

Untersuchung der Regelwerke für den passiven Schallschutz unter Berücksichtigung aktueller Verkehrslärmspektren

Wilfried Wieland, Jan Weinzierl

Wolfgang Sorge Ingenieurbüro für Bauphysik GmbH & Co. KG, 90449 Nürnberg, E-Mail: bauphysik@ifbsorge.de

Zusammenfassung

In den Regelwerken zum passiven Schallschutz von Umfassungsbauteilen wird das erforderliche Schalldämm-Maß der Fassade als Einzahlwert entsprechend dem Bewertungsverfahren nach DIN EN ISO 717-1 [1] ermittelt. Um die spektrale Zusammensetzung verschiedener Lärmquellen und die frequenzabhängige Schalldämmung von Fassadenbauteilen zu berücksichtigen, werden in den einschlägigen Regelwerken Korrektursummanden bzw. Spektrum-Anpassungswerte verwendet. Im folgenden Beitrag wird der Einfluss verschiedener Außenlärmspektren und frequenzabhängiger Schalldämm-Maße auf den Innenpegel diskutiert. Insbesondere werden die Unterschiede zwischen Holz- und Massivbauweise bezüglich des Schutzziels bzw. des Innenpegels betrachtet. Die Untersuchungen zeigen, dass keine generelle Differenzierung zwischen Leicht- und Massivbauweise erforderlich ist. Für hochschalldämmende Leichtbaukonstruktionen mit einem $C_{tr,50-5000} < -8$ dB wird jedoch ein Korrekturterm für das erforderliche Fassaden-Schalldämm-Maß zur Sicherstellung des Schutzziels vorgeschlagen.

Einleitung

Infolge Entwicklung demographischer und ökonomischer Veränderungsprozesse werden Städte immer attraktiver, innerstädtischer Wohnraum allerdings auch immer knapper. Vielerorts wird durch urbane Nachverdichtung und eine optimierte Nutzung vorhandener Flächen neuer Wohnraum geschaffen. Ökonomisch betrachtet bringt diese Nachverdichtung oft Vorteile, durch die Nutzung bereits vorhandener städtebaulicher und institutioneller Infrastruktur können Investitionen gering gehalten werden. Diese Nachverdichtung führt unter anderem zu einem Heranrücken der Bebauung an städtische Verkehrsstrassen mit entsprechend hohen Außenlärmpegeln. Um den Gesundheitsschutz bzw. ein ausreichendes Innenpegelniveau sicherzustellen, werden insbesondere in lärmexponierten innerstädtischen Lagen hohe Anforderungen an den passiven Schallschutz gestellt. Neben hohen Fensterschalldämm-Maßen sind auch entsprechend hohe Schalldämm-Maße der opaken Fassaden angezeigt. Diese hohen Schalldämm-Maße lassen die Notwendigkeit einer Differenzierung zwischen Massivbauweise und Leichtbauweise aufgrund der unterschiedlichen spektralen Schalldämm-Verläufe der Bauweisen zur Sicherstellung des Schutzziels erwarten.

Im Rahmen einer Bachelorarbeit im Wolfgang Sorge Ingenieurbüro für Bauphysik GmbH & Co. KG wurde untersucht, wie genau sich das komplexe Verhalten der frequenzabhängigen Schalldämmung verschiedener Bauteile und Außenlärmspektren adäquat über einen Einzahlwert abbilden lässt. Zum Vergleich der Prognosegenauigkeit der beiden für den passiven Schallschutz relevanten Regelwerke

DIN 4109 [2] und VDI 2719 [3] wurde ein spektrales Prognosemodell erstellt, mit dem der frequenzabhängige Schalldämmverlauf von Fassadenkonstruktionen bestimmt werden kann. Unter Berücksichtigung verschiedener Außenlärmspektren ist es möglich, mit dem Modell ein Innenpegelspektrum zu prognostizieren, das in den folgenden Betrachtungen zum Vergleich der Berechnungsansätze als maßgebliche Größe dient. Im Besonderen wurde der Einfluss der Fassadenausführung in Leicht- und Massivbauweise betrachtet.

Innerstädtische Verkehrsgeräusche

Da das Augenmerk der Untersuchungen auf lärmexponierte, innerstädtische Lagen fiel, wurden Verkehrsgeräuschmessungen an insgesamt sieben Straßen im Nürnberger Großraum durchgeführt. Hierfür wurden stark befahrene zwei- und vierspurige Straßen mit einer Richtgeschwindigkeit von 50 km/h gewählt.

Abbildung 1 stellt den gemittelten Frequenzverlauf der Messungen dar. Daneben ist der Mittelwert der von Wolfgang Moll im Jahr 1985 [4] gemessenen Verkehrslärmspektren aufgetragen. Beide Spektren sind A-bewertet und auf einen Summenpegel von 70 dB(A) normiert. Es ist bei den aktuellen Messungen eine wesentliche Verringerung der Pegelanteile im Bereich unter 500 Hz gegenüber den Messungen von Moll feststellbar. Die Abnahme in diesem Frequenzbereich kann auf technologische Entwicklungen der Fahrzeugindustrie im Bereich der Motor- und Antriebsgeräusche zurückgeführt werden, während bei der im höheren Frequenzbereich dominierenden Reifen-Fahrbahn-Interaktion keine signifikanten Unterschiede bemerkbar sind. Das gemittelte Verkehrslärmspektrum diente als Eingangsgröße für die Innenpegelermittlung über das spektrale Prognosemodell.

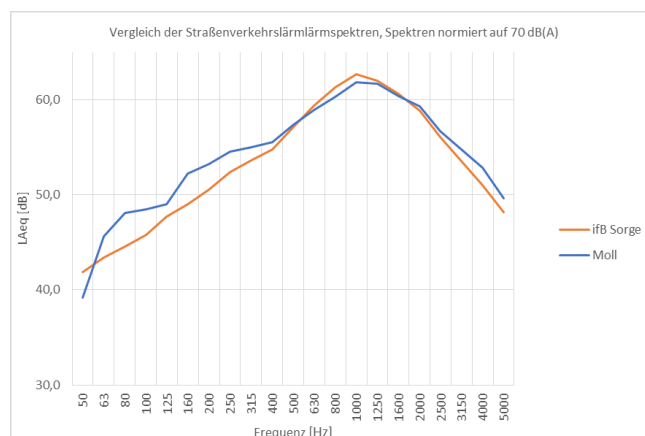


Abbildung 1: Vergleich der gemessenen Straßenverkehrslärmspektren

Innenpegelermittlung nach DIN 4109/VDI 2719

Da die DIN 4109 den Innenpegel nicht als Anforderungsgröße definiert, wurde die Annahme getroffen, dass der Korrekturwert für Raumarten $K_{Raumart}$ dem einzuhaltenden Innenpegel $L_{i,DIN}$ der DIN 4109 entspricht. Somit gilt für die Innenpegelermittlung nach DIN 4109 unter Berücksichtigung von $C_{tr,50-5000}$:

$$L_{i,DIN\&Ctr} = L_a - R'_{w,ges} + 10lg\left(\frac{S_S}{0,8 \cdot S_G}\right) + 2dB - C_{tr} \quad (1)$$

In der VDI 2719 ist der einzuhaltende Innenpegel als direkte Anforderungsgröße definiert. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde für die Innenpegelermittlung dieselbe Nomenklatur wie bei der DIN 4109 verwendet. Um in allen Verfahren einheitlich mit Prüfwerten zu rechnen, wird die Formel der VDI 2719 pauschal um 2 dB erhöht. Die aus der VDI 2719 bekannte Formel

$$L_{i,VDI} = L_a - R'_{w,res} + 10lg\left(\frac{S_G}{A}\right) + K \quad (2)$$

wird mit

$$\begin{aligned} R'_{w,res} &\rightarrow R'_{w,ges} \\ S_G &\rightarrow S_S \\ A &\rightarrow 0,8 \cdot S_G \end{aligned}$$

zu

$$L_{i,VDI} = L_a - R'_{w,ges} + 10lg\left(\frac{S_S}{0,8 \cdot S_G}\right) + K + 2dB \quad (3)$$

Es zeigt sich, dass sich die Rechenverfahren der DIN 4109 und der VDI 2719 lediglich um den Korrektursummanden K unterscheiden, welcher bei den Betrachtungen zu innerstädtischem Straßenverkehr 6 dB beträgt.

Spektrales Innenpegelprognosemodell

Um die absoluten Ergebnisse der Rechenverfahren der DIN 4109 und der VDI 2719 zu beurteilen, wurde ein vermeintlich exaktes, spektrales Prognosemodell erstellt. Als Eingangsdaten für das Schalldämm-Maß diente hierfür bei massiven Konstruktionen das spektrale Rechenverfahren der DIN EN ISO 12354-1 [5]. Sowohl für Holz- und Leichtbaukonstruktionen als auch für Fenster wurden Daten aus Prüfstandsmessungen [6] herangezogen. Hierbei wurde für die Fenster die Annahme getroffen, dass das frequenzabhängige Schalldämm-Maß der Verglasung dem spektralen Schalldämm-Maß des vollständigen Fensters entspricht. Bei den Berechnungen im Massivbau wurde die Schallübertragung der flankierenden Bauteile berücksichtigt. Um einen quantitativen Vergleich zu den anderen Verfahren herstellen zu können, wurde ebenfalls mit Prüfwerten gerechnet und der Innenpegel dementsprechend pauschal um 2 dB erhöht. Für den spektralen Innenpegel gilt somit:

$$L_i(f) = L_a(f) - R'_{ges}(f) + 10lg\frac{S_S}{A(f)} + 2dB \quad (4)$$

Die in den Einzahlverfahren mit dem 0,8-fachen der Raumgrundfläche angesetzte äquivalente Absorptionsfläche A wird im spektralen Verfahren differenziert betrachtet. Um das spektrale Prognosemodell zu kalibrieren, wurden

Fassadenschallmessungen gemäß DIN 16283-3 durchgeführt, für die auch Nachhallzeitmessungen notwendig waren. Bei den Messungen zeigte sich im Frequenzbereich unter 100 Hz eine deutlich geringere äquivalente Absorptionsfläche als das 0,8-fache der Raumgrundfläche, während der Bereich über 100 Hz größere Werte aufweist. Als konservativer Ansatz für die äquivalente Absorptionsfläche in den spektralen Berechnungen wurden die nachstehenden Werte angesetzt.

Tabelle 1: äquivalente Schallabsorptionsfläche für die spektrale Innenpegelprognose

| Frequenzbereich | äquivalente Absorptionsfläche A |
|------------------|-----------------------------------|
| 50 Hz - 100 Hz | $0,4 \cdot S_G$ |
| 125 Hz - 5000 Hz | $0,8 \cdot S_G$ |

Um die Genauigkeit der spektralen Innenpegelprognose zu validieren, wurden Fassadenschallmessungen an sieben Objekten in Massiv- und Holzbauweise durchgeführt. Dabei wurden die Fassaden neben einem Rauschen als Anreizesignal auch mit einem aufgezeichneten Verkehrsgeräusch beschallt.

Aus den Messungen waren der spektrale Verlauf des Schalldruckpegels an der Fassadenoberfläche und das Schalldämm-Maß der Fassade bekannt. Diese Größen wurden nun in das spektrale Rechenmodell übernommen und der prognostizierte Innenpegel mit dem real gemessenen verglichen. Abbildung 2 stellt die Differenz der prognostizierten Innenpegel zu den real gemessenen Innenpegeln dar. Im Frequenzbereich ab ca. 2 kHz ist eine steigende Abweichung feststellbar. Da das Schalldämmvermögen der Fassaden zu höheren Frequenzen hin zunimmt und das Verkehrsgeräusch sein Pegelmaximum bei ca. 1 kHz hat, sind im hochfrequenten Bereich nur relativ niedrige Innenpegel messbar. Bei den Messungen lagen diese Pegelanteile teilweise sehr nahe am oder im Grundgeräusch, sodass ein unzureichender Störgeräuschabstand vorhanden war. Das spektrale Prognosemodell jedoch berücksichtigt keinen Grundgeräuschpegel und liefert somit im hochfrequenten Bereich auch Pegel, die in der Praxis unter dem Grundgeräuschpegel liegen würden. Bei der Bildung eines Einzahlwertes über terzweise, energetische Addition der Pegelanteile fällt der hochfrequente Anteil infolgedessen kaum ins Gewicht.

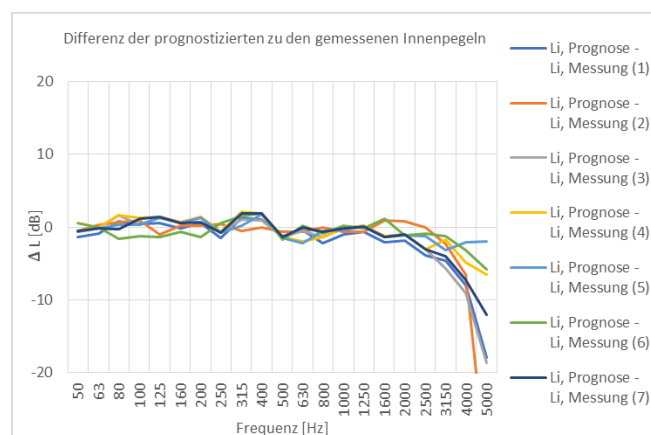


Abbildung 2: Differenz der prognostizierten zu den gemessenen Innenpegeln

Die Summenpegel aus Berechnung und Messung unterscheiden sich um weniger als 1 dB. Das spektrale Prognosemodell liefert somit exakte Ergebnisse für den Innenpegel.

Vergleich der Innenpegelprognosen

Es wurden drei Massivwände und drei Holzwandkonstruktionen mit unterschiedlichen Schalldämmverläufen, im Folgenden als «gut», «mittel» und «schlecht» bezeichnet, jeweils mit drei Fenstern verschiedener Schallschutzklassen kombiniert. So entstehen jeweils neun Kombinationen für die Massivbauweise und neun Kombinationen für die Leichtbauweise, für die nach den drei Verfahren der Innenpegel ermittelt wurde. Bei den Berechnungen wurden kleine Fensterflächenanteile von ca. 10 % der gesamten Fassadenfläche gewählt, um den Einfluss der Außenwand in den Vordergrund zu stellen.

Bei den Berechnungen in Massivbauweise liefert die DIN 4109 in allen Kombinationen den geringsten Innenpegel. Unter Berücksichtigung von $C_{tr,50-5000}$ werden jedoch in fast allen Kombinationen die höchsten Innenpegel prognostiziert. Die VDI 2719 liefert sehr ähnliche Ergebnisse, während der exakte spektrale Innenpegel Werte zwischen denen der beiden anderen Verfahren annimmt.

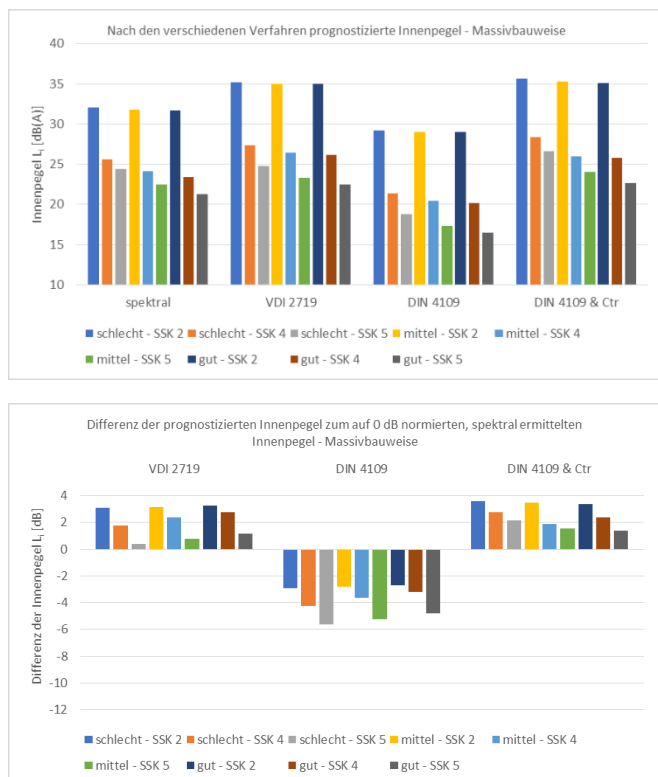


Abbildung 3: Prognostizierte Innenpegel in Massivbauweise - Absolutwerte und Differenz zum spektral ermittelten Innenpegel

Vergleicht man die prognostizierten Innenpegel für die Holzbauweise, so lässt sich bei fast allen Kombinationen eine sehr ähnliche Tendenz wie im Massivbau erkennen (siehe Abbildung 4). Besonders die Kombinationen der «guten» Wand mit den Fenstern der Schallschutzklasse 4 bzw. 5 (siehe markierte Fassadenkombinationen) weichen in

den Berechnungsverfahren nach DIN 4109 und VDI 2719 deutlich vom spektral prognostizierten Innenpegel ab.

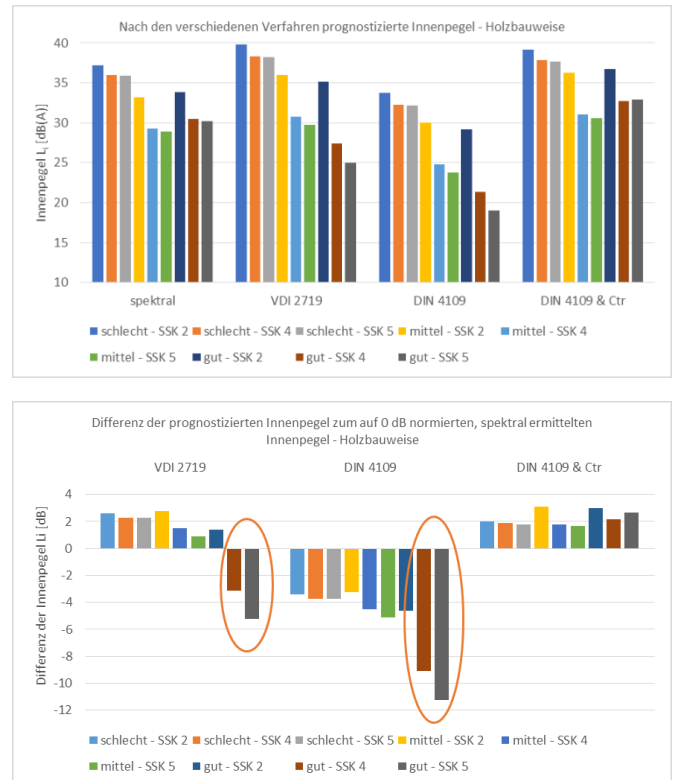


Abbildung 4: Prognostizierte Innenpegel in Holzbauweise - Absolutwerte und Differenz zum spektral ermittelten Innenpegel

Betrachtet man das gesamte Schalldämm-Maß der Kombination «gute» Wand mit dem Fenster der Schallschutzklasse 5, so fällt auf, dass es im Frequenzbereich unter 100 Hz zu einem massiven Einbruch der Schalldämmung kommt (siehe Abbildung 5). Dieser Einbruch wird über die Rechenverfahren mit Einzahlwerten nicht abgebildet, da er sich außerhalb des bauakustischen Bereiches von 100 Hz bis 3150 Hz befindet. Die spektrale Prognose, aber auch die Berechnungen nach DIN 4109 unter Berücksichtigung von $C_{tr,50-5000}$, würdigen diesen Bereich. Der Verlauf der Schalldämmung hat einen Spektrum-Anpassungswert von $C_{tr,50-5000}$ von -13,9 dB zur Folge.

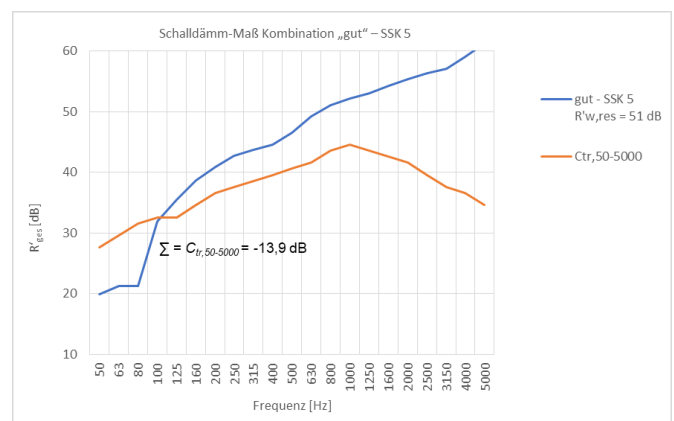


Abbildung 5: Schalldämm-Maß der Kombination „gut“ - SSK5

Der spektrale Verlauf des Innenpegels weist entsprechend hohe tieffrequente Pegelanteile auf, die maßgeblich den Summenpegel bestimmen (siehe Abbildung 6).

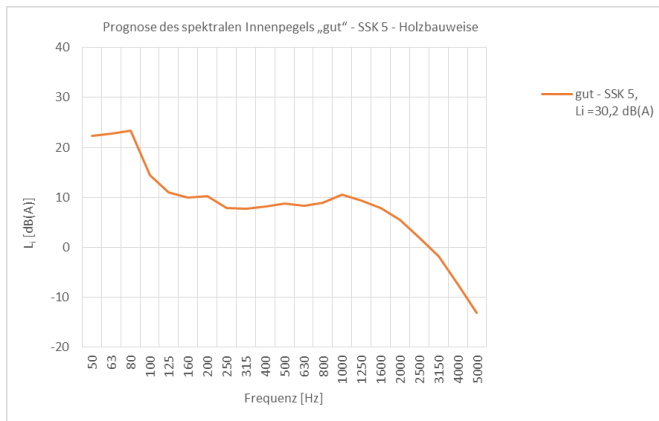


Abbildung 6: Prognose des spektralen Innenpegels der Kombination „gut“ - SSK5

Fazit und Ausblick

Anhand der durchgeführten Untersuchungen konnte die Prognosegenauigkeit von Innenpegeln über die Regelwerke DIN 4109 und VDI 2719 aufgezeigt werden. Es zeigt sich, dass über die DIN 4109 keine verlässliche Innenpegelprognose getroffen werden kann; die errechneten Werte liegen wesentlich niedriger als die über das spektrale Modell ermittelten Werte. Der Korrekturwert für Raumarten $K_{Raumart}$ kann nicht mit dem zu erreichenden Innenpegel gleichgesetzt werden und entspricht somit nicht dem anzustrebenden Schutzziel der DIN 4109. Bei Berücksichtigung des Spektrum-Anpassungswertes $C_{tr,50-5000}$ liegt die Innenpegelprognose jedoch sehr konsistent auf der sicheren Seite.

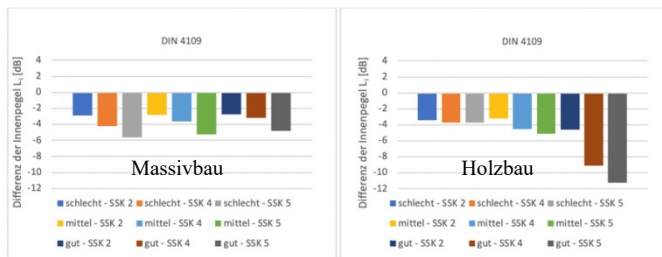


Abbildung 7: Differenz der Innenpegel zu den spektral ermittelten - DIN 4109

Die VDI 2719 liefert im Allgemeinen eine sichere Prognose des Innenpegels. Nimmt der Spektrum-Anpassungswert $C_{tr,50-5000}$ der Fassadenkonstruktion jedoch Werte kleiner als - 8 dB an, so ist keine verlässliche Prognose mehr möglich.

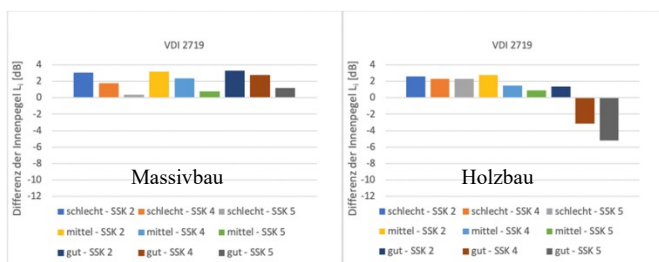


Abbildung 8: Differenz der Innenpegel zu den spektral ermittelten - VDI 2719

Für die durchgeführten Betrachtungen kann festgestellt werden, dass keine generelle Differenzierung zwischen Leicht- und Massivbauweise erforderlich ist. Für hochschalldämmende Leichtbaukonstruktionen mit einem $C_{tr,50-5000} < -8$ dB empfiehlt sich jedoch eine differenzierte Betrachtung. Um für Nachweisverfahren, die Einzahlwerte verwenden, die Einhaltung des Schutzziels der DIN 4109 oder der VDI 2719 sicherzustellen, wird bei entsprechenden leichten, hochschalldämmenden Fassaden folgender Ansatz zur Anpassung des erforderlichen Schalldämm-Maßes vorgeschlagen:

$$R'_{w,ges,korr} = R'_{w,ges} - (C_{tr,50-5000} + 8\text{dB}) \quad (5)$$

Die Untersuchungen für innerörtlichen Straßenverkehrslärm zeigen, dass für die Dimensionierung der Schalldämmung von hochschalldämmenden Leichtfassaden die vorgenannte differenzierte Betrachtung zur Einhaltung des Schutzziels zu empfehlen ist.

Inwieweit die Untersuchungsergebnisse auf andere Verkehrslärmarten übertragen werden können, muss durch weitergehende Untersuchungen verifiziert werden.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 717-1:2013-06; Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung, Berlin; Beuth Verlag, 2013
- [2] DIN 4109-2:2018-01; Schallschutz im Hochbau - Teil 2: Rechnerische Nachweise zur Erfüllung der Anforderungen, Berlin; Beuth Verlag, 2018
- [3] VDI 2719:1987-08; Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen
- [4] Moll, W., Szabunia, R.: Beurteilung des Schallschutzes durch Außenbauteile: Messtechnische Untersuchung der Relation zwischen bewertetem Bau-Schalldämm-Maß und A-Schallpegeldifferenz, Berlin; Umweltbundesamt, 1985
- [5] DIN EN ISO 12354-1:2017-11; Berechnung der akustischen Eigenschaften in Gebäuden und von Bauteilen am Bau - Teil 3: Luftschalldämmung von Außenbauteilen gegen Außenlärm
- [6] Schedl, K.: Untersuchung des Bemessungsansatzes der VDI 2719 für den Schallschutz von Fenstern und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Außenlärmspektren, HS Rosenheim, 2016