

# Schallemissionen gebäudetechnischer Anlagen im Holzbau

Dr. Andreas R. Mayr  
Hochschule Rosenheim  
DE-Rosenheim





# Schallemissionen gebäudetechnischer Anlagen im Holzbau

## 1. Einleitung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels ist die Nachhaltigkeit von Wohngebäuden von enormer Bedeutung für die Gesellschaft des 21sten Jahrhunderts. Niedrigenergie- und Passivhauskonzepte können entscheidend dazu beitragen, den Energieverbrauch in Deutschland maßgeblich zu reduzieren. Diese Konzepte erfordern neue Bauweisen und energieeffiziente gebäudetechnische Anlagen, insbesondere Heizungsanlagen, Wärmepumpen und Lüftungsanlagen. Zusätzlich zur Energieeffizienz wird aber bei modernen Gebäuden ein hoher Wohn- und Arbeitskomfort gefordert und geschuldet. Diesbezüglich ist der bauliche Schallschutz zu einem wesentlichen Qualitätskriterium von Wohngebäuden geworden. Der beim Betrieb von gebäudetechnischen Anlagen erzeugte Lärm wird zunehmend als Problem wahrgenommen, das die Wohnqualität, das Wohlbefinden und damit verbunden die Gesundheit negativ beeinträchtigen kann. Durch die permanente Lärmbelastigung am Arbeitsplatz, durch Verkehr etc. ist die Erholung von Lärmeinwirkungen im eigenen Wohnbereich unerlässlich und lässt der Nachhaltigkeit des baulichen Schallschutzes eine große Bedeutung zukommen. Dieser kann momentan aufgrund fehlender Planungswerkzeuge für die von gebäudetechnischen Anlagen ausgehenden Schallemissionen nicht gewährleistet werden.

Im Rahmen eines aktuellen, kooperativen Forschungsvorhabens der Hochschule Rosenheim und der Hochschule für Technik Stuttgart soll dieser Missstand beseitigt werden, indem aufeinander abgestimmte Mess- und Prognoseverfahren für die Körperschallerzeugung und Schallübertragung gebäudetechnischer Anlagen im Massivbau sowie im Holz- und Leichtbau erarbeitet, validiert und Anwendern bereitgestellt werden. Damit soll ein vollständiges Instrumentarium geschaffen werden, mit dem die Geräusche gebäudetechnischer Anlagen unter besonderer Berücksichtigung ihrer Körperschalleigenschaften von der Quelle über die Übertragung im Gebäude bis zum Einwirkungsort geschlossen beschrieben werden können. Die Methoden sollen den Anlagenhersteller für die Charakterisierung der Schallquellen und deren schalltechnische Optimierung zur Verfügung stehen und sollen von den Gebäudeplanern als Prognoseinstrument für die schalltechnische Planung und Auslegung genutzt werden können. Dies ist ausgesprochen anspruchsvoll, da gebäudetechnische Anlagen in vielen Fällen vor allem Körperschallquellen darstellen, deren physikalische Beschreibung aufgrund von Wechselwirkungen zwischen Quellen und Empfangsstrukturen ungleich komplizierter ist als die von Luftschallquellen. So ist die Körperschallerzeugung und -übertragung im Massivbau bekanntermaßen völlig unterschiedlich gegenüber den im Holzbau vorliegenden Bedingungen. Dies erfordert eine separate Betrachtung der Anrege- und Übertragungsmechanismen für beide Gebäudearten und bedingt die Kooperation der HFT-Stuttgart (spezialisiert auf Massivbau) und der HS Rosenheim (spezialisiert auf Holz- und Leichtbau). Durch die Beteiligung von Unternehmen aus der gewerblichen Wirtschaft wird zudem sichergestellt, dass die aktuellen Bedingungen des Bauwesens Berücksichtigung finden und die praktische Umsetzbarkeit der Lösungen gewährleistet ist.

## 2. Stand der Wissenschaft und Normung

Generell ist festzustellen, dass Schallemissionen gebäudetechnischer Anlagen im Allgemeinen und deren Körperschallerzeugung und -übertragung im Speziellen aus bauakustischer Sicht bislang nur spärlich bearbeitet wurden, gleichwohl hier ganz erhebliche schalltechnische Probleme beinhaltet sind. Eine maßgebliche Ursache für die Vernachlässigung dieses Themenbereichs ist dessen Komplexität, die über übliche bauakustische Maßstäbe weit hinausgeht. Im Gegensatz zur Luftschallerzeugung und -übertragung muss bei der Körperschallübertragung zusätzlich die Wechselwirkung zwischen Quellen- und Empfangsstrukturen betrachtet werden, deren exakte Beschreibung zwar theoretisch möglich, aber ausgesprochen aufwändig ist, speziell bei Quellen mit mehreren Kontakt-

punkten und Freiheitsgraden (Kräfte und Momente) [1]. Für eine vollständige Charakterisierung von Quellen müssen die dynamischen Eigenschaften (freie Schnelle und Admittanz) an den Ankopplungspunkten der Quelle für alle 6 Freiheitsgrade bekannt sein. Auf diesem Ansatz beruht die Quellencharakterisierung anhand des "Source Descriptors" [2], [3], welche allerdings bislang keine praktische Relevanz erreichen konnte.

Aufgrund der Komplexität realer Körperschallquellen ist eine Berechnung der benötigten Daten rein auf Grundlage der konstruktiven Eigenschaften einer Quelle im Allgemeinen nicht möglich. Demzufolge muss die Charakterisierung auf Basis von Messungen erfolgen. Hierzu stehen aus der Maschinenakustik Messverfahren zur Verfügung [4], [5], die für die Belange der Bauakustik adaptiert und etabliert werden können. Grundlegende Untersuchungen hierzu wurden bereits von der HFT-Stuttgart in Kooperation mit der University of Liverpool durchgeführt [6]-[8].

Die schalltechnische Charakterisierung von Körperschallquellen ist mittlerweile zu einem wichtigen Thema innerhalb der europäischen bauakustischen Normung bei CEN/TC126 (Building Acoustics) geworden. Die Arbeitsgruppe WG7 der CEN/TC126 beschäftigt sich mit messtechnischen Methoden zur Charakterisierung von gebäudetechnischen Anlagen. Dort diskutierte Ansätze führten zur sog. Empfangsplattenmethode, die inzwischen auch als europäische Norm vorliegt [9]. Bei dieser Methode werden Körperschallquellen an einer Empfangsplatte mit bekannten Eigenschaften installiert und die übertragene Körperschalleistung mit einer relativ einfachen Messmethode bestimmt. Für sogenannte Kraftquellsituationen, die vor allem im Massivbau im Allgemeinen gegeben sind, kann die Leistungsübertragung in andere Empfangsstrukturen, (z.B. Decken und Wände) umgerechnet werden. Damit steht erstmals ein praktikables Verfahren für die Charakterisierung von Körperschallquellen zur Verfügung.

Zur Prognose der Körperschallausbreitung und -abstrahlung in Gebäuden steht das Verfahren nach EN 12354 – Teil 5 [10] zur Verfügung. Allerdings ist die Anwendung bislang auf den Massivbau beschränkt und praktische Erfahrungen in der Anwendung liegen kaum vor. Der bislang einzige bekannte Verifizierungsversuch des Prognosemodells wurde unter Massivbaubedingungen im Rahmen eines Forschungsvorhabens der HFT Stuttgart für Heizungsanlagen durchgeführt [11]. Trotz der vielversprechenden Ergebnisse dieser Studie können noch keine allgemeingültigen Aussagen zur Anwendbarkeit und Genauigkeit des Prognosemodells gemacht werden. Hierzu sind weitere gebäudetechnische Anlagen in unterschiedlichen Gebäudesituationen zu untersuchen. In einem weiteren Schritt soll das für den Massivbau existierende, aufwändige Modell so vereinfacht werden, dass es von Planern mit vertretbarem Aufwand für die schalltechnische Prognose und Auslegung genutzt werden kann.

Dies ist gleichzeitig auch die Zielformulierung des Forschungsvorhabens für die von gebäudetechnischen Anlagen ausgehenden Schallemissionen im Holzbau. Allerdings fehlen für den Bereich gebäudetechnischer Anlagen im Holzbau Erfahrungen, wie sie im Massivbau bereits vereinzelt vorhanden sind, noch gänzlich. Dies ist in der Komplexität und Inhomogenität dieser Konstruktionen begründet. Praktikable Verfahren und Methoden zur Charakterisierung von Körperschallquellen, die eine einfache Umrechnung auch auf Holzbaustrukturen beinhalten bzw. erlauben, sind erst seit kurzem Gegenstand wissenschaftlicher Forschung. Dabei sind die bereits genannten Normungsgremien bestrebt, die für den Massivbau erarbeiteten Methoden auf den Holz- und Leichtbau auszuweiten. Dabei ergaben sich allerdings zahlreiche Fragestellungen, die bislang noch nicht, oder noch nicht in ausreichendem Maße, bearbeitet werden konnten und Inhalte des genannten Forschungsvorhabens darstellen. Ein zentraler Aspekt dabei ist die Prognose der installierten Körperschalleistung. Bei realen Quellen mit mehreren Kontaktpunkten und inhomogenen Empfangsstrukturen werden diese Berechnungen sehr schwierig. Im Rahmen eines üblichen Laborbetriebs wie auch für Planer und Hersteller gebäudetechnischer Anlagen sind diese Berechnungen nicht anwendbar. Erste Untersuchungen an einer Holzbalkendecke zeigen das Potential eines Verfahrens, welches die tatsächlich vorhandene Anzahl von Kontaktpunkten auf einen einzelnen Kontaktpunkt reduziert, ohne die physikalischen und strukturdynamischen Einflüsse sämtlicher Kontakte zu vernachlässigen [12]. Dieses sogenannte single equivalent excitation Konzept führt zu einer erheblichen

Vereinfachung der Berechnungen und lässt sich in die bereits für den Massivbau vorhandenen Modelle integrieren. Dieses Konzept ist aktuell Bestandteil eines in der Arbeitsgruppe CEN/TC126/WG7 diskutierten Normvorschlags, der die Ausweitung des bereits existierenden Messverfahrens zur Erfassung der Körperschallerzeugung (EN 15657-1) auf den Holz- und Leichtbau beschreibt (Vorschlag EN 15657-2). Allerdings fehlen hier die für eine Verallgemeinerung der Anwendbarkeit bzw. für Aussagen zur Genauigkeit erforderlichen Datengrundlagen sowohl aus dem Bereich der gebäudetechnischen Anlagen als auch aus dem Bereich der Holzbaustrukturen fast gänzlich.

Bei CEN/TC126 wurde in der Arbeitsgruppe WG2/AHG4 kürzlich versucht, das vorhandene Gebäudeübertragungsmodell der EN 12354 auf den Holz- und Leichtbau zu erweitern. Vereinzelt Beiträge dazu können der Literatur entnommen werden, z. B. [13], [14]. Diese beschränken sich allerdings ausschließlich auf die Luft- und Trittschallübertragung, ohne jedoch auf die Schallübertragung, resultierend aus gebäudetechnischen Anlagen, einzugehen. Für Teilbereiche des Schallübertragungsmechanismus bei Holzbaustrukturen kann auf vereinzelt Literaturstellen aus dem Bereich der Grundlagenforschung, z.B. Admittanzen inhomogener Strukturen [15]-[18], Energieverteilung in inhomogenen Bauteilen [19],[20], Transmission und Abstrahlgrad inhomogener Strukturen [21]-[1] zurückgegriffen werden.

Wesentliche wissenschaftliche Impulse sind in den letzten Jahren durch die Schallschutznormung auf europäischer Ebene ausgelöst worden. Dazu gehören vor allem bei CEN/TC 126 (Building Acoustics) die Normungsarbeiten zur Prognose des baulichen Schallschutzes durch Berechnungsverfahren im Rahmen der EN 12354 und die Behandlung von gebäudetechnischen Anlagen als Körperschallquellen. Verstärkt werden diese neuen Regelwerke auf nationaler Ebene umgesetzt und schaffen neue Möglichkeiten zur Behandlung des baulichen Schallschutzes in der praktischen Anwendung. Dies schlägt sich z.B. nieder in einer kompletten Neubearbeitung des für den baulichen Schallschutz zentralen Regelwerkes DIN 4109 (Schallschutz im Hochbau).

Es ist offensichtlich, dass das genannte kooperative Forschungsvorhaben derzeit nur durch den Beitrag aus der aktuellen internationalen Normungsarbeit auf einem aktuellen wissenschaftlichen Stand sein kann, dass es aber auch wesentliche Impulse für diese Arbeit liefern kann. Des Weiteren zeigt sich aber auch, dass ein wesentlicher Teil der praktischen Umsetzung der Forschungsergebnisse auf die Einbringung in die nationale Schallschutznormung hin abzielt. Dies gilt insbesondere für die Behandlung von Schallquellen der technischen Gebäudeausstattung bei der Prognose der Schalleinwirkungen und bei deren messtechnischen Charakterisierung als Körperschallquellen.

### **3. Kurze Vorstellung der Projektinhalte**

In einem ersten Schritt erfolgt die Vorauswahl von repräsentativen Körperschallquellen (Wärmepumpe, Lüftungsanlage, Sanitärinstallationen) in Abstimmung mit beteiligten Kooperationspartnern. Des Weiteren erfolgt eine Vorauswahl von prädestinierten Kenngrößen zur vibro-akustischen Beschreibung der Geräte (Schallleistung, freie Schnelle, Admittanz, Kurzschlusskraft) unter Berücksichtigung der Praxisauglichkeit und der Erfordernisse an eine hinreichende Prognosegenauigkeit. Zur experimentellen Ermittlung dieser Kenngrößen müssen dann Versuchsaufbauten und Prüfverfahren konzipiert werden. Zusätzlich zum Körperschallanteil ist der Luftschallanteil auf die Schallübertragung zu bestimmen und Messunsicherheiten sind zu quantifizieren. Für ausgewählte Quellen sollen Untersuchungen zum Konzept der single-equivalent excitation [12] durchgeführt werden, das eine vielversprechende Möglichkeit zur Vereinfachung der vollständigen Quellencharakterisierung darstellt.

Desweiteren sollen die Wechselwirkungen zwischen Quellen (Geräten) und damit verbundenen Strukturen (Wände, Decken) bei der Körperschalleinleitung untersucht werden. Für die dafür erforderlichen messtechnischen Studien sollen zusammen mit den beteiligten Industriepartnern repräsentative und ggf. idealisierte Versuchsaufbauten für den Holzbau im Labor realisiert werden. Zudem soll der Einfluss der Quellenpositionierung auf die Körperschalleinleitung rechnerisch und messtechnisch untersucht werden, der speziell bei Holzbaustrukturen von maßgeblicher Bedeutung sein dürfte.

Basierend auf der ermittelten Körperschalleinleitung soll die Energieverteilung in Gebäudestrukturen untersucht werden. Dies erfolgt u.a. anhand experimenteller Modalanalysen an den Laboraufbauten. Darüber hinaus sollen Einflussfaktoren auf die Energieverteilung sowie auf das Abstrahlverhalten messtechnisch untersucht werden. Zusammen mit oben genannten Ergebnissen sollen die hier erzielten Erkenntnisse in einem Prognosemodell für die Direktübertragung über das Trennbauteil Berücksichtigung finden, welches anhand von In-situ-Messungen im Labor validiert werden soll. Unter Direktübertragung ist dabei die Körperschalleinleitung und -abstrahlung des mit der Quelle in Verbindung stehenden Bauteils zu verstehen. Die Validierung des Prognosemodells für die Direktübertragung ist die Voraussetzung für die Prognose der Flankenübertragung und damit für das zu entwickelnde Gebäudemodell im Holzbau.

Parallel dazu werden die charakteristischen Größen der Gebäudestrukturen erfasst und in einer Datenbank katalogisiert.

In einem weiteren Schritt soll die Körperschallausbreitung in Gebäuden in Holzbauweise untersucht werden. Dazu sollen in Abstimmung mit den beteiligten Industriepartnern reale Gebäude mit repräsentativen Übertragungssituationen ausgewählt werden. Zusätzlich zur Gesamtübertragung soll in diesen Gebäuden die Übertragung über das Trennbauteil und über die sog. Flankierenden Bauteile messtechnisch erfasst werden. Dies dient u.a. dazu, die maßgeblichen Schallübertragungswege zu identifizieren, was von großer Relevanz für das zu entwickelnde Prognosemodell ist.

Weiter sollten die für das Holzbau-Prognosemodell angestrebten Vereinfachungen sowie das Konzept der „single equivalent excitation“ für die Körperschalleinleitung untersucht und mit „exakten“ Berechnungen und Messungen verglichen werden. Weitere Erkenntnisse aus messtechnischen Untersuchungen zur vereinfachten Beschreibung der Schallabstrahlung und Schallübertragung in Holzbaustrukturen sollen in ein Rechenmodell integriert werden. Mit diesem, idealerweise auf Einzahlwerten basierenden Prognosemodell, soll die Schallübertragung für ausgewählte Übertragungssituationen in ausgewählten Gebäudesituationen berechnet werden können.

Mittels In-situ-Messungen in den ausgewählten Gebäuden in Holzbauweise soll dann abschließend das erarbeitete Prognosemodell validiert werden. Dafür sollen die ausgewählten und charakterisierten Referenzquellen in die Gebäude installiert und unter bauüblichen Bedingungen betrieben werden. Für Vergleichszwecke mit den Prognosemodellen sollen sowohl die eingeleitete In-situ Körperschalleistung als auch die Gesamtschallübertragung messtechnisch erfasst werden. An diese Vergleiche schließen sich Unsicherheitsbetrachtungen an. Daraus sollen sich mögliche Verbesserungen für das Rechenmodell ableiten lassen (model updating).

Mit dem erarbeiteten Prognosemodell soll dann erstmalig der Schallschutz gegenüber haustechnischen Anlagen gebäudeseitig dimensioniert werden können, wobei die bauartenspezifischen Eigenschaften des Holzbaus berücksichtigt werden können. Durch die praxisnah und anwenderfreundlich konzipierten Prognoseverfahren sollte dann auch für den bislang problematischen Bereich der Gebäudetechnik eine am Schallschutz orientierte Planung des Gebäudes möglich sein. Das Risiko einer unnötigen Überdimensionierung oder einer ungewollten Unterdimensionierung der baulichen Auslegung wird vermieden. Dies gestattet eine wirtschaftliche Auslegung des Gebäudes gemäß den realen Anforderungen. Damit wird Planungssicherheit für einen Bereich geschaffen, der bislang vor allem von Unwägbarkeiten geprägt war. Die Planungsinstrumente gestatten auch die Entwicklung von baulichen Referenzlösungen, die von den Herstellern auf dem Markt kommuniziert werden können. Dies steigert die Wirtschaftlichkeit der gewählten Bauweisen, deren Akzeptanz auf dem Markt und deren Wettbewerbsfähigkeit.

## 4. Danksagung

Der Autor dieses Artikels bedankt sich herzlich bei den Kollegen J. Scheck und H.-M. Fischer, HFT-Stuttgart, und U. Schanda, HS Rosenheim, für die gemeinsame Arbeit an dem diesem Artikel zugrunde liegenden Projektantrag zu dem genannten kooperativen Forschungsvorhaben. Projektförderung im Rahmen des Förderprogramms des BMBF „Forschung an Fachhochschulen“ Förderlinie „FHprofUnt“ 2012, Kennzeichen 03FH089PX2

## 5. Literatur

- [1] Gibbs B. M., Qi N., Moorhouse A. T.: A practical characterisation for vibro-acoustic sources in buildings, *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 93 (1), 84-93, 2007
- [2] Wolde T. T., Gedefelt G. R.: Development of standard measurement methods for structure-borne sound emission, *Noise Control Engineering Journal*, Vol. 28 (1), 5-14, 1987
- [3] Mondot J. M., Petersson B. A. T.: Characterization of structure-borne sound sources: The source descriptor and the coupling function, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 114 (3), 507-518, 1987
- [4] ISO 7626-5: Experimental determination of mechanical mobility Part 5: Measurement using impact excitation with an exciter which is not attached to the structure, 1995
- [5] ISO 9611: Acoustics - Characterisation of sources of structure-borne sound with respect to sound radiation from connected structures - Measurement of velocity at the contact points of machinery when resiliently mounted, *British Standard*, 1996
- [6] Späh, M. M.: Characterisation of structure-borne sound sources in buildings, PhD Thesis of The University of Liverpool, 2006.
- [7] Alber, T. H.: Valves as sources of structure-borne sound, PhD Thesis of The University of Liverpool, 2006.
- [8] Scheck, J. M.: Characterisation of stairs as structure-borne sound sources, PhD Thesis of The University of Liverpool, 2011.
- [9] EN 15657-1: Acoustic properties of building elements and of buildings - Laboratory measurement of airborne and structure borne sound from building equipment - Part 1: Simplified cases where the equipment mobilities are much higher than the receiver mobilities, taking whirlpool baths as an example, 2009
- [10] EN 12354-5: Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - Part 5: Sounds levels due to the service equipment, October 2009
- [11] Ruff, A.; Mayr, A. R.; Fischer H.-M.: Prediction of the sound transmission of heating devices in buildings according EN 12354-5, *Internoise 2010*, Lisbon, Portugal, 2010
- [12] Mayr A. R., Gibbs B. M.: Single equivalent approximation for multiple contact structure-borne sound sources in buildings, *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 98 (2012) 402-410, 2012
- [13] Gerretsen E.: "Possibilities to improve the modelling in EN 12354 for lightweight elements", *Proceedings of Euronoise 2006*, Tampere, Finland.
- [14] M. Villot, C. Guigou-Carter, "Prediction method adapted to lightweight constructions and related laboratory characterizations" *Proceedings of Forum Acusticum 2005*, Budapest, pp. 1949-1954 (2005).
- [15] Nightingale T. R. T., Bosmans I.: "Two modelling approaches for periodic rib-stiffened plates typical of floor assemblies", *Proc. ICSV 14*, Cairns, Australia, 2007.
- [16] Mayr A. R., Nightingale T. R. T.: "On the mobility of joist floors and periodic rib-stiffened plates", *Proc. Internoise 2007*, Istanbul, 2007.
- [17] Mayr A. R., Gibbs B. M.: "Point- and transfer mobility of point-connected ribbed plates", *Journal of Sound and Vibration* 330, 4798-4812 (2011).
- [18] Brunskog J., Hammer P.: "Prediction Models of Impact Sound Insulation on Timber Floor Structures; a Literature Survey", *Building Acoustics*, Vol. 7(2), 89-112, 2000.
- [19] Tschakert R., Petersson B. A. T.: "The attenuation of structure-borne sound in non-periodically stiffened plates", *Proc. ICA*, Madrid, Spain, 2007.
- [20] Sjökvist L.-G., Brunskog J.: "Modal analysis for floors in lightweight buildings", *Proc. Internoise 2007*, Istanbul, Turkey, 2005.
- [21] Schönwald S., Nightingale T.R.T., Gerretsen E., Martin H.: "Application of the direct method of ISO 10848 to flanking transmission through double leaf gypsum board walls", *Proc. Internoise 2006*, Honolulu, Hawaii, USA, 2006.
- [22] Bosmans I., Nightingale T. R. T.: "Modeling vibrational energy transmission at bolted junctions between a plate and a stiffening rib", *J. Acoustical Society of America*, Vol. 109(3), 999-1010, 2001.
- [23] Vörtl R.: "Analyse der Schallübertragung einer Trockenbauwand durch Kartierung der Schallintensität", *Diplomarbeit an der Hochschule Rosenheim*, 2007.