

Fachwissen Technische Akustik

Michael Möser *Hrsg.*

# Bauakustische Messungen

 Springer Vieweg

---

# **Fachwissen Technische Akustik**

Diese Reihe behandelt die physikalischen und physiologischen Grundlagen der Technischen Akustik, Probleme der Maschinen- und Raumakustik sowie die akustische Messtechnik. Vorgestellt werden die in der Technischen Akustik nutzbaren numerischen Methoden einschließlich der Normen und Richtlinien, die bei der täglichen Arbeit auf diesen Gebieten benötigt werden.

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/15809>

---

Michael Möser  
(Hrsg.)

# Bauakustische Messungen

 Springer Vieweg

*Herausgeber*  
Michael Möser  
Institut für Technische Akustik  
Technische Universität Berlin  
Berlin, Deutschland

ISSN 2522-8080                      ISSN 2522-8099 (electronic)  
Fachwissen Technische Akustik  
ISBN 978-3-662-57750-9              ISBN 978-3-662-57751-6 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-57751-6>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature  
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Bauakustische Messungen</b> .....	1
Heinz-Martin Fischer und Berndt Zeitler	
1 Allgemeine Hinweise .....	1
2 Aufgabenstellungen und Methodik der bauakustischen Messtechnik.....	2
3 Bauakustische Mess- und Berechnungsverfahren in der Normung .....	6
4 Messung der Luftschalldämmung und Luftschallübertragung .....	13
5 Messung der Trittschalldämmung und Trittschallübertragung .....	68
Literatur .....	100

---

## Autorenverzeichnis

**Dr.-Ing. Heinz-Martin Fischer** Hochschule für Technik Stuttgart, Stuttgart,  
Deutschland

**Dr.-Ing. Berndt Zeitler** Hochschule für Technik Stuttgart, Stuttgart,  
Deutschland



# Bauakustische Messungen

Heinz-Martin Fischer und Berndt Zeitler

## Zusammenfassung

Dieser Band der Reihe Fachwissen Technische Akustik behandelt die in der Bauakustik meistverbreiteten Messmethoden, vom theoretischen Hintergrund über anwendungspraktische Fragestellungen bis hin zu den nationalen und internationalen Normen. Die Normenreihe der DIN EN ISO 12354 dient dabei als roter Faden, da sie die messbaren Größen der Bauakustik in einen Gesamtzusammenhang bringt. Ausgehend von den Aufgabenstellungen der bauakustischen Messtechnik werden die infrage kommenden Kenngrößen erläutert. Ein wesentlicher Aspekt ist der Zusammenhang zu den bestehenden nationalen und internationalen Normen. Schwerpunktmäßig werden die Grundprinzipien der Luft- und Trittschalldämmung behandelt. Beschrieben werden Messverfahren, die im Labor und in Gebäuden zum Einsatz kommen. Dabei wird ausführlich auf die Schalldämmung als Bauteil- bzw. Systemeigenschaft eingegangen. Die aus den physikalischen Grundlagen ableitbaren Voraussetzungen der Messverfahren wie z. B. die Anforderungen an die Schallfelder und die

daraus ableitbaren Festlegungen der Messverfahren (z. B. Position und Anzahl von Lautsprechern und Mikrofonen) werden eingehend diskutiert. Auf praktische Fragestellungen wie die Notwendigkeit der Fremdgeräuschkorrektur oder den Einfluss der Körperschallnachhallzeiten auf die Messergebnisse wird bei den jeweiligen Messverfahren ebenfalls Bezug genommen. Ein ausführliches Literatur- und Normenverzeichnis ergänzt die behandelten Themen, sodass eine weiterführende Vertiefung ermöglicht wird.

## 1 Allgemeine Hinweise

Übliche Begriffe der Akustik werden in der Regel nicht erläutert, sofern es für die weitere Darstellung nicht erforderlich ist. Entsprechende Darstellungen finden sich in den einschlägigen Grundlagenbüchern. Insbesondere sei auf die DEGA-Empfehlung „Wellen und Felder“ hingewiesen [1].

Angesichts der Vielzahl von Verfahren, die für bauakustische Messungen eingesetzt werden, war es geboten, eine Auswahl vorzunehmen. Beabsichtigt wird dabei, anhand der Verfahren für die Messung der Luftschall- und Trittschalldämmung die grundlegenden Prinzipien der bauakustischen Messtechnik zu vermitteln. Weitere Verfahren können dann entsprechend kürzer behandelt werden, ohne dass auf spezielle

---

H.-M. Fischer (✉) · B. Zeitler  
Studiengang Bauphysik, Hochschule für Technik  
Stuttgart, Stuttgart, Deutschland  
E-Mail: heinz-martin.fischer@hft-stuttgart.de

B. Zeitler  
E-Mail: berndt.zeitler@hft-stuttgart.de



Details eingegangen wird. Einige Verfahren werden nur der Vollständigkeit halber aufgeführt.

Bauakustische Messverfahren sind in fast vollständigem Umfang in entsprechenden Normen niedergelegt. Auf diese wird bei der Behandlung der verschiedenen Verfahren stets auch Bezug genommen. Zur Vereinfachung wird dabei im Text bei solchen Normen, die gleichzeitig nationale und internationale Bezeichnungen tragen, stets das internationale Kürzel verwendet (z. B. also ISO 10140-1 anstelle DIN EN ISO 10140-1). Angesichts der Vielzahl bauakustisch relevanter Normen werden diese nicht im Literaturverzeichnis aufgeführt. Stattdessen enthält Anhang A eine nach Themengebieten sortierte Zusammenstellung, in der die Normen dann auch mit den vollständigen nationalen und internationalen Normungsbezeichnungen aufgefunden werden können.

Das Ziel der vorliegenden Darstellung liegt allerdings nicht in der möglichst vollständigen Wiedergabe der Normentexte. Das können die angesprochenen Normen selbst viel besser. Vielmehr geht es darum, die grundsätzlichen Fragestellungen bauakustischer Messungen verständlich zu machen, die sich dann in entsprechenden Anweisungen der Normen niederschlagen. Es geht auch darum, einzelne Normen in einen übergreifenden Zusammenhang zu stellen, gelegentlich auch darum, sie partiell zu hinterfragen. Die Lektüre der originalen Normentexte ist unabdingbar, wenn es um eine Anleitung zum normgerechten Arbeiten geht.

---

## **2 Aufgabenstellungen und Methodik der bauakustischen Messtechnik**

### **2.1 Aufgabenstellungen der bauakustischen Messtechnik**

Was wird in der Bauakustik gemessen? Die Antwort ergibt sich aus der Frage, womit sich die Bauakustik beschäftigt. Es sind die Vorgänge der Schallübertragung in Gebäuden, die Schalleinwirkungen auf das Gebäude und die

Schallabstrahlung vom Gebäude. Hinzu kommen die natürlichen und technischen Schallquellen, die im Gebäude in Erscheinung treten. Damit reichen die messtechnischen Aufgabenstellungen von den bauakustischen Eigenschaften des gesamten Gebäudes über die Eigenschaften einzelner Bauteile, Konstruktionen oder Schallquellen bis hin zu den Materialeigenschaften.

Auch wenn zahlenmäßig die Verfahren und die zugehörigen Regelwerke zum Luftschall überwiegen, kennt die Bauakustik a priori keine Beschränkung auf eine bestimmte Schallart. Grundsätzlich sind, wenn auch mit unterschiedlicher Gewichtung, Luftschall, Körperschall und Fluidschall/Wasserschall zu berücksichtigen. Als Sonderfall des Körperschalls tritt dabei der sogenannte Trittschall in Erscheinung. Die bauakustische Messtechnik ist somit eine Sammlung unterschiedlichster Verfahren und Methoden. Diese beruhen in einigen Fällen auf Methoden, die in anderen Kapiteln dieses Buches erläutert werden und für spezielle Fragestellungen der Bauakustik adaptiert werden. Darüber hinaus kennt die bauakustische Messtechnik aber auch eigenständige Methoden, die anderweitig nicht abgedeckt werden.

Grundsätzlich geht es um die Kennzeichnung der schalltechnisch relevanten Eigenschaften von Materialien, Bauteilen und kompletten Gebäuden. Die Messverfahren sollen die Voraussetzungen schaffen, dass Bauprodukte im Rahmen der schalltechnischen Entwicklung optimiert werden können, dass die schalltechnische Leistungsfähigkeit der Konstruktion beschrieben werden kann und dass ein Qualitätsvergleich einzelner Produkte unter einander ermöglicht wird. Dies beinhaltet auch die Überprüfung schalltechnischer Anforderungen, die an einzelne Bauteile oder Baukonstruktionen gestellt werden. Ein wesentlicher Aspekt der Bauteilkennzeichnung besteht darin, mithilfe der messtechnisch ermittelten Bauteilkennwerte die resultierenden bauakustischen Eigenschaften eines kompletten Gebäudes durch rechnerische Verfahren zu prognostizieren. Die Bauteileigenschaften müssen also so bestimmt werden, dass sie auch für das Gebäudeverhalten Relevanz besitzen.

Im baulichen Schallschutz werden Anforderungen an das Gebäude gestellt, z. B. an den Luftschall- und Trittschallschutz und die Einwirkung von Außenlärm und von Geräuschen haustechnischer Anlagen. Mithilfe geeigneter Messverfahren muss eine Überprüfung dieser Anforderungen möglich sein. Darüber hinaus werden Verfahren benötigt, mit denen eine messtechnische Analyse der bauakustischen Schwachstellen möglich ist.

Um alle genannten Bereiche abzudecken benötigt die bauakustische Messtechnik Verfahren für Laboruntersuchungen und Verfahren für Baumessungen.

## 2.2 Methodik der bauakustischen Messtechnik

Aus dem Grundprinzip der akustischen Übertragungskette nach Abb. 1 können die benötigten bauakustischen Messverfahren abgeleitet und den drei Anwendungsbereichen Emissions-, Transmissions- und Immissionsmessungen zugeordnet werden.

### 2.2.1 Emission

Der erste Anwendungsbereich beschäftigt sich mit der Emission der infrage kommenden Schallquellen. Im Vordergrund stehen dabei die haustechnischen Anlagen, die in erheblichem Maße zur Geräuschbelastung in Gebäuden beitragen. Im Rahmen der „klassischen“ Bauakustik ist das eher ein Nebengebiet, das aber zunehmend an Bedeutung gewinnt, da die europäische Normung nach ISO 12354 (siehe dazu Abschn. 3.2.6) zukünftig auch diesen Bereich durch Berechnungsverfahren abdeckt. Für derartige Berechnungen werden geeignete Eingangsdaten benötigt. Dies wiederum setzt

die Existenz geeigneter Messverfahren zur Beschreibung der Emissionseigenschaften der Schallquellen voraus. Für die Charakterisierung von Luftschallquellen sind die messtechnischen Aufgaben schon lange gelöst und in entsprechenden Regelwerken umgesetzt (siehe Kap. 5). Für den Bereich der Bauakustik muss die messtechnische Charakterisierung von Körperschall- und Fluidschallquellen hingegen als weitgehend offen betrachtet werden.

### 2.2.2 Transmission

Die Schallübertragung über Bauteile und Konstruktionen eines Gebäudes ist der Kernpunkt der „klassischen“ Bauakustik und auch heute noch die wesentliche Fragestellung in der Bauakustik. Im ersten Schritt kann die resultierende Übertragung, z. B. zwischen zwei Räumen eines Gebäudes, betrachtet werden, ohne dass dazu notwendigerweise die Eigenschaften der einzelnen Bestandteile bekannt sein müssen. Unabhängig davon, ob es sich um Luft- oder Körperschall handelt, kann das akustische Verhalten durch eine Übertragungs- oder Transferfunktion beschrieben werden. Das Bau-Schalldämm-Maß oder die Norm-Schallpegeldifferenz stellen z. B. eine solche (globale) Übertragungsfunktion dar. Stets geht es dabei aber um den Schallschutz im Gebäude, für den meistens mehrere Bauteile und Übertragungswege gleichzeitig verantwortlich sind.

Im Gegensatz dazu will man das Übertragungsverhalten einzelner Bauteile auch für sich alleine beschreiben. Dann handelt es sich um eine Bauteileigenschaft, die für das betrachtete Bauteil charakteristisch ist. Die gängigen Verfahren zur Beschreibung der Luftschall- oder Trittschalldämmung von Bauteilen können methodisch ebenfalls auf Übertragungsfunktionen zurückgeführt werden (siehe Abschn. 4.1 für den Luftschall und Abschn. 5.1 für den Trittschall). Die physikalischen Bedingungen, wie sie z. B. in der Statistischen Energieanalyse (SEA) betrachtet werden, gehen allerdings für viele Bauweisen von einem Energieaustausch zwischen benachbarten, d. h. akustisch gekoppelten Bauteilen aus. Es lässt sich zeigen, dass das Bauteilverhalten dann

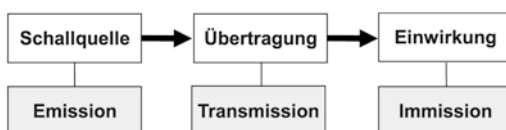
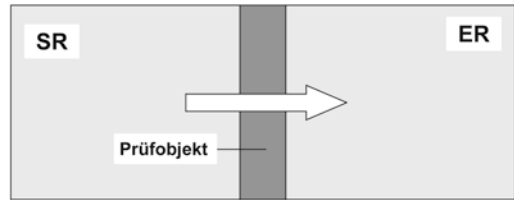


Abb. 1 Akustische Übertragungskette

nicht mehr alleine von den Bauteileigenschaften sondern von den Umgebungsbedingungen mit bestimmt wird. Das Bauteilverhalten wird somit zum „Systemverhalten“. Dies ist zu beachten, wenn von den Eigenschaften der Bauteile im eingebauten Zustand die Rede ist. Messtechnisch ist deshalb sicherzustellen, dass die Untersuchungen in einem wohldefinierten Umfeld stattfinden, damit die Ergebnisse aussagefähig und vergleichbar sind. Von Systemverhalten kann auch dann gesprochen werden, wenn mehrere Einzelbauteile zu einer Gesamtkonstruktion zusammengesetzt werden, sodass sich dafür ein resultierendes Verhalten ergibt. Dies ist beispielsweise bei zusammengesetzten Bauteilen der Fall (z. B. einer Wand mit Fenstern und Türen oder einer Fassadenkonstruktion aus Glasflächen, Pfosten und Riegeln).

Geht man noch einen Schritt weiter, dann stellt sich die Frage, inwiefern das Übertragungsverhalten von Bauteilen von deren Materialeigenschaften abhängt. Dies ist bedeutsam bei der Entwicklung und Optimierung schalldämmender Konstruktionen. Methoden zur Bestimmung der akustisch relevanten Materialeigenschaften können deshalb ebenfalls zum Repertoire der bauakustischen Messverfahren gezählt werden. Hierzu gehören Messungen des E-Moduls, der dynamischen Steifigkeit, des Strömungswiderstandes und des Verlustfaktors. Auch die Messung des Schallabsorptionsgrades und der geometrischen Eigenschaften könnte man dazu rechnen, obwohl diese meistens nicht als reine Materialeigenschaft darstellbar sind.

Methodisch müssen Bauteil- und Gebäudeeigenschaften, auch messtechnisch, strikt getrennt werden, wenn nicht irreführende Annahmen und Folgerungen provoziert werden wollen. Dies soll am Beispiel der Luftschalldämmung erläutert werden. Soll das schalldämmende Verhalten eines einzelnen Bauteils beschrieben werden, dann darf auch nur die Schallübertragung über dieses Bauteil betrachtet werden (siehe Abb. 2). Alle anderen möglichen Übertragungswege sind auszuschließen. Dies ist bei der Messung durch geeignete Prüfstände sicherzustellen (siehe dazu Abschn. 4.4).



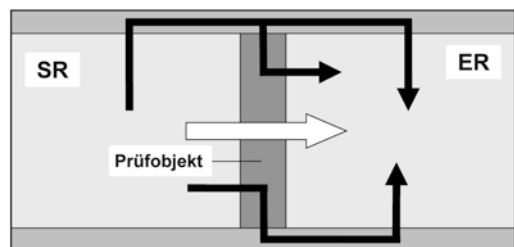
**Abb. 2** Schallübertragung bei der Messung der Schalldämmung eines Trennbauteiles

SR: Senderraum, ER: Empfangsraum

Es handelt sich hier um eine Bauteileigenschaft, die die schalltechnische Leistungsfähigkeit des Produktes beschreibt, Produkte untereinander vergleichbar macht und als Produkteigenschaft in Berechnungs- und Prognoseverfahren, auch für das Gesamtsystem, verwendet werden kann.

Im Gegensatz dazu ist der Schallschutz im Gebäude eine resultierende Eigenschaft unterschiedlicher Bauteile und Schallübertragungswege. Soll z. B. die Schalldämmung zwischen zwei Räumen beschrieben werden, dann können die Verhältnisse nach Abb. 3 herangezogen werden. Zur Übertragung über das trennende Bauteil (weißer Pfeil) kommen nun weitere Übertragungswege dazu, von denen in dieser Abbildung diejenigen über flankierende Bauteile (schwarze Pfeile) berücksichtigt wurden.

Die für den Luftschall aufgezeigte Unterscheidung gilt sinngemäß auch für die Trittschalldämmung. Sie ist von der harmonisierten europäischen Normung des baulichen Schallschutzes gewollt und gefordert. Dieser methodische Ansatz zeigt sich programmatisch in der ISO 12354 („Berechnung der akustischen



**Abb. 3** Direkte und flankierende Schallübertragung bei der Messung des Schallschutzes zwischen zwei Räumen

Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften“) für die Berechnung des Schallschutzes in Gebäuden (siehe Abschn. 3.2).

SR: Senderraum, ER: Empfangsraum

### 2.2.3 Immission

Hier interessiert die Schalleinwirkung an einem definierten Einwirkungsort. Dabei geht es primär nicht um die Art der Schallübertragung sondern um die messtechnische Erfassung der betrachteten Einwirkungsgröße. Dies kann – der häufigste Fall – ein Luftschallpegel sein. Aber auch Körperschallgrößen (z. B. Körperschallschnelle oder -beschleunigung) können von Interesse sein. Die Notwendigkeit der messtechnischen Erfassung solcher Immissionsgrößen ergibt sich meist aus der Einhaltung der von Regelwerken oder gesetzlichen Vorgaben gestellten Anforderungen. Typische Beispiele im Bereich der Bauakustik sind:

- Luftschallpegel haustechnischer Anlagen
- Luftschallpegel von Gewerbebetrieben im selben Gebäude
- Luftschallpegel aus der Gebäudeumgebung, verursacht durch Verkehr oder Industrie
- Körperschallpegel, verursacht durch Maschinen oder technische Anlagen im selben Gebäude oder in der Nachbarschaft
- Erschütterungen, die von außen auf das Gebäude einwirken (Verkehr, Industrie)

Da Körperschallmessmethoden in [187] beschrieben werden, beschränkt sich dieser Band auf die Bestimmung von Luftschallimmissionen.

## 2.3 Messtechnische Größen und Kenngrößen

Für Luftschallmessungen werden die interessierenden Feldgrößen (Schalldruck und Schallschnelle in den Kap. 1.1.2 in [188] und 2.2.1 in [189] behandelt. Angaben zu den energetisch definierten Größen (Schalleistung und

Schallintensität) finden sich in Kap. 2 in [190]. Die bei Körperschallmessungen in Betracht kommenden Größen (Körperschallschnelle und -Beschleunigung, Kraft) in Kap. 2 in [187] erläutert. Dort finden sich auch Angaben zu den über Kraft und Schnelle definierten Impedanzen und Admittanzen.

Grundlage der klassischen bauakustischen Messverfahren ist die Messung des Schalldrucks. So werden alle benötigten Kenngrößen der Luftschalldämmung, aber auch der Trittschalldämmung, über Schallpegelmessungen ermittelt. Selbst bei der Kennzeichnung der strömungsakustischen Eigenschaften von Wasserarmaturen wird bei der Messung des Armaturengeräuschpegels  $L_{ap}$  nur eine Luftschallmessung durchgeführt. In neueren Verfahren werden auch Messungen der Schallintensität vorgesehen, z. B. in ISO 15186 (Teile 1 und 2) zur Bestimmung der Schalldämmung. Körperschallgrößen werden in den genormten bauakustischen Messverfahren erst neuerdings berücksichtigt, beispielsweise bei der Messung von Körperschall-Nachhallzeiten (siehe Abschn. 4.5.3), der messtechnischen Bestimmung des Stoßstellendämm-Maßes  $K_{ij}$  oder der Bestimmung der Körperschalleistung von Geräten.

Die genannten Größen werden in der Bauakustik üblicherweise als Pegelgrößen verwendet. Bezugswerte zur Pegelbildung sind in ISO 1683 festgelegt. Weitere Angaben für Pegel im Luftschallbereich finden sich in Kap. 2.1 in [189] für den Schalldruckpegel und in [190] für den Schalleistungspegel und den Schallintensitätspegel. Pegel des Körperschallbereichs für Schnelle, Beschleunigung und Kraft werden in Kap. 2 in [187] erläutert.

Mit Ausnahme einiger Materialeigenschaften werden in der Bauakustik alle Kenngrößen frequenzabhängig gemessen. Dazu wird eine Filterung in Terzbändern, gelegentlich auch in Oktavbändern, vorgenommen. In den genormten Messverfahren finden sich Regelungen, wie die Frequenzgänge dieser Kenngrößen grafisch und tabellarisch darzustellen sind. Zur Deklaration