

Baulicher Schallschutz gegen Außenlärm an Schienenwegen

Rudolf Liegl¹, Manfred Liepert¹, Ulrich Möhler¹

¹ Möhler + Partner Ingenieure AG, 81373 München, E-Mail: Rudolf.Liegl@mopa.de

Einleitung

Geräusche von Schienenverkehrswegen weisen gegenüber den Geräuschen an innerstädtischen Straßen unterhalb einer Frequenz von ca. 1000 Hz geringere Geräuschanteile auf. Da die Schalldämmung von Außenbauteilen zu höheren Frequenzen hin ansteigt, wird erwartet, dass in einem Raum bei gleichem A-bewerteten Summschallpegel Außen und identischer Schalldämmung des Außenbauteils im Falle von Schienenverkehrsgeräuschen ein geringerer Innenschallpegel gegenüber innerstädtischer Straßen resultiert.

Diese Annahme ist bereits in der VDI-Richtlinie 2719 [1] aus dem Jahr 1987 abgebildet, wie ein Vergleich der Korrektursummanden K in Tabelle 7 der Richtlinie zeigt. Sinngemäß findet sich diese Betrachtung ebenfalls in der 24. BImSchV (Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmen) [2] und den dort in Tabelle 2 aufgeführten Korrektursummanden E.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die unterschiedlichen Korrekturwerte für Straßen- und Schienenverkehrssituationen (Schienenverkehr mit Ausnahme von Rangierbahnhöfen und von Straßenbahnen).

Tabelle 1: Korrektursummanden VDI 2719, 24. BImSchV

Verkehrsweg	Regelwerk	Korrektursummand K / E in dB
Bahnstrecken mit überwiegendem Personenverkehr	VDI 2719	0
übrige Bahnstrecken	VDI 2719	3
Schienenwege von Eisenbahnen allgemein	24. BImSchV	0
Schienenwege, bei denen im Beurteilungszeitraum mehr als 60% der Züge klotzgebremste Güterzüge sind	24. BImSchV	2
Innerstädtische Straßen	VDI 2719	6
Andere Straßen	VDI 2719	3
Innerstädtische Straßen	24. BImSchV	6
Straßen im Außerortsbereich	24. BImSchV	3

Die Korrektursummanden der VDI 2719 und der 24. BImSchV für Straßen sind identisch, während für Schienenwege Korrektursummanden von 0, 2 und 3 dB angegeben werden. Die Beschreibung der Schienenwege in der VDI 2719 und der 24. BImSchV ist nicht völlig

identisch, jedoch ist abzuleiten, dass bei gleichem A-bewerteten Außenschallpegel und identischer Schalldämmung an Schienenwegen mit überwiegendem Anteil an Personenzügen gegenüber innerstädtischen Straßen um 6 dB(A) niedrigere Innenschallpegel erwartet werden. Bei überwiegendem Anteil an Güterzügen wird eine geringere Differenz angenommen.

In DIN 4109:1989-11 [3] und DIN 4109:2006-07 [4]. ist der Sachverhalt nicht beschrieben. Der aktuell vorliegende Entwurf für eine Änderung A1 zu DIN 4109-2:2017-02 enthält diesbezüglich die Regelung, wonach der Beurteilungspegel für Schienenverkehr aufgrund der Frequenzzusammensetzung von Schienenverkehrsgeräuschen in Verbindung mit dem Frequenzspektrum der Schalldämm-Maße von Außenbauteilen pauschal um 5 dB zu mindern ist. Die der DIN 4109 zugrunde liegende Bezugs-Verkehrssituation ist der innerstädtische Straßenverkehr. Bezogen auf die Korrektursummanden der VDI 2719 bzw. der 24. BImSchV entspricht dies für Schienenwege einem einheitlichen Wert K bzw. E = 1 dB.

Möglichkeiten für eine frequenzabhängige Berechnung des Innenschallpegels

Mit der Berechnungsvorschrift Schall 03 [6] wird der Außenlärmpegel von Schienenwegen für die Oktavbänder 63 Hz bis 8 kHz getrennt ermittelt und immissionsseitig energetisch summiert.

Die Schalldämm-Maße der für die resultierende Schalldämmung wesentlichen Außenbauteile werden i. d. R. in Prüfständen für die Terzbänder 50 Hz bis 5 kHz ermittelt und jeweils drei benachbarte Terzbänder können energetisch zu einem Dämmwert gemittelt werden, der die Schalldämmung für die Oktavbänder 63 Hz bis 4 kHz kennzeichnet. Wird weiterhin berücksichtigt, dass die Geräuschbeiträge in den Oktavbändern > 4 kHz u. a. aufgrund hier bereits sehr hohen Schalldämmung der Außenbauteile vernachlässigbar ist, besteht die Option, die Innenschallpegel bei Schienenverkehr in Oktavbändern zu berechnen und energetisch zu summieren.

Auf dieser Grundlage können für verschiedene Arten von Schienenfahrzeugen und Verkehrswegen Aussagen zur Gültigkeit des pauschalen Abschlags von 5 dB in E DIN 4109-2/A1:2017-01 getroffen werden, weiterhin zu den Korrektursummanden in VDI 2719 und 24. BImSchV. Die maßgebliche Gleichung für den Innenschallpegel $L_{i,okt}$ in den Oktavbändern wird durch Umstellen von Gleichung (5) in VDI 2719 erhalten. Die Winkelkorrektur W wird vernachlässigt, der Korrektursummand K ist bei einer Berechnung in Oktavbändern ohne Bedeutung:

$$L_{i,okt} = L_{a,okt} - R'_{w,ges} + 10 \lg(S_S / A) \quad [\text{dB(A)}] \quad (1)$$

mit:

- $L_{i,okt}$ Innenschallpegel im Oktavband in dB(A)
 $L_{a,okt}$ maßgeblicher Außenschallpegel im Oktavband vor der Außenfläche in dB(A)
 $R'_{w,ges}$ gesamtes bewertetes Schalldämm-Maß des Außenbauteils in dB
 S_S vom Raum aus gesehene Gesamtaußenfläche in m^2
 A äquivalente Schallabsorptionsfläche des Empfangsraums; berechnet nach der Beziehung $A = 0,8 \cdot \text{Grundfläche des Raums}$

In den folgenden immissionsseitigen Betrachtungen ist ein Empfangsraum mit einer Raumbreite von 4,0 m zugrunde gelegt, der von der Längsseite beschallt wird. Damit wird der Ausdruck $10\lg(S_S/A)$ in Gleichung (1) gleich 0 dB, entsprechend einem Korrekturwert $K_{AL} = 0$ dB nach DIN 4108-2:2016-07.

Pegel der längenbezogenen A-bewerteten Schalleistung $LW'A$ nach Schall 03

Die Anlage 2 zur 16. BImSchV (Schall 03) [6] enthält die Ausgangswerte, um für die einzelnen Schienenfahrzeuge unter Berücksichtigung von vier Schallquellenarten (Rollgeräusche, Aerodynamische Geräusche, Aggregatgeräusche, Antriebsgeräusche) die Pegel der längenbezogenen A-bewerteten Schalleistung berechnen zu können. Die unterschiedlichen Schallquellen sind unterschiedlichen Quellhöhen zuzuordnen. Abbildung 1 zeigt die Oktavbandpegel als energetische Summe der einzelnen Schallquellen für verschiedene Fahrzeuge.

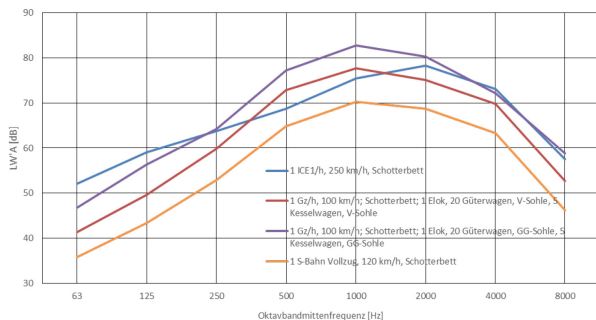


Abbildung 1: Pegel der längenbezogenen A-bewerteten Schalleistung (1-h-Mittelungspegel) für:

- 1 ICE/h, 250 km/h, Schotterbett (blau)
- 1 Güterzug/h, 100 km/h, Schotterbett, 1 E-Lok - 20 Güterwagen - 5 Kesselwagen, Grauguß-Klotzbremsen (violett)
- 1 Güterzug/h, 100 km/h, Schotterbett, 1 E-Lok - 20 Güterwagen - 5 Kesselwagen, Verbundstoff-Klotzbremsen (rot)
- 1 S-Bahn-Vollzug, 120 km/h, Schotterbett (gelb)

Oktavpegel im Abstand von 25 m zum Gleis

Ausgehend von den Pegeln in Abbildung 1 wurden für zwei beispielhafte Situationen die Oktavpegel vor der Fassade des in 25 m Abstand zum Gleis angenommenen Empfangsraums berechnet:

- freie Schallausbreitung
- mit Schallschutzwand (Höhe: 2 m über der Schienenoberkante, Abstand: 3,8 m zur Gleisachse).

Die Höhe des Berechnungspunkts liegt 3,5 m über der Schienenoberkante.

Für einen Vergleich der Frequenzzusammensetzung der Fahrzeuggeräusche, wurde eine Normierung auf einen Summenschallpegel über die Oktavbänder 63 Hz bis 8 kHz von 75 dB(A) bei freier Schallausbreitung bzw. 65 dB(A) bei vorhandener Schallschutzwand vorgenommen, siehe Abbildung 2 und 3.

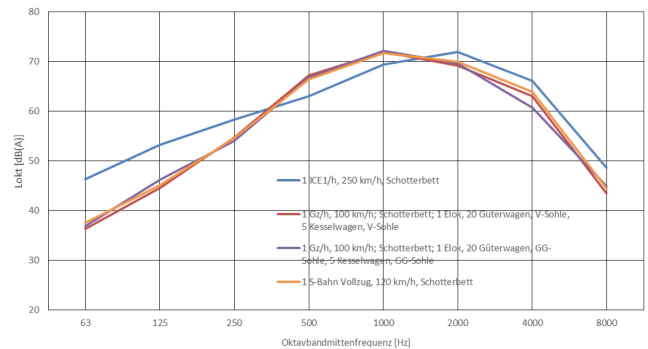


Abbildung 2: Oktavpegel in 25 m Abstand bei freier Schallausbreitung für ICE (blau), Güterzug mit Grauguß-Klotzbremsen (violett), Güterzug mit Verbundstoff-Klotzbremsen (rot), S-Bahn/E-Triebzug (gelb); Summenschallpegel 63 Hz - 8 kHz = 75 dB(A)

Wie Abbildung 2 zeigt, weist die relative Frequenzzusammensetzung für Güterzug mit Grauguß-Klotzbremsen, Güterzug mit Verbundstoff-Klotzbremsen und S-Bahn keine relevanten Unterschiede auf. Der Einsatz der Verbundstoff-Klotzbremsen wirkt sich somit nur auf die Höhe der Geräuschabstrahlung, nicht auf die relative Frequenzzusammensetzung des Geräusches aus. Die Geräuschanteile für Fahrzeugart ICE liegen gegenüber den anderen Fahrzeugen unterhalb der Oktavmittelfrequenz von 250 Hz erkennbar höher. Ursächlich hierfür sind die bei hohen Zuggeschwindigkeiten > 200 km/h verursachten breitbandigen Aerodynamikgeräusche. Die in VDI 2719 und 24. BImSchV hinsichtlich der Innenschallpegel angenommene ungünstigere Frequenzzusammensetzung bei Güterzügen bestätigt sich somit nicht.

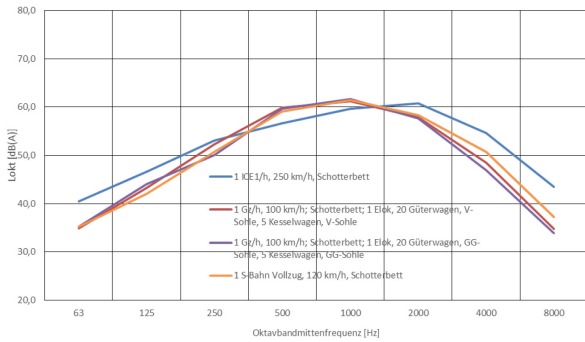


Abbildung 3: Oktavpegel in 25 m Abstand mit Schallschutzwand 2 m über SO für ICE (blau), Güterzug mit Grauguß-Klotzbremsen (violett), Güterzug mit Verbundstoff-Klotzbremsen, S-Bahn/E-Triebzug (gelb); Summenschallpegel 63 Hz - 8 kHz = 65 dB(A)

Aus den fahrzeugbezogenen Oktavpegeln werden zwei exemplarische Verkehrssituationen generiert:

Fernverkehrsstrecke, Schotterbett, 2 ICE/h - 250 km/h, 4 Güterzüge/h - Verbundstoff-Klotzbremsen - 100 km/h.

Nahverkehrsstrecke, Schotterbett, 6 Elektrotriebzüge/h - 140 km/h, 2 Güterzüge/h - Verbundstoff-Klotzbremsen - 80 km/h.

Frequenzspektrum der Schalldämm-Maße von Außenbauteilen

Als Praxisbeispiele für das Frequenzspektrum von Fassaden werden Metallfassaden zugrunde gelegt. Aus den im Prüfstand für die Terzmittenfrequenzen 50 Hz bis 5 kHz festgestellten Schalldämm-Maßen wurden die für die jeweilige Oktavmittenfrequenz kennzeichnenden Schalldämm-Maße durch energetische Mittelung mit den jeweiligen Nachbarerzbändern berechnet. Abbildung 4 stellt den Frequenzverlauf für eine Fassade $R'_{w,ges} = 47$ dB und $R'_{w,ges} = 37$ dB dar. Beide Konstruktionen zeigen bei 63 Hz, also unterhalb des Bewertungsbereichs der DIN 4109, ein vergleichsweise niedriges Schalldämm-Maß, der bei anderen Fassaden größere Werte annehmen kann. In diesem Fall ist bei gleichem Einzahlzahl $R'_{w,ges}$ ein etwas niedrigerer Innenschallpegel zu erwarten.

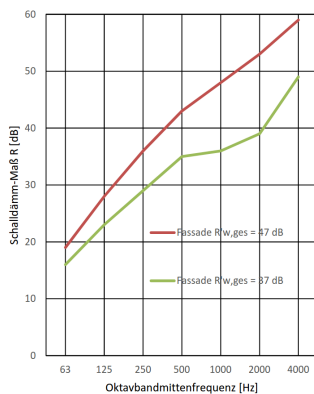


Abbildung 4: Schalldämm-Maße R in Oktavbandbreite als energetische Mittelwerte der in Terzbandbreite vorliegenden Prüfstandswerte

Resultierende Innenschallpegel

In den Abbildungen 5 bis 8 sind die Berechnungsergebnisse für den Innenschallpegel für folgende Schienenverkehrssituationen enthalten:

- Fernverkehr (ICE und Güterzüge), freie Schallausbreitung, $L_a = 75$ dB(A), $R'_{w,ges} = 47$ dB
- Fernverkehr (ICE und Güterzüge), mit Schallschutzwand, $L_a = 65$ dB(A), $R'_{w,ges} = 37$ dB
- Nahverkehr, (E-Triebzüge und Güterzüge), freie Schallausbreitung, $L_a = 75$ dB(A), $R'_{w,ges} = 47$ dB
- Nahverkehr, (E-Triebzüge und Güterzüge), mit Schallschutzwand, $L_a = 65$ dB(A), $R'_{w,ges} = 37$ dB.

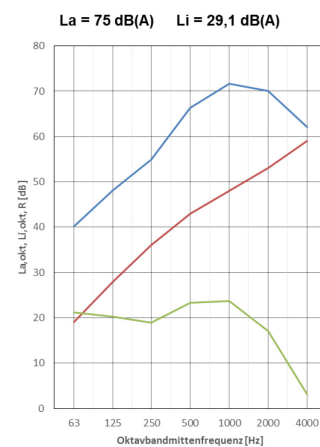


Abbildung 5: Innenschallpegel (grün) Fernverkehr, freie Schallausbreitung, $R'_{w,ges} = 47$ dB

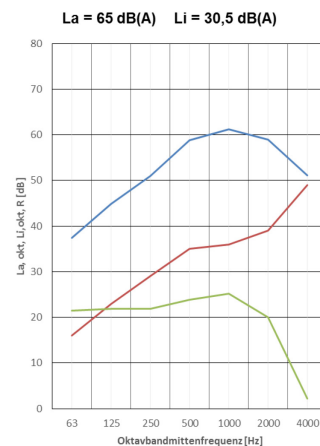


Abbildung 6: Innenschallpegel (grün) Fernverkehr, Schallschutzwand 2 m, $R'_{w,ges} = 37$ dB

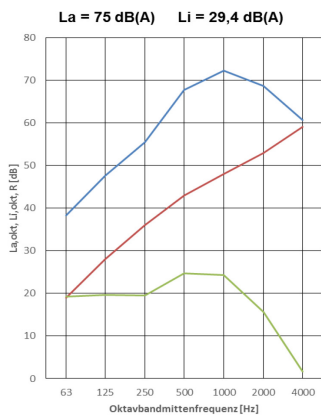


Abbildung 7: Innenschallpegel (grün) Nahverkehr, freie Schallausbreitung, Fassade $R'_{w,ges} = 47$ dB

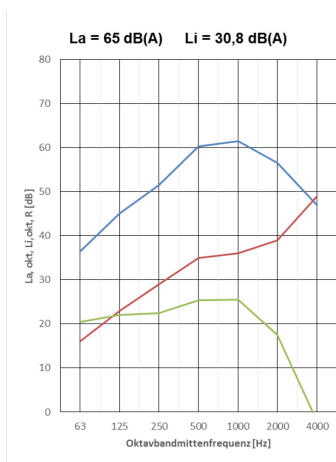


Abbildung 8: Innenschallpegel (grün) bei Nahverkehr, Schallschutzwand 2 m, Fassade $R'_{w,ges} = 37$ dB

Zusammenfassung

Tabelle 2 enthält die ermittelten Innenschallpegel und die daraus resultierenden Korrektursummanden.

Tabelle 2: Innenschallpegel und Korrektursummanden

Verkehrsweg	Innen-schall-pegel L_i in dB(A)	Korrektur-summand K / E in dB
Schienenfernverkehr freie Schallausbreitung, $L_a = 75$ dB(A), $R'_{w,ges} = 47$ dB	29,1	1,1
Schienenfernverkehr 2 m Schallschutzwand $L_a = 65$ dB(A), $R'_{w,ges} = 37$ dB	30,5	2,5
Schienen-nahverkehr freie Schallausbreitung $L_a = 75$ dB(A), $R'_{w,ges} = 47$ dB	29,4	1,4
Schienen-personennahverkehr 2 m Schallschutzwand $L_a = 65$ dB(A), $R'_{w,ges} = 37$ dB	30,8	2,8

Die Korrektursummanden werden durch Umstellen von

Gleichung (5) in VDI 2719 erhalten (Winkelkorrektur W vernachlässigt; $10\lg(S_S/A) = 0$ dB).

$$K = R'_{w,ges} - L_a + L_i - 10\lg(S_S/A) \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

Zusammenfassend ergeben sich folgende Bewertungen:

- Ausgehend von der Auswertung der Oktavpegel vor der Fassade nach Schall 03 ergibt sich keine Begründung für einen erhöhten Korrektursummanden für Güter- gegenüber Personenzügen.
- Der Korrektursummand für Schienenwege von Eisenbahnen beträgt bei freier Schallausbreitung ca. 1 bis 1,5 dB und bei vorhandener Abschirmung ca. 2,5 bis 3 dB.
- Für Schienenwege von Eisenbahnen wird ohne Unterscheidung nach Personen- und Güterzügen ein einheitlicher Korrektursummand E nach 24. BImSchV bzw. K nach VDI 2719 von 3 dB vorgeschlagen.
- Für die in E DIN 4109-2/A1 enthaltene pauschale Minderung des maßgeblichen Außenlärmpegels bei Schienenverkehrsgeräuschen wird ein Wert von 3 dB anstelle 5 dB vorgeschlagen; damit kann eine inhaltlich gleiche Behandlung der Schienenwege von Eisenbahnen in den genannten Regelwerken hergestellt werden.
- Bei bekanntem Frequenzspektrum der Schalldämm-Maße des Außenbauteils besteht die Möglichkeit, alternativ zur Anwendung eines pauschalen Korrektursummanden eine Berechnung für die Oktavbandmittenfrequenzen 63 Hz bis 4 kHz durchzuführen.
- Untersuchungen zu weiteren Verkehrssituationen, ggfs. auch für Straßenverkehr, in Verbindung mit unterschiedlichen Fassadenkonstruktionen sind zweckmäßig, um eine breitere Datenbasis zu erhalten.

Literatur

[1] VDI 2719:1987-08, Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen
 [2] 24. BImSchV (Verkehrsweg-Schallschutzmaßnahmen), zuletzt geändert am 23. September 1997
 [3] DIN 4109:1989-11, Schallschutz im Hochbau
 [4] DIN 4109-2:2006-07, Schallschutz im Hochbau, Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen
 [5] E DIN 4109-2/A1:2017-01, Schallschutz im Hochbau, Teil 2: Änderung A1
 [6] 16. BImSchV (Verkehrslärmschutzverordnung) geändert durch Art. 1 V v. 18.12.2014, Anlage 2 (Schall 03)