

# Das erforderliche Schalldämm-Maß von Umfassungsbauteilen in Abhängigkeit der bekannten Regelwerke zum Schutz gegen Außenlärm

Wilfried Wieland, Nürnberg

**Zusammenfassung** Das erforderliche Schalldämm-Maß von Umfassungsbauteilen von schutzbedürftigen Räumen lässt sich nach VDI 2719 [1], nach „Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmen-Verordnung“ (24. BImSchV) [2], nach DIN 4109:1989 [3] oder nach der aktuell im Weißdruck erschienenen DIN 4109-1:2018 [4] ermitteln. Im folgenden Beitrag werden die benannten Regelwerke anhand einer ausgewählten räumlichen Situation diskutiert. Unterschiede der Regelwerke und mögliche Verbesserungsansätze, insbesondere der neuen DIN 4109:2018-01[4], werden aufgezeigt.

**A**ufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Grund und Boden ist eine Nachverdichtung insbesondere in urbanen Lagen notwendig. Investoren und Baugesellschaften sind infolgedessen zunehmend gezwungen, auf lärmbelastete Grundstücke und Industriebrachen zurückzugreifen. Durch die lärmexponierte Lage der Objekte wird eine schallschutztechnische Dimensionierung der Gebäudehülle zum Schutz gegen Außenlärm erforderlich. Das erforderliche Schalldämm-Maß von Fassaden von schutzbedürftigen Räumen lässt sich nach VDI 2719 [1], nach „Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung“ (24. BImSchV) [2], nach DIN 4109:1989 [3] oder nach der aktuell im Weißdruck erschienenen DIN 4109:2018 [4] ermitteln.

Die sich nach den benannten Regelwerken ergebenden – unterschiedlichen – Anforderungen an die Fassadenschalldämmungen werden anhand eines fiktiven Musterraums für ausgewählte Lärmeinwirkungen von Verkehrswegen gegenübergestellt und diskutiert.

## Rechenansätze der Regelwerke

Das gesamte bewertete Bau-Schalldämm-Maß der Umfassungsbauteile beziehungsweise das resultierende Bau-Schalldämm-Maß der Umfassungsbauteile wird entsprechend den nachstehenden Berechnungsansätzen der hier betrachteten Regelwerke ermittelt.

Um einen direkten Vergleich der Regelwerke vornehmen zu können, wurde das bewertete Schalldämm-Maß, das im Prüfstand ermittelt wird, – auch als „Labor-Schalldämm-Maß“ bezeichnet – herangezogen. Hierfür wurden die resultierenden Bau-Schalldämm-Maße um das sogenannte Vorhaltemaß erweitert:

$$\text{DIN 4109:1989-11} \quad R'_{w,p, \text{res}} = \text{Tabellenverfahren (5 dB Schritte)} + 2\text{dB (Vorhaltemaß)}$$

$$\text{DIN 4109-2:2018-01} \quad R'_{w, \text{ges}} = L_a - K_{\text{Raumart}} + 10 \lg \left( \frac{S_s}{0,8 \cdot S_G} \right) + 2\text{dB}$$

$$\text{VDI 2719:1987-08} \quad R'_{w,p, \text{res}} = L_a - L_i + 10 \lg \left( \frac{S_g}{A} \right) + K + W + 2\text{dB (Vorhaltemaß)}$$

$$\text{24. BImSchV} \quad R'_{w,p, \text{res}} = L_{r,T,N} + 10 \lg \left( \frac{S_g}{A} \right) - D + E + 2\text{dB (Vorhaltemaß)}$$

## The required sound reduction index of exterior building elements subject to the relevant regulations and standards for protection against external noise

**Abstract** The required sound reduction index of exterior building elements of rooms requiring sound insulation can be determined according to German standards VDI 2719 1, “Federal Immission Control Ordinance” (24. BImSchV) [2], DIN 4109:19898 [3] or according to DIN 4109-1:2018 [4], which first appeared last January. The following essay presents a discussion about the before-mentioned regulations under consideration of a particular spatial situation. Varieties amongst the regulations and possible measures for improvement, especially of the new DIN 4109:2018-01 [4], are presented.

Das erforderliche, resultierende Schalldämm-Maß entsprechend der DIN 4109:1989 [3], wird anhand der Tabelle 8 der Norm, in Abhängigkeit der Lärmpegelbereiche und somit in 5 dB Schritten, ermittelt. Der Nachtzeitraum wird nicht gesondert betrachtet. Durch die Neufassung der Schall 03 entfällt bei der Ermittlung der Beurteilungspegel der sogenannte Schienenbonus, das heißt, eine spektrale Würdigung der Geräuschquelle findet in der DIN 4109:1989 [3] nicht mehr statt.

Die neue DIN 4109-1:2018-01 liefert eine in Abhängigkeit des Außenlärmpegels linear ansteigende, erforderliche Schalldämmung. Beträgt die Differenz der Beurteilungspegel zwischen Tag und Nacht weniger als 10 dB, so ergibt sich für Räume, die überwiegend zum Schlafen genutzt werden können, ein Zuschlag auf den Beurteilungspegel für die Nacht von 10 dB. Im Zuge der Neufassung der DIN 4109-2:2018-01 wird die spektrale Zusammensetzung von Schienenverkehrsgeräuschen in Verbindung mit dem Frequenzspektrum der Schalldämm-Maße von Außenbauteilen berücksichtigt und eine pauschale Minderung des Beurteilungspegels um 5 dB vorgenommen.

Die VDI 2719 [1] als auch die 24. BImSchV [2] liefern eine in Abhängigkeit des Außenlärmpegels linear ansteigende, erforderliche Schalldämmung der Umfassungsbauteile. Es wird in Abhängigkeit der Raumnutzung der Nachtzeitraum separat bewertet. Des Weiteren erfolgt eine differenzierte Berechnung der er-

forderlichen Schalldämmung in Abhängigkeit der Verkehrsarten bzw. der spektralen Geräuschzusammensetzung durch sogenannte Korrektursummanden (VDI 2719: Korrektursummand K; 24. BImSchV: Korrektursummand E).

In der VDI 2719 wird ein Pegelbereich von im Mittel 5 dB als „Anforderungskorridor“ angegeben, während in den anderen Regelwerken jeweils eine einzelne Anforderungsgröße festgelegt wird. In der VDI 2719 wird darüber hinaus unterschieden, ob Wohnungen in reinen und allgemeinen Wohngebieten oder in sonstigen Gebieten (nachfolgend zur besseren Unterscheidbarkeit etwas einschränkend mit Kern- und Mischgebiet bezeichnet) liegen.

### Vergleichsberechnungen

Die Regelungen in der ursprünglichen Neufassung der DIN 4109:2016-07 mit den in die konsolidierte Fassung der Norm vom Januar 2018 eingeflossenen Änderungen führten zu umfangreichen Diskussionen in der Fachwelt und sollen daher einem Vergleich mit den bisher verbreitet angewendeten Regelwerken unterzogen werden.

Durch Vergleichsberechnungen werden für die ausgewählten Verkehrsquellen Autobahn und DB-Hauptabfuhrstrecke sowie für unterschiedliche Raumnutzungen (Wohn- und Schlafraum, Büroraum) die wesentlichen Unterschiede zwischen den Regelwerken transparent gemacht.

Aufgrund der Art der betrachteten Verkehrswege ist der Spitzenpegel in den vorliegenden Fällen nicht maßgebend.

Als Musterraum bzw. Muster-Immissionsort wurde ein Raum mit den Abmessungen Breite x Tiefe x Höhe = 5 m x 4 m x 3 m definiert. Somit beträgt die Grundfläche 20 m<sup>2</sup>, und die vom Raum aus in Richtung Geräuschquelle gesehene Gesamtaußenfläche umfasst 15 m<sup>2</sup>. Die Fensterfläche wurde mit 6 m<sup>2</sup> bzw. mit 40% der Außenfläche angenommen.

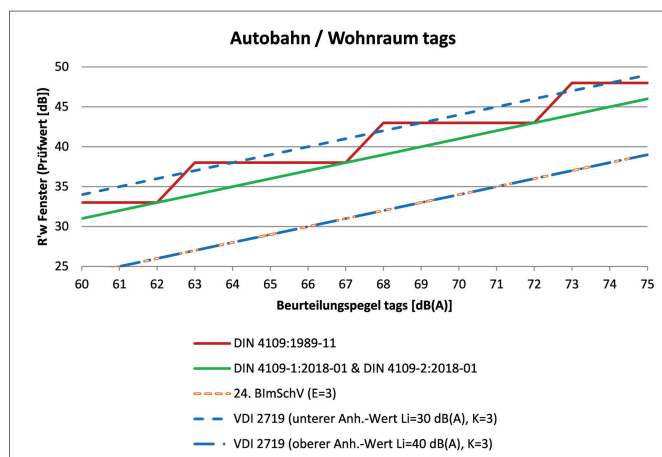
Das Schalldämm-Maß der opaken Außenwand beträgt mindestens 50 dB bzw. liegt 15 dB über dem des Fensters, sodass unter Beachtung der Flächenverhältnisse der Einfluss der Außenwand auf das erforderliche Schalldämm-Maß des Fensters vernachlässigt werden kann. Rechnerisch ergibt sich damit eine konstante Differenz zwischen resultierendem bewerteten Schalldämm-Maß der Fassade und dem bewerteten Schalldämm-Maß des Fensters von 4 dB.

In den nachfolgenden Vergleichsberechnungen wird die Art der Raumnutzung bzw. des Immissionsortes variiert und das erforderliche Schalldämm-Maß des Fensters des Musterraums für die benannten Regelwerke in Abhängigkeit des Beurteilungspegels des Tag- bzw. des Nachtzeitraums berechnet bzw. dargestellt:

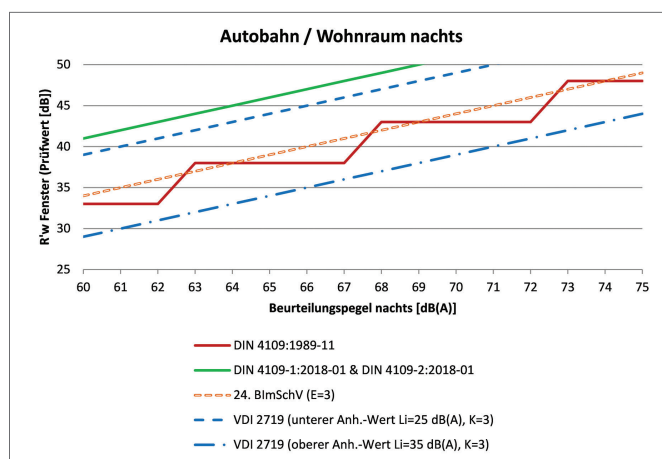
### Ergebnisse für Raumnutzungen an einer Autobahn

Die Gegenüberstellung in **Bild 1** liefert folgende Ergebnisse:

- Die erforderliche Fensterschalldämmungen der DIN 4109:2018 [4;5] und der DIN 4109:1989 sind, abgesehen von den lärmpegelbedingten Stufen (5 dB Stufen), identisch.
- Die neue DIN 4109 [4] führt zu einer sinnvollen und technisch richtigen Verstärkung der Anforderung an die Fensterschalldämmung.
- Für den Wohnraum ermitteln sich mittels der DIN 4109:1989 sowie der VDI 2719 mit dem unteren Anhaltswert die höchsten erforderlichen Schalldämm-Maße.
- Die erforderlichen Fensterschalldämm-Maße nach der VDI 2719 mit dem oberen Anhaltswert (in einem Misch- oder Kerngebiet) entsprechen den berechneten Anforderungen aus



**Bild 1.** Emissionsquelle: Autobahn / Immissionsort: Wohnnutzung tags (z. B. Wohnzimmer).



**Bild 2.** Emissionsquelle: Autobahn / Immissionsort: Wohnnutzung nachts (z. B. Schlafzimmer).

der 24. BImSchV, während sich für Wohnräume in reinen oder allgemeinen Wohngebieten nach VDI 2719 um 5 dB strengere Anforderungen ergeben.

- Die maximale Differenz zwischen der niedrigsten und höchsten erforderlichen Fensterschalldämmung entsprechend den benannten Regelwerken beträgt  $\Delta R = 11$  dB.

Die Gegenüberstellung in **Bild 2** liefert folgende Ergebnisse:

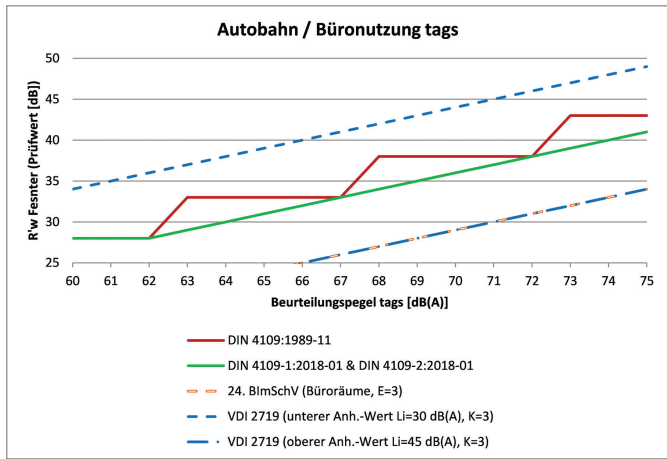
- Die erforderliche Fensterschalldämmung der DIN 4109:2018 [4;5] und der DIN 4109:1989 unterscheidet sich um bis zu 10 dB.
- Auf den ersten Blick liefert hier die neue DIN 4109:2018 [4;5] die höchste Anforderung. Bei der Interpretation des Diagramms muss jedoch berücksichtigt werden, dass im Rahmen der Ermittlung des maßgeblichen Außenlärmpegels der Beurteilungspegel durch einen 10 dB Zuschlag für den Nachtzeitraum angehoben wird, um bei Anwendung der selben Berechnungsformel wie für den Tagzeitraum einen um 10 dB geringeren Innenpegel während des Nachtzeitraums zum „Schutz des Nachtschlafs“ sicherstellen zu können. Üblicherweise wird sich der Beurteilungspegel tags/ nachts um voraussichtlich mindestens 3 dB unterscheiden, sodass die neue DIN 4109 [4;5] im Praxisfall etwas unter-

halb der strengsten VDI 2719 Anforderungskurve (unterer Anhaltswert  $L_i = 25 \text{ dB(A)}$ ) zum Tragen kommt.

- Die erforderlichen Fensterschalldämm-Maße der DIN 4109:1989 stimmen mit den berechneten Anforderungen aus der 24. BImSchV in ihrer Größenordnung überein. Die Anforderungen der 24. BImSchV liegen exakt zwischen den beiden VDI-Anforderungskurven und damit zwischen dem oberen Anhaltswert für Wohnräume in einem Kern- oder Mischgebiet bzw. dem unteren Anhaltswert für Wohnräume in einem reinen oder allgemeinen Wohngebiet.
- Die maximale Differenz zwischen der niedrigsten und höchsten erforderlichen Fensterschalldämmung entsprechend den benannten Regelwerken beträgt  $\Delta R = 12 \text{ dB}$ .

Die Gegenüberstellung in **Bild 3** liefert folgende Ergebnisse:

- Die erforderliche Fensterschalldämmung der DIN 4109:2018 [4;5] und der DIN 4109:1989 ist, abgesehen von den lärmpegelbedingten Stufen (5 dB Stufen), identisch.



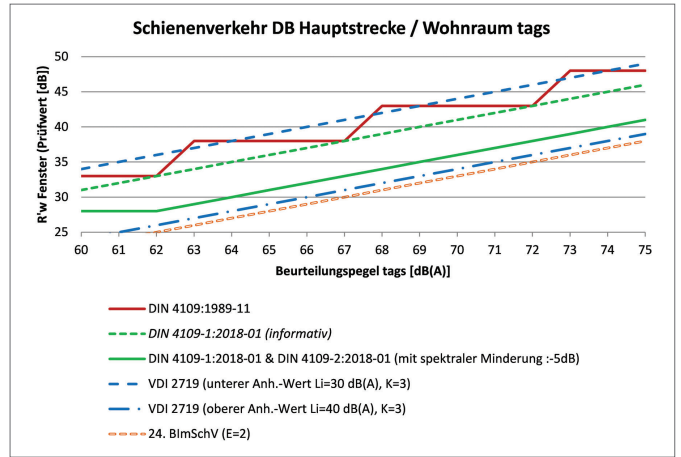
**Bild 3.** Emissionsquelle: Autobahn / Immissionsort: Büronutzung (hier: Büroräume allgemein).

- Die neue DIN 4109 führt zu einer sinnvollen und technisch richtigen Verstärkung der Anforderung an die Fensterschalldämmung.
- Für den akustisch sensiblen Büroraum (Einzelbüro, Konferenzraum) liefert die VDI 2019 mit dem unteren Anhaltswert die höchsten erforderlichen Fenster-Schalldämm-Maße.
- Die erforderlichen Fensterschalldämm-Maße der VDI 2719 mit dem oberen Anhaltswert für Mehrpersonenbüros mit geringem Schutzniveau entsprechen den berechneten Anforderungen aus der 24. BImSchV.
- Die maximale Differenz zwischen der niedrigsten und höchsten erforderlichen Fensterschalldämmung entsprechend den benannten Regelwerken beträgt  $\Delta R = 15 \text{ dB}$ .

**Ergebnisse für Raumnutzungen an einer Hauptstrecke der Deutschen Bahn**

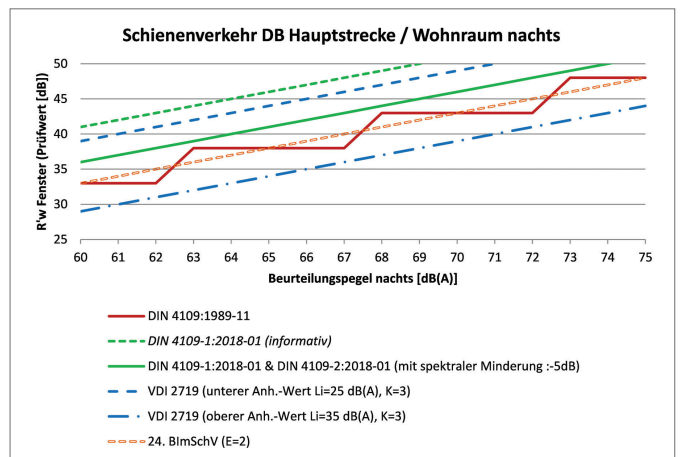
Die Gegenüberstellung in **Bild 4** liefert folgende Ergebnisse:

- Die Anforderungskurve der neuen DIN 4109 [4] ohne Berücksichtigung der spektralen Würdigung des Schienenverkehrs (-5 dB Minderung) wird nur informativ angegeben und soll im Wesentlichen die Auswirkung veranschaulichen, insbesondere da in der Fachwelt die spektrale Minderung von 5 dB noch diskutiert wird.



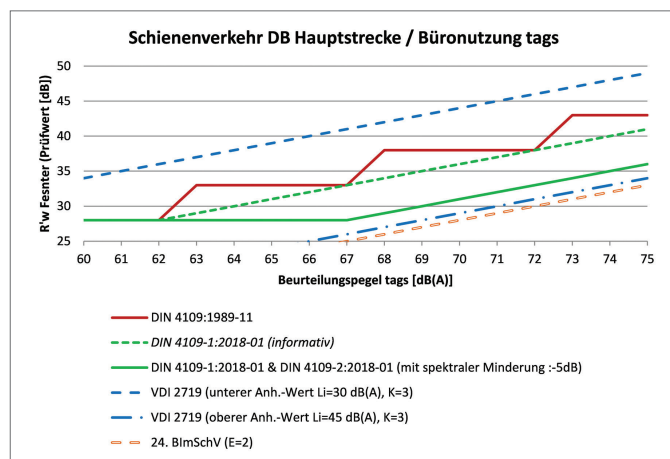
**Bild 4.** Emissionsquelle: DB Hauptstrecke mit Güterverkehr (mehr als 60 % Güterzüge tags und nachts) Immissionsort: Wohnnutzung tags (z. B. Wohnzimmer).

- Durch die pauschale Minderung des Beurteilungspegels für Schienenverkehr liegt die Kurve für die erforderliche Fensterschalldämmung der DIN 4109:2018 [4;5] um mindestens 5 dB und bis zu 9 dB unter der Anforderungskurve der DIN 4109:1989.
  - Für den Wohnraum ermitteln sich mittels der DIN 4109:1989 sowie der VDI 2719 mit den unteren Anhaltswerten für Wohnungen in reinen und allgemeinen Wohngebieten die höchsten erforderlichen Schalldämm-Maße, während sich für Wohnungen in Misch- und Kerngebieten etwa ein um 3 dB strengeres Anforderungsniveau ergibt, als nach DIN 4109:2018.
  - Die erforderlichen Fensterschalldämm-Maße der VDI 2719 mit dem oberen Anhaltswert entsprechen annähernd den berechneten Anforderungen aus der 24. BImSchV.
  - Die maximale Differenz zwischen der niedrigsten und höchsten erforderlichen Fensterschalldämmung entsprechend den benannten Regelwerken beträgt  $\Delta R = 12 \text{ dB}$ .
- Die Gegenüberstellung in **Bild 5** liefert folgende Ergebnisse:



**Bild 5.** Emissionsquelle: DB Hauptstrecke mit Güterverkehr (mehr als 60 % Güterzüge tags und nachts) Immissionsort: Wohnnutzung nachts (z. B. Schlafzimmer).

- Die Anforderungskurve der neuen DIN 4109 [4] ohne Berücksichtigung der spektralen Würdigung des Schienenverkehrs (-5 dB Minderung) wird nur informativ angegeben und soll im Wesentlichen die Auswirkung veranschaulichen.
- Mit Berücksichtigung der Spektrenanpassung (pauschale Minderung des Beurteilungspegels um 5 dB) für Schienenverkehr liegt die Kurve für die erforderliche Fensterschalldämmung der DIN 4109:2018 [4;5] um 3 dB unterhalb der strengsten Empfehlung der VDI 2719 (Wohnungen in reinen und allgemeinen Wohngebieten) bzw. 3 dB über der Anforderungskurve der 24. BImSchV. Werden Wohnungen in Kern- und Mischgebieten betrachtet, so liegen die Anforderungen nach VDI 2719 (unterer Anhaltswert) 2 dB unterhalb der Anforderung nach DIN



**Bild 6.** Emissionsquelle: DB Hauptstrecke mit Güterverkehr (mehr als 60 % Güterzüge tags und nachts) Immissionsort: Büroanutzung (hier: Büroräume allgemein).

4109:2018 [4;5] und 1 dB über den Anforderungen nach der 24. BImSchV.

- Die erforderlichen Fensterschalldämm-Maße der DIN 4109:1989 stimmen mit den berechneten Anforderungen aus der 24. BImSchV in ihrer Größenordnung überein. Die Anforderungen der 24. BImSchV liegen annähernd im Mittel der Anforderungskurven nach VDI 2719.
- Die maximale Differenz zwischen der niedrigsten und höchsten erforderlichen Fensterschalldämmung, entsprechend den benannten Regelwerken, beträgt  $\Delta R = 10$  dB. Die Gegenüberstellung in **Bild 6** liefert folgende Ergebnisse:
- Die Anforderungskurve der neuen DIN 4109 [4] ohne Berücksichtigung der spektralen Würdigung des Schienenverkehrs (-5 dB Minderung) wird nur informativ angegeben und soll im Wesentlichen die Auswirkung veranschaulichen.
- Durch die pauschale Minderung des Beurteilungspegels für Schienenverkehr liegt die Kurve für die erforderliche Fensterschalldämmung der DIN 4109:2018 [4;5] knapp über den Anforderungskurven der VDI 2017 mit den oberen Anhaltswerten (z. B. Mehrpersonenbüroanutzung) sowie der 24. BImSchV.
- Für den Büroraum führt die VDI 2719 mit den unteren Anhaltswerten (Einzelbüro, Besprechungsräume) zu den höchsten erforderlichen Schalldämm-Maßen.
- Die maximale Differenz zwischen der niedrigsten und höchsten erforderlichen Fensterschalldämmung, entsprechend den benannten Regelwerken, beträgt  $\Delta R = 16$  dB, bzw. bei Beschränkung des Vergleichs auf Mehrpersonenbüros  $\Delta R = 11$  dB.

### Zusammenfassung und Ausblick

In der nachfolgenden **Tabelle 1** werden die betrachteten Regelwerke insbesondere bezüglich der Beachtung der schall-schutztechnischen Aspekte:

- Berücksichtigung des Nachtzeitraums
- spektrale Würdigung der Geräuschquelle zusammengefasst:

Regelwerk	Berücksichtigung des Nachtzeitraums	Spektrale Würdigung der Geräuschquelle	Fazit / Ausblick
DIN 4109:1989-11	fehlt bzw. nicht explizit genannt	-fehlt-	Regelwerk ist aktuell <u>noch</u> in vielen Bundesländern baurechtlich eingeführt. Weder der Nachtzeitraum noch die Quellenart wird berücksichtigt. Die Lärmpegelbereiche führen darüber hinaus zu einer Unstetigkeit der Anforderung.
DIN 4109-1:2018-01 & DIN 4109-2:2018-01	Nachtzeitraum wird mit einer verschärften Innenpegelanforderung um 10 dB abgebildet.	sehr vereinfachende allgemeine Berücksichtigung der spektralen Geräuschzusammensetzung für Schienenverkehr	Eine weitergehende Differenzierung zur spektralen Würdigung der Geräuschquelle erscheint notwendig. Tendenziell wird das Schutzziel im Nachtzeitraum bei geringen Differenzen zwischen Tagpegel und Nachtpegel übererfüllt.
VDI 2719:1987-08	Nachtzeitraum wird mit einer verschärften Innenpegelanforderung um 5 dB abgebildet.	Es stellt sich die Frage, inwieweit die Korrektursummanden der VDI noch zeitgemäß/richtig sind?	Die Anhaltswerte sind auf das Schutzziel, den Innenpegel abgestellt. In der VDI können Nutzeranforderungen bzw. Innenpegelanforderungen individuell abgebildet werden.
24. BImSchV	Nachtzeitraum wird mit einer verschärften Innenpegelanforderung um 10 dB abgebildet.	Es stellt sich die Frage, inwieweit die Korrektursummanden der 24. BImSchV noch zeitgemäß/richtig sind?	Stellt den Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Verkehrsgeräusche sicher.

**Tabelle 1.** Kurzzusammenfassung der Regelwerke.

## Fazit

Die großen Differenzen zwischen den erforderlichen Schalldämm-Maßen in Abhängigkeit des Regelwerks führen in der Praxis zu einer zunehmenden Unsicherheit bezüglich der rechtssicher anzuwendenden Regelwerke. Lässt man die VDI 2719 mit lediglich empfehlendem Charakter außen vor, so ergeben sich immer noch Abweichungen von über 10 dB zwischen den Anforderungen, das sind 2 Fensterschallschutzklassen!

Sowohl die 24. BImSchV als auch die alte und neue DIN 4109 sollen vor unzumutbaren Belästigungen bzw. vor schädlichen Umwelteinwirkungen schützen, das heißt, die Regelwerke sollen Anforderungen zur Sicherstellung des Gesundheitsschutzes bzw. des Mindestschallschutzes definieren. Insbesondere die Beispiele der Emissionsquelle Autobahn (Bild 1- 3) zeigen, dass die neue DIN 4109:2018 [4;5] unabhängig vom Zeitraum im vorliegenden Fall eine um 7 dB höhere Fenster-Schalldämmung als die 24. BImSchV fordert. Für den Fall der innerstädtischen Straße beträgt die Abweichung aufgrund des höheren Korrektursummanden (BImSchV: E = 6 dB) immerhin noch 4 dB.

Die neue DIN 4109:2018 [4;5] führt für Lärmeinwirkungen aus Straßenverkehr im Allgemeinen zu Anforderungen, die circa ein bis zwei Fensterschallschutzklassen über den Anforderungen der 24. BImSchV liegen. Insbesondere maßgebliche Einwirkungen im Nachtzeitraum aus Straßenverkehrslärm von stark befahrenen Straßen lassen Innenpegel erwarten, die voraussichtlich eher dem erhöhten Schallschutz und nicht dem Mindestschallschutz entsprechen. Bei sehr geringen Schallpegeln in den Innenräumen könnte der Schallschutz zwischen fremden Wohnungen aufgrund der verringerten Verdeckung vermehrt bemängelt werden.

Eine differenzierte spektrale Würdigung der Schallquellen fehlt in der Neufassung der DIN 4109:2018. Eine entsprechende Überarbeitung der DIN 4109:2018 in Anlehnung an VDI 2719, 24. BImSchV sowie an den aktuellen Wissensstand [6] wird empfohlen, genauso wie die Überarbeitung der VDI 2719 als Planungswerkzeug.

Die konkrete Benennung des Schutzziels, das heißt, die Festlegung der zulässigen Innenpegel im Tag- und Nachtzeitraum, wäre im Zuge einer Überarbeitung der DIN 4109 wünschenswert.

Eine Harmonisierung der Regelwerke 24. BImSchV als auch der DIN 4109, welche vor unzumutbaren Belästigungen bzw. vor schädlichen Umwelteinwirkungen schützen sollen, ist angezeigt.

Regelwerke, wie die VDI 2719, zeigen ein Anforderungsspektrum auf, welches Berater und Planer nutzerspezifisch einsetzen können. Die nutzerspezifische Planung ist genauso erforderlich wie die Festlegung von Mindestanforderungen, um sowohl spezifische Bauherrenwünsche als auch den Gesundheitsschutz erfüllen zu können.

Dipl.-Ing. (FH) **Wilfried Wieland**, M.Eng., M.BP.  
Geschäftsführender Gesellschafter,  
Wolfgang Sorge Ingenieurbüro für Bauphysik GmbH & Co. KG,  
Nürnberg

## Literatur

- [1] VDI 2719:1987-08. Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen.
- [2] 24. BImSchV., Verkehrswege-Schallschutzmaßnahmenverordnung, Ausgabe 1997-02
- [3] DIN 4109:1989-11. Schallschutz im Hochbau, Anforderungen und Nachweise. Berlin: Beuth-Verlag, 2011.
- [4] DIN 4109-1:2018-01; Schallschutz im Hochbau – Teil 1: Mindestanforderungen. Berlin: Beuth-Verlag, 2018.
- [5] DIN 4109-2:2018-01; Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen. Berlin: Beuth-Verlag, 2018.
- [6] *Kübler, B.; Leupoldt P.*: Untersuchung des Bemessungsansatzes der VDI 2719 für den Schallschutz von Fenstern unter Berücksichtigung aktueller Außenlärmspektren des Bahn- und Fluglärms, Bauphysik Heft 5,10. Ausgabe 2017.