

Reflexionsverlust vs. Absorptionsgrad bei Lärmschutzwänden

Wolfram Bartolomaeus

Bundesanstalt für Straßenwesen, 51427 Bergisch Gladbach, Deutschland, Email: bartolomaeus@bast.de

Bisheriger Sachstand

In den *Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, RLS-90* [1] wird in der Tabelle 7 „Korrektur zur Berücksichtigung der Absorptionseigenschaften von reflektierenden Flächen (nur bei Spiegelschallquellen)“ ein Summand D_E für Lärmschutzwände und Verkleidungen angegeben:

- glatte Gebäudefassaden und reflektierende Lärmschutzwände $D_E = -1$ dB(A)
- gegliederte Hausfassaden (z. B. Fassaden mit Erkern, Balkonen etc.) $D_E = -2$ dB(A)
- absorbierende Lärmschutzwände $D_E = -4$ dB(A)
- hochabsorbierende Lärmschutzwände $D_E = -8$ dB(A)

Die Werte für absorbierende und hochabsorbierende Lärmschutzwände findet man in den *Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Ausführung von Lärmschutzwänden an Straßen, ZTV-Lsw 06* [2], Tabelle 1 „Absorptionsgruppen“ als Untergrenzen der Gruppen A2 und A3 wieder:

Gruppe	Absorption DL_a	
A1	< 4	nicht absorbierend
A2	4 – 7	absorbierend
A3	8 – 11	hoch absorbierend
A4	> 11	

Als Prüfverfahren wird dort die **DIN EN 1793-1** [3] angegeben. Darin wird DL_a als Einzel-Angabe der Schallabsorptions-Eigenschaften, als Differenz der Abwerteten Schalldruckpegel für einfallenden und reflektierten Schall in dB angegeben und auf das Hallraumverfahren nach **EN 20354** verwiesen, die durch die **DIN EN ISO 354** [4] abgelöst wurde.

Schon während der Neufassung der **ZTV-Lsw** war ein Messverfahren für die Charakterisierung des Reflexionsverlustes entwickelt worden. Allerdings wurde „... von einer uneingeschränkten Übernahme des Adrienne-Verfahrens in die Neuausgabe der ZTV-Lsw abgeraten ...“ [5]. Im Rahmen des EU-Projektes QUIESST [6] wurde das Adrienne-Verfahren aber weiter entwickelt.

Kürzliche Änderungen

In der Normenserie 1793 wird seit Neuerem zwischen zwei Anwendungsfällen unterschieden: hallige und nicht hallige Bedingungen. Danach liegt Halligkeit vor, wenn gilt

$$\frac{w}{e} \leq 0,25 \quad (1)$$

mit

w — Breite des offenen Raums

$e = w + h$ — Länge der gesamten Hüllfläche ohne Straßenoberfläche

Für eine Straße mit Lärmschutzwänden an den Seiten läge Halligkeit vor, wenn gilt:

$$\frac{h}{w} \geq 1,5 \quad (2)$$

mit

w — Breite zwischen den Wänden

h — Höhe der (gleichhohen) Wände

Diese Bedingung ist bei geraden Wänden in der Regel nicht erfüllt.

In der Vornorm **DIN EN 1793-5** [8], die die in-situ Bestimmung der Schallreflexion nach dem Adrienne-Verfahren beschreibt, wird diese Bedingung noch nicht angegeben. Im Normentwurf wurde diese Bedingung aber auch aufgenommen. Dieser ist in einer CEN-Umfrage angenommen worden – derzeit wird die deutsche Übersetzung erarbeitet. Es ist daher in Kürze mit dem Erscheinen der Norm zu rechnen.

Absorption im gerichteten Schallfeld

Die im gerichteten – ebenen (Kundt'sche Rohr) oder kugelförmigen (Adrienne-Verfahren) — bzw. im diffusen Schallfeld (Hallraum) ermittelten Absorptionsgrade lassen sich nicht unmittelbar vergleichen. Es bedarf vielmehr einer Umrechnung.

Der Absorptionskoeffizient α gibt das Verhältnis von nicht reflektierter (absorbierter oder durchgelassener) zu einfallender Energie in einem Schallfeld an:

$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad (3)$$

mit

R — Reflexionsfaktor

Der Reflexionsfaktor für einen lokal reagierenden Absorber, d.h. einem mit winkelunabhängiger Impedanz ist:

$$R = \frac{Z \sin \theta - 1}{Z \sin \theta + 1} \quad (4)$$

mit

Z — Wandimpedanz

θ — Einfallswinkel

Hier wird angenommen, dass die Wellenzahl des Absorbermaterials k_A sehr groß ist, gleichbedeutend mit einer hohen Dämpfung im Material.

Die Wandimpedanz des Absorbers vor einer schallharten Wand berechnet sich schließlich aus:

$$Z = -iZ_A \cot(k_A d) \quad (5)$$

mit

Z_A — Impedanz des Absorbers

k_A — Wellenzahl des Absorbers

Die Werte Z_A und k_A sind Kennwerte des jeweiligen Absorbermaterials.

Sei $\frac{Z}{Z_0} := z = z' + iz''$, dann ergibt sich für den Absorptionskoeffizienten:

$$\alpha(\Theta) = \frac{4z' \cos \Theta}{(1 + z' \cos \Theta)^2 + (z'' \cos \Theta)^2} \quad (6)$$

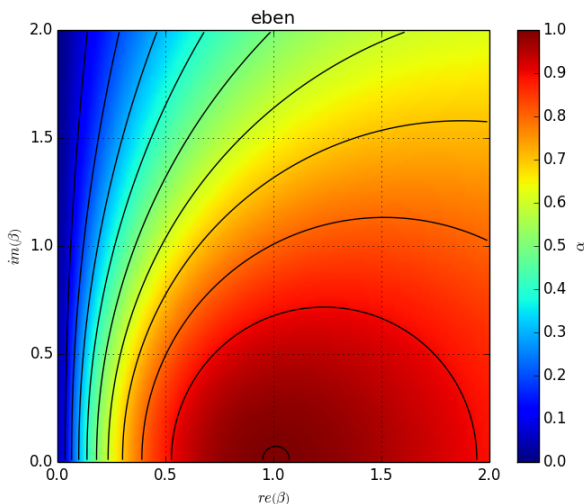


Abbildung 1: Absorptionskoeffizient im ebenen senkrechten Schallfeld.

Abbildungen 1 zeigt den Absorptionskoeffizient im ebenen senkrechten Schallfeld $\alpha_{eben}(0^\circ)$ mit der komplexen Admitanz $\beta = \frac{1}{Z}$ als Parameter.

In [9] wird die Berechnung des Kugelwellenreflexionsfaktors angegeben. Abbildungen 2 zeigt den Absorptionskoeffizienten im kugelförmigen senkrechten Schallfeld $\alpha_{Kugel}(0^\circ)$ mit der komplexen Admitanz β als Parameter bei 1 kHz und 1,50 m senkrechter Entfernung der Quelle zur Absorberoberfläche. Diese Geometrie entspricht der mittleren Mikrofonposition des Adrienne-Verfahrens nach [8].

Absorption im diffusen Schallfeld

Der Absorptionskoeffizient im diffusen Schallfeld lässt sich durch Integration des Absorptionskoeffizienten $\alpha(\Theta)$ über alle Raumwinkel einer Halbkugel bestimmen:

$$\alpha_{diff} = 2 \int_0^{\pi/2} \alpha(\Theta) \cdot \cos(\Theta) \cdot \sin(\Theta) d\Theta \quad (7)$$

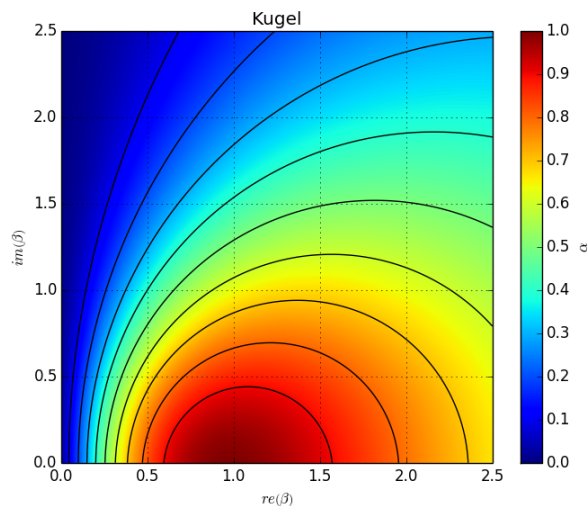


Abbildung 2: Absorptionskoeffizient im kugelförmigen senkrechten Schallfeld.

Nach Ausführung der Integration ist schließlich [7]:

$$\alpha_{diff} = \frac{8}{z'^2 + z''^2} \left[1 + \frac{1}{z''} \frac{z'^2 - z''^2}{z'^2 + z''^2} \arctan \frac{z''}{1 - z'} - \frac{z'}{z'^2 + z''^2} \ln(1 + 2z' + z'^2 + z''^2) \right] \quad (8)$$

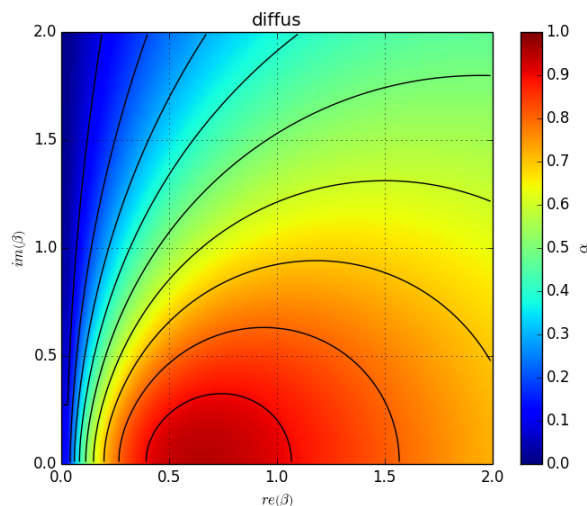


Abbildung 3: Absorptionskoeffizient im diffusen Schallfeld.

Abbildung 3 zeigt den Absorptionskoeffizienten im diffusen Schallfeld α_{diff} mit der komplexen Admitanz β als Parameter.

Absorption bei reeller Admitanz

Die Absorption bei einer reellen Admitanz β im Bereich 0,05 bis 2,5 (Luft) für die ebene senkrechte (Kundt'sches Rohr) bzw. kugelförmige senkrechte Schallausbreitung, die kugelförmige Schallausbreitung des Adrienne-Verfahrens nach [8] gemittelt über die neun Mikro-

fonpositionen und der diffusen Schallausbreitung im Hallraum [3] ist in Abbildung 4 dargestellt.

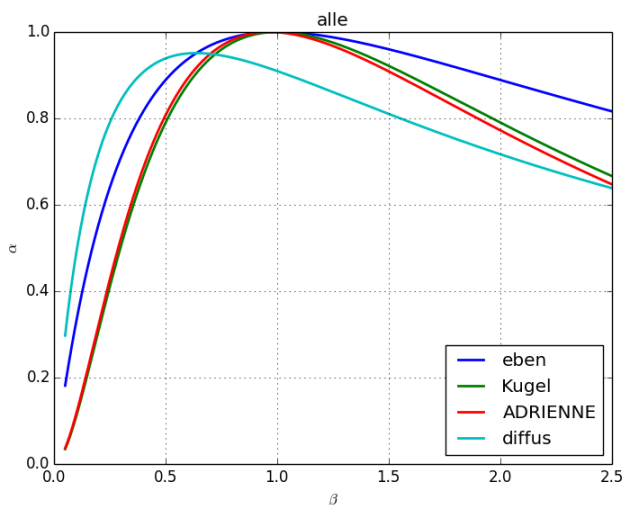


Abbildung 4: Absorptionsgrad α für alle Schallfelder in Abhängigkeit von der (reelen) Admitanz β .

Der Absorptionsgrad im diffusen Schallfeld nimmt mit steigender Admitanz deutlich schneller zu als im ebenen oder gar kugelförmigen Schallfeld. Der mit der Geometrie des Adrienne-Verfahrens ermittelte Absorptionsgrad entspricht weitestgehend dem des kugelförmigen Schallfeldes.

Trägt man die Absorptionsgrade aller Schallfelder gegen den Absorptionsgrad des diffusen Schallfeldes auf, indem die reelle Admitanz als Parameter verwendet wird, so lassen sich theoretische Umrechnungen angeben.

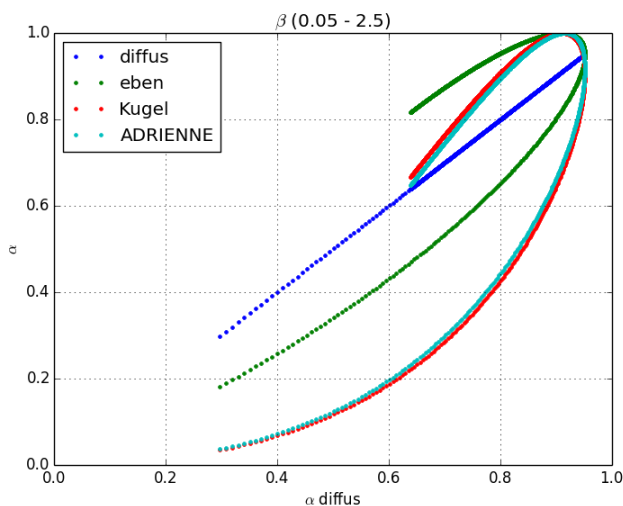


Abbildung 5: Absorptionsgrad α für alle Schallfelder in Abhängigkeit von dem Absorptionsgrad des diffusen Schallfeldes mit der (reelen) Admitanz β als Parameter.

In Abbildungen 5 wird der Absorptionsgrad für alle Schallfelder in Abhängigkeit von dem Absorptionsgrad des diffusen Schallfeldes mit der (reelen) Admitanz β im Bereich von 0,05 bis 2,5 als Parameter angegeben. Bei

Admitanzen über 1 ergeben sich für ebene und kugelförmige Schallfelder wieder abnehmende Absorptionsgrade. Hier ist aber evtl. die Randbedingung, dass eine hohe Materialdämpfung vorliegen muss verletzt.

Reflexionsverlust

Aus dem Absorptionsgrad α lässt sich direkt die Pegelminderung, die hier dem Reflexionsverlust DL_{RI} entspricht, berechnen:

$$DL_{RI} = 10 \lg(1 - \alpha) \quad (9)$$

Abbildungen 6 zeigt die Pegelminderung DL gegen den Absorptionskoeffizient α .

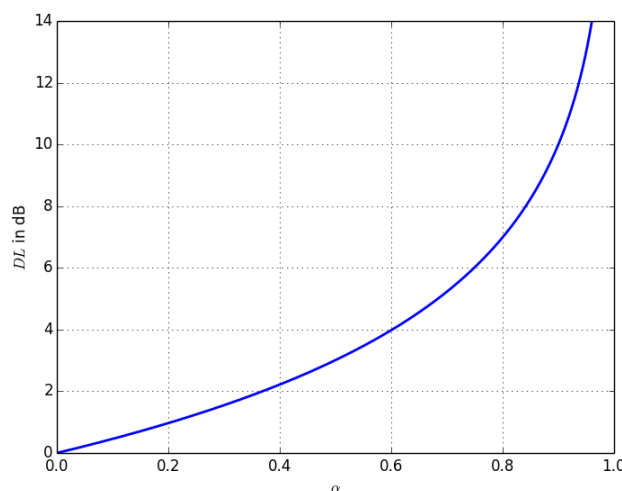


Abbildung 6: Pegelminderung DL gegen Absorptionsgrad α .

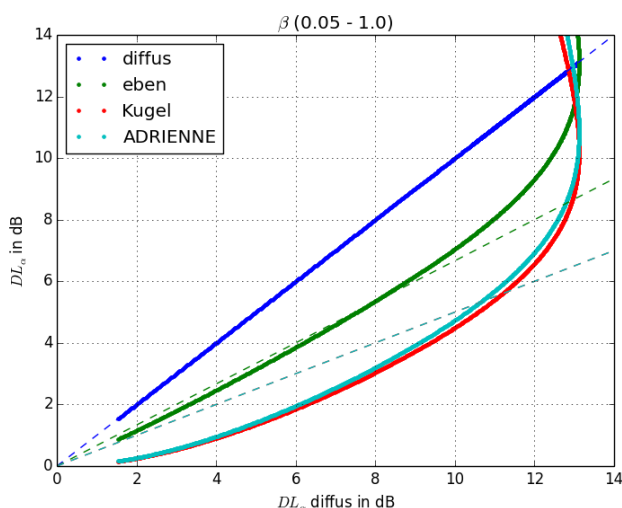


Abbildung 7: Pegelminderung aller Schallfelder gegen Pegelminderung im diffusen Schallfeld.

Abbildungen 7 zeigt die Pegelminderung aller Schallfelder gegenüber der Pegelminderung im diffusen Schallfeld DL_α .

Für Reflexionsverluste im ebenen Schallfeld bis etwa 6 oder 7 dB — das entspricht einer Pegelminderung im diffusen Schallfeld von etwa 10 dB — kann näherungsweise:

$$DL_{RI} = \frac{2}{3} DL_{\alpha} \quad (10)$$

angenommen werden.

Ein Hinweis auf einen Übertragungsfaktor zwischen der Pegelminderung im diffusen Schallfeld DL_{α} und dem Reflexionsverlust im diffusen Schallfeld DL_{RI} von 1/2 (siehe Abbildung 7) geht auch aus experimentellen Arbeiten hervor [10].

Konsequenzen

Wenn zukünftig Reflexionsverluste des gerichteten Schallfeldes verwendet werden, wie es nach Einführung der **DIN EN 1793-5** [8] als Norm zu erwarten ist, müssen zum Einen die Absorptionsklassen der ZTV-Lsw [2] geändert werden. Diese Vorschrift soll gerade sowieso überarbeitet werden. Zum Anderen sind aber auch die in den **RLS-90** genannten Reflexionsverluste entsprechend anzupassen.

Aufgrund der an Straßen i.A. großen Entfernung zwischen Schallquelle und Lärmschutzwand können wir von einem eher ebenen Schallfeld ausgehen. Bisher ist in den *Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen*, **RLS-16** [11] im Abschnitt „Einsatzbedingungen für Lärmschutzwände nach ihren Absorptionseigenschaften“ vorgesehen, zukünftig den Reflexionsindex abzüglich der erweiterten Unsicherheit zum Signifikanzniveau 95%:

$$DL_{RU} = DL_{RI} - U(95\%) \quad (11)$$

als gerundeten Wert für den Reflexionsverlust zu verwenden.

Daraus ergeben sich die in der folgenden Tabelle angeführten Werte.

Tabelle 1: Reflexionsverluste

Reflexionsart	Reflexionsverlust DL_{RU}
nicht absorbierend	$DL_{RU} < 3$ dB
absorbierend	3 dB $\leq DL_{RU} < 5$ dB
hoch absorbierend	5 dB $\leq DL_{RU} < 9$ dB
höchst absorbierend	$DL_{RU} \geq 9$ dB

Dabei wurde aber noch von einem weitgehenden gleichen rechnerischen Reflexionsverlust bei ebenen und kugelförmigen Schallwellen ausgegangen. Aus der vorliegenden Untersuchung lässt sich aber ein um den Faktor 3/4 geminderter Reflexionsindex ableiten. Genauere — auch experimentelle — Untersuchungen hierzu müssen noch erfolgen.

Die oben getroffene Einteilung sollte sowohl in der neuen **ZTV-Lsw** als auch in den **RLS-16** angewendet werden. In den **RLS-16** können weiterhin für die anzusetzenden Reflexionsverluste der 1. und 2. Reflexion, D_{RV1} bzw. D_{RV2}

im Wesentlichen die unteren Grenzen der in Tabelle 1 festgelegten Werte angewendet werden (siehe Tabell 2).

Tabelle 2: Anzusetzende Reflexionsverluste

Reflexionsart	D_{RV1} bzw. D_{RV2}
nicht absorbierend	0,5 dB
absorbierend	3,0 dB
hoch absorbierend	5,0 dB
höchst absorbierend	9,0 dB

Diese begründet sich vor allem in der Annahme von ebenen Schallwellen bei der Berechnung der Reflexionsverluste. Auch hierzu wären messtechnische Untersuchungen wünschenswert.

Eine Erweiterung der hier vorgestellten theoretischen Berechnungen auf Absorber mit kleiner Wellenzahl k_A wäre auch notwendig.

Literatur

- [1] Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, **RLS-90**, FGSV 334, Februar 1992
- [2] Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für die Ausführung von Lärmschutzwänden an Straßen, **ZTV-Lsw 06**, Ausgabe 2006
- [3] Lärmschutzeinrichtungen an Straßen — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 1: Produktspezifische Merkmale der Schallabsorption, **DIN EN ISO 1793-1**, November 1997
- [4] Akustik — Messung der Schallabsorption im Hallraum **DIN EN ISO 354**, Ausgabe Dezember 2003
- [5] Schupp, G.; Weber, L.; Zhang, Y.: Schalldämmung und Schallabsorption von Schallschirmen, die nicht nach ZTV-Lsw 88 und den DIN EN 1973 geprüft werden können, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 877, Januar 2004
- [6] QUIetening the Environment for a Sustainable Surface Transport, EU-Projekt des siebten Rahmenprogramms, 2009–2013
- [7] Mechel, F. P.: Raumakustische Felder, Hirzel Verlag, Stuttgart 2009
- [8] Lärmschutzeinrichtungen an Straßen — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 5: Produktspezifische Merkmale — In-situ-Werte der Schallreflexion und der Luftschalldämmung, **DIN CEN/TS 1793-5**, August 2003
- [9] Nocke, Ch.: In-situ Messung der akustischen (Wand-) Impedanz, Shaker Verlag, Aachen 2000
- [10] Conter, M.; Wehr, R.: Comparison between laboratory and in-situ methods for measuring sound absorption properties of noise barriers, EuroNoise 2015, Maastricht 2015
- [11] Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen, **RLS-16**, Entwurf 12. März 2015