

# Körperschallübertragung im Holzbau Übertragungsfunktionen

Fabian Schöpfer  
Hochschule Rosenheim  
Rosenheim, Deutschland





# Körperschallübertragung im Holzbau Übertragungsfunktionen

## 1. Einleitung

Neben der verbreiteten Anwendung für Einfamilienhäuser eröffnen sich für den Holzbau durch die Weiterentwicklung der konstruktiv-technischen Lösungen, aber auch aufgrund einer Ausweitung von baulichen Reglementierungen neue Märkte, zum Beispiel im mehrgeschossigen Wohnungsbau im urbanen Raum. Zudem gewinnt der Holzbau auch in der Gesellschaft als zukunftsweisende, nachhaltige und energiesparende Bauweise wachsenden Zuspruch. Dennoch bleibt ein hoher Wohn- und Arbeitskomfort neben den Aspekten der Nachhaltigkeit und Energieeffizienz ein wesentliches Qualitätskriterium. Hier spielt der bauliche Schallschutz eine tragende Rolle. Allerdings sind in Niedrigenergie- und Passivhauskonzepten meist gebäudetechnische Anlagen erforderlich, die im Betrieb ungewollte Geräuschemissionen verursachen können. Bei zentralen heiztechnischen Anlagen oder einer Wohneinheitentrennung ist der Schallschutz nicht nur gewünscht, sondern auch geschuldet [1]. Aber auch im eigenen Wohnbereich gibt es Empfehlungen für maximale Schalldruckpegel [2, 3, 4] erzeugt durch heiztechnische Anlagen in der eigenen Wohnung [1]. Aus diesen Gründen ist es bereits in der Planungsphase notwendig, den zu erwartenden Schalldruck berechnen zu können.

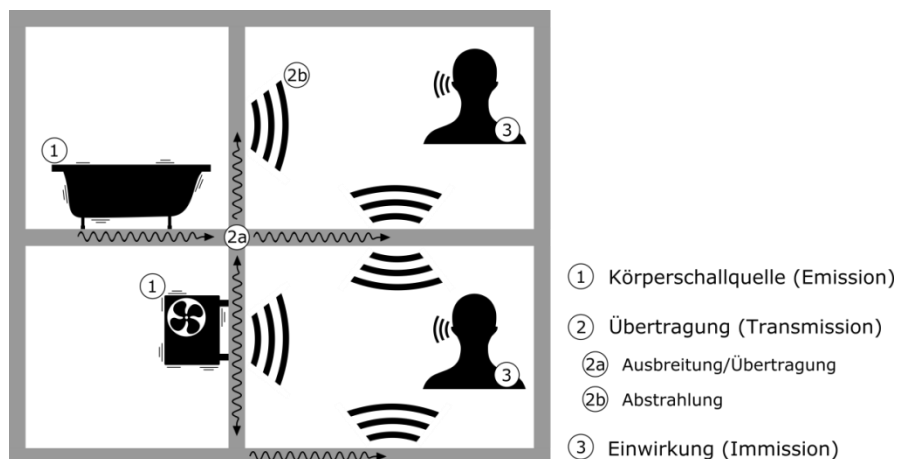


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Gesamtübertragung von der Quelle bis zur Einwirkung.

Da Geräte und Anlagen mit der Gebäudestruktur verbunden sind, können sie zusätzlich zum abgestrahlten Luftschall vom Gerätegehäuse auch direkt Vibrationen (Körperschall) in das Gebäude einleiten. Der Luft- und Körperschallanteil kann bei der Berechnung der Schallübertragung separat betrachtet werden. Der resultierende Schalldruckpegel ergibt sich dann aus der energetischen Summe der beiden Komponenten. In leichten Gebäudestrukturen ist dabei der anteilige Schalldruckpegel, verursacht durch Körperschallanregung, meist maßgeblich.

Die Beschreibung der Körperschalleinleitung und -übertragung ist im Vergleich zur Luftschallübertragung ungleich komplizierter, da die strukturdynamischen Eigenschaften von Quellen und Empfangsstrukturen in die Berechnung eingehen und zusätzlich deren Wechselwirkung berücksichtigt werden muss. Vor dem Hintergrund dieser Komplexität gibt es bisher nur erste Ansätze für Berechnungsmethoden die im Sinne einer praktikablen und effizienten Schallschutzplanung sind. Umfassend validierte und standardisierte Prognosewerkzeuge sind bisher leider nicht vorhanden.

Dieser Beitrag gibt eine generelle Übersicht über die Herausforderungen bei der Prognose der Körperschalleinleitung und -übertragung speziell im Holzbau. Dabei werden mögliche Ansätze für Berechnungsverfahren aufgezeigt. Die ersten Ergebnisse eines empirischen Ansatzes, aus dem im Oktober 2017 abgeschlossenen Forschungsprojektes «Nachhaltiger Schallschutz gebäudetechnischer Anlagen in energetisch optimierten Gebäuden», werden herausgegriffen und anhand einer Fallstudie vorgestellt.

## 2. Gesamtübertragung

Für die Prognose ist also ein Berechnungsmodell notwendig, das die gesamte Übertragung von der Vibrationserzeugung der haustechnischen Anlage bis hin zum wahrgenommenen Schalldruckpegel umfasst. Dabei können die Körperschallerzeugung und die Übertragung durch das Gebäude wie in Abbildung 1 dargestellt, unterschieden und zunächst separat behandelt werden. Dies ermöglicht eine individuelle Charakterisierung von Quellen und ihren Körperschalleigenschaften im Rahmen von Laborprüfverfahren. Unabhängig davon ist ein Modell für die Übertragung durch das Gebäude.

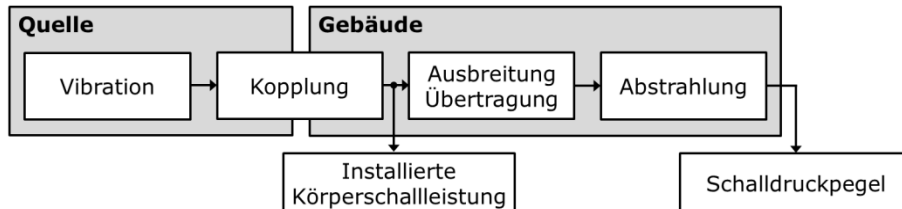


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Übertragungsprozesses.

## 3. Bestimmung der Eingangsgröße für die Übertragung

Um letztlich die Daten der Quellencharakterisierung in einem Berechnungsmodell für die Übertragung verwenden zu können, ist allerdings noch die Kenntnis der Kopplung zwischen Quelle und Struktur für die jeweilige Situation notwendig. Aus der Berechnung der Körperschalleinleitung unter Berücksichtigung der Kopplung ergibt sich die sogenannte installierte Körperschalleistung als benötigte Eingangsgröße für ein Modell zur Berechnung der Übertragung (s. Abbildung 2).

Zur Ermittlung der benötigten Quellgrößen und der Berechnung der eingeleiteten Leistung wurden in den vergangenen Jahren Methoden ergänzend zu den etablierten Verfahren zur Bestimmung der Luftschalleistung von Geräten erarbeitet. So wurde aufbauend auf Forschungsarbeiten in diesem Fachgebiet [5-10] in der Arbeitsgruppe WG7 der CEN/TC126 (Building Acoustics) die europäische Norm EN 15657 zur messtechnischen Charakterisierung von Körperschallquellen ausgearbeitet [11].

Da das Verhalten von Körperschallquellen abhängig von der Struktur ist, an die sie angekoppelt wird, sind je nach Situation im Wesentlichen zwei Fälle zur Beschreibung der Körperschalleinleitung zu unterscheiden. Für den jeweiligen Fall sind dabei unterschiedliche Größen zur Beschreibung der Quellenaktivität relevant. Dies ist entweder die sogenannte freie Schnelle (Quelle agiert ohne Widerstand, also frei) oder für den entgegengesetzten Fall die sogenannte blockierte Kraft. Die messtechnische Bestimmung dieser beiden Größen ist in der EN 15657 beschrieben.

Maßgeblich für die Unterscheidung der beiden Fälle ist die Admittanz von Quelle und Struktur, auf deren messtechnische Bestimmung in der Norm ebenfalls eingegangen wird. Die Admittanz beschreibt das Verhältnis der resultierenden Schwingschnelle auf einem Körper zur anregenden Kraft. Sie kann somit vereinfacht als ein Maß für die «Anregbarkeit» des Systems betrachtet werden.

Im Massivbau ist die Admittanz der Struktur im Allgemeinen deutlich niedriger als die von typischen haustechnischen Anlagen. Im Gegensatz dazu liegen die Admittanzen von Quellen und Strukturen im Holzbau häufig in derselben Größenordnung, oder die Admittanz der Holzbaukonstruktion ist sogar niedriger als die des Gerätes.

Für den Massivbau können aufgrund des günstigen Admittanzverhältnisses gewisse Vereinfachungen getroffen werden die im Holzbau in der Regel nicht möglich sind. Deshalb ist die Quellencharakterisierung für den Holzbau komplexer und aufwändiger.

Ergänzend zu den relevanten Größen der Quelle (freie Schnelle/blockierte Kraft und Quelladmittanz) muss auch die Admittanz der Struktur bekannt sein, um die Kopplung und damit die Körperschalleinleitung rechnerisch bestimmen zu können. Für die detaillierte Beschreibung der Berechnung der installierten Leistung aus den ermittelten Größen wird an dieser Stelle auf die EN 15657 verwiesen.

## 4. Körperschallübertragung im Gebäude

Die installierte Körperschalleistung ist also die in die Gebäudekonstruktion übertragene Leistung und damit die benötigte Eingangsgröße für ein Modell zur Voraussage des zu erwartenden Schalldruckpegels (s. Abbildung 2). Ein solches Modell muss die Ausbreitung und Weiterleitung von Körperschall in Bauteilen und über Bauteilstöße hinweg, sowie die Abstrahlung von Körperschall umfassen.

Mit dem in der DIN EN 12354-5 [12] beschriebenen Verfahren steht für den Massivbau bereits ein Berechnungsmodell zur Verfügung, das die installierte Körperschalleistung als Eingangsgröße verwendet. Aufgrund der stark abweichenden vibro-akustischen Eigenschaften von Leichtbaukonstruktionen im Vergleich zu Massivbaukonstruktionen ist dieses Verfahren allerdings nicht direkt auf den Holzbau übertragbar. Die Normenreihe der DIN EN 12354 [12 - 14] wird aktuell zwar überarbeitet und erweitert, sodass sie auch den Holz- und Leichtbau berücksichtigt, bislang sind somit aber keine Methoden vorhanden, die eine Berechnung oder Abschätzung des Schalldruckpegels ausgehend von Körperschallanregung durch haustechnische Anlagen ermöglichen.

## 5. Übertragungsfunktionen

Neben den Verfahren der DIN EN 12354 könnte ein empirischer Ansatz basierend auf Übertragungsfunktionen als praktikable Alternative die Möglichkeit zur Abschätzung des zu erwartenden Schalldruckpegels bieten. Eine Übertragungsfunktion beschreibt das Verhältnis der Antwort eines Systems zur Systemanregung. Im Falle der Körperschallübertragung ausgehend von haustechnischen Anlagen wird die gesamte Übertragung im Gebäude von der Anregung bis zum Schalldruck dabei als «black-box» betrachtet. Die Anwendung von Übertragungsfunktionen zur Beschreibung der Körperschallübertragung in Gebäuden wurde bereits in den 1970er, 1980er und frühen 1990er Jahren zum Teil mit anderen Zielsetzungen untersucht [15-20]. Aufgrund der Komplexität der Körperschallübertragung im Leichtbau wurden Übertragungsfunktionen in den vergangenen Jahren konkret als Möglichkeit zur Prognose wieder aufgegriffen [21, 22]. In den bisherigen Ansätzen wurde die Übertragungsfunktion als Verhältnis des Schalldrucks zur anregenden Kraft definiert und nur für die direkte (horizontale) Übertragung bestimmt. Um eine einfache Anwendung konform mit den aktuellen Normverfahren zu ermöglichen, wurde an der Hochschule Rosenheim die Anwendung von Übertragungsfunktionen untersucht, welche direkt die installierte Leistung als Größe zur Beschreibung der Anregung verwenden. Diese Übertragungsfunktionen wurden sowohl im Labor als auch in Gebäuden gemessen, wobei horizontale, diagonale und vertikale Übertragungswege berücksichtigt, aber auch die Abhängigkeit von der Anregeposition untersucht wurde [23].

Da sämtliche physikalischen Übertragungsmechanismen in der Übertragungsfunktion enthalten sind, ist diese zunächst einzigartig für jede Situation. Wenn es allerdings möglich ist, für gewisse Übertragungswege und Konstruktionsvarianten mittlere Übertragungsfunktionen abzuleiten, könnte ein einfaches Werkzeug zur Abschätzung des zu erwartenden Schalldruckpegels basierend auf katalogisierten Daten geschaffen werden.

### 5.1. Messung von Übertragungsfunktionen

Zur Bestimmung der Übertragungsfunktion wird die Gebäudestruktur mit einer bekannten oder definierten Kraft angeregt. Dies kann entweder durch einen Modalhammer oder einem Schwingerreger in Kombination mit einem Kraftsensor erfolgen. Parallel wird die Schwingungsantwort der Struktur in Form der Schwingschnelle mitgemessen, um die installierte Leistung dieser definierten Anregung berechnen zu können. Im Empfangsraum wird der Schalldruckpegel ebenfalls synchron erfasst. Durch mehrere Mikrofonpositionen wird ein räumlicher Mittelwert gebildet. Die Übertragungsfunktion kann dann in Pegelschreibweise einfach als Differenz für einen Anregepunkt  $k$  nach Gleichung (1) angegeben werden.

$$D_{TF,k} = L_{av,k} - L_{W,k} \quad (1)$$

Dabei ist  $D_{TF,k}$  die Übertragungsfunktion (Transmission Function),  $L_{av,k}$  der räumlich gemittelte Schalldruckpegel im Empfangsraum und  $L_{W,k}$  der Pegel der installierten Leistung.

Kleine Werte für  $D_{TF,k}$  sind somit günstiger im Hinblick auf einen geringen resultierenden Schalldruckpegel.

Werden mehrere Anregepunkte  $K$  in einer Übertragungssituation erfasst, kann eine mittlere Übertragungsfunktion nach Gleichung (2) berechnet werden.

$$D_{TF,av} = 10 \lg \left( \frac{\sum_{k=1}^K 10^{0,1 D_{TF,k}}}{K} \right) \quad (2)$$

Zusätzlich können die Ergebnisse noch auf die raumakustischen Eigenschaften des Empfangsraumes normiert werden.

$$D_{TF,av,nT} = D_{TF,av} - 10 \lg \left( \frac{T}{T_0} \right) \quad (3)$$

Dabei ist  $T$  die gemessene Nachhallzeit und  $T_0$  die Bezugsnachhallzeit von 0,5 s.

Für eine ausführlichere Beschreibung des Verfahrens zur Ermittlung der Übertragungsfunktion sei an dieser Stelle auf [24 und 25] verwiesen.

## 5.2. Erste Ergebnisse aus Gebäudemessungen

Im Rahmen des von der Hochschule Rosenheim und der Hochschule für Technik Stuttgart in Kooperation bearbeiteten Forschungsprojektes «Nachhaltiger Schallschutz gebäudetechnischer Anlagen in energetisch optimierten Gebäuden» wurden unter anderem zahlreiche Messungen im Holzbau durchgeführt. Insgesamt wurden 34 Übertragungssituationen in sieben Gebäuden gemessen. Dabei wurden horizontale, diagonale und vertikale Übertragungswege berücksichtigt. Die Auswahl der Gebäude umfasste freistehende Einfamilienhäuser, Gebäude mit mehreren Wohneinheiten, Gästehäuser und Flüchtlingsunterkünfte. Diese Studie hatte die Zielsetzung, einen ersten Datensatz für Übertragungsfunktionen im Holzbau zu sammeln und zu gruppieren um einen Eindruck über die Größenordnung und Streuung zu gewinnen.

Da das Anregespektrum gebäudetechnischer Anlagen in der Regel bei tiefen Frequenzen maßgeblich ist [26], wurden die Übertragungsfunktionen ab 20 Hz ausgewertet. Aus diesem Grund ist in Abbildung 3 und Abbildung 4 zu beachten, dass im Vergleich zum Schalldämm-Maß oder zum Norm-Trittschallpegel der dargestellte Frequenzbereich von 20 Hz bis 1 kHz reicht und nicht wie gewohnt von 50 Hz bis 5 kHz.

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse für direkte Übertragung für drei verschiedene Konstruktionstypen dargestellt. Aufgrund des noch kleinen Datensatzes wurde grob zwischen typischen Innenwänden, typischen Innenwänden mit zusätzlicher Vorsatzschale (Anregung auf der Vorsatzschale) und Wohnungstrennwänden mit getrenntem Rahmenwerk unterschieden.

Im Vergleich ist hier zu erkennen, dass durch die Entkopplung der Konstruktion eine deutliche Verbesserung hin zu hohen Frequenzen vorliegt. Interessant ist allerdings, dass die Daten bei tiefen Frequenzen für alle drei Konstruktionstypen näherungsweise in derselben Größenordnung liegen. Die Streuung liegt bei typischen Innenwänden bei bis zu 20 dB. Sie ist jedoch maßgeblich durch eine Übertragungssituation begründet. Ähnliches kann bei typischen Innenwänden mit zusätzlicher Vorsatzschale beobachtet werden. Durch die Sammlung zusätzlicher Daten könnte die Gruppierung feiner und damit gegebenenfalls die Streuung reduziert werden.

In Abbildung 4 sind die bisherigen Ergebnisse für die Übertragung über ein Geschoss hinweg dargestellt. Dabei wurde zwischen vertikaler und diagonaler Übertragung unterschieden. Die Daten für die vertikale Übertragung wurden sowohl für Innenwände als auch Außenwände ermittelt. Die diagonale Übertragung wurde für übereinanderstehende Innenwände mit einfacher Rahmenkonstruktion gemessen. Zusätzlich wurden Daten für die Übertragung von Kellerwänden ins Erdgeschoss in Rahmenbauweise ermittelt. Da die massiven Kellerwände einschalige Bauteile sind, wurde hier zunächst nicht zwischen diagonaler und vertikaler Übertragung unterschieden.

Im Vergleich zur horizontalen Übertragung durch typische Innenwände ist die diagonale Übertragung über den Bauteilstoß um 10 dB bis 20 dB nach unten verschoben und weist einen geringfügig stärkeren Abfall hin zu hohen Frequenzen auf. Die vertikale Übertragung weist ähnliche Charakteristiken auf. Aufgrund eines zu geringen Signal- zu-Rausch-Abstandes konnten die Daten für die Übertragung von massiven Kellerwänden bei tiefen Frequenzen nicht ausgewertet werden. Die vorliegenden Daten zeigen allerdings, dass die Werte etwas höher im Vergleich zur vertikalen und diagonalen Übertragung in reinen Holzkonstruktionen liegen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die installierte Leistung desselben Gerätes an einer massiven Wand in der Regel geringer ist als an einer Holzrahmenbauwand. Durch eine detaillierte Gruppierung eines größeren Datensatzes könnte gegebenenfalls auch hier die Streuung reduziert werden.

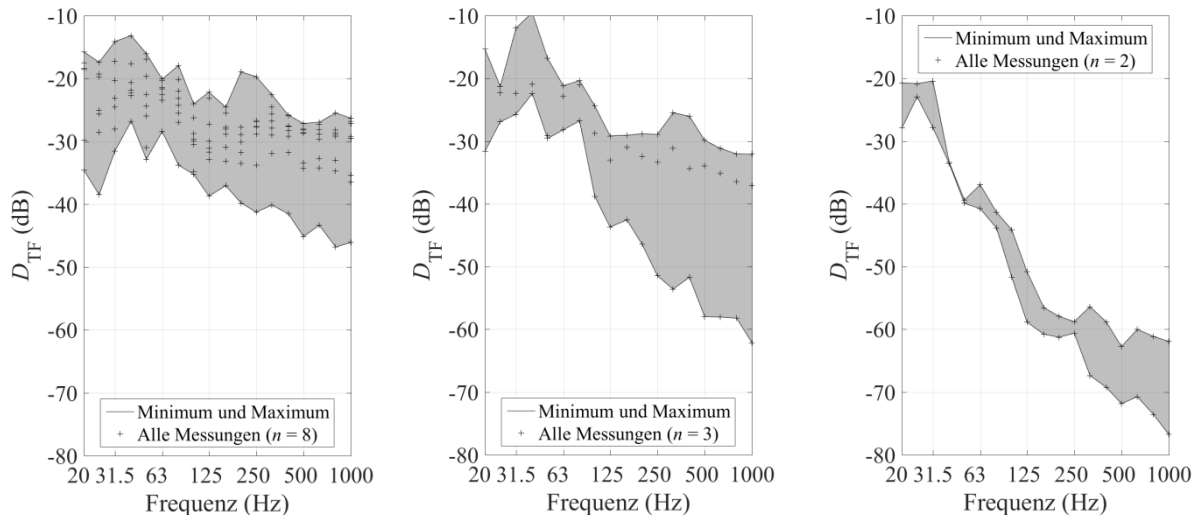


Abbildung 3: Links: Horizontale Übertragung: Typische Innenwände mit einfachem Rahmenwerk und beidseitiger Beplankung.  
Mitte: Horizontale Übertragung: Typische Innenwände mit einfachem Rahmenwerk und beidseitiger Beplankung mit zusätzlicher Vorsatzschale (z.B. Bad oder Küche).  
Rechts: Horizontale Übertragung: Wohnungstrennwände mit getrenntem Rahmenwerk.

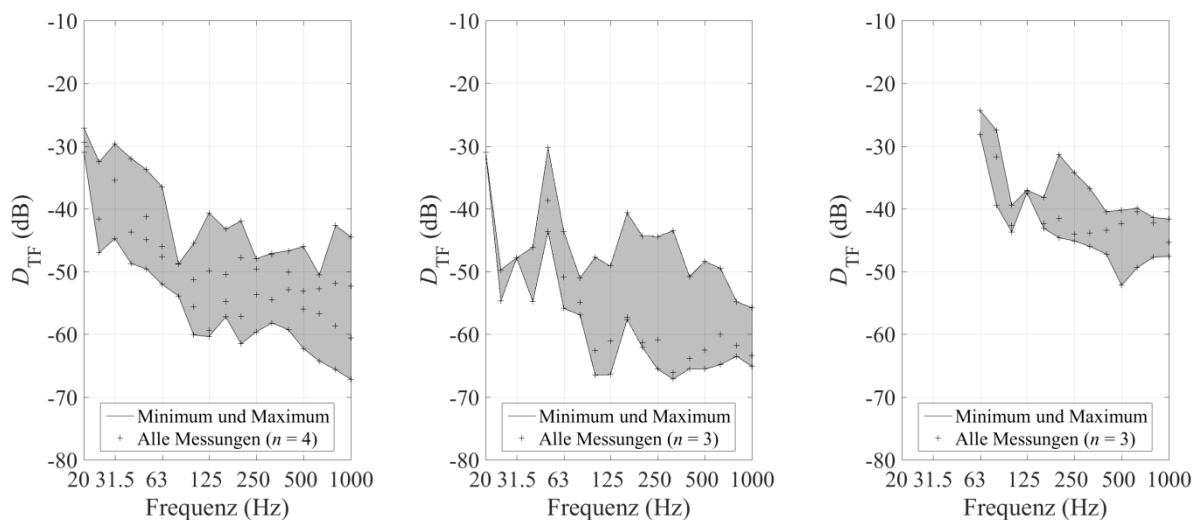


Abbildung 4: Links: Vertikale Übertragung: Innen- und Außenwände. Anregung auf der Wand.  
Mitte: Diagonale Übertragung: Kreuzstoß; nicht versetzt. Typische Innenwand mit einfachem Rahmenwerk und beidseitiger Beplankung. Anregung auf der Wand.  
Rechts: Vertikale und diagonale Übertragung: Übertragung von massiver Kellerwand (Beton oder Mauerwerk) zu Holzrahmenbau im Erdgeschoss. Anregung auf Kellerwand.

### 5.3. Anwendung am Beispiel einer Fallstudie

Im Rahmen einer Fallstudie wurde die Prognose des Schalldruckpegels für eine idealisierte und eine reale Körperschallquelle mit Hilfe von Übertragungsfunktionen durchgeführt und mit Messungen abgeglichen. Hierfür wurden die Quellen, wie in Abschnitt 3 beschrieben, vollständig charakterisiert, um die installierte Körperschall-leistung berechnen zu können. Die idealisierte Quelle besteht aus einer Rahmen-konstruktion aus Metall mit vier Ankopp-lungspunkten und kann über einen elektrodynamischen Schwingerreger kontrolliert und reproduzierbar angeregt werden (s. Abbildung 5). Bei der realen Quelle handelt es sich um ein wandhängendes Lüftungsgerät, das über eine Montageschiene aufgehängt wird (s. Abbildung 6).



Abbildung 5: Idealisierte Körperschallquelle



Abbildung 6: Lüftungsgerät MAICO WS170KL

Beide Geräte wurden in einer Übertragungssituation montiert und betrieben, für welche die Übertragungsfunktion zuvor messtechnisch bestimmt wurde. Beim Betrieb der Quelle wurde der räumlich gemittelte Schalldruckpegel im Empfangsraum als Referenz gemessen. Mit der bekannten Übertragungsfunktion und der berechneten installierten Leistung konnte der Schalldruckpegel durch Umstellen von Gleichung (1) prognostiziert und mit der Messung verglichen werden.

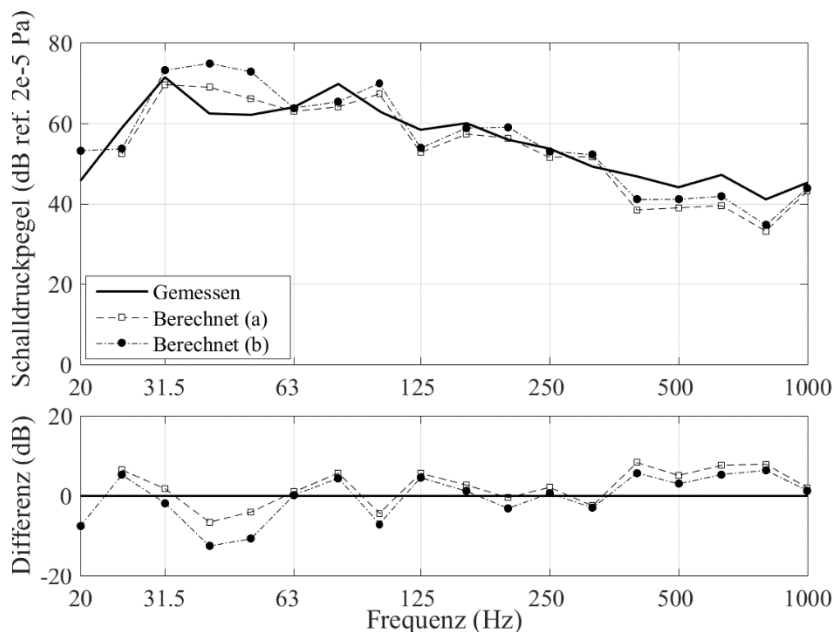


Abbildung 7: Messung und Berechnung des Schalldruckpegels ausgehend von der idealisierten Körperschall-quelle in einer horizontalen Übertragungssituation im Gebäude.  
 Berechnung (a): Installierte Leistung berechnet mit gemessenen Strukturadmittanzen unter Vernachlässigung der Interaktion zwischen Kontaktpunkten.  
 Berechnung (b): Installierte Leistung berechnet mit einem im Leichtbau typischen Wert für die Strukturadmittanz von  $1 \cdot 10^{-3}$  m/Ns. Für die Quelladmittanz wurden die gemittelten Beträge der Admittanz und die Summe der freien Schnellen angesetzt.



In Abbildung 7 sind die Ergebnisse für die idealisierte Körperschallquelle in einer konkreten Bausituation dargestellt. Die Quelle wurde dabei mit allen vier Kontaktpunkten in Wandriegeln befestigt. Bei der Übertragungssituation handelt es sich um eine direkte Übertragung durch eine typische Innenwand entsprechend der Gruppe wie in Abbildung 3, links. Für die Berechnung des Schalldruckes sind zwei Kurven abgebildet, die sich allein durch die Berechnung der installierten Körperschalleistung unterscheiden. So wurden in Berechnung (a) gemessene Werte der Strukturadmittanz für jeden Ankopplungspunkt verwendet. Eine mögliche Interaktion zwischen den Kontaktpunkten wurde allerdings vernachlässigt. Bei Berechnung (b) wurde für die Strukturadmittanz ein im Leichtbau typischer Wert von  $1e-3$  m/Ns angesetzt. Zudem wurden für die Quelle als grobe Näherung die gemittelten Beträge der Quelladmittanz sowie die Summe der freien Schnellen angesetzt. Für die genauere Berechnungsvariante (a) ist die Abweichung zur Messung in Terzbändern kleiner als 10 dB im dargestellten Frequenzbereich. Die Näherung der Berechnung (b) weist vor allem bei tieferen Frequenzen etwas größere Differenzen auf. Im Westlichen ist aber auch eine gute Übereinstimmung erkennbar. Vergleicht man die A-bewerteten Summenpegel, so liegt Berechnungsvariante (a) 2 dB unter der Messung und Variante (b) 1 dB über der Messung.

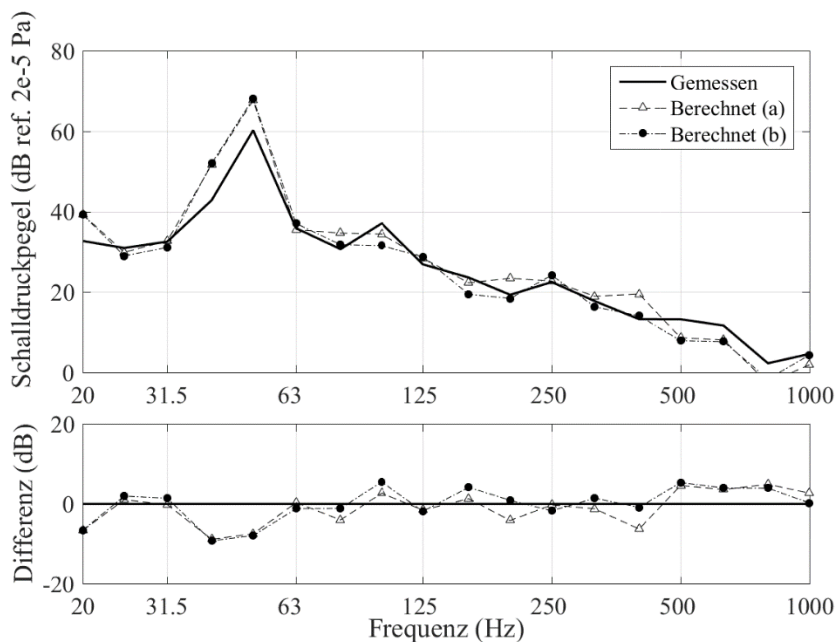


Abbildung 8: Messung und Berechnung des Schalldruckpegels ausgehend von der idealisierten Körperschallquelle in einer horizontalen Übertragungssituation im Gebäude.  
 Berechnung (a): Installierte Leistung berechnet mit gemessenen Strukturadmittanzen unter Berücksichtigung der Interaktion zwischen Kontaktpunkten.  
 Berechnung (b): Wie Berechnung (b) in Abbildung 7.

Abbildung 8 zeigt die Ergebnisse für das Lüftungsgerät im Laborprüfstand. Das Gerät war dabei teilweise im Gefach und teilweise auf einem Wandriegel befestigt. Auch hier wurde eine horizontale Übertragung betrachtet und wiederum zwei Varianten zur Berechnung der installierten Körperschalleistung verglichen. In Berechnungsvariante (a) wurden ebenfalls gemessene Werte für die Strukturadmittanz angesetzt. In dieser Situation wurden allerdings sämtliche Interaktionen zwischen den Ankopplungspunkten in der Berechnung berücksichtigt. Berechnungsvariante (b) entspricht Variante (b) aus Abbildung 7. Im Gegensatz zur idealisierten Quelle, die mit einem Rauschsignal betrieben wurde, zeigt sich bei der realen Quelle eine tonale Anregung im 50 Hz Terzband. Unabhängig davon ist für die reale Quelle ebenfalls eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Berechnung für beide Varianten zur Bestimmung der installierten Leistung erkennbar. Im A-bewerteten Summenpegel liegen die prognostizierten Schalldruckpegel etwa 7 dB über dem Messwert. Die Abweichung ist hier maßgeblich im Bereich der tonalen Anregung begründet.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Die Prognose des Schalldruckpegels ausgehend von haustechnischen Anlagen ist im Holzbau sehr komplex. Aus diesem Grund sind bisher keine Berechnungswerkzeuge für die Prognose vorhanden. Da ein Prognosemodell praxistauglich für die effiziente Anwendung im Rahmen der Fachplanung für den Schallschutz sein muss, stellen Übertragungsfunktionen eine vielversprechende Möglichkeit dar. Basierend auf katalogisierten Übertragungsfunktionen, welche zum Beispiel nach Konstruktion und Übertragungspfad gruppiert werden könnten, bilden sie dann die Grundlage für eine Abschätzung des zu erwartenden Schalldruckpegels. Für eine erste Abschätzung könnten Übertragungsfunktionen parallel zu den allgemeingültigeren Verfahren der DIN EN 12354, welche derzeit für den Holz- und Leichtbau überarbeitet wird, zur Verfügung stehen. Denkbar wäre auch, Übertragungsfunktionen nicht nur zu messen, sondern auch in fiktiven Situationen mit den Methoden der DIN EN 12354 zu berechnen und ebenfalls zu katalogisieren. Aufgrund der aufwändigen Berechnung könnte dies nicht nur im Holzbau, sondern auch im Massivbau interessant sein. Die ersten Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen, vor allem die Anwendung im Rahmen der vorgestellten Fallstudie, sind vielversprechend im Hinblick auf die Anwendung von Übertragungsfunktion in der Prognose.

Bisher sind jedoch nur wenige Daten vorhanden. Vor allem von haustechnischen Anlagen sind keine Eingangsdaten für die Berechnung vorhanden. Die entsprechenden Methoden für eine Charakterisierung hierfür sind allerdings in der EN 15657 beschrieben. Zur Erweiterung des Datensatzes zur Beschreibung der Übertragung im Holzbau läuft an der Hochschule Rosenheim im Labor für Schallmesstechnik seit November 2016 das im Rahmen der Förderinitiative «Zukunft Bau» geförderte Forschungsprojekt «Übertragungsfunktionen im Holzbau». Die wesentliche Zielsetzung im Rahmen dieses Projektes ist die Messung und Kategorisierung von Übertragungsfunktionen.

## 7. Danksagung

Der Autor bedankt sich bei den Kooperationspartnern des Forschungsprojektes «Nachhaltiger Schallschutz gebäudetechnischer Anlagen in energetisch optimierten Gebäuden» für die gute Zusammenarbeit und den wertvollen Input im Rahmen der Projektsitzungen. Darüber hinaus gilt den Unternehmen Regnauer Fertigbau GmbH und Stephan Lecher GmbH Dank für die Möglichkeit zur Durchführung von Baumessungen, sowie der Firma Maico Elektroapparate-Fabrik GmbH für die Bereitstellung des Lüftungsgerätes. Die vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen der Projektförderung des Förderprogramms vom BMBF «Forschung an Fachhochschulen» Förderlinie «FHprofUnt» 2012, Förderkennzeichen 03FH089PB2, erarbeitet.

## 8. Literatur

- [1] DIN 4109-1:2016-07. Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Mindestanforderung. Beuth Verlag.
- [2] DIN 4109:1989-11 Beiblatt 2. Schallschutz im Hochbau - Hinweise für die Planung und Ausführung -Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz - Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich. Beuth Verlag.
- [3] VDI 4100:2012-10. Schallschutz im Hochbau - Wohnungen - Beurteilung und Vorschläge für erhöhten Schallschutz. Beuth Verlag.
- [4] Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (Ed.) (2015). DEGA Memorandum 0104 - Schallschutz im eigenen Wohnbereich.
- [5] Mondot, J. M., & Petersson, B. A. T. (1987). Characterization of structure-borne sound sources: the source descriptor and the coupling function. *Journal of Sound and Vibration*, 114(3), 507–518.
- [6] Petersson, B. A. T., & Gibbs, B. M. (2000). Towards a structure-borne sound source characterization. *Applied Acoustics*, 61, 325–343.
- [7] Gibbs, B. M., Cookson, R. D., & Qi, N. (2008). Vibration Activity and Mobility of Structure-borne Sound Sources by a Reception Plate Method. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123(6), 4199–4209.
- [8] Späh, M. M., & Gibbs, B. M. (2009). Reception plate method for characterisation of structure-borne sources in buildings: Assumptions and application. *Applied Acoustics*, 70, 361–368.
- [9] Mayr, A. R., & Gibbs, B. M. (2012). Single Equivalent Approximation for Multiple Contact Structure-Borne Sound Sources in Buildings. *Acta Acustica united with Acustica*, 98, 402–410.
- [10] Mayr, A. R., & Gibbs, B. M. (2016). Approximate method for obtaining source quantities for calculation of structure-borne sound transmission into lightweight buildings. *Applied Acoustics*, 110, 81–90.
- [11] DIN EN 15657:2016-02 (Entwurf). Akustische Eigenschaften von Bauteilen und Gebäuden - Messung des Körperschalls von hautechnischen Anlagen im Prüfstand für alle Installationsbedingungen: Beuth Verlag.
- [12] DIN EN 12354-5:2009-10. Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften - Teil 5: Installationsgeräusche; Deutsche Fassung EN 12354-5:2009: Beuth Verlag.
- [13] DIN EN ISO 12354-1:2016-03 (Entwurf). Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften: Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen. Beuth Verlag.
- [14] DIN EN ISO 12354-2:2016-03 (Entwurf). Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften: Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen. Beuth Verlag.
- [15] Steenhoek, H. F., & Ten Wolde, T. (1970). The Reciprocal Measurement of Mechanical-Acoustical Transfer Functions. *Acustica*, 23, 301–305.
- [16] Ten Wolde, T., Verheij, J. W., & Steenhoek, H. F. (1975). Reciprocity method for the measurement of mechano-acoustical transfer functions. *Journal of Sound and Vibration*. (42), 49–55.
- [17] Cremer, L., Heckl, M., & Ungar, E. E. (1988). *Structure-borne sound: Structural vibrations and sound radiation at audio frequencies* (2. ed.). Berlin: Springer.

- [18] Buhkert, K.-J. von, & Feldmann, J. (1979). Ein Meßverfahren zur Bestimmung von Körperschallanregung und -übertragung. *Acustica*, 42(3), 108–113.
- [19] Vercammen, M. L. S., & Heringa, P. H. (1989). Characterising structure-borne sound from domestic appliances. *Applied Acoustics*, 28, 105–117.
- [20] Gerretsen, E. (1993). Estimation of air-borne and structure-borne sound transmission from machinery in buildings. *Applied Acoustics*, 40(3), 255–265.
- [21] Bietz, H. (2011). Installationsgeräusche im Leichtbau. In Forum Holzbau (Ed.), HBS. Schall & Akustik.
- [22] Arnold, J., & Kornadt, O. (2014). Beschreibung Körperschallinduzierter Schall-druckpegel mit Hilfe von Übertragungsfunktionen. In N. A. Fouad (Ed.), *Bauphysik Kalender 2014* (pp. 641–663). D-69451 Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH.
- [23] Schöpfer, F., Hopkins, C., Mayr, A. R., & Schanda, U. (2015). Measured transmission functions from structure-borne sound sources in a timber-frame construction. *Proceedings of Euronoise 2015*, Maastricht, Netherlands.
- [24] Schöpfer, F., Hopkins, C., Mayr, A. R., & Schanda, U. (2016). Measurement of transmission functions in lightweight buildings for the prediction of structure-borne sound transmission from machinery. Submitted to *Acta Acustica united with Acustica* (12/2016).
- [25] DIN EN ISO 10848-1:2016-10 (Entwurf). Akustik - Messung der Flankenübertragung von Luftschall, Trittschall und Schall von Gebäudetechnischen Anlagen zwischen benachbarten Räumen im Prüfstand und am Bau: Teil 1: Rahmendokument. Beuth Verlag.
- [26] Scheck, J., Reinhold, S., Eschbach, P., & Fischer, H.-M. (2016). Messung und Prognose der Luft- und Körperschallübertragung von gebäudetechnischen Anlagen im Massivbau. *DAGA 2016*, Aachen, Deutschland.