

Schallabsorption von Lärmschutzwänden: Vergleich unterschiedlicher Messverfahren

Daniel F. P. Pazos, Lutz Weber, Klaus Sedlbauer, Philip Leistner

Fraunhofer Institut für Bauphysik, 70569 Stuttgart, Deutschland, Email: dfp@ibp.fhg.de

Einleitung

Zur Messung der Schallabsorption von Lärmschutzwänden sind verschiedene Labor- und In-situ-Verfahren bekannt. Soweit erkennbar, ist aber keines dieser Verfahren universell einsetzbar. Außerdem liefern einige Methoden bei strukturierten Wänden akustische unklare Ergebnisse.

Im vorliegenden Beitrag werden verschiedene Messverfahren zur Bestimmung der Schallabsorption in kurzer Form beschrieben und miteinander verglichen. Ähnliche Vergleiche finden sich auch an anderen Stellen in der Literatur [1, 2], allerdings fehlen mehrere neue Verfahren, die erst in den letzten Jahren entwickelt wurden. Ziel der vorliegenden Arbeit, die im Rahmen einer Dissertation durchgeführt wurde, ist es, die Verfahren voneinander abzugrenzen, die Anwendungsgrenzen abzustecken sowie die jeweiligen Vor- und Nachteile aufzuzeigen.

Genormte Messverfahren

Die Schallabsorption einer Lärmschutzwand kann durch die Bestimmung des jeweiligen Reflexionsgrads, Übertragungsfunktion bzw. der Impedanz ermittelt werden. Dazu stehen zwei genormte Messverfahren zur Verfügung: Kundtsches Rohr (Impedanzrohr) [3] und Hallraum [4].

Beim Impedanzrohr-Verfahren wird eine aus der Wand entnommene Probe vor das Ende eines geraden, harten Rohrs gestellt. Mit einem Lautsprecher am anderen Ende wird eine stehende Welle innerhalb des Rohrs erzeugt, die vom Absorptionsgrad der Probe abhängt. Aus Pegelmessungen in den Maxima und Minima des Schallfeldes wird der Absorptionsgrad α bestimmt. Vorteile dieses Verfahrens sind seine Einfachheit und Genauigkeit. Die Nachteile bestehen darin, dass nur verhältnismäßig kleine Proben untersucht werden können, die u. U. nicht repräsentativ für die gesamte Wandfläche sind und dass die Messungen nur bei senkrechten Schalleinfall durchgeführt werden können. Der nutzbare Frequenzbereich hängt vom Rohrquerschnitt ab (für runde Rohre gilt: $f \leq 200/D$, wobei f die Frequenz in Hz und D den Rohrdurchmesser in m bezeichnen).

Das Hallraum-Verfahren erlaubt die Bestimmung des Absorptionsgrads mit Hilfe der Sabine'schen Formel, welche die äquivalente Absorptionsfläche mit dem Raumvolumen und der Nachhallzeit verknüpft. Obwohl diese Methode praktisch und auch für große Proben anwendbar ist, kann sie zu unphysikalischen Ergebnissen ($\alpha > 1$) führen und ist bei kleinen Proben verhältnismäßig ungenau. Außerdem entspricht der gemessene Absorptionsgrad u. U. nicht dem in-situ vorhandenen Wert, da die Messung im Hallraum wegen des diffusen Schallfeldes einen Mittelwert über alle Einfallswinkel liefert, während an Verkehrswegen zumeist gerichteter

Schalleinfall vorliegt. Hallraummessungen werden nach Norm in den Terzen von 100 bis 5000 Hz vorgenommen.

Alternative Messverfahren

Die beschriebenen genormten Messverfahren sind nur im Labor verwendbar und weisen wie schon erwähnt einige Nachteile auf. Aus diesem Grund wurden in der Literatur mehrere alternative Messverfahren vorgeschlagen. Im folgenden wird beispielhaft auf einige dieser Verfahren eingegangen, wobei zuerst die Labor- und anschließend die In-Situ-Verfahren betrachtet werden.

Alternative Labor-Messverfahren

In [1] und [2] werden u. a. folgende Labor-Messverfahren erwähnt: Surface-Pressure-Methode (Ingard u. Bolt, 1951), Wave-Guide-Verfahren (Shaw, 1953), Toneburst-Verfahren (Cops u. Myncke, 1973), Korrelationsmesstechnik (Hollin u. Jones, 1977), Impulse-Surface-Methode (Davis u. Mulholland, 1979) und Cepstrumanalyse (Bolton u. Gold, 1984), Zwei-Mikrofon-Technik (Allard u. Sieben, 1985).

Bei der Surface-Pressure-Methode [5] wird vor der geprüften Wand eine freie stehende Welle erzeugt. Schalldruck wird an der Wand gemessen und mit den Ergebnissen für eine schallharte Referenzwand verglichen. Man erhält auf diese Weise Betrag und Phase des Reflexionsfaktors. Die Messung kann auch bei schrägem Schalleinfall (zwischen 0° und 80°) erfolgen. Der Frequenzbereich reicht von 500 bis 1500 Hz. Der Nachteil des Verfahrens besteht darin, dass der Messaufbau sehr genau justiert werden muss.

Eine weiteres Labor-Verfahren ist die Zwei-Mikrofon-Technik [6]. Hier wird der Reflektionsfaktor für senkrechten Schalleinfall aus Messungen der Übertragungsfunktion zwischen zwei Mikrofonen, die direkt vor der untersuchten Wand positioniert werden, bestimmt. Mit der Zwei-Mikrofon-Technik können auch kleine Proben untersucht werden. Der größte Nachteil besteht in der geringen Empfindlichkeit bei tiefen Frequenzen.

Alternative In-Situ-Messverfahren

In-Situ-Messungen werden vor allem benötigt, um die Absorptionswirkung von Lärmschutzwänden vor Ort (z. B. nach längerem Einsatz) zu überprüfen. Die Hauptschwierigkeit hierbei besteht in den vorhandenen Umgebungsgeräuschen, die die Messung erheblich stören können.

Eine wirkungsvolle Möglichkeit zur Verbesserung des Störabstandes besteht in der Anwendung der MLS-Messtechnik. Sie erfordert jedoch zeitliche invariante Messbedingungen, die nur bei geringem Abstand zwischen Lautsprecher, Mikrofon und Wand gegeben sind.

Die MLS-Technik ist Grundlage einer neu Messmethode für Absorptionsmessungen an Lärmschutzwänden – des sogenannten Adrienne-Verfahren – das seit 1993 als Normentwurf vorliegt [7]. Bei diesem Verfahren sind Lautsprecher und Mikrofon fest miteinander verbunden, so dass sich die Anordnung ohne Veränderung der Messgeometrie bewegen und schwenken lässt. Bei der ersten Messung, bei der der Lautsprecher auf die Wand gerichtet ist, werden der direkte und der reflektierte Schall erfasst. Die zweite Messung, die im Freifeld durchgeführt wird, liefert den Direktschall allein. Durch Subtraktion und unterstützende zeitliche Fensterung, die die Umgebungsefflexionen eliminiert, wird der reflektierte Signalanteil separiert und kann der Auswertung zugeführt werden. Bei strukturierten Wänden wird die Messanordnung vor der Wand geschwenkt (s. Abbildung 1) und eine Mittelung der Ergebnisse vorgenommen. Der nutzbare Frequenzbereich hängt von der Wandgröße ab (maximal 100 bis 5000 Hz).

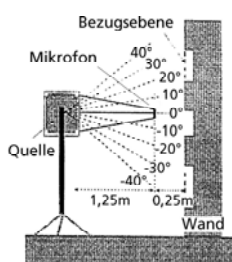


Abbildung 1: Messanordnung beim Adrienne-Verfahren.

Während das Adrienne-Verfahren bei glatten Wänden zufriedenstellend funktioniert, erhält man bei profilierten Oberflächen unphysikalische Ergebnisse ($\alpha < 0$). Dies liegt daran, dass es sich um eine Nahfeldmessung handelt und das Nahfeld vor profilierten Oberflächen aufgrund von Interferenzeffekten starke Schwankungen aufweist. Bei Wänden mit profilierter Oberfläche muss die Schallabsorption deshalb im Fernfeld gemessen werden.

Ein mögliches Verfahren hierzu, bei dem Messungen mit stochastischem Rauschen in einigen Metern Wandabstand durchgeführt werden, wurde in [8] vorgeschlagen. Um Störungen und Umgebungsreflexionen zu eliminieren, werden bei diesem Verfahren Vergleichsmessungen an Proben mit bekanntem Schallabsorptionsgrad verwendet. Die Entwicklung des Verfahrens ist noch nicht völlig abgeschlossen, so dass über Messgenauigkeit und Anwendungsgrenzen bislang nur wenige Informationen vorliegen.

Bei dem in [2] beschriebenen Verfahren wird die Übertragungsfunktion zwischen reflektiertem und direktem Signal bestimmt und daraus der winkelabhängige Kugelwellenreflexionsfaktor ermittelt. Die Messung erfolgt mit MLS-Technik und Zeitfensterung. Im Vergleich zu anderen In-situ-Methoden gibt es keine Beschränkungen durch den Kugelwelleneffekt, da dieser implizit berücksichtigt wird. Außerdem ist keine Signalsubtraktion erforderlich, die bei tiefen Frequenzen Schwierigkeiten bereiten kann. Das Problem besteht vor allem in der genauen Positionierung des Messaufbaus (mittels Laserpointer). Die Messungen können im Bereich von etwa 80 und 4000 Hz und auch bei flachen Einfallswinkeln durchgeführt werden.

Eine weiteres In-Situ-Verfahren [9] basiert auf gleichzeitiger Messung der Schallschnelle und des Schalldrucks am gleichen Ort unmittelbar vor der Wandoberfläche. Hierzu wurde eine spezielle Mess-Sonde entwickelt, die eine direkte Messung der Schallschnelle mittels zweier dünner elektrisch beheizter Drähte erlaubt. Die Methode erlaubt Messungen bei senkrechtem und schrägem Schalleinfall und ist für Frequenzen oberhalb von etwa 200 Hz anwendbar. Die Reproduzierbarkeit der Messung und der verhältnismäßig geringe gerätetechnische Aufwand bilden wesentliche Vorteile dieses Verfahrens. Da es sich auch hier um eine Nahfeldmethode handelt, ist noch zu klären, ob sie bei strukturierten Wänden anwendbar ist.

Zusammenfassung

Die Verfahren zur Messung der Schallabsorption von Lärmschutzwänden wurden in genormte sowie alternative Labor- und In-situ-Messmethoden eingeteilt. Es wurde gezeigt, dass Entwicklungsbedarf für ein geeignetes In-Situ-Messverfahren für profilierte Wände besteht, da die bislang bekannten Methoden Nahfeldeffekte nicht korrekt berücksichtigen. Untersuchungen der akustischen Verhältnisse im Nahfeld können wichtigen Beitrag hierzu liefern.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde durch das Stipendienprogramm der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert.

Literatur

- [1] Wilms, U.: In-situ Messung komplexer Reflexionsfaktoren von Wandflächen, *Acustica* **75** (1991), 28-39.
- [2] Nocke, C.: In-Situ Messung der akustischen (Wand-) Impedanz, Dissertation Uni-Oldenburg, Shaker-Verlag 2000.
- [3] DIN EN ISO 10534-1: Bestimmung des Schallabsorptionsgrades und der Impedanz in Impedanzrohren, Beuth Verlag, 2001.
- [4] DIN EN ISO 354: Messung der Schallabsorption in Hallräumen, Beuth Verlag, 2003.
- [5] Ingard, U., Bolt, R.: Free Field Method of Measuring the Absorption Coefficient of Acoustic Materials, *J. Acoust. Soc. Am.* **23**, 509-516 (1951).
- [6] Allard, J.: Measurements of Acoustic Impedance in a Free Field with Two Microphones and a Spectrum Analyser, *J. Acoust. Soc. Am.* **77**, 1617-1618 (1985).
- [7] DIN CEN/TS 1793-5 (Entwurf): Lärmschutzeinrichtungen an Straßen - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 5: Produktspezifische Merkmale; In-situ-Werte der Schallreflexion und der Luftschalldämmung. Beuth Verlag, 2003.
- [8] Schupp, G., Weber, L., Zhang, Y.: Schalldämmung und Schallabsorption von Schallschirmen, die nicht nach ZTV-Lsw 88 und DIN EN 1793 geprüft werden können, Fraunhofer-IBP Bericht, Stuttgart, 2002.
- [9] de Bree H. et al, A practical device to determine the reflection coefficient of acoustic materials, ISMA 2004 Leuven, Belgium.