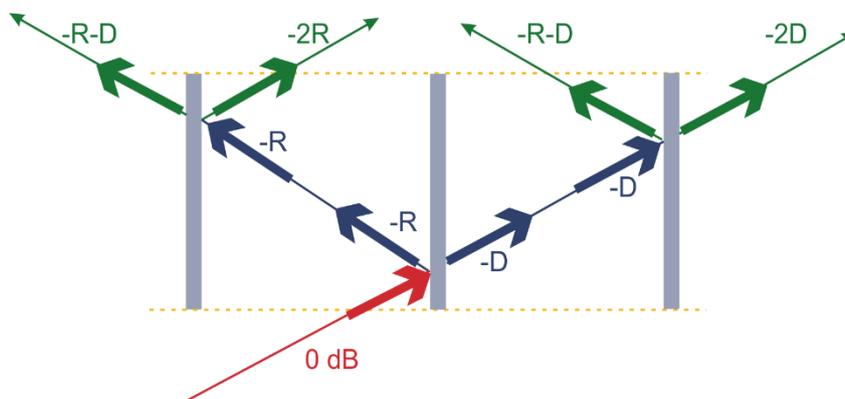


# Rasterdecke

## Massiver baulicher Schallschutz auf Schießständen



Kennung: kwhdba.16.00

Datum: 17.04.2020

Status: Entwurf

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Schallschutzmaßnahme Rasterdecke.....	4
2.1	Auslegung einer Rasterdecke.....	4
2.2	Qualitative Beschreibung der Wirkung einer Rasterdecke.....	4
2.3	Anforderungen aus dem Schallimmissionsschutz.....	6
3	Technisches Modell einer Rasterdecke - TMCC.....	9
3.1	Einführung.....	9
3.2	Anwendungsbereich.....	9
3.3	Grundsätzliche Vereinfachungen.....	9
3.4	Dämpfungseigenschaften eines Rasterelements.....	11
3.5	Dämpfungseigenschaften einer Rasterdecke.....	13
3.6	Dämpfung für ganzzahlige Reflexionsordnung.....	14
3.7	Dämpfung für beliebige Reflexionsordnungen.....	17
3.8	Bestimmung des maßgeblichen Vertikalwinkels.....	18
3.9	Unsicherheit.....	19
4	Beispiel der Berechnung einer Rasterdecke.....	20
4.1	Dämpfungsmaße eines Rasterelements.....	20
4.2	Bestimmung der Regressionsparameter.....	20
4.3	Ergebnisse.....	21
5	Akustische Anforderungen an die Elemente der Rasterdecke.....	23
6	Verweise.....	26
7	Über „Bella Acustica – De Bello Acustico“.....	29

## 1 Einleitung

Eine Rasterdecke über einen Schießstand ist eine der effektivsten aber auch eine der aufwendigsten und teuersten Schallschutzmaßnahmen im Schießstandbau. Die Maßnahme an sich wird seit den 1990er Jahren auf Schießständen der Bundeswehr eingesetzt, wenn keine anderen Maßnahmen hinreichend erscheinen, den Lärmschutz der Nachbarschaft sicherzustellen.

Als grobe Regel kann angenommen werden, dass eine Rasterdecke mit den Abmessungen 1 m x 1 m x 1 m (Breite, Länge und Höhe der Raster) in der Nachbarschaft zu einer mehr als 10 dB großen Immissionspegelreduzierung führt. Dies bedeutet – und das ist eine eher handhabbare – Aussage, die Schusszahl auf der Anlage kann bei gleicher Lärmbelastung um den Faktor 10 erhöht werden. Dies ist ein wesentliches Argument zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit beim Betrieb einer Standortschießanlage. Im zivilen Bereich sind in der Regel die Kosten für diese Maßnahme zu hoch.

Die Vorteile einer Rasterdecke beschränken sich nur auf den Lärmschutz. Sie kann gleichzeitig die Schießsicherheit gewährleisten und ersetzt so die Blenden. Der höchste Absicherungsgrad wird durch die richtige Wahl der Raster erreicht.

Es gibt aber auch entscheidende Nachteile: Der Grasboden wächst nicht mehr gleichmäßig, was einen Einfluss auf Abpraller haben kann. Die Luftzirkulation unterhalb der Decke nimmt drastisch ab; es kann erforderlich sein, für aktive Lüftung zu sorgen. Die Lichtverhältnisse ändern sich.

Falls man zu der Maßnahme greift, ist es natürlich möglich, die Rastergröße an den Bedarf anzupassen und auch nur eine Teileinhausung des vorzusehen.

Der vorliegende Aufsatz beschreibt ein Rechenverfahren, um die Wirkung von den geometrischen Eigenschaften und von den akustischen Eigenschaften der eingesetzten Materialien abschätzen zu können.

## 2 Schallschutzmaßnahme Rasterdecke

### 2.1 Auslegung einer Rasterdecke

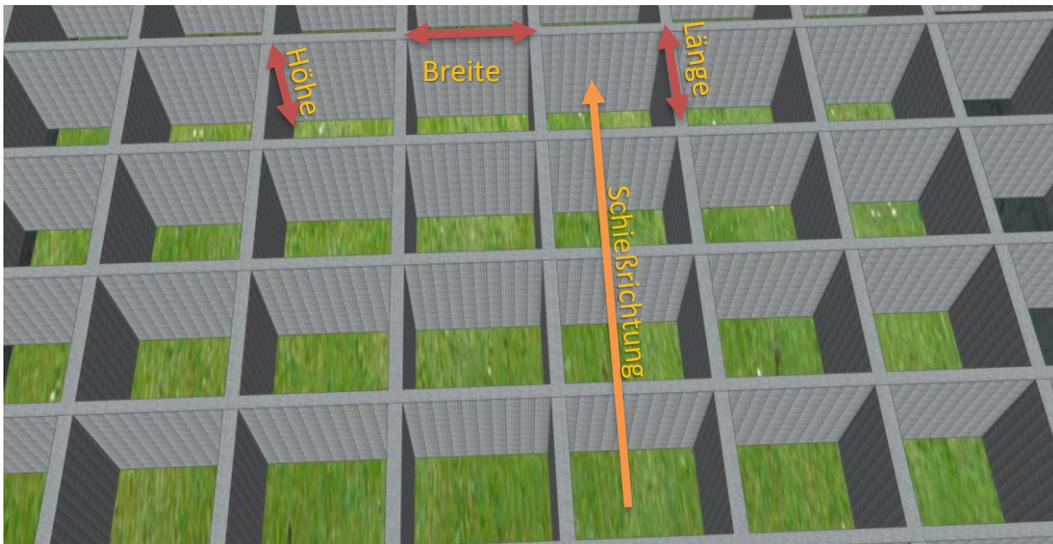


Abb. 2-1 Schematische Ansicht einer Rasterdecke

Eine Rasterdecke besteht aus Längs- und Querblenden, die eine lichte Abdeckung über einem Schießstand bilden. Die Raster der Rasterdecke haben die typischen Abmessungen (*Länge/Breite/Höhe*) von (1 m, 1 m, 1 m). Die Blenden bestehen aus 0,1 m Mineralwolle, eingefasst in ein Aluminium-Lochblech. Eine Analyse über den Einfluss der Rasterabmessungen wird in [11] diskutiert.

### 2.2 Qualitative Beschreibung der Wirkung einer Rasterdecke

Das Auslegungskriterium einer Rasterdecke verlangt, dass jeder Schallstrahl, der die zu schützenden Immissionsorte erreicht, mindestens zweimal mit den Elementen der Rasterdecke wechselwirkt. Die Wechselwirkung kann eine Reflexion oder eine Transmission sein. Abb. 2-2 sind die geforderten Verhältnisse skizziert. In Rot ist der einfallende Strahl dargestellt (Schallintensitätspegel 0 dB) auf die in Gelb gehaltenen Absorberelemente der Rasterdecke dargestellt. Das mittlere Absorberelement teilt den Strahl in einen reflektierten Strahl mit einem Reflexionsverlust von  $R$  und in einen transmittierten Strahl mit einem Transmissionsverlust von  $D$ . Bei dem linken bzw. rechten Absorberelement kommt es wiederum zur Strahlteilung mit den entsprechenden Verlusten. Aus der Bilanz ist zu entnehmen, dass beide Verluste ( $A_R$  bzw.  $A_T$  siehe unten) ähnlich groß sein sollten, um bei der Rasterdecke eine gleichmäßige Wirkung zu erzielen.

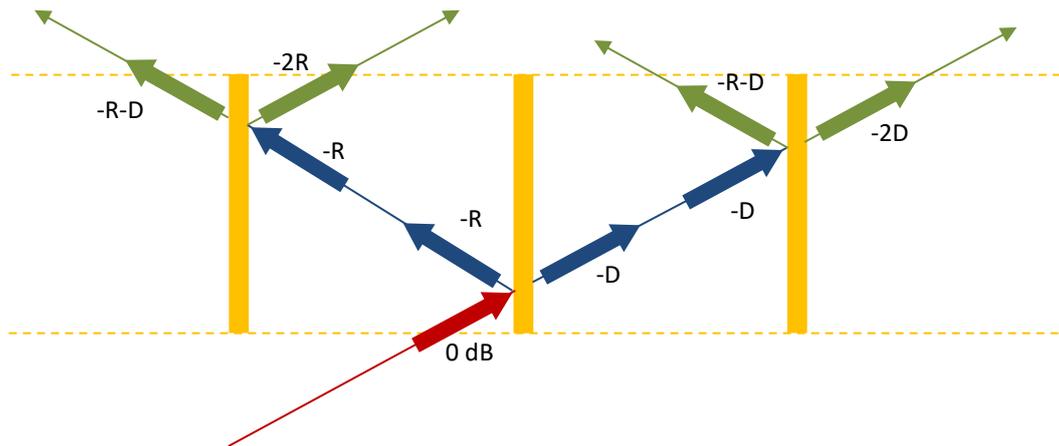


Abb. 2-2 Idealisierte Dezibel-Bilanz der Schallintensität bei einer Rasterdecke  
(Schnitt in einer Ebene  $x = \text{const.}$ )

Das Strahlenmodell in Abb. 2-2 ist sicher eine starke Vereinfachung, weil es die Effekte der Beugung an den Absorberlementen nicht betrachtet. Das Modell erlaubt aber die Beschreibung der grundsätzlichen Funktionsweise einer Rasterdecke.

Die Wechselwirkung eines Schallstrahls mit einem Element der Rasterdecke stellt Abb. 2-3 für zwei Terzbänder 400 Hz und 1000 Hz eines realen kommerziell erhältlichen Absorberelements dar. Der Schallstrahl fällt mit einem Intensitätspegel von 0 dB schräg auf das Element. Bei 400 Hz (1000 Hz) ist die Intensität des reflektierten Strahls im Vergleich zum Intensitätspegel des einfallenden Strahles um 3,8 dB (7,2 dB) gemindert. Diese Minderung wird Reflexionsdämpfung (Formelzeichen  $A_R$ ) genannt. Nach Durchgang durch das Element zeigt der Strahl eine um 9,2 dB (14 dB) verminderten Intensitätspegel. Diese Minderung wird Transmissionsdämpfung (Formelzeichen  $A_T$ ) genannt.

$$A_{WT} = 10 \lg \left\{ \sum_{\text{Terzen}} 10^{0,1L_{E,\text{Terz}}} \right\} \text{dB} - 10 \lg \left\{ \sum_{\text{Terzen}} \tau_{\text{Terz}} 10^{0,1L_{E,\text{Terz}}} \right\} \text{dB} - W_{\text{Terz}} \quad \text{Gl. 2-1}$$

$$A_{WR} = 10 \lg \left\{ \sum_{\text{Terzen}} 10^{0,1L_{E,\text{Terz}}} \right\} \text{dB} - 10 \lg \left\{ \sum_{\text{Terzen}} (1 - \alpha_{\text{Terz}}) 10^{0,1L_{E,\text{Terz}}} \right\} \text{dB} - W_{\text{Terz}} \quad \text{Gl. 2-2}$$

Reflexions- und Transmissionsdämpfung werden in der Regel als bewertete Einzelmaße angegeben. Dann sind sie abhängig von der Signalform und von der Bewertung. In den die Dämpfungsmaße bestimmenden Gl. 2-1 und Gl. 2-2 kennzeichnet  $L_{E,\text{Terz}}$  das Energiespektrum des Signals, für das die Dämpfungen berechnet wird;  $W_{\text{Terz}}$  ist die Terz-Korrektur der akustischen Bewertungen.

Der Absorptionsgrad  $\alpha_{Terz}$  und der Transmissionsgrad  $\tau_{Terz}$  lassen sich durch standardisierte Messungen nach DIN CEN/TS 1793-5 [17] bestimmen. Die Messung wird in Terzen für verschiedene Einfallswinkel durchgeführt.

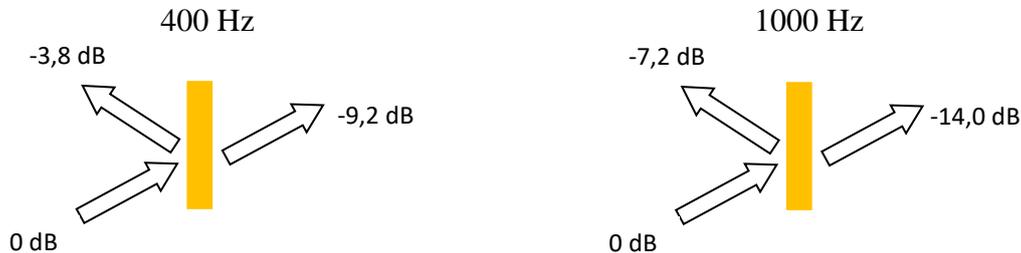


Abb. 2-3 Dezibel-Bilanz der Schallintensität eines typischen Rasterdeckenelements für die Terzen 400 Hz und 1000 Hz

#### Anmerkung

Die in Abb. 2-3 angegebene Dezibel wurde aus der Messung des winkelabhängigen Absorptions- bzw. Transmissionsgrads nach DIN CEN/TS 1793-5 eines auf einer Standortschießanlage eingesetzten Typs eines Absorberelements ermittelt.

Die Wechselwirkung ist erwartungsgemäß deutlich frequenzabhängig. Aus der Dezibel-Bilanz ist zu entnehmen, dass in dem hier vorgestellten Fall das Absorbiermaterial oder der Lochanteil des Aluminiumblechs nicht optimal gewählt wurde. Sachgerecht ist eine ähnlicher Reflexions- und Transmissionsverlust.

### 2.3 Anforderungen aus dem Schallimmissionsschutz

Die Auslegungsbedingung der zweifachen Wechselwirkung bestimmt die Abmessungen des Rasters unter Berücksichtigung der zu erwartenden geometrischen Verhältnisse in einem Schießstand. Schießstände mit einer Rasterdecke sind typisch durch Seitenwände oder Wände, die auf einem Seitenwall aufgesetzt sind, an beiden Seiten geschlossen. Für eine Rasterdecke mit einer Unterkante bei 5 m und einer Höhe der Seitenwand von 6 m skizziert Abb. 2-4 den zu erwartenden Strahlenverlauf bei einem Mündungsknall in liegendem Anschlag. Strahlen in Türkis kennzeichnen die Schallausbreitung der an der Seitenwand gebeugten Strahlen. Der rote Strahl, der einen Erhöhungswinkel von  $20^\circ$  aufweist trennt die gebeugten Strahlen von den Strahlen, die mit Winkeln größer  $20^\circ$  den Schießstand seitlich verlassen können. Bis zu dem in Magenta dargestellten Strahl mit einem Erhöhungswinkel von  $30^\circ$  durchdringen alle Strahlen, sowohl die gebeugten als auch die direkten mindestens zwei Elemente der Rasterdecke. Strahlen mit größeren Erhöhungswinkeln als  $30^\circ$  durchdringen lediglich noch ein Element der Rasterdecke.

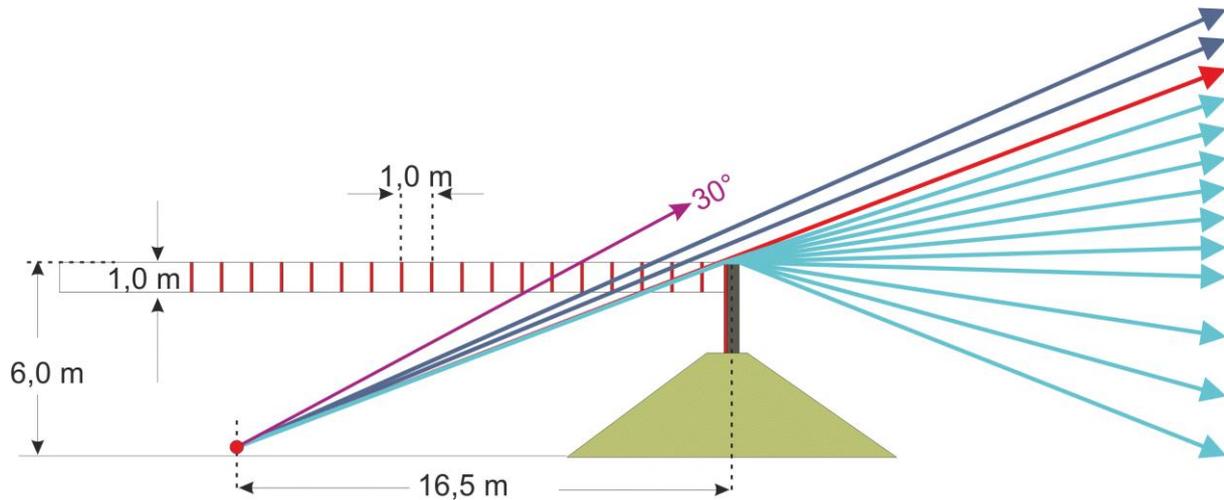


Abb. 2-4 Skizze des Strahlenverlaufs durch eine Rasterdecke im Querschnitt an einer Schützenstellung (liegender Anschlag)

Bei der oben dargestellten Geometrie kann man die Wirkung der Rasterdecke als bewertetetes Einfügungsdämmmaß  $D_{W,Raster}$  wie folgt zusammenfassen: Alle Strahlen, die den Schießstand verlassen und einen Erhöhungswinkel von  $20^\circ$  nicht überschreiten, verlieren Intensität entweder

- zweimal durch Reflexion:  $D_{W,Raster} = 2 A_{WR}$
- zweimal durch Transmission :  $D_{W,Raster} = 2 A_{WT}$  oder
- einmal durch die Kombination von Reflexion und Transmission:  $D_{W,Raster} = A_{WT} + A_{WR}$ .

Der Erhöhungswinkel des Schallstrahls ist ein entscheidendes Kriterium bei der Beurteilung der Wirksamkeit von Schallschutzmaßnahmen. Schallausbreitungsprognosen werden grundsätzlich für so genannte schallausbreitungsgünstigen Bedingungen berechnet. Diese entstehen in der Regel unter Mitwindbedingungen (die Schallausbreitung erfolgt in Windrichtung) oder bei Temperatur-Inversionswetterlagen. In beiden Fällen läuft der Schallstrahl auf einer Kreisbahn vom Emissionsort zum Immissionsort, so wie es in Abb. 2-5 angedeutet ist.

#### Anmerkung

Ursache ist die kontinuierliche Brechung des Schallstrahls zum Boden hin. Dies ist der Fall bei Zunahme der Schallgeschwindigkeit mit der Höhe über Boden.

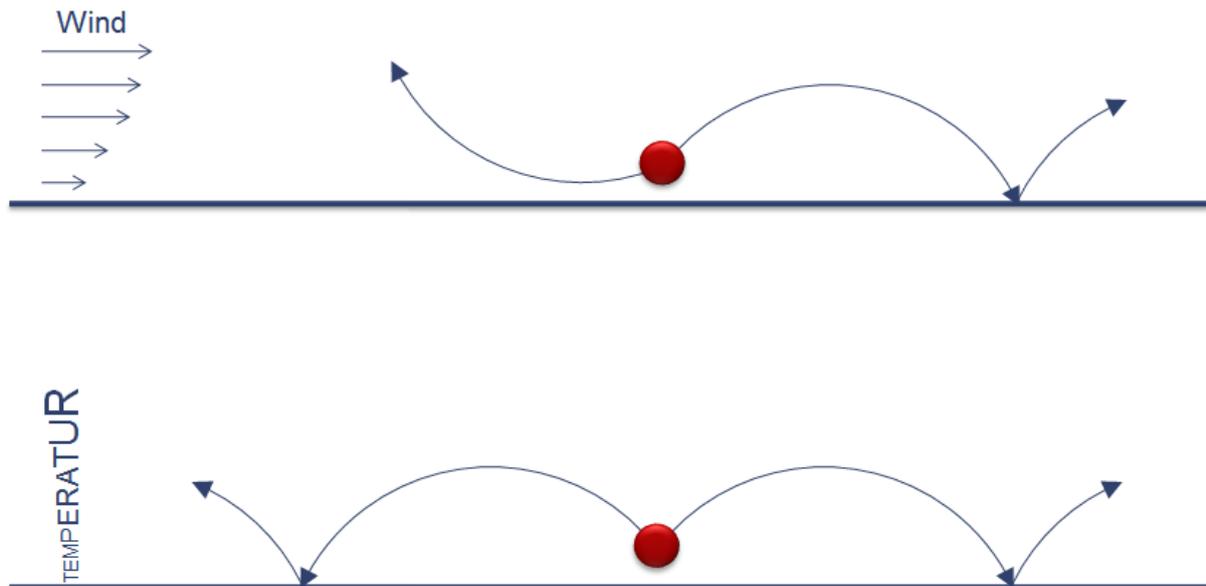


Abb. 2-5 Strahlenverlauf auf Kreisbahnen bei schallausbreitungsgünstigen Bedingungen  
oben: von links nach rechts unter Mitwindbedingungen  
unten: in alle Richtungen bei Temperaturinversionen

Im LeitGeStand wird für die Schallausbreitungsrechnung das Modell der DIN ISO 9613-2 verwendet. Im Anhang zu dieser Norm, in der Anmerkung in Kapitel A1 wird als Radius für die gekrümmte Kreisbahn 5000 m angenommen. Unterstellt man diesen Radius trifft ein Schallstrahl, der mit 20° Erhöhung die Quelle (hier den Schießstand) verlässt, erst nach ca. 3400 m wieder den Boden. Nach 3400 m ist die Schallintensität so gering, dass dort keine Schallpegel zu erwarten sind, die bei einer Schallimmissionsprognose signifikant sind.

### 3 Technisches Modell einer Rasterdecke - TMCC

#### 3.1 Einführung

Der bauliche Schallschutz auf Schießständen wird in der Regel auf die Minderung der Immissionen der Beiträge der maßgeblichen Schallwege ausgelegt. Dies führt zur gezielten schalltechnischen Behandlung einzelner Bauteile des Schießstandes; z. B. der die Belegung der Hochblenden durch Absorber, eine Erhöhung von

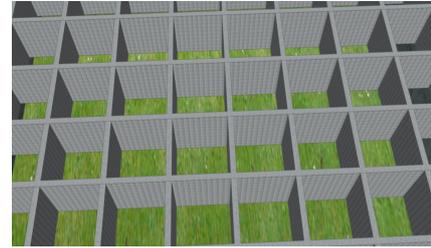


Abb. 3-1 Skizze einer Rasterdecke

Wänden und Wällen über das aus Schießsicherheitsgründen hinausgehende Maß oder die Auskleidung des Schützenhauses durch reflexionsmindernde Materialien.

In den Fällen, in denen mit schallweg- und bauteilspezifische Schallschutzmaßen die Immissionen nicht hinreichend gemindert werden können, kann der Schießstand teilweise oder vollflächig durch eine so genannte Rasterdecke abgedeckt werden. Eine Rasterdecke besteht aus Längs- und Querblenden, die eine lichte Abdeckung über einem Schießstand bilden. Die Raster der Rasterdecke haben die typischen Abmessungen (*Länge/Breite/Höhe*) von (1 m, 1 m, 1 m). Die Blenden bestehen beispielsweise aus 0,1 m Mineralwolle, eingefasst in ein Aluminium-Lochblech.

#### 3.2 Anwendungsbereich

Das im Folgenden beschriebene Verfahren prognostiziert das Einfügungsdämpfungsmaß einer Rasterdecke über einem Schießstand. Das Verfahren setzt voraus, dass der Schießstand allseitig durch eine bis zur Oberkante der Rasterdecke reichende Wand eingehaust ist.

Das hier als ‚Technisches Modell einer Rasterdecke – TMCC‘ (Technical Model Of A Coffered Ceiling) bezeichnete Verfahren ergänzt auf das Quellmodell des ‚Leitfaden für die Genehmigung von Standortschießanlagen – LeitGeStand‘. Im TMCC ist das Einfügungsdämpfungsmaß abhängig von den Abmessungen und den akustischen Eigenschaften der Rasterdecke, von den Abmessungen des Schießstands und von der Lage und Höhe der Schützenposition.

#### 3.3 Grundsätzliche Vereinfachungen

Das TMCC geht von gerade Strahlen aus, die durch Reflexionen und Transmissionen von unten die Rasterdecke durchdringen. Die Raster bilden grundsätzlich Quader. Die Geometrie der Rasterdecke wird dann allein durch die Breite  $C_w$ , die Länge  $C_l$  und die Höhe  $C_h$  des Rasters

beschrieben. Die Dicke der Absorberelemente – hier manchmal auch als Rasterwangen bezeichnet - wird in den geometrischen Betrachtungen vernachlässigt. In den graphischen Darstellungen der Geometrie unten wird stets vereinfachend unterstellt, dass die Länge, die Breite und die Höhe der Rasterdecke gleich sind. In der Regel bestehen Rasterdecken zurzeit eingesetzte Decken aus solch kubischen Rastern mit quadratischen Rasterwangen. Das Modell hingegen gilt auch für andere Abmessungen.

*Anmerkung*

*Das Strahlenmodell ist eine massive Vereinfachung, denn die Abmessungen des Rasters sind in der Größenordnung der Wellenlänge des spektralen Energieschwerpunkts eines Mündungsknalls der Handwaffen. Trotz dieses ‚vereinfachenden‘ Ansatzes gelingt es dem Modell mühelos, die Komplexität der Schallausbreitung durch eine Rasterdecke deutlich zu machen*

*Das vorliegende Modell wurde auf der Grundlage der Ergebnisse einer Messkampagne entwickelt. Es bedarf grundsätzlich einer weiteren Validierung.*

Die Anwendung des technischen Modells ist auf die Anforderungen einer Schallausbreitungsrechnung für die für den Immissionsschutz relevante Nachbarschaft eines Schießstandes gerichtet, vgl. Kapitel 2.2. Deshalb sind Strahlen mit großem Vertikalwinkel nicht bedeutsam. Bei flachen Strahlen ist es dann gerechtfertigt, die Schallquelle durch ein ebenes Wellenfeld zu beschreiben, und die Aufweitung der Strahlen der eigentlichen Kugelschallquelle zu vernachlässigen.

Eine weitere Vereinfachung betrifft die Betrachtung der Reflexionen. Bei schräger Durchdringung der Rasterdecke erfolgen die Reflexionen im Dreidimensionalen so, dass der Strahl aus der Ebene der Ausbreitungsrichtung (beschrieben durch den Horizontalwinkel  $\epsilon_S$  nach LeitGeStand [5]) abgelenkt wird. Im technischen Modell werden alle Reflexionen weiterhin dieser Ebene zugeordnet.

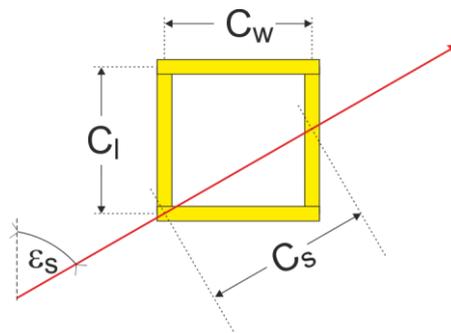


Abb. 3-2 Projektion eines Strahls auf die Grundfläche (Basis) der Rasterdecke  
 $\epsilon_S$  Horizontalwinkel des Strahls  
 $C_l$  Länge des Raster (Abmessung in Schussrichtung)  
 $C_w$  Breite des Rasters (Abmessung quer zur Schussrichtung)  
 $C_s$  Länge der Projektion des Strahls in der Grundfläche der Rasterdecke

Abb. 3-2 skizziert einen Strahl in der Aufsicht auf ein Raster einer Rasterdecke, der schräg durch das Raster läuft. Die Reflexionen und Transmissionen werden in der Ausbreitungsebene

$\varepsilon_s$  betrachtet; Reflexionen und Transmissionen werden in einem effektiven Rasterabstand  $C_s$  berechnet.

*Anmerkung*

*Für die Berechnung des effektiven Rasterabstands wird der Schallweg von der Quelle zum Empfänger so parallel verschoben, dass er durch eine Ecke des Rasters geht.*

Für die Bestimmung von  $C_s$  gilt Gl. 3-1 bzw. Gl. 3-2

$$C_s = \frac{C_w}{\cos\left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon_s\right)} \quad \text{falls } \varepsilon_s > \arctan\left(\frac{C_w}{C_l}\right) \quad \text{Gl. 3-1}$$

$$C_s = \frac{C_l}{\cos(\varepsilon_s)} \quad \text{falls } \varepsilon_s \leq \arctan\left(\frac{C_w}{C_l}\right) \quad \text{Gl. 3-2}$$

Aus Abb. 3-2 ist anschaulich zu entnehmen, dass  $C_s$  maximal so groß werden kann wie die Länge der Diagonalen der Grundfläche des Rasters.

### 3.4 Dämpfungseigenschaften eines Rasterelements

Die spezifischen Dämpfungseigenschaften eines Rasterelements werden durch den spektralen Absorptionsgrad und den spektralen Transmissionsgrad angegeben.

Der Absorptionsgrad und der Transmissionsgrad lassen sich durch standardisierte Messungen nach DIN CEN/TS 1793-5 [17] bestimmen. Die Messung wird in Terzen für verschiedene Einfallswinkel durchgeführt. Bei den Ausbreitungssituationen beim Einsatz des Absorbers als Rasterelement in einer Rasterdecke ist der Winkelbereich kleiner als  $45^\circ$  ( $90^\circ =$  senkrechter Einfall) des streifenden Einfalls nicht relevant. Zudem ist in dem relevanten Winkelbereich  $45^\circ$  bis  $90^\circ$  die Winkelabhängigkeit nicht signifikant ausgeprägt, so dass für das hier vorgestellte technische Modell einer Rasterdecke es hinreicht, den Mittelwert der Dämpfungsgrade über den relevanten Winkelbereich zu betrachten.

*Anmerkung*

*Der so bestimmte Absorptions- und Transmissionsgrad ist nicht vergleichbar mit den Werten, die in einem Hallraum bestimmt werden.*

Es gelten allgemein für den Zusammenhang zwischen Absorptionsgrad  $\alpha$ , dem Transmissionsgrad  $\tau$ , dem Reflexionsgrad  $\rho$  und dem Verlustgrad  $\sigma$  gelten Gl. 3-3 und Gl. 3-4

$$\rho = 1 - \alpha \quad \text{Gl. 3-3}$$

$$\sigma = 1 - (\rho + \tau) \quad \text{Gl. 3-4}$$

Zur Sicherstellung der Konsistenz (Energieerhaltung) der in unabhängigen Messungen des terzspektralen Absorptionsgrads und Transmissionsgrad, werden die im Verfahren verwendeten Parameter korrigiert.

$$\Gamma_{vm} = \alpha_{vm} + \tau_{vm} \quad \text{Gl. 3-5}$$

$$\begin{aligned} \Gamma_v &= \Gamma_{vm} & \text{falls } \Gamma_{vm} > 1 \\ \Gamma_v &= 1 & \text{falls } \Gamma_{vm} \leq 1 \end{aligned} \quad \text{Gl. 3-6}$$

$$\alpha_{vc} = \frac{\alpha_{vm}}{\Gamma_v} \quad \text{Gl. 3-7}$$

$$\tau_{vc} = \frac{\tau_{vm}}{\Gamma_v} \quad \text{Gl. 3-8}$$

$$\rho_{vc} = 1 - \alpha_{vc} \quad \text{Gl. 3-9}$$

$$\sigma_{vc} = 1 - (\rho_{vc} + \tau_{vc}) \quad \text{Gl. 3-10}$$

In den Gl. 3-5 bis Gl. 3-10 bedeuten

- $v$  Index des Terzbandes
- $m$  Index der durch Messung bestimmten Parameter
- $C$  Index der für das TMCC bestimmte Parameter
- $\alpha_{vm}$  der durch Messung bestimmte terzspektrale Absorptionsgrad für die Terz  $v$
- $\tau_{vm}$  der durch Messung bestimmte terzspektrale Transmissionsgrad für die Terz  $v$
- $\rho_{vm}$  der aus der Messung bestimmte terzspektrale Reflexionsgrad für die Die Terz  $v$
- $\sigma_{vm}$  der aus der Messung bestimmte terzspektrale Verlustgrad für die Terz  $v$
- $\Gamma_{vm}$  der aus der Messung bestimmte Korrekturfaktor
- $\Gamma_{vf}$  der Korrekturfaktor für den Absorptions- bzw. Transmissionsgrad
- $\alpha_{vc}$  der korrigierte terzspektrale Absorptionsgrad für die Terz  $v$
- $\tau_{vc}$  der korrigierte terzspektrale Transmissionsgrad für die Terz  $v$
- $\rho_{vc}$  der korrigierte terzspektrale Reflexionsgrad für die Terz  $v$
- $\sigma_{vc}$  der korrigierte terzspektrale Verlustgrad für die Terz  $v$

Das oktavspektrale Reflexionsmaß  $A_{fR}$  bzw. Transmissionsmaß  $A_{fT}$  ergibt sich aus den Gl. 3-11 bzw. Gl. 3-12. Die Summe ist über die Terzen  $v$  zu erstrecken, die zu ihrer Oktave beitragen, gekennzeichnet durch  $v(f)$  in den beiden Gleichungen.

$$A_{fR} = \sum_{v(f)} 10 \lg(\rho_{vc}) \quad \text{Gl. 3-11}$$

$$A_{fT} = \sum_{v(f)} 10 \lg(\tau_{vc}) \quad \text{Gl. 3-12}$$

Das oktavspektrale Reflexionsmaß  $A_{fR}$  und das Transmissionsmaß  $A_{fT}$  kennzeichnen im TMCC die akustischen Eigenschaften eines Rasterelements vollständig.

### 3.5 Dämpfungseigenschaften einer Rasterdecke

Die Schallwege durch eine Rasterdecke mit Reflexionen und Transmissionen an bzw. durch die Rasterwangen hängen entscheidend vom maßgeblichen Vertikalwinkel  $\eta_C$  des auf die Rasterdecke einfallenden Strahls ab.

*Anmerkung*

*Der maßgebliche Vertikalwinkel  $\eta_C$  hängt von den Abmessungen des Schießstands und von der Lage und Höhe der Schützenposition ab. Das Verfahren zu seiner Bestimmung wird in Kapitel 3.8 beschrieben.*

In Abb. 3-3 wird deutlich, dass Strahlen, die mit einem größeren Winkel als der nach Gl. 3-13 für  $i = 1$  bestimmte Vertikalwinkel die Rasterdecke im Modell unbeeinflusst durchdringen können. Im Folgenden wird  $i$  als Reflexionsordnung bezeichnet. Der berechnete Winkel  $\eta_{C0}$  trennt also den Winkelbereich zwischen keiner und einer Reflexion. Der Winkel  $\eta_{C1}$  trennt den Winkelbereich zwischen einer und zwei Reflexionen.

$$\eta_{Ci} \geq \arctan\left(\frac{C_h}{i C_s}\right) \quad \text{Gl. 3-13}$$

*Anmerkung*

*Bei dem hier unterstellten kubischen Rasterdecke ist dieser Winkel in Schießrichtung und quer dazu  $45^\circ$  und diagonal circa.  $35,3^\circ$ . Strahlen, die mit einem Vertikalwinkel größer als  $35,3^\circ$  abgehen, spielen der Unterstellung eines Krümmungsradius von 5000 m keine Rolle.*

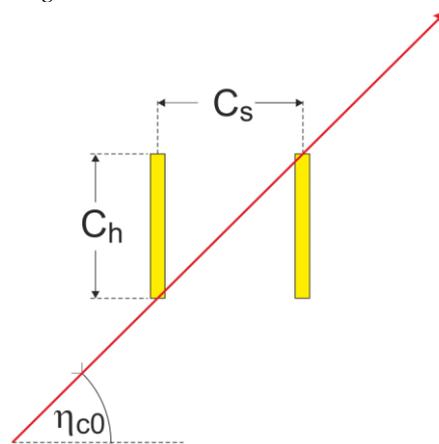


Abb. 3-3 Strahl ohne Reflexion durch eine Rasterdecke senkrecht zur Schussrichtung  
w Rasterweite, h Rasterhöhe,  $\eta$  Vertikalwinkel des Strahls

Abb. 3-4 zeigt die Strahlenverläufe bei flacher werdenden Vertikalwinkel für  $i = 2$  bis  $i = 4$ . Bei dem hier betrachteten kubischen Raster treten unterhalb von ca.  $14^\circ$  bereits mehr als 4 Reflexionen auf.

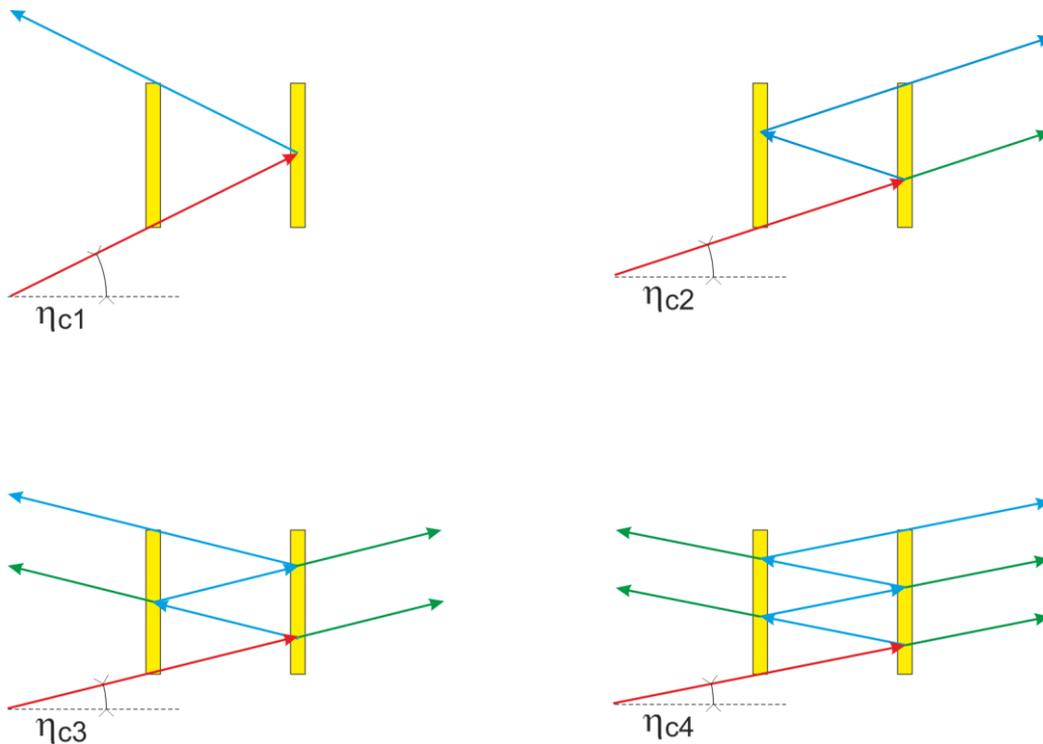


Abb. 3-4 Strahl mit einer steigenden Anzahl von Reflexionen bei fallendem Erhöhungswinkel  
 Rot: einfallender Strahl, Blau: Reflexionen, Grün: Transmissionen  
 oben links 1 Reflexion, oben rechts 2 Reflexionen,  
 unten links 3 Reflexionen, unten rechts 4 Reflexionen

### 3.6 Dämpfung für ganzzahlige Reflexionsordnung

Jeder mögliche Schallweg durch die Rasterdecke trägt zum Immissionspegel bei. Um das verdeutlichen, skizziert Abb. 3-5 exemplarisch im Falle von 4 Reflexionen unter Beibehaltung (grüner Strahl) bzw. Umkehrung (blauer Strahl) der Ausbreitungsrichtung die Beiträge aus den Nachbarrastern.

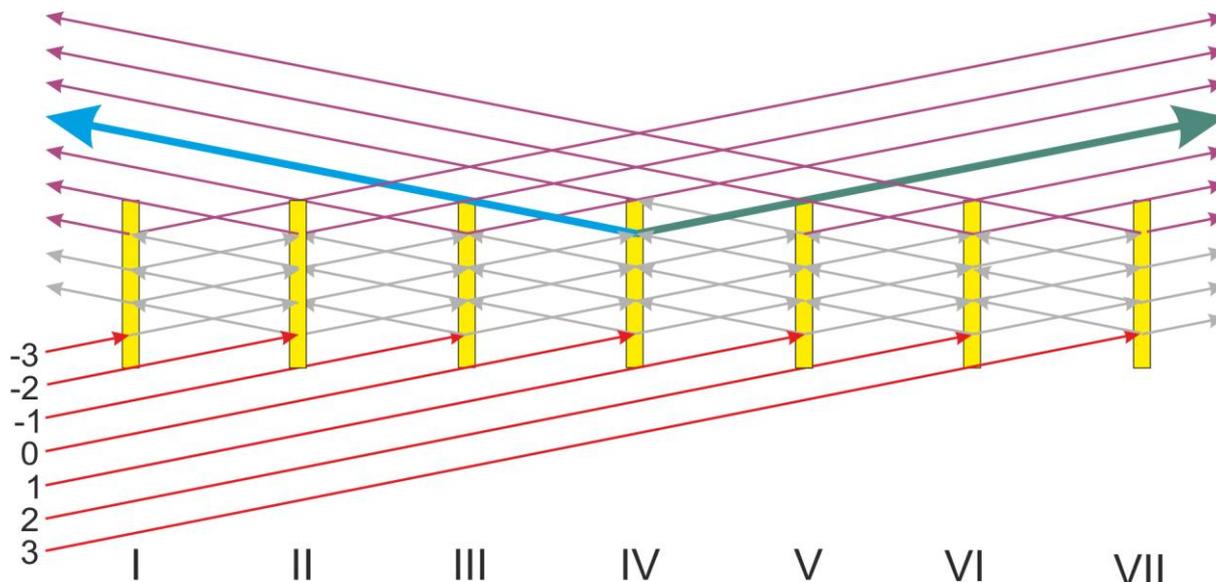


Abb. 3-5 Strahl mit Reflexionen und Transmissionen aus den Nachbar-Rastern unter Beibehaltung der Ausbreitungsrichtung  
Fall 4 Reflexionen nach Abb. 3-4 unten rechts  
Rot: einfallende Strahlen, Magenta: ausfallende Strahlen

Der grüne Strahl bzw. blaue Strahl setzt sich aus den in Tabelle 3-1 bzw. Tabelle 3-2 aufgelisteten Schallwegen zusammen. Für jeden Schallweg ist die Ausbreitungsgeschichte durch die Folge der mit römischen Ziffern gekennzeichneten Rasterwangen angegeben.

	1	2	3	4
1	<b>Strahl nach Abb. 3-5</b>	<b>Schallwege über die Rasterwangen</b>	<b>Anzahl Reflexionen</b>	<b>Anzahl Transmissionen</b>
2	-3	TI > TII > TIII > TIV	0	4
4	-1	RIII > RII > TIII > TIV	2	2
5		TIII > RIV > RIII > TIV	2	2
6		TIII > TIV > RV > RIV	2	2
8	1	RV > RIV > RV > RIV	4	0
9		TV > RVI > TV > RIV	2	2
		RV > TIV > RIII > TIV	2	2
11	3	RVII > TVI > TV > RIV	2	2

Tabelle 3-1 Schallwege der Beiträge zu dem in Abb. 3-5 fett Grün markierten ausfallenden Strahl

	1	2	3	4
1	<b>Strahl nach Abb. 3-5</b>	<b>Schallwege über die Rasterwangen</b>	<b>Anzahl Reflexionen</b>	<b>Anzahl Transmissionen</b>
2	-3	TI > TII > TIII > RIV	1	3
4	-1	RIII > RII > TIII > RIV	3	1
5		TIII > RIV > RIII > RIV	3	1
		TIII > TIV > RIV > TIV		
8	1	RV > RIV > RV > TIV	3	1
9		TV > RVI > TV > TIV	1	3
		RV > TIV > RIII > RIV	3	1
11	3	RVII > TVI > TV > TIV	1	3

Tabelle 3-2 Schallwege der Beiträge zu dem in Abb. 3-5 Blau markierten ausfallenden Strahl

Die in Tabelle 3-1 bzw. Tabelle 3-2 aufgefundenen und hier nur exemplarisch vorgestellten möglichen Schallwege lassen sich verallgemeinern. Die Anzahl der möglichen Schallwege  $K_i$  in Abhängigkeit von der Anzahl der überhaupt möglichen Reflexion  $i$  durch Gl. 3-14 angeben.

$$K_i = 2^i \tag{Gl. 3-14}$$

Diese Permutationen gibt Tabelle 3-3 für die Reflexionsordnungen 2 bis 4 wieder.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<b>Reflexionsordnung</b>								
2	<b>2</b>		<b>3</b>			<b>4</b>			
3	R	R	R	R	R	R	R	R	R
4	R	T	R	R	T	R	R	T	T
5	T	R	R	T	R	R	T	T	R
6	T	T	T	R	R	T	T	R	R
7			R	T	T	R	T	R	T
8			T	R	T	T	R	T	R
9			T	T	R	T	R	R	T
10			T	T	T	T	T	T	T
11						T	T	T	R
12						T	T	R	T
13						T	R	T	T
14						R	T	T	T
15						T	R	R	R
16						R	T	R	R
17						R	R	T	R
18						R	R	R	T

Tabelle 3-3 Permutationen von Reflexion und Transmission für die Reflexionsordnungen 2, 3 und 4  
 Grün hinterlegt: Beibehaltung der Schallausbreitungsrichtung  
 Blau hinterlegt: Umkehrung der Schallausbreitungsrichtung

Die Welt der  $K_i$  teilt sich in jeder Reflexionsordnung hälftig in Strahlen, die die Ausbreitungsrichtung des einfallenden Strahls beibehalten (grün hinterlegt in Tabelle 3-3) und die, die sie umkehren (blau hinterlegt in Tabelle 3-3). Das Kriterium zur Unterscheidung der beiden Welten ist die Anzahl der Reflexionen: Ist sie ungerade, führt der Weg in umgekehrte Richtung, sonst behält der Weg die Schallausbreitungsrichtung.

*Anmerkung*

*Das so genannte Einfügungsdämpfungsmaß nach diesem technischen Modell hat also – wenn man so will – neben einer Dämpfungswirkung in Ausbreitungsrichtung auch eine ‚entdämpfende‘ Wirkung in umgekehrter Schallausbreitungsrichtung. In der dreidimensionalen Welt verteilt eine Rasterdecke den Schall aus der Ausbreitungsrichtung in Abhängigkeit von der Rastergeometrie und der Reflexions- und Transmissionsdämpfung der Absorberelemente.*

Der Beitrag jedes Schallwegs  $k$  wird nach Gl. 3-15 bestimmt.

$$A_{f,k} = \sum_{P(k)} A_{fR} + \sum_{Q(k)} A_{fT} \tag{Gl. 3-15}$$

In Gl. 3-15 kennzeichnen die  $A_{fR}$  bzw. die  $A_{fT}$  das nach Gl. 3-11 bestimmte Reflexionsdämpfungsmaß bzw. nach Gl. 3-12 bestimmte Transmissionsdämpfungsmaß in

Dezibel eines Absorberelements (Rasterwange) bei einmaliger Reflexion bzw. Transmission für das Oktavband mit dem Index  $f$ , vgl. DIN ISO 9613-2 oder LeitGeStand.  $P(k)$  bzw.  $Q(k)$  sind die Anzahl der Reflexionen bzw. Transmissionen auf dem Schallweg  $k$ .

Ist  $P(k)$  0 oder gerade, dann trägt der Schallweg in Immissionsorten in der Ausbreitungsrichtung  $\varepsilon$  bei, sonst in der umgekehrten Richtung  $\varepsilon + \pi$  bei. Das Einfügungsdämpfungsmaß einer Rasterdecke  $D_{fM}$  setzt sich deshalb aus dem Transmissionsdämpfungsmaß  $D_{fM,T}$  und dem Reflexionsdämpfungsmaß  $D_{fM,R}$  zusammen.

$$D_{fM,T}(i) = 10 \lg \left( \sum_{k=1}^{K_f} \left( 10^{0,1A_{f,k}} \right) \right) \text{ dB} \quad \text{falls } P(k) \text{ gerade} \quad \text{Gl. 3-16}$$

$$D_{fM,R}(i) = 10 \lg \left( \sum_{k=1}^{K_f} 10^{0,1A_{f,k}} \right) \text{ dB} \quad \text{falls } P(k) \text{ ungerade} \quad \text{Gl. 3-17}$$

*Anmerkung*

Als Formelzeichen für das Einfügungsdämpfungsmaß einer Rasterdecke wird  $D_M$  in Anlehnung an die Symbole der DIN ISO 9613-2 eingeführt, da dieses Maß eng zu den Quelleigenschaften und nicht zu den Ausbreitungseigenschaften gehört, vgl. Gl. 3-21.

### 3.7 Dämpfung für beliebige Reflexionsordnungen

Gl. 3-16 und Gl. 3-17 gelten für die Fälle, in denen der Vertikalwinkel  $\eta_C$  gleich einem  $\eta_{C_i}$  nach Gl. 3-13 entspricht. Die Dämpfungsmaße sind also Funktionen der (ganzzahligen) Ordnung  $i$ . Diese Funktionen sind für Ordnungen größer 2 durch eine Gerade mit einer für typische Rasterdecken vernachlässigbarer Unsicherheit ( $< 1$  dB für das Dämpfungsmaß) anzunähern.

*Anmerkung*

Die durch die Regression bei Ordnungen kleiner 3 verursachten signifikanten Abweichungen spielen eine untergeordnete Rolle, weil dann der zugehörige Vertikalwinkel zu Teilersatzquellen und Strahlenwege gehören, die für den Immissionsschutz keine Bedeutung haben, vgl. Kapitel 5.7.2 des LeitGeStand.

Die Parameter der Geraden,  $a_T$  und  $b_T$  für die Transmissionsdämpfung bzw.  $a_R$  und  $b_R$  für die Reflexionsdämpfung lassen sich durch lineare Regression ermitteln.

$$D_{fM,T}(\psi) = a_T \psi + b_T \quad \text{Gl. 3-18}$$

$$D_{fM,R}(\psi) = a_R \psi + b_R \quad \text{Gl. 3-19}$$

In Gl. 3-18 und Gl. 3-19 ist mit  $\psi$  eine nicht ganzzahlige, effektive Reflexionsordnungsanzahl eingeführt. Für einen beliebige Vertikalwinkel  $\eta_C$  lässt sich die zugehörige Reflexionsordnungsanzahl  $\psi_C$  nach Gl. 3-20 bestimmen.

$$\psi_C = i - \frac{\eta_{C,i+1} - \eta_C}{\eta_{C,i+1} - \eta_{C,i}} \quad \text{mit } \eta_{C,i} \leq \eta_C \leq \eta_{C,i+1} \quad \text{Gl. 3-20}$$

Bei der Schallausbreitungsrechnung nach DIN ISO 9613-2 ergänzt dieses Einfügungsdämpfungsmaß  $D_{fM}$  entweder als  $D_{fM,T}$  oder als  $D_{fM,R}$  deshalb die Gleichung 3 der Norm für den äquivalenten Oktavband-Dauerschallpegel  $L_{fT}(DW)$ . Dann wird Gleichung 3 zur Gl. 3-21.

$$L_{fT}(DW) = L_{fW} + D_{fC} + D_{fM} - A_f \quad \text{Gleichung 3 der DIN ISO 9613-2} \quad \text{Gl. 3-21}$$

*Anmerkung*

*Wiederum wird hier die Gleichung der DIN ISO 9613-2 um den Index  $f$  ergänzt.*

### 3.8 Bestimmung des maßgeblichen Vertikalwinkels

Der maßgebliche Vertikalwinkel  $\eta_C$  ist der Winkel unter dem die Schallwege die Rasterdecke von unten erreichen. Dieser Winkel ist nicht gleichzusetzen mit dem Vertikalwinkel  $\eta_S$  einer Teilersatzquelle nach LeitGeStand.  $\eta_S$  beschreibt den vertikalen Abgangswinkel der Teilersatzquelle nach Reflexionen und Beugungen im Quellmodell des LeitGeStand. Der Schallweg innerhalb des Schießstands, den die Teilersatzquelle repräsentiert, ist deshalb bekannt. Der maßgebliche Vertikalwinkel  $\eta_C$  ist deshalb durch ein Ersatzverfahren zu bestimmen.

Ausgangspunkt aller Schallwege im Schießstand ist die Schießgeräuschquelle an ihrem Emissionsort. Der direkte Weg von der Quelle zum Immissionsort führt in Richtung  $\varepsilon_S$  durch die Rasterdecke an der Begrenzung des Schießstands. Sein Winkel ist der maßgebliche Vertikalwinkel.

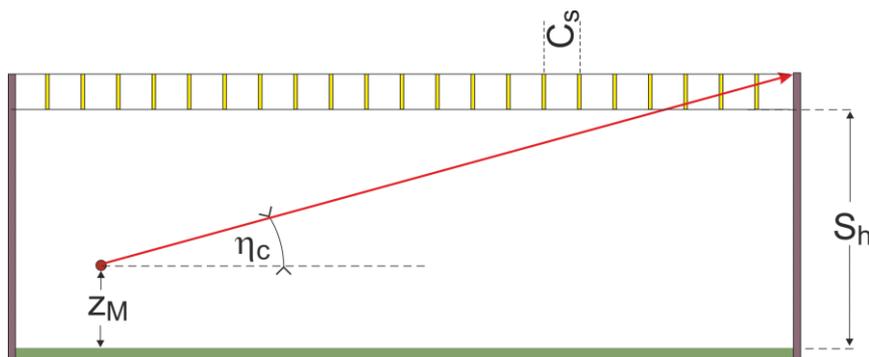


Abb. 3-6 Zur Bestimmung von  $\eta_C$ : Querschnitt durch den Schießstand von der Quelle in Richtung Immissionsort

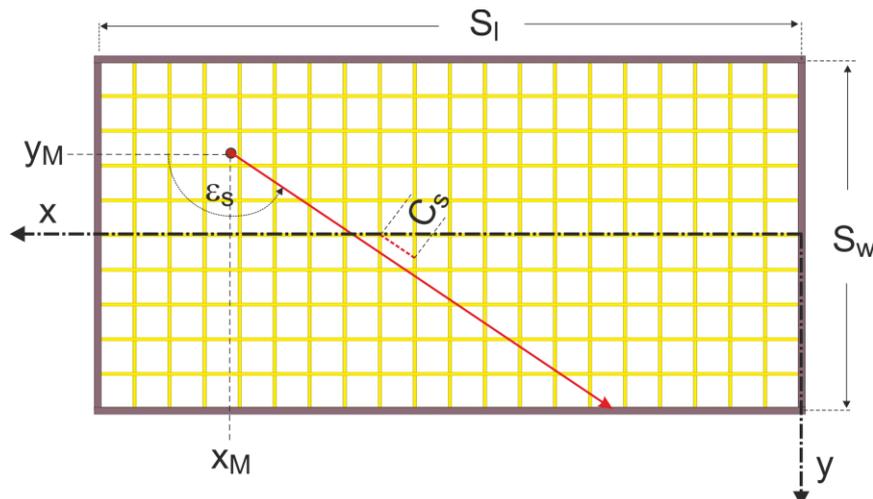


Abb. 3-7 Zur Bestimmung von  $\eta_c$  Aufsicht auf den Schießstand

Abb. 3-6 und Abb. 3-7 stellen den direkten Weg als Strahl vom Emissionsort zur relevanten Oberkante der den Schießstand umfassenden Wand dar. Der Winkel  $\eta_c$  lässt sich bei gegebenem Emissionsort  $(x_M, y_M, z_M)$  im Schießstandbezugssystem, den Abmessungen des Schießstands, Länge  $S_l$ , Breite  $S_w$  und Unterkante der Rasterdecke  $S_h$  und dem Horizontalwinkel  $\epsilon_s$  zum Immissionsort geometrisch bestimmen.

Schallwege über Reflexionen an Blenden, Wällen oder Seitenwänden werden flacher sein und deshalb zu einer Unterschätzung der Einfügungsdämpfung bei diesem Verfahren führen. Bodenreflexionen können zu größeren  $\eta_c$  und damit zu einer Überschätzung der Einfügungsdämpfung führen; allerdings sind diese Wege durch die Bodenreflexion selbst in der Regel weniger signifikant als der direkte Weg.

Insgesamt führt das Verfahren zu einem dennoch signifikanten Beitrag zur Unsicherheit des TMCC, die mit 2 dB abgeschätzt werden kann.

### 3.9 Unsicherheit

Die Unsicherheit des Technischen Modells einer Rasterdecke wird im Regelfall bei Mündungsknalle von Handwaffen kleiner 3 dB sein.

## 4 Beispiel der Berechnung einer Rasterdecke

### 4.1 Dämpfungsmaße eines Rasterelements

Tabelle 4-1 zeigt die terzspektralen Dämpfungsgrade und –maße eines typischen Absorbers einer Rasterdecke. In den Spalten 2 bis 5 sind der nach DIN CEN/TS 1793-5 [17] gemessene und über den relevanten Winkelbereich gemittelte Absorptionsgrad  $\alpha_m$ , Transmissionsgrad  $\tau_m$  und die direkt aus der Messung abgeleiteten Reflexionsgrad  $\rho_m$  und Verlustgrad  $\sigma_m$  angegeben. Die Spalten 6 bis 9 geben den nach Korrektur Durchführung der Korrektur nach dem Verfahren in Gl. 3-5 bis Gl. 3-10 an. Für die Oktaven 63 Hz bis 125 Hz in den Zeilen 3 bis 6 führt die Korrektur zu Änderungen der Dämpfung so, dass der Verlustgrad in den Oktaven zu 0% wird.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	<b>f</b>	<b><math>\alpha_m</math></b>	<b><math>\tau_m</math></b>	<b><math>\rho_m</math></b>	<b><math>\sigma_m</math></b>	<b><math>\alpha_c</math></b>	<b><math>\tau_c</math></b>	<b><math>\rho_c</math></b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b><math>A_{fR}</math></b>	<b><math>A_{fT}</math></b>
2	<b>Hz</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
3	63	5,00	20,00	95,00	-15,00	17,39	17,39	82,61	0,00	-0,83	-7,60
4	80	5,00	20,00	95,00	-15,00	17,39	17,39	82,61	0,00	-0,83	-7,60
5	100	9,00	16,00	91,00	-7,00	14,95	14,95	85,05	0,00	-0,70	-8,25
6	125	14,00	16,00	86,00	-2,00	15,69	15,69	84,31	0,00	-0,74	-8,04
7	315	20,00	15,00	80,00	5,00	20,00	15,00	80,00	5,00	-0,97	-8,24
8	400	28,00	15,00	72,00	13,00	28,00	15,00	72,00	13,00	-1,43	-8,24
9	500	39,00	14,00	61,00	25,00	39,00	14,00	61,00	25,00	-2,15	-8,54
10	630	40,00	14,00	60,00	26,00	40,00	14,00	60,00	26,00	-2,22	-8,54
11	800	57,00	13,00	43,00	44,00	57,00	13,00	43,00	44,00	-3,67	-8,86
12	1000	62,00	13,00	38,00	49,00	62,00	13,00	38,00	49,00	-4,20	-8,86
13	1250	74,00	11,00	26,00	63,00	74,00	11,00	26,00	63,00	-5,85	-9,59
14	1600	79,00	8,00	21,00	71,00	79,00	8,00	21,00	71,00	-6,78	-10,97
15	1000	83,00	7,00	17,00	76,00	83,00	7,00	17,00	76,00	-7,70	-11,55
16	2000	87,00	5,00	13,00	82,00	87,00	5,00	13,00	82,00	-8,86	-13,01
17	3150	92,00	4,00	8,00	88,00	92,00	4,00	8,00	88,00	-10,97	-13,98
18	4000	93,00	3,00	7,00	90,00	93,00	3,00	7,00	90,00	-11,55	-15,23
19	5000	93,00	2,00	7,00	91,00	93,00	2,00	7,00	91,00	-11,55	-16,99
20	6300	96,00	1,00	4,00	95,00	96,00	1,00	4,00	95,00	-13,98	-20,00
21	8000	98,00	1,00	2,00	97,00	98,00	1,00	2,00	97,00	-16,99	-20,00

Tabelle 4-1 Terzspektrale Dämpfungsgrade und Dämpfungsmaße eines typischen Rasterelements

### 4.2 Bestimmung der Regressionsparameter

Als Abmessungen der Rasterdecke wird in diesem Beispiel ein kubisches Raster mit  $C_w = C_l = C_h = 1$  m angenommen. Zusammen mit den  $A_{fR}$  und  $A_{fT}$  in den Spalten 10 bzw. 11 ergeben sich die Dämpfungsfunktionen  $D_{fm,R}(i)$  und  $D_{fm,T}(i)$  nach Gl. 3-16 bzw. Gl. 3-17 für diese Rasterdecke. Diese Funktionen sind mit ihrer jeweiligen Regressionsgeraden in Abb. 4-1 dargestellt.

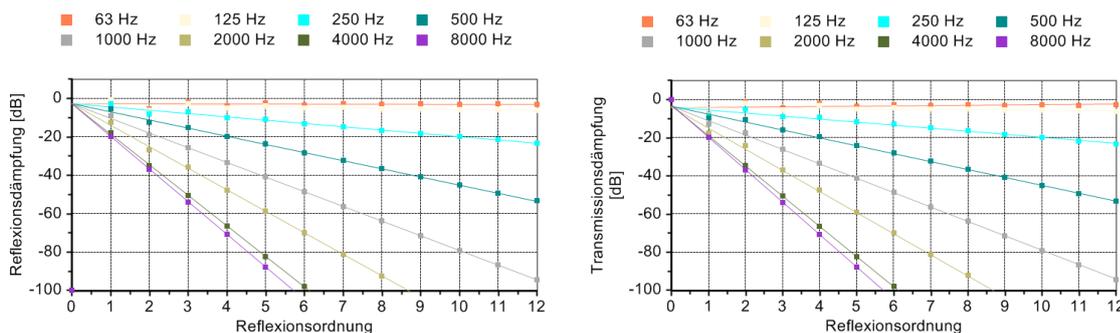


Abb. 4-1 Dämpfungsfunktionen und Regressionsgeraden links Reflexion, rechts Transmission

Tabelle 4-2 gibt die Parameter der Geraden an.

	1	2	3	4
1	<b>Oktave</b>	<b>Dämpfungs- weg</b>	<b>a</b>	<b>b</b>
2	<b>Hz</b>		<b>dB</b>	<b>dB</b>
3	63	Reflexion	-0,02	-2,87
4		Transmission	0,16	-4,44
5	125	Reflexion	-0,30	-2,89
6		Transmission	-0,11	-4,47
7	250	Reflexion	-1,73	-2,76
8		Transmission	-1,57	-4,13
9	500	Reflexion	-4,25	-2,69
10		Transmission	-4,13	-3,72
11	1000	Reflexion	-7,66	-2,69
12		Transmission	-7,55	-3,62
13	2000	Reflexion	-11,21	-2,71
14		Transmission	-11,07	-3,90
15	4000	Reflexion	-15,90	-2,77
16		Transmission	-15,83	-3,33
17	8000	Reflexion	-16,99	-3,01
18		Transmission	-16,99	-3,01

Tabelle 4-2 Oktavspektrale Steigung (a) und Verschiebung (b) der Regressionsgeraden

### 4.3 Ergebnisse

Tabelle 4-3 gibt die Ergebnisse für die oktavspektralen Einfügungsdämpfungsmaß für ausgewählte Ausbreitungssituationen wieder. Bei der Darstellung der Tabelle sind alle Zellen zusammengefasst, die den gleichen Inhalt haben. Im ersten Block der Ergebnisse von Zeile 3 bis 10 wird lediglich die Oktave von Zeile zu Zeile geändert. Den Ergebnissen ist zu entnehmen, dass die Wirkung der Rasterdecke signifikant von der Frequenz abhängt. Für die für Gewehre wichtige 205-Hz-Oktave wird im zweiten Block der Ergebnisse von Zeile 1 bis 29 der Horizontalwinkel im Bereich von 0° bis 180° variiert. Das Beispiel ist symmetrisch, weil der Emissionsort in der Mitte des Schießstands festgelegt ist. Im Bereich 90° erreicht der maßgebliche Vertikalwinkel seine höchsten Werte; dort ist die Einfügungsdämpfung am geringsten. Nach vorne und hinten nimmt sie signifikant zu. Es ist anzumerken, dass die

flachsten Winkel dann erreicht werden, wenn der direkte Schallweg auf eine Kante des Schießstands trifft, nicht entweder in oder entgegen der Schussrichtung.

Bei Einsatz des TMCC bei Prognosen von Immissionspegels nach dem LeitGeStand wird das Oktavspektrum des Mündungsknalls in Abhängigkeit von der betrachteten Waffe die Gesamteinfügungsdämpfungen für den Einzahpegel maßgeblich beeinflussen.

Es ist weiter zu beachten, dass durch den Einsatz einer Rasterdecke Teilersatzquellen in  $\epsilon_S$  und  $\epsilon_S + \pi$  zu betrachten sind. Dadurch wird die Wirkung der Rasterdecke im Mittel halbiert.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	<b>S<sub>w</sub></b>	<b>S<sub>l</sub></b>	<b>S<sub>h</sub></b>	<b>C<sub>w</sub></b>	<b>C<sub>l</sub></b>	<b>C<sub>h</sub></b>	<b>A<sub>fR</sub></b>	<b>A<sub>fT</sub></b>	<b>ε<sub>S</sub></b>	<b>x<sub>M</sub></b>	<b>y<sub>M</sub></b>	<b>z<sub>M</sub></b>	<b>C<sub>s</sub></b>	<b>η<sub>c</sub></b>	<b>ψ<sub>c</sub></b>	<b>f</b>	<b>D<sub>fM,T</sub></b>	<b>D<sub>fM,R</sub></b>
2	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>	<b>°</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>°</b>	<b>[1]</b>	<b>Hz</b>	<b>dB</b>	<b>dB</b>
3	30	310	5	1	1	1	-0,79	-7,82	90	100	0	1,6	1,00	16,35	3,47	63	-3,88	-2,95
4							-1,05	-8,17								125	-4,85	-3,91
5							-2,68	-8,65								250	-9,58	-8,77
6							-5,61	-9,81								500	-18,06	-17,45
7							-9,18	-12,85								1000	-29,86	-29,31
8							-12,36	-17,41								2000	-42,38	-41,67
9							-17,99	-20,00								4000	-58,34	-58,01
10							-20,00	-20,00								8000	-62,04	-62,04
11							-2,68	-8,65	0				1,00	1,20	12,00	250	-22,95	-23,5
12									10				1,02	2,92	12,00		-22,95	-23,5
13									20				1,06	5,73	9,39		-18,86	-18,99
14									30				1,15	8,34	5,92		-13,41	-12,99
15									40				1,31	10,68	4,08		-10,52	-9,81
16									50				1,31	12,66	3,48		-9,58	-8,77
17									60				1,15	14,25	3,48		-9,58	-8,77
18									70				1,06	15,41	3,48		-9,58	-8,77
19									80				1,02	16,11	3,47		-9,58	-8,77
20									90				1,00	16,35	3,47		-9,58	-8,77
21									100				1,02	16,11	3,47		-9,58	-8,77
22									110				1,06	15,41	3,48		-9,58	-8,77
23									120				1,15	14,25	3,48		-9,58	-8,77
24									130				1,31	12,66	3,48		-9,58	-8,77
25									140				1,31	10,68	4,08		-10,52	-9,81
26									150				1,15	8,34	5,92		-13,41	-12,99
27									160				1,06	5,73	9,39		-18,86	-18,99
28									170				1,02	2,92	12,00		-22,95	-23,5
29									180				1,00	2,52	12,00		-22,95	-23,5

Tabelle 4-3 Ausgewählte Ergebnisse für das TMCC

## 5 Akustische Anforderungen an die Elemente der Rasterdecke

Die konkreten akustischen Eigenschaften der Wangen der Rasterdecke sind zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung grundsätzlich nicht bekannt. Die Eigenschaften können erst konkretisiert werden, wenn im Rahmen der Auftragsvergabe für die Baumaßnahme der Lieferant der Rasterdecke ausgewählt wurde.

Bei der Gutachtenerstellung werden deshalb Anforderungen an den Absorptionsgrad und den Transmissionsgrad gestellt, die für die ausgewählte Rasterdecke mindestens erfüllt sein müssen. Die Anforderungen betreffen den bauakustischen Frequenzbereich von 100 Hz bis 4 kHz.

Bei Rechnungen nach LeitGeStand, dessen spektrale Ausbreitungsrechnung auf den Oktaven von 63 Hz bis 8 kHz beruht, werden der spektrale Absorptions- und Transmissionsgrad auch für die Terzen mit den Mittenfrequenzen 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz bzw. 5 kHz, 6,3 kHz, 8 kHz und 10 kHz benötigt. Für diese Terzen werden die Werte bei 100 Hz bzw. bei 4 kHz übernommen.

Bei der Prognoserechnung gehen diese Mindestanforderungen als Eingangsparameter in das Rasterdeckenmodell (TMCC, vgl. Kapitel 3) ein. Damit ist sichergestellt, dass die konkrete Rasterdecke mindestens die ermittelten Einfügungsdämmmaße erzielt.

Abb. 5-1 stellt die Anforderungen an den über alle Winkel gemittelten spektralen Absorptionsgrad nach DIN CEN/TS 1793-5 dar. Die Absorptionsgrade müssen oberhalb der dargestellten Kurve liegen.

Abb. 5-2 stellt die Anforderungen an den über alle Winkel gemittelten spektralen Transmissionsgrad nach DIN CEN/TS 1793-5 dar. Die Transmissionsgrade müssen unterhalb der dargestellten Kurve liegen.

Tabelle 5-1 gibt die Werte des spektralen Absorptions- und Transmissionsgrads an. Die Absorptionsgrade müssen jeweils größer sein als die Werte in Spalte 2. Die Transmissionsgrade müssen jeweils kleiner sein als die Werte in Spalte 3.

Anforderung an den  
**Absorptionsgrad**  
Mittelwert über alle Winkel nach DIN CEN/TS 1793-5

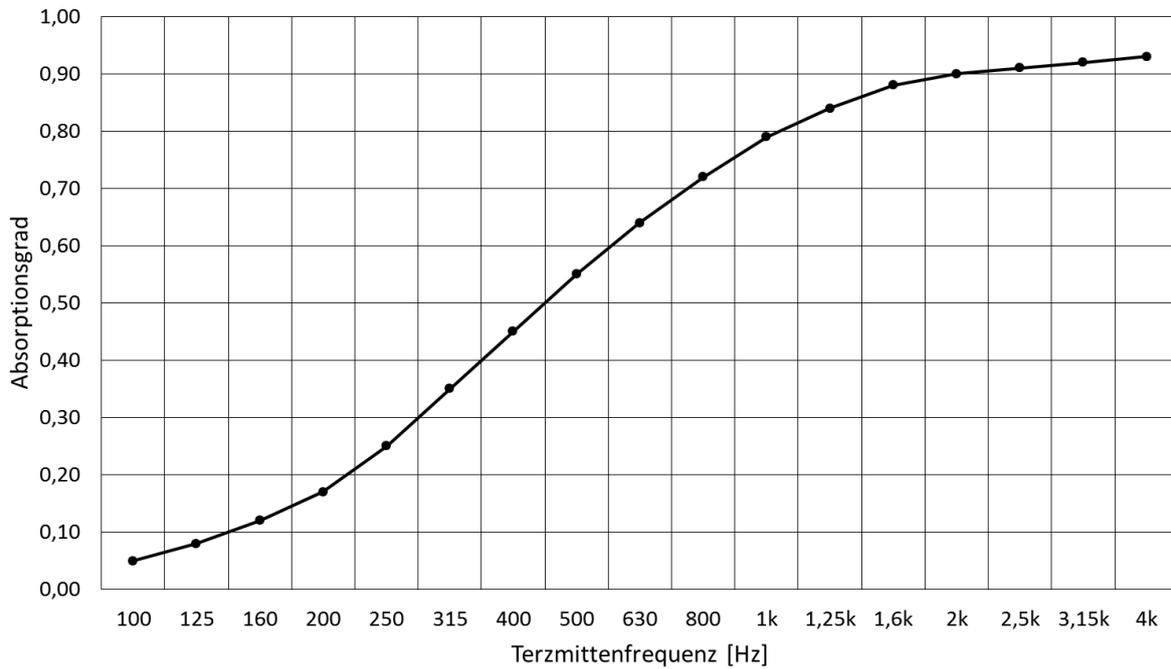


Abb. 5-1 Anforderungen an den über alle Winkel gemittelten spektralen Absorptionsgrad nach DIN CEN/TS 1793-5  
Die Absorptionsgrade müssen oberhalb der dargestellten Kurve liegen.

Anforderungen an den  
**Transmissionsgrad**  
Mittelwert über alle Winkel nach DIN CEN/TS 1793-5

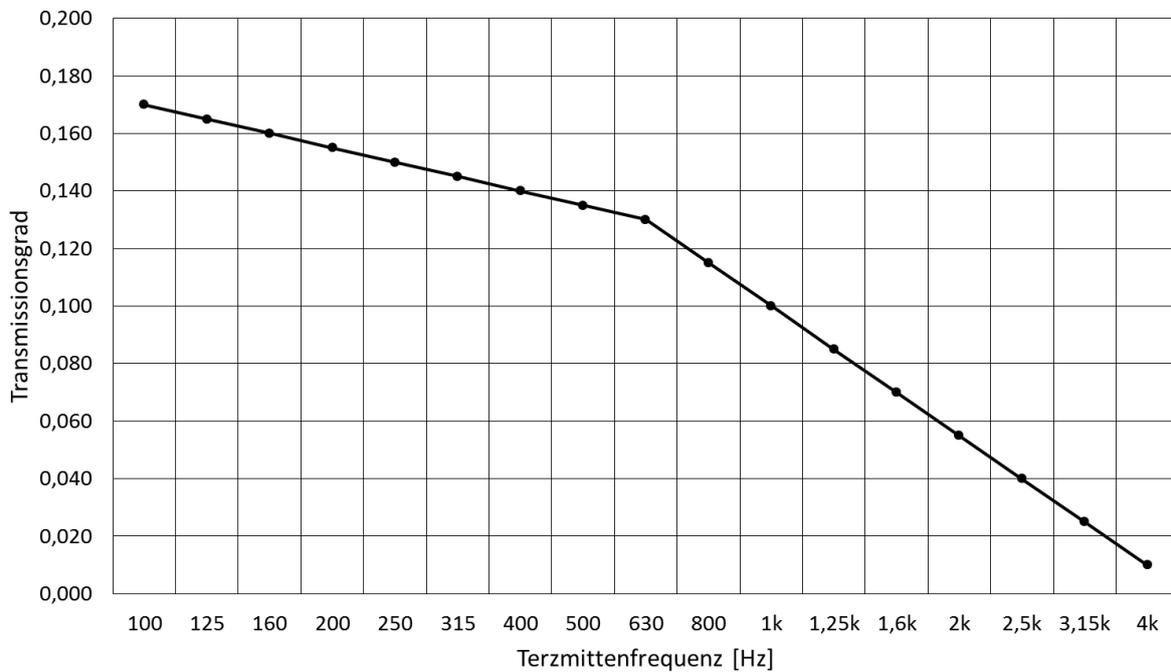


Abb. 5-2 Anforderungen an den über alle Winkel gemittelten spektralen Transmissionsgrad nach DIN CEN/TS 1793-5  
Die Transmissionsgrade müssen unterhalb der dargestellten Kurve liegen.

	1	2	3
1	<b>Terz mittenfrequenz</b>	<b>Absorptions- grad</b>	<b>Transmissions- grad</b>
2	<b>Hz</b>		
3	100	0,050	0,170
4	125	0,080	0,165
5	160	0,120	0,160
6	200	0,170	0,155
7	250	0,250	0,150
8	315	0,350	0,145
9	400	0,450	0,140
10	500	0,550	0,135
11	630	0,640	0,130
12	800	0,720	0,115
13	1k	0,790	0,100
14	1,25k	0,840	0,085
15	1,6k	0,880	0,070
16	2k	0,900	0,055
17	2,5k	0,910	0,040
18	3,15k	0,920	0,025
19	4k	0,930	0,010

*Tabelle 5-1 Anforderungen an den über alle Winkel gemittelten spektralen  
Absorptions- und Transmissionsgrad  
nach DIN CEN/TS 1793-5*

*Die Absorptionsgrade müssen jeweils größer sein als die Werte in Spalte 2.  
Die Transmissionsgrade müssen jeweils kleiner sein als die Werte in Spalte 3.*

Die geometrischen Eigenschaften der Rasterdecke haben einen wesentlichen Einfluss auf ihre Einfügungsdämpfung. Diese Eigenschaften liegen zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung vor.

## 6 Verweise

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 2. Juli 2013 (BGBl. I S. 1943) geändert worden ist. Stand: Neugefasst durch Bek. v. 17.5.2013 I 1274, Geändert durch Art. 1 G v. 2.7.2013 I 1943, Berichtigung v. 7.10.2013 I 3753 ist berücksichtigt
- [2] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz – Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm vom 26. August 1998. GMBL.
- [3] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen) – 4. BImSchV, in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973, 3756).
- [4] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung - BauNVO) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Januar 1990 (BGBl. I S. 132), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 11. Juni 2013 (BGBl. I S. 1548)
- [5] Schallimmissionsschutz an Schießständen, Leitfaden für die Genehmigung von Standortschießanlagen -LeitGeStand-, Stand 02.03.2015, Herausgeber Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz
- [6] DIN EN ISO 17201-1: Akustik — Geräusche von Schießplätzen — Teil 1 Messung der Quelldaten von Mündungsknallen
- [7] DIN EN ISO 17201-2: Akustik — Geräusche von Schießplätzen — Teil 2 Schätzung der Quelldaten von Mündungsknallen (ISO/DIS 17201-2:2004)
- [8] DIN ISO 9613-2: Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren, Berlin: Beuth, Oktober 1999
- [9] DIN EN ISO 17201-3: Akustik — Geräusche von Schießplätzen — Teil 3 „Richtlinie für die Ausbreitungsrechnung“
- [10] “Harmonoise.”, Technical Report HAR 22TRO20222 TN001.doc 20-02-2002 WP2 team.

- [11] Buchta, E.; Hirsch, K.-W.: "Optimierung der Schallminderung von Rasterdecken an Schießständen", Fortschritte der Akustik DAGA '90; DPG GmbH Bad Honnef 1990 S. 525-528
- [12] Hirsch, K.-W.; Bertels, W.: "Schallschutzmaßnahmen in der Nähe von Schießgeräuschquellen", Fortschritte der Akustik, DAGA'2012, DEGA e.V., Darmstadt
- [13] Hirsch, K.-W. ; Hammelmann, F., Vogelsang, B. M.: "Qualitätsgesicherte Lärmkartographie – Teil 1: Georeferenzierung", Fortschritte der Akustik, AIA-DAGA'2013, DEGA e.V., Meran
- [14] Geräusche von Trendsportanlagen – Teil 2: Beachvolleyball, Bolzplätze, Inline-Skaterhockey und Streetball, Bayer. Landesamt für Umwelt (Hrsg.), Augsburg, Juni 2006
- [15] „Lärm“, Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg,  
[https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/41576/09\\_laerm.pdf?command=downloadContent&filename=09\\_laerm.pdf](https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/41576/09_laerm.pdf?command=downloadContent&filename=09_laerm.pdf)
- [16] Merkblatt Akustischen Quelldaten für die Handwaffenklassen Gewehr G, Pistole P, Maschinengewehr MG und Maschinenpistole MP, Ergänzung zum Leitfaden für die Genehmigung von Standortschießanlagen – LeitGeStand, Herausgeber Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleitungen der Bundeswehr – BAIUDBw, GS II 2, Kennung LeitGeStand-Waf,  <sup>Verweise</sup>
- [17] DIN CEN/TS 1793-5:2003-08: Lärmschutzeinrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 5: Produktspezifische Merkmale; In-situ-Werte der Schallreflexion und der Luftschalldämmung; Deutsche Fassung CEN/TS 1793-5:2003
- [18] Überschlägige Prognose des Geschosknalls und des Mündungsknalls – Anwendung der DIN ISO 9613-2 in Verbindung mit der DIN EN ISO 17201 zur Pegelbestimmung in ausgewählten Immissionsorten des Beispiels, Ergänzung zum Leitfaden für die Genehmigung von Standortschießanlagen – LeitGeStand, Herausgeber BAIUDBw GS II 2, Kennung LeitGeStand-ÜP

- [19] Testaufgaben und Empfindlichkeitsanalyse - Numerische Umsetzung des Schallausbreitungsmodells, Ergänzung zum Leitfaden für die Genehmigung von Standortschießanlagen – LeitGeStand, Herausgeber BAIUDBw GS II 2, Kennung LeitGeStand-Test
- [20] OVG Lüneburg 1. Senat, Beschluss vom 20.02.2014, 1 ME 203/13 zu § 15 BauNVO, Nr. 6.5 TA Lärm, Nr. 7.2 TA Lärm, § 11 BauNVO, § 8 BauNVO, **FA**<sup>Verweise</sup>
- [21] Hirsch, K.-W.: „Grundlagen und Anwendungen des Schallwetters“, Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Bd 9 (2014) Nr. 6, November, **FA**<sup>Verweise</sup>
- [22] Hirsch, K.-W., Vogelsang, B. M.: „Meteorologische Korrekturen - Ermittlung auf der Grundlage einer Pegelstatistik“, Fortschritte der Akustik, DAGA 2015, Nürnberg,

## 7 Über „Bella Acustica – De Bello Acustico“



Eine Sammlung von Aufsätzen  
zu ausgewählten Themen der Akustik  
aus der ganz persönlichen Sicht des Autors

	<b>Prolog</b> Die Schöne und der Krieg	kwhdba.00.02 2018-10-31	E
	<b>Dezibels</b> Warum sich Akustiker in der Wüste am wohlsten fühlen	kwhdba.01.01 2018-10-07	E
	<b>Bewertungen</b> Wie die Ohren hören sollten	kwhdba.02.01 2016-11-09	E
	<b>Zeit begreifen</b> Zeitbegriffe	kwhdba.03.00 2016-11-12	F
	<b>Rote Rosen</b> Prognosen mit dem Schallwetter	kwhdba.04.00 2016-11-12	I
	<b>Pegelsalat</b> Zur systematischen Kennzeichnung von Schallpegeln	kwhdba.05.00 2016-11-12	F
	<b>Vom Harten und Weichen</b> Bodenreflexionen im Freien	kwhdba.06.00 2016-11-12	I
	<b>Atmosphärische Störungen</b> Über Messungen im Freien	kwhdba.07.00 2016-11-21	F
	<b>Projectile Sound</b> To Whom It May Concern	kwhdba.08.01 2018-08-22	E
	<b>Überreichweiten</b> Über Zonen abnormaler Hörbarkeit	kwhdba.09.1 2018-09-17	E
	<b>Götzenverehrung</b> DIN ISO 9613	kwhdba.10.01 2018-10-06	K
	<b>Krumme Hunde</b> Schallkreise in der Luft	kwhdba.11.02 2018-11-09	E
	<b>Kanonische Karten</b> Über klare Kanten in der Lärmakustik	kwhdba.12.0 2019-03-15	I

	<b>Jericho</b> Über Trompeten, Mauern und Schallstrahlungsdruck	kwhdba.13.0 2019-05-13	E
	<b>Cmet</b> Die meteorologische Korrektur der DIN ISO 9613-2	kwhdba.14.0 2020-04-19	E
	<b>Schießlärm</b> Immissionsschutz auf Schießplätzen für Verwaltungsakustiker	kwhdba.15.0 2020-04-17	E
	<b>Rasterdecken</b> Massiver baulicher Schallschutz auf Schießständen	kwhdba.16.0 2020-04-17	E

<b>Stand</b>	<b>I</b>	Idee	erste Skizze	---	<b>E</b>	Entwurf	kurz vor druckreif	web
	<b>F</b>	Fragmente	erste Abschnitte oder Kapitel	---	<b>D</b>	Druck	Druckversion	web
	<b>K</b>	Konzept	Konzept ohne Sprachprüfung	web				

## Impressum

Autor  
Urheberrecht  
Zitierhinweis  
Verfügbarkeit  
Kontakt



Karl-Wilhelm Hirsch  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>  
 Hirsch, K.-W.: „Bella Acustica – De Bello Acustica“, [Titel], [Kennung]  
[www.kwhirsch.de](http://www.kwhirsch.de)  
[post@kwhirsch.de](mailto:post@kwhirsch.de)