

# Untersuchung der Fassadendämmung bei tieffrequenten Geräuschen unter besonderer Berücksichtigung der Gegebenheiten im Freizeitlärm

Lukas Roskosch<sup>1</sup>, Benjamin Bernschütz<sup>1</sup> und Ralf Tölke<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Technische Hochschule Mittelhessen (THM), Fachbereich Management und Kommunikation,

Eventmanagement und -technik, Gießen, E-Mail: lukas.roskosch@muk.thm.de, benjamin.bernschuetz@muk.thm.de

<sup>2</sup> Kramer Schalltechnik GmbH, Fachbereich Bauakustik, Sankt Augustin, E-Mail: r.toelke@kramer-schalltechnik.de

## Einleitung

Im Kontext von Forschungsaktivitäten im Bereich tieffrequenter Immissionen im Freizeitlärm wurden im Rahmen einer Bachelorarbeit Messungen zur Bestimmung der tieffrequenten Schalldämmung von Außenfassaden durchgeführt. Zur Motivation der Aktivitäten sei an dieser Stelle auf den Artikel von Bernschütz und Latz [1] im gleichen Tagungsband verwiesen. In der Literatur sind bisher kaum Daten für Schalldämmungen von Außenfassaden im tieffrequenten Bereich verfügbar. Im Freizeitlärm liegt der beurteilungsrelevante Frequenzbereich bei den durch elektroakustische Beschallungsanlagen an Bühnen verursachten tieffrequenten Immissionen zwischen ca. 25 Hz und 100 Hz. Unterhalb von 25 Hz sind nach aktuellem Stand der Beschallungstechnik keine relevanten Beiträge zu erwarten [1]. Die obere Grenze von 100 Hz ist hier analog zum erweiterten Frequenzbereich der derzeit gültigen Fassung der DIN 45680 [2] von 1997 definiert. Ziel der durchgeführten Messungen ist eine Bestimmung von Korrekturfaktoren, die eine statistische Abschätzung der Immissionsbelastung im Innenraum einer schutzbedürftigen Nutzung auf Basis von Messungen im Außenbereich ermöglichen sollen. Die erhobenen Messwerte und resultierenden Korrekturfaktoren sind dabei grundsätzlich auch auf andere Bereiche außerhalb des Freizeitlärms übertragbar.

## Vorgehensweise und Rahmenbedingungen

Die Messungen wurden im Juli 2019 an 20 Prüfobjekten im Bundesland Hessen durchgeführt und erfolgten in Anlehnung an einschlägige Normen der Bauakustik, soweit deren Anwendung im tieffrequenten Bereich möglich und sinnvoll war. Nach Abschluss der Messungen erfolgte eine statistische Prüfung der Ergebnisse. Wohnräume weisen im untersuchten Frequenzbereich typischerweise keine diffuse Schallverteilung auf. Somit überwiegen modale raumakustische Eigenschaften, die zur Ausprägung von konstruktiven sowie auch destruktiven Interferenzen führen. Bei den Messergebnissen ist entsprechend eine hohe Streuung der einzelnen Prüfobjekte und Messpositionen zu erwarten.

## Prüfobjekte

Die bisherige Untersuchung umfasst 20 Fassaden, die sich sowohl im Hinblick auf ihre Bauteile, als auch bezüglich weiterer situativer Umstände unterscheiden. Die hohe Varianz der Prüfobjekte wurde für diese Untersuchung bewusst gewählt. Die Räume wurden gemäß den Kriteri-

en der TA Lärm [3] für schutzbedürftige Nutzungen ausgewählt. Abbildung 1 zeigt eine exemplarische Auswahl der Prüfobjekte.



Abbildung 1: Auswahl einiger Prüfobjekte

Zu jedem Prüfobjekt wurden die Grundrisse und die lichte Fensterflächen erfasst, die effektive Trennfläche der untersuchten Fassade bestimmt sowie vielfältige ergänzende Details festgehalten.

## Messverfahren

Die Grundlage für die Untersuchung bildet das Messverfahren nach DIN EN ISO 16283-3 [4]. So wurde zunächst eine Schallpegeldifferenz von den Mittelwerten der Schallpegel an der Fassade und den Mittelwerten der gemessenen Werten im Innenraum berechnet. Für die Darstellung des Bau-Schalldämm-Maßes  $R'_{45^\circ}$  unter Einbezug der äquivalenten Absorptionsfläche  $A$  wurden Raumvolumina und Nachhallzeiten der Prüfobjekte bestimmt und die situationsbedingten Eigenschaften der jeweiligen Prüfobjekte gemäß Gl. (1) [4] herausgerechnet:

$$R'_{45^\circ} = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A} - 1,5 \text{ dB}, \quad (1)$$

wobei  $L_1$  den Pegel im Außenbereich,  $L_2$  den Pegel im Innenraum,  $S$  die Trennfläche und  $A$  die äquivalente Absorptionsfläche beschreiben. Der Korrekturfaktor von  $-1,5$  dB soll die Fassadenreflexion bei Positionierung des Messmikrofons nahe der Fassade kompensieren.

Um der hohen Streuung der Messergebnisse durch die modalen raumakustischen Eigenschaften in den unteren Frequenzbändern entgegenzuwirken, wurden verschiedene messtechnische Parameter angepasst. Die Integrationszeit, die Anzahl und der Abstand zwischen den Messpositionen sowie der Abstand zu den Raumbegrenzungen

wurden in Anlehnung an verschiedene Normen erhöht. In DIN EN ISO 10140-4 [5] wird für den Frequenzbereich unterhalb von 50 Hz eine Verdopplung der Abstände zu den Raumgrenzen angesetzt. Der Abstand zwischen einzelnen Messposition wurde nach DIN EN ISO 16283-3 auf 0,7 m festgelegt. Für jedes Prüfobjekt wurden randomisiert auf den Höhen 1,7 m, 1,3 m und 0,8 m möglichst viele (max. 12) Positionen nach Einhaltung der Abstandsregeln gemessen. Auf den genannten Höhen wird eine Immission vom Anwohner üblicherweise wahrgenommen. Bei kleinen Raumvolumina unter 25 m<sup>2</sup> wurden die Messpositionen gemäß DIN EN ISO 16283-3 angepasst.

## Messaufbau

Die Messung wurde mit einem Svantek SVAN 977 A Klasse 1 Schallpegelmessgerät in Terzbändern von 25 Hz bis 100 Hz linear (Z-bewertet) durchgeführt. Gemäß DIN EN ISO 16283-3 wurde die Integrationszeit auf 15 Sekunden pro Messung erhöht. Die Anregung erfolgte mittels Rosa Rauschen mit einem Crestfaktor von ca. 13 dB. Das Anregungssignal wurde über zwei AD-Systems Flex 15 B 15" Subwoofer wiedergegeben, die zu informativen Zwecken im Mittel-/Hochton noch um zwei RCF TT052A ergänzt wurden. Der Frequenzgang des Beschallungssystems wurde mit einem Systemcontroller linearisiert und am unteren Ende des Übertragungsbereichs elektronisch angehoben, um auch dort einen möglichst hohen Störabstand zu Fremdgeräuschen zu erzielen. Die Beschallung der Fassade erfolgte unter einem Einfallswinkel von 45 Grad, wobei eine gleichmäßige Anregung mit maximal 10 dB lokaler Differenz nach Definition in DIN EN ISO 16283-3 sichergestellt wurde. Der Mindestabstand zum Fremdgeräuschpegel von 6 dB wurde in allen hier aufgeführten Frequenzbändern eingehalten. Zur Bestimmung der tieffrequenten Nachhallzeiten der Prüfobjekte wurden Raumimpulsantworten mithilfe eines logarithmischen Sinussweeps und einer FFT-Routine gemessen. Die Auswertung und Bestimmung der Nachhallzeiten erfolgte über eine Softwareroutine der TH Köln, die auf der Schroeder-Rückwärtsintegration beruht. Dabei wurde in Anlehnung an die Empfehlung aus der DIN EN ISO 16283-3 auf Oktavbänder zurückgegriffen.

## Ergebnisse

### Streuung unter den Messpositionen

Um die Streuung der Ergebnisse unter einzelnen Messpositionen und damit den Einfluss der modalen Raumeigenschaften zu untersuchen, wurden die Schallpegeldifferenzen von dem Mittelwert der Außenschallpegel zu allen Messpositionen im Innenraum gebildet und deren positive Standardabweichung bestimmt. Die mittlere positive Standardabweichung liegt in jedem Terzband zwischen 2,7 dB und 3,1 dB. In Abbildung 2 sind alle positiven Standardabweichungen pro Frequenzband dargestellt. Im 40 Hz Terzband ist ein deutlich größeres Streumaß der Standardabweichung zu erkennen. Dies lässt einen Zusammenhang mit den Längsabmessungen der Räume vermuten, da der Mittelwert der Prüfobjekte bei 4,5 m liegt und sich in diesem Fall die erste Eigenfrequenz bei 38,1 Hz ausbildet. Aufgrund der insgesamt niedrigen

Standardabweichung und der Lagemaße der Plots der anderen Terz-Mittenfrequenzen ist die Streuung unter den Messpositionen hier eher gering. So konnte nachfolgend eine Mittelung der Messwerte nach DIN 45641 [6] vorgenommen werden.

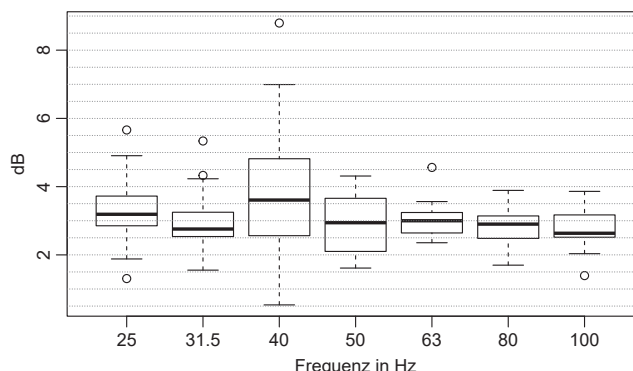


Abbildung 2: Box-Whiskerplots der positiven Standardabweichungen aller Messpositionen

### Schallpegeldifferenzen

Wie in Abbildung 3 dargestellt, konnte aus den Mittelwerten der Innen- und Außenschallpegel die Schallpegeldifferenz pro Prüfobjekt und Frequenzband berechnet werden. Die gemessenen Schalldruckpegel sind von der Fassade und dem Raum als Übertragungssystem beeinflusst und entsprechen genau dem Immissionspegel, der an der jeweiligen Mikrofonposition vom Anwohner als Störschall wahrgenommen wird. Um den Immissionspegel sauber darzustellen und auszuwerten, werden die Korrekturwerte für das Bau-Schalldämm-Maß hier zunächst vernachlässigt.

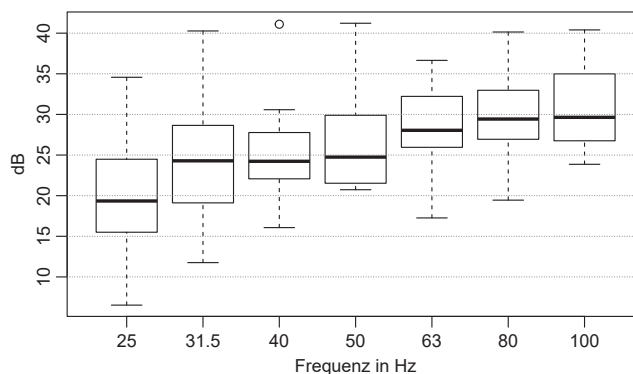


Abbildung 3: Schallpegeldifferenzen aller Prüfobjekte

Die relativ großen Spannweiten und Interquartilsabstände spiegeln die große Varianz der Prüfobjekte wieder. Aufgrund der zuvor getroffenen Auswahl der Objekte waren derartige Streuungen zu erwarten. Relativ gesehen ist jedoch immer eine proportionale Zunahme der Schalldämmung mit steigender Frequenz zu erkennen.

### Korrelationen

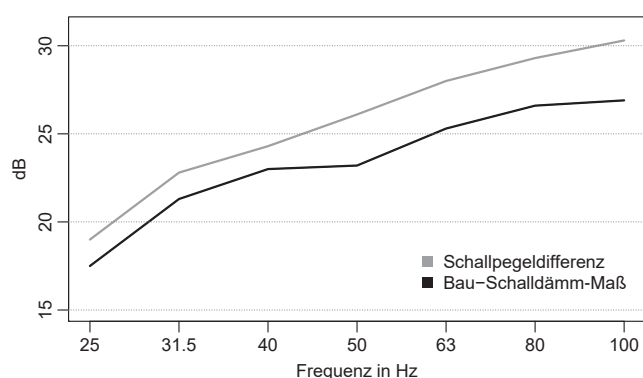
Nach Prüfung auf Normalverteilung wurden jeweils Korrelationen nach Pearson zwischen der Trennfläche so-

wie auch der lichten Fensterfläche zur Schallpegeldifferenz pro Frequenzband bestimmt. Zwischen Schallpegeldifferenzen und Fassaden- und Fensterflächen bestehen jeweils negative Korrelationen. Die Stärke der Korrelation nimmt bei den effektiven Trennflächen mit steigender Frequenz ab und nähert sich in den oberen Terzbändern des hier betrachteten Frequenzbereichs dem Nullwert. Eine stärkere negative Korrelation besteht zwischen der Schallpegeldifferenz und der lichten Fensterfläche. Die Korrelation ist in den unteren drei Terzbändern (25 Hz, 31.5 Hz und 40 Hz) statistisch signifikant. Sie liegt aber auch bei den weiteren betrachteten Terzbändern im negativen Bereich und nähert sich dann langsam dem Nullwert.

Es ist erkennbar, dass das Fenster im Hinblick auf die Schalldämmung das schwächste Bauteil der Fassade darstellt und zum Innenraum hin wie ein Tiefpassfilter wirkt. Mit zunehmender Fensterfläche ist eine geringere Schalldämmung in den untersten Frequenzbändern zu erwarten.

### Bau-Schalldämm-Maß

Aus den Schallpegeldifferenzen, der äquivalenten Absorptionsfläche und der Trennfläche wurde gemäß DIN EN ISO 16283-3 das Bau-Schalldämm-Maß berechnet, welches unter Einbezug der Korrekturwerte im Rahmen dieser Untersuchung eine gute Kennzahl zur Beschreibung des Dämmerfolges darstellt. In Abbildung 4 sind die geometrischen Mittelwerte der Bau-Schalldämm-Maße im Vergleich zu den Schallpegeldifferenzen dargestellt.



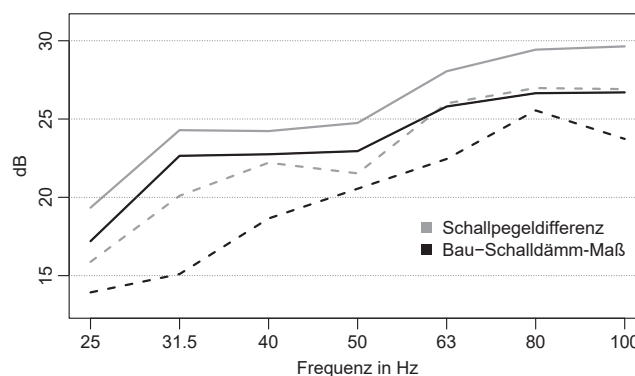
**Abbildung 4:** Geometrische Mittelwerte der Schallpegeldifferenzen und der Bau-Schalldämm-Maße

Die notwendigen Korrekturwerte für die Berechnung des Bau-Schalldämm-Maßes sind in dieser Studie sehr unterschiedlich. Die Raumvolumina variieren von  $20\text{ m}^3$  bis  $180\text{ m}^3$ . Die Trennfläche differiert von  $5\text{ m}^2$  bis  $21\text{ m}^2$ . Die Bestimmung einer Nachhallzeit gestaltet sich im tieffrequenten Bereich grundsätzlich schwierig. Hier wurde in Anlehnung an die Empfehlung aus der DIN EN ISO 16283-3 auf Oktavbänder zurückgegriffen. Die oben aufgeführten Werte wurden zur Berechnung des Bauschall-Dämm-Maßes  $R'_{45^\circ}$  herangezogen. Abbildung 4 zeigt, dass die berechneten Korrekturen einen plausiblen Wert im direkten Vergleich zur Schallpegeldifferenz liefern, da die Kurven nahezu parallel verlaufen.

fen. Die Werte des Bau-Schalldämm-Maßes können demnach als repräsentativ für den tieffrequenten Bereich angenommen werden. Die Werte von  $R'_{45^\circ}$  liegen um ca. 2 dB bis 4 dB unterhalb der Schallpegeldifferenz im jeweiligen Terzband.

### Wertevergleich

In Abbildung 5 sind zusammengefasst die Mediane und die ersten Quartile der Schallpegeldifferenz und des Bau-Schalldämm-Maßes dargestellt.



**Abbildung 5:** Median (durchgezogene Linie) und unterstes Quartil (gestrichelte Linie) aller Schallpegeldifferenzen und Bau-Schalldämm-Maße

Die Grafik zeigt, dass die Proportionalität aus Abbildung 4 durch variierende Lagemaße abgenommen hat. Weiterhin zeichnet sich eine Zunahme der Dämmung mit steigender Frequenz ab. Es ist ersichtlich, dass der Median bei beiden Größen im 25 Hz Terzband um 5 dB einbricht. Der Abstand zwischen Median und erstem Quartil nimmt in den unteren Frequenzbändern ab 40 Hz zu und ist weniger konstant als in den Terzbändern oberhalb von 40 Hz. Aus dem Verlauf der Interquartilabstände leitet sich ab, dass allgemein eine höhere Streuung der Ergebnisse in den Frequenzbändern 40 Hz, 31,5 Hz und 25 Hz zu erwarten ist. Die Streumaße der Standardabweichung in Abbildung 2 untermauern diese Beobachtung. Die meisten Ergebnisse der bisherigen Auswertung sprechen für repräsentative Werte im tieffrequenten Bereich. Jedoch erscheint die Wahl der Mittelwerte oder der Mediane aufgrund der hohen Streumaße nicht hinreichend repräsentativ für eine verallgemeinernde Annahme. Besonders im 31.5 Hz Terzband beträgt die Differenz zwischen Median und dem ersten Quartil des Bau-Schalldämmmaßes ungefähr 7 dB. Entsprechend wird hier sicherheitshalber vom Median auf das untere Quartil ausgewichen, was einer pessimaleren Einschätzung entspricht und sicherstellt, dass 75% der Fassaden mindestens die angenommenen oder bessere Dämmwerte erreichen.

Interessant ist an dieser Stelle, dass die unteren Quartile immer noch um bis zu 6 dB über den Werten liegen, die in "Danish Regulation of Low Frequency Noise from Wind Turbines" von Jørgen Jacobsen [7] gemessen wurden. Untersucht wurden hier allerdings dänische Landhäuser, bei denen aufgrund der möglicherweise verschiedenen Bau-

weise eine schwächere Schalldämmung vermutet werden kann. Unklar ist zudem das zugrundeliegende Mess- und Auswerteverfahren.

## Zusammenfassung und Korrekturwerte

Im Gesamtüberblick entsprechen die Ergebnisse der Erwartungshaltung. Grundsätzlich gestaltet es sich schwierig, einen allgemeinen Mittelwert der Schalldämmung im tieffrequenten Bereich zu definieren. Die Störvariablen wie Koinzidenz oder Modenüberlappung sowie auch die unterschiedlichen Eigenschaften der Prüfobjekte sorgen insgesamt für eine hohe Streubreite in der Messreihe. Bei einer statistisch gesehen kleinen Stichprobe von 20 Prüfobjekten bildet sich dennoch ein in allen Terzbändern annähernd gleichmäßiger Abfall der Schalldämmung von 100 Hz bis 25 Hz ab. Dies gilt sowohl für die Schallpegeldifferenzen als auch die Bau-Schalldämm-Maße. Sollten die hier abgeleiteten Werte in der Praxis zur Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen angewandt werden, sollte nicht vom Mittelwert oder Median ausgegangen werden, da die Schalldämmung vieler Gebäude zu hoch eingeschätzt werden würde. Die Werte des unteren Quartils des Bau-Schalldämm-Maßes stellen aus statistischer Sicht einen plausiblen Kompromiss dar. Da der Interquartilsabstand und damit die Streuung nur bei der 100 Hz Terz-Mittenfrequenz höher ist, resultiert daraus ein leichter Abfall der Dämmung von 80 Hz zu 100 Hz. Diese Streuung ergibt sich jedoch vermutlich zufällig aus der Auswahl der Untersuchungsobjekte. Insgesamt ist ein proportionaler Anstieg der Dämmung mit der Frequenz zu erkennen. In Tabelle 1 sind die resultierenden Korrekturwerte aufgeführt, die dem unteren Quartil der Bau-Schalldämm-Maße entsprechen.

Terz-Mittenfrequenz	Korrekturwert $R_{\text{korrr,LF}}$
25 Hz	14 dB
31,5 Hz	15 dB
40 Hz	18 dB
50 Hz	20 dB
63 Hz	22 dB
80 Hz	24 dB
100 Hz	26 dB

**Tabelle 1:** Korrekturwert  $R_{\text{korrr,LF}}$  für Schalltransmission durch Fassaden im tieffrequenten Bereich

Zur besseren Handhabung wurden die Werte auf volle Dezibel gerundet und die Proportionalität zwischen 80 Hz und 100 Hz geglättet. Die Korrekturfaktoren sind von den im Außenbereich vor der Fassade gemessenen Terzpegeln  $L_{\text{Außen}}$  zu subtrahieren und ermöglichen somit eine Abschätzung der zu erwartenden Immissionspegel im Innenraum  $L_{\text{Innen}}$ :

$$L_{\text{Innen}} = L_{\text{Außen}} - R_{\text{korrr,LF}}. \quad (2)$$

Abschließend sollte deutlich sein, dass eine Außenmessung die Innenraummessung wie z.B. nach DIN 45680

aufgrund der individuellen Gegebenheiten niemals äquivalent ersetzen kann. Die hier abgeleiteten Korrekturwerte liefern lediglich Anhaltswerte für eine statistische Abschätzung. Bei jeder statistischen Abschätzung gibt es immer auch Szenarien, die unterschätzt werden. Bei den hier aufgeführten Korrekturwerten werden 75% der Situationen tendenziell überschätzt und 25% unterschätzt, sofern man überhaupt von repräsentativen Werten für alle erdenklichen Wohnsituationen im gesamten Bundesgebiet ausgehen würde. In 25% der Fälle sind die Fassadendämmungen dementsprechend tatsächlich schlechter als angenommen, was jedoch auch Sonderfälle umfasst. Letztendlich kann in einer statistischen Betrachtung nicht individuell jede mögliche Bauweise berücksichtigt sein, sondern es kann lediglich von einer durchschnittlichen Bausubstanz in unserem Land ausgegangen werden.

## Ausblick

Die in dieser Untersuchung erhobenen Werte stützen sich auf eine vergleichsweise kleine Stichprobe von 20 Prüfobjekten im Bundesland Hessen. Die externe Validität der Ergebnisse kann durch eine weitere Messreihe mit einer größeren Anzahl an Prüfobjekten erhöht werden und statistisch stabilere Werte liefern. Möglicherweise werden im Rahmen der laufenden Forschungsaktivitäten weitere Messreihen stattfinden.

## Literatur

- [1] B. Bernschütz und J. Latz (2020), „Tieffrequente Immissionen im Freizeitlärm – Wie gehen wir damit um?“, DEGA, Tagungsband der Jahrestagung für Akustik (DAGA).
- [2] DIN 45680 (1997-03) „Messung und Beurteilung tieffrequenter Geräuschimmissionen“, unter Berücksichtigung des zugehörigen Beiblattes 1, gültige Fassung der Norm
- [3] TA Lärm (2017-09) Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm)
- [4] DIN EN ISO 16283-3 (2016-09) „Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau – Teil 3: Fassadenschalldämmung“
- [5] DIN EN ISO 10140-4 (2010-12) „Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 4: Messverfahren und Anforderungen“
- [6] DIN 45641 (1990-06) „Mittlung von Schallpegeln“
- [7] J. Jacobsen (2012), „Danish Regulation of Low Frequency Noise from Wind Turbines“, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 31.4.2012, S.239 - 246.