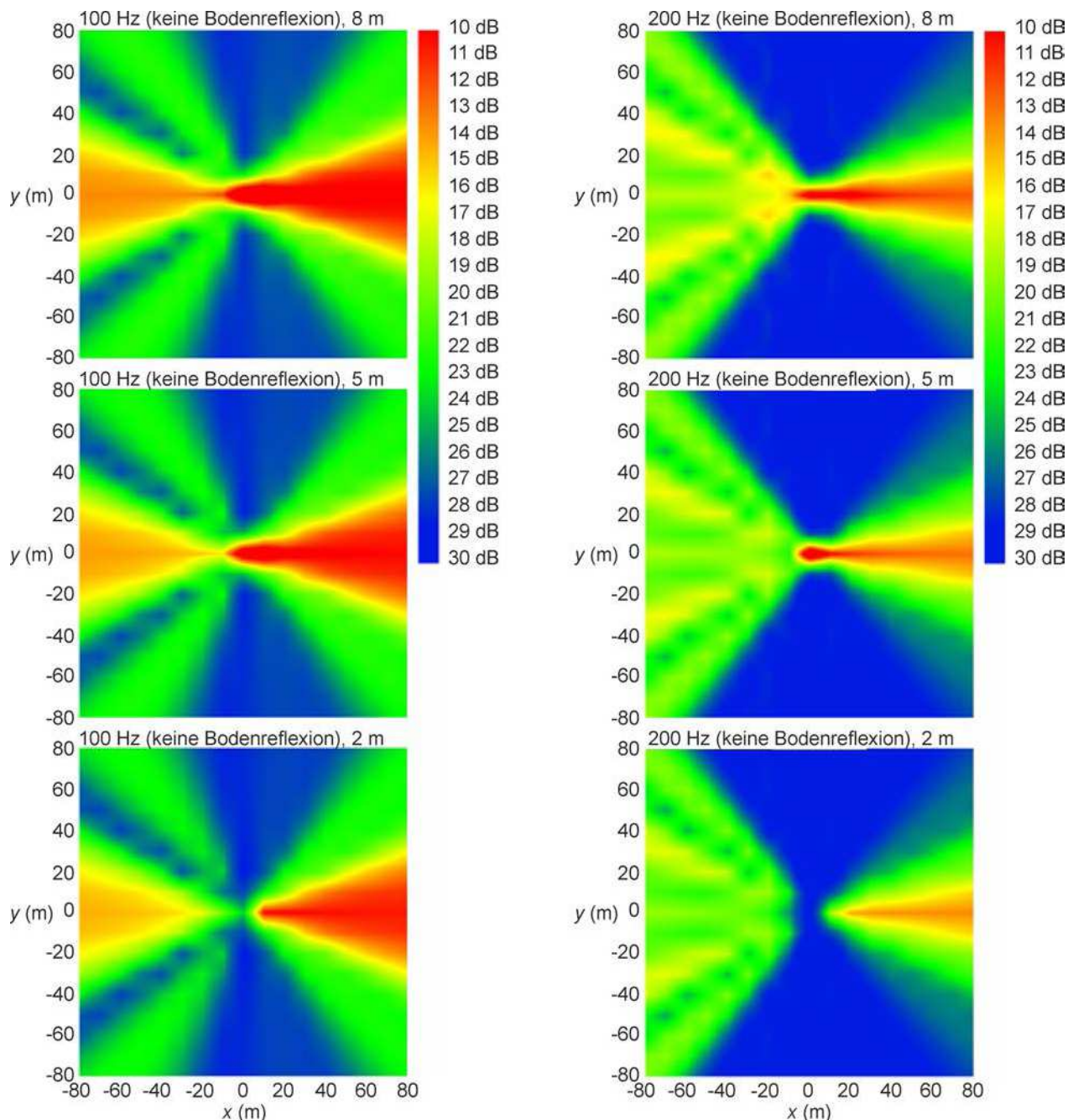
Tabelle A.13 — Vergleich der Modell-Berechnung mit dem Referenzfall

Frequenz <i>f</i> Hz	Höhe <i>h</i> m	Differenz dB	Standardab- weichung dB	Mittelungs- pegel dB	Korrelations- koeffizient 1
100	8	–1,3	3,5	76,6	0,67
100	5	–1,0	3,5	79,2	0,67
100	2	–0,9	3,5	80,6	0,79
200	8	1,1	2,3	76,9	0,77
200	5	0,6	3,2	75,7	0,58
200	2	0,7	3,9	81,3	0,71

Die Differenz ist negativ, falls das Modell zu höheren Pegel als der Referenzfall für alle Punkte führt, wo der absolute Wert von x oder y größer oder gleich 60 m ist. Für 100 Hz führt das Modell im Durchschnitt zu einer Überschätzung um 1,1 dB und bei 200 Hz zu einer Unterschätzung von 0,8 dB. Die mittlere Standardabweichung ist 3,5 dB für 100 Hz und 3,1 dB für 200 Hz. Der Korrelationskoeffizient liegt zwischen 0,5 und 0,8. Diese Werte wurden durch Addition eines Pegels von –30 dB zur negativen Einfügungsdämpfungen des Modells und des Referenzfalls gewonnen.

Falls 2 dB zum oben genannten Ergebnis der Modellberechnung addiert werden, kann die Unterschätzung ausgeschlossen werden und die Überschätzung kann in extremen Fällen bis zu 6 dB betragen. Es ist zu berücksichtigen, dass der Vergleich sich nicht auf die Schallenergie bezieht, die sich in unterschiedliche Richtungen ausbreitet, sondern auf den Schallexpositionspegel, der die Reflexionen am Boden enthält, die zu Interferenz führt, mit der Tendenz zu großen Abweichungen, falls die Phasenlagen des Referenzfalls und des Modell unterschiedlich sind.

Letzteres kann Bild A.6 entnommen werden. Dabei wird ausschließlich die Einfügungsdämpfung ohne Bodenreflexion gezeigt. Interferenz findet nicht statt und die räumliche Struktur ist viel einfacher.



a) Einfügedämpfung der direkten Welle für
100 Hz ohne Bodenreflexion

b) Einfügedämpfung für 200 Hz

Bild A.6 — Einfügedämpfung für drei Höhen

Der Energiefluss ist sehr ähnlich dem, der beim Referenzfall beobachtet wird [siehe Bilder A.4 b) und A.5 b)] bezüglich der Verteilung der Schallenergie in unterschiedliche horizontale Richtungen. Für größere Entfernungen ist der Fall mit einer Höhe von 5 m am repräsentativsten bezüglich der Abstrahlung von Schallenergie in die Umgebung anzusehen. Falls die Schallexpositionspiegel für größere Entfernungen ohne Bodenreflexion berechnet werden, können diese Pegel direkt für die Berechnung sowohl der Schallenergieverteilung als auch der Richtwirkung, wie in ISO 17201-1 beschrieben, verwendet werden. Die Schallausbreitungsberechnung anhand einer Ersatzquelle ist im Anhang C beschrieben. Für den Referenzfall sollte die Ersatzquelle in der ersten Öffnung bei P(1, 0, 4) positioniert werden.

Bei Anwendung des oben festgelegten Modells werden Schallexpositionspegel für Entfernungen von 500 m, wie in Tabelle A.14 angegeben, ermittelt:

Tabelle A.14 — Freifeld-Schallexpositionspegel bei einer Entfernung von 500 m

Terzband- Mitten- frequenz	Winkel Grad ^a												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
f Hz	Schallexpositionspegel L_E^b dB												
31,5	65,8	65,6	65,0	64,0	62,6	60,9	59,1	57,2	55,2	53,7	53,2	53,6	53,8
40	68,7	68,4	67,4	65,7	63,4	60,6	57,5	54,3	52,5	54,4	57,1	58,8	59,4
50	69,9	69,4	68,0	65,4	61,6	56,8	51,3	48,8	53,3	57,4	59,9	61,2	61,5
63	71,4	70,7	68,3	63,8	56,4	45,9	41,0	45,8	51,4	55,3	58,3	61,5	62,8
80	71,0	69,9	65,8	56,2	46,8	48,2	49,1	49,1	44,5	53,3	64,5	70,2	72,0
100	69,1	67,1	58,3	53,6	54,6	50,8	52,7	50,7	57,4	55,1	63,2	70,9	72,7
125	71,9	67,8	56,1	58,2	48,2	45,2	40,6	51,7	60,2	60,4	47,9	56,9	63,2
160	76,1	69,8	66,9	57,8	49,8	48,5	52,3	54,7	42,8	53,5	60,3	64,0	71,2
200	69,0	62,4	64,9	54,2	48,4	44,6	46,2	30,8	49,1	58,7	68,4	63,9	72,0
250	72,0	65,7	52,8	24,2	38,9	39,2	35,2	38,3	60,7	46,1	56,3	67,1	72,6
315	68,1	63,0	62,6	51,5	49,6	39,3	34,0	42,4	56,2	59,8	60,5	63,1	70,4
400	71,9	65,9	61,9	54,3	51,9	45,4	42,8	44,9	48,8	57,2	63,2	54,6	68,8
500	74,4	71,7	60,0	44,3	49,2	41,1	27,6	34,1	46,8	51,3	57,5	63,5	69,7
630	68,4	68,7	62,7	39,1	43,6	37,5	31,0	37,1	33,6	57,4	54,2	60,7	62,6
800	62,5	60,1	62,4	54,4	44,4	39,2	35,3	31,2	42,6	44,3	52,6	61,9	57,2
1 000	58,8	64,0	65,6	46,0	42,6	24,1	29,7	32,1	38,5	45,5	41,6	60,0	62,2
^a Da sind 13 Richtungen basierend auf dem Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung von 140 dB innerhalb des Referenzfall-Schießstandes für 8 m Höhe über Grund und einer Entfernung von 500 m. Der 2 dB Zuschlag und der Höchstwert der Einfügungsdämpfung von 30 dB sind in die angegeben Werte noch nicht einbezogen worden. ^b Der in Gleichung (3) zu verwendende Schallexpositionspegel zur Berechnung von $L_{q,s}(\alpha, f)$.													

Anhang B (informativ)

Hoch entwickelte Modellierungsansätze

B.1 Einleitende Bemerkungen

Ein sehr hoch entwickeltes Berechnungsverfahren zur Lösung der Wellengleichung ist die BEM. Diese wurde für den Referenzfall benutzt und ist kurz im Anhang A beschrieben.

Ein weiteres Verfahren zur Lösung der Wellengleichung wird durch die Kirchhoff-Integralgleichungs-Lösung repräsentiert.

Die Strahlverfolgung beruht auf der Annahme, dass die Wellenlänge im Bezug zu Änderungen der Schallgeschwindigkeit sehr klein ist. Dieses Verfahren kann jedoch verbessert werden, durch die Annahme, dass der Durchmesser des ausgedehnten Strahls von der Wellenlänge und dem Abstand zwischen Quelle und Empfänger abhängt. Es wird angenommen, dass der Durchmesser die Hälfte der ersten Fresnel-Zone ist. Die Beugung kann dann auf der Grundlage der Formulierung des Kirchhoff-Integrals oder des Näherungsverfahrens (siehe Literaturhinweis [23]) oder des Näherungsverfahrens von Maekawa (siehe Literaturhinweis [11]) beschrieben werden.

B.2 Kirchhoff Näherungsverfahren

Die Kirchhoff-Integral-Näherung [27] geht davon aus, dass bei bekanntem Druckfeld in einer geschlossenen Oberfläche das Feld im eingeschlossenen Volumen berechnet werden kann. Nachfolgend ist der einfache Fall beschrieben, wobei die Schussrichtung parallel zur x -Richtung verläuft und der Schießstand mit Ausnahme des Bodens komplett absorbierend ist und eine rechteckige Öffnung bei $x = 0$ in der y, z -Ebene hat. Der Schießstand hat in der $-x$ -Richtung eine Ausdehnung l die größer als der Abstand von der Mündungsposition bis zu dessen Öffnung ist, durch die der Schuss abgefeuert wird. Beim Näherungsverfahren wird angenommen, dass der Schalldruck an der Außenseite des Schießstandes einschließlich der Rückseite Null ist.

Die Höhe des Schießstandes ist l_z und seine Breite ist l_y . Es wird angenommen, dass die Oberfläche des Schießstandes (innen) absorbierend ist, so dass die Reflexion – besonders von der Innenseite des Daches – vernachlässigt werden kann. Weiterhin wird angenommen, dass der Boden im Schießstand akustisch hart mit einer unendlichen Impedanz und einem Reflexionskoeffizienten von 1 ist. Dabei ist h_{ground} die Höhe des Bodens über dem Grund.

Der Schallexpositionspegel, $L_E(x, y, z, f)$, des Mündungsknalls, wie er vom Empfangspunkt $P(x, y, z)$ aus aufgenommen wird, kann wie folgt formuliert werden.

$$L_E(x, y, z, f) = 10 \lg \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \frac{q_{k_0}^2 F_0}{S_0} \right] \text{ dB} \quad (\text{B.1})$$

Dabei ist

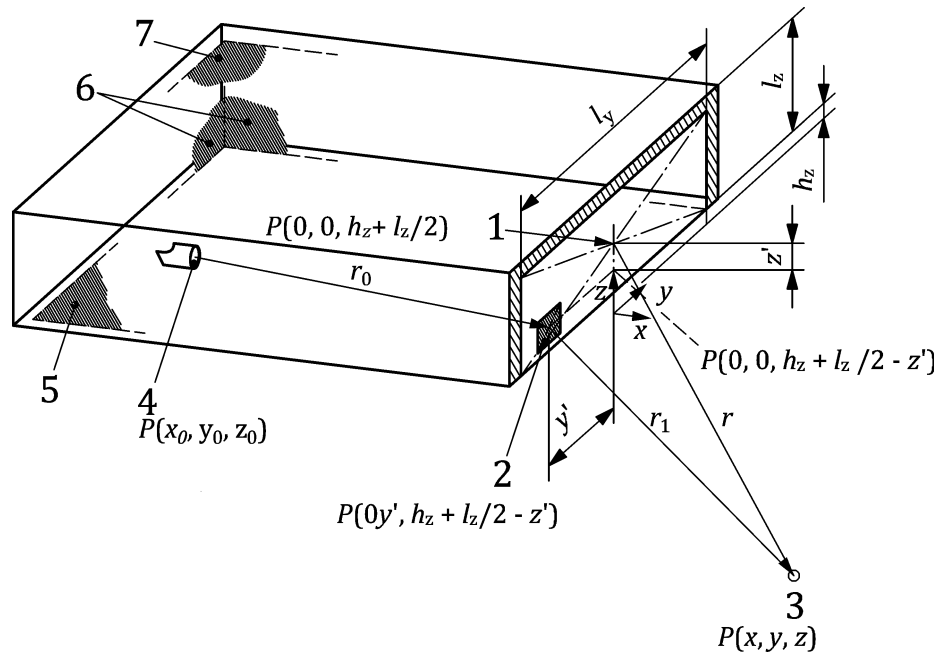
$$q_{k_0} = \int_F \frac{\sqrt{S(\beta)} e^{i[k_0(r_0+r_1)]} [(1/ik_0r_0 + 1)\cos\beta + (1/ik_0r_1 + 1)\cos\alpha]}{4\pi r_0 r_1} dy' dz' + \quad (\text{B.2})$$
$$Q(f) \int_F \frac{\sqrt{S(\beta')} e^{i[k_0(r'_0+r_1)]} [(1/ik_0r'_0 + 1)\cos\beta' + (1/ik_0r_1 + 1)\cos\alpha]}{4\pi r'_0 r_1} dy' dz'$$

Dabei ist

- r_0 der Abstand, in Metern, gekennzeichnet durch den Vektor, der von der Position der Mündung $P(x_0, y_0, z_0)$ zum Punkt $P(0, y', z')$ in der offenen Oberfläche des Schießstandes gerichtet ist;
- r'_0 der Abstand, in Metern, gekennzeichnet durch den Vektor, der von der Position der Spiegelquelle $P(x_0, y_0, -z_0)$ zum Punkt $P(0, y', z')$ in der offenen Oberfläche des Schießstandes, gekennzeichnet durch y', z' , gerichtet ist;
- r_1 der Abstand, in Metern, gekennzeichnet durch den Vektor, der von der Position $P(0, y', z')$ zum Empfangspunkt $P(x, y, z)$ gerichtet ist;
- k_0 der absolute Wert des Wellenvektors ($2\pi/\lambda$) der direkten und der reflektierten Welle;
- λ die Wellenlänge, in Metern;
- α der Winkel, in Radiant (Bogenmaß), zwischen dem Vektor r_1 und dem Normalenvektor der Öffnung (Schussrichtung);
- β, β' die Winkel, in Radiant (Bogenmaß), zwischen dem Vektor r_0 und dem Normalenvektor der Öffnung (Schussrichtung);
- $Q(f)$ der Reflexionsfaktor, siehe Literaturhinweis [24];
- $S(\beta)$ die winkelabhängige Schallenergieverteilung, angegeben in Joule je Steradian, der Kombination Waffe/Munition, abgefeuert aus einem Schießstand, gemessen nach ISO 17201-1 oder berechnet nach ISO 17201-2: die Schussrichtung steht dabei im rechten Winkel zur Fläche der Schießstandöffnung;
- F die Fläche der Öffnung, angegeben in Quadratmetern;
- $F_0 = 1 \text{ m}^2$.

ANMERKUNG 1 Die Integration erstreckt sich über die Fläche F der Öffnung. S_0 ist der Referenzwert der winkelabhängigen Schallenergieverteilung, $S_0 = 10^{-12} \text{ J sr}^{-1}$.

Bild B.1 veranschaulicht die Situation.



Legende

- | | | | |
|---|--------------------|---|--|
| 1 | Mitte der Öffnung | 5 | Boden (reflektierend) |
| 2 | Element ΔF | 6 | absorbierende Flächenelemente der Wand |
| 3 | Empfangspunkt | 7 | absorbierende Flächenelemente des Daches |
| 4 | Mündung | | |

Bild B.1 — Beschreibung der Modell-Situation

Der Pegel der winkelanhängigen Schallenergieverteilung der Ersatzquelle (siehe Anhang C) wird gewonnen aus:

$$L_q(\alpha, f) = 10 \lg \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \frac{q_{k_0}^2 F_0}{S_0} \right] - 11 \text{ dB} + 10 \lg \left(\frac{r^2}{F_0} \right) \text{ dB} \quad (\text{B.3})$$

Dabei ist

α der Winkel zwischen der Linie von der Mitte der Öffnung zum Empfangspunkt $P(x, y, z)$ und dem Normalen-Vektor der Öffnung;

$F_0 = 1 \text{ m}^2$.

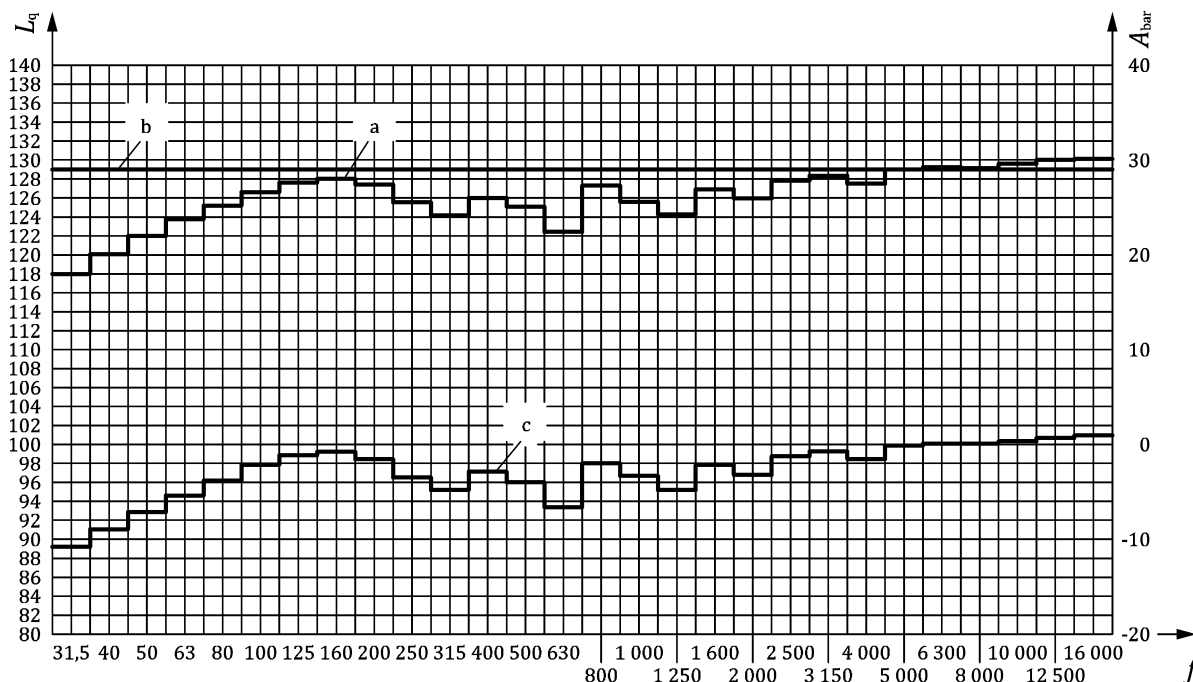
Die Schussrichtung verläuft senkrecht zur Fläche der Schießstandöffnung. Es wird angenommen, dass die Impedanz des Bodens unendlich groß ist. Der Reflexionsfaktor $Q(f)$ wird als Folge der Beobachtung, dass der Einfallswinkel nahe dem rechtwinkligen Einfallswinkel liegt, mit 1 angenommen.

Gleichung (B.3) basiert auf der Annahme, dass die Quadratwurzel der winkelanhängigen Schallenergieverteilung des Mündungsknalls in der Öffnung des Schießstandes eine elementare Quelle erzeugt, die als atmende Kugel mit der Oberfläche $dy' \cdot dz' / 2\pi$ in den freien Raum abstrahlt. Für die numerische Integration sollte dy' gleich dz' sein und diese Größen müssen klein im Vergleich zur Wellenlänge sein, so dass $1 \gg k_0 dz'$. Details können z. B. dem Literaturhinweis [25] entnommen werden.

Ein Beispiel für einen Ersatzpegel der winkelanhängigen Schallenergieverteilung, L_q , und seine Frequenzanhängigkeit ist im Bild B.2 für einen Schießstand von 15 m Tiefe, 2,5 m Höhe und 12 m Breite dargestellt. Der Boden des Schießstandes ist gegenüber der Umgebung nicht erhöht ($h_{\text{ground}} = 0$). Das Gewehr hat in jedem Frequenzband einen Pegel der winkelanhängigen Schallenergie von 140 dB und hat keine Richtwirkung (siehe Bild B.2). Das Gewehr ist in der Mitte des Schießstandes positioniert, 12 m vor der Öffnung

und 1,5 m über dem Boden des Schießstandes. Der Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung, L_q , der Ersatzquelle ist für den Punkt P (1 000 m, 0 m, 1,3 m) in Schussrichtung berechnet worden. Berechnungsergebnisse für den Punkt P (1 000 m, 0 m, 1,3 m) sind im Bild B.2 gezeigt.

Linie 2 repräsentiert dabei den Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung in einem Abstand von 1 m und Freifeldbedingungen. Linie 1 repräsentiert den Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung, die in der Mitte der Öffnung positioniert ist. Linie 3 zeigt die Differenz zwischen den beiden Pegeln der winkelabhängigen Schallenergieverteilung.



Legende

A_{bar} Einfügungsdämpfung, in Dezibel

f Frequenz, in Hertz

L_q Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung, in Dezibel

a Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung, in Dezibel, der Ersatzquelle nach Gleichung (B.3).

b Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung, in Dezibel, für Freifeldbedingungen.

c Differenz zwischen beiden Pegeln winkelabhängiger Schallenergieverteilungen, in Dezibel.

ANMERKUNG Es wird angenommen, dass der Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung des Mündungsknalls unter Freifeldbedingungen keine Richtwirkung hat.

Bild B.2 — Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung für Punkte in Schussrichtung für eine einheitliche Schallenergie von 140 dB, abgefeuert aus einer Mündung, die mittig, 12 m hinter der Öffnung und 1,5 m über dem Boden liegt, Ersatzquelle, Empfangspunkt P(1 000 m, 0 m, 1,3 m), Bodenreflexion (hart)

Der Pegel der winkelabhängigen Schallenergieverteilung bei 315 Hz liegt 5 dB unter dem des Freifeldpegels. Dies wird durch Interferenz verursacht. Die Minderung für tiefere Frequenzen (kleiner als 100 Hz) wird nur erreicht werden, wenn die Absorption im Inneren des Schießstandes in diesem Frequenzbereich zumindest mehr als 90 % in Bezug auf Wände und die Decke beträgt. Reflektionen können durch Einbeziehung zusätzlicher Reflexionsquellen oder durch die Beschränkung der Pegelreduzierung — proportional zur erwarteten Absorption — berücksichtigt werden.