

# Messtechnische Ermittlung von Übertragungsfunktionen in Massivbauten

Jörg Arnold<sup>1</sup>, Volker Wittstock<sup>2</sup>, Oliver Kornadt<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Bauphysik, Bauhaus-Universität Weimar, 99423 Weimar, E-Mail: [joerg.arnold@uni-weimar.de](mailto:joerg.arnold@uni-weimar.de)

<sup>2</sup> Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, E-Mail: [volker.wittstock@ptb.de](mailto:volker.wittstock@ptb.de)

<sup>3</sup> Lehrstuhl für Bauphysik, Bauhaus-Universität Weimar, 99423 Weimar, E-Mail: [oliver.kornadt@uni-weimar.de](mailto:oliver.kornadt@uni-weimar.de)

## Einleitung

Bei dem Betrieb haustechnischer Anlagen werden Schwingungen in die Gebäudestruktur eingeleitet, die sich zu schutzbedürftigen Räumen ausbreiten können und dort störende Geräusche verursachen. Die Prognose derart verursachter mittlerer Schalldruckpegel in Empfangsräumen ist aus bauaufsichtlicher Sicht erforderlich. Im Rahmen einer Studie soll überprüft werden, ob dem Übertragungsverhalten von Gebäuden gleichen Bautyps allgemeingültige Übertragungsfunktionen zugewiesen werden können.

## Prognoseverfahren nach DIN EN 12354

Ein relevanter Anteil der von haustechnischen Anlagen erzeugten Schallleistung wird direkt als Körperschall in die Gebäudestruktur eingeleitet. Mit dem Teil 5 der Normenreihe DIN EN 12354 [1] wird speziell auf diese Geräusche eingegangen. Dabei wird ausgehend von einer charakteristischen Körperschallleistung der betrachteten Anlage auf eine "in die Struktur übertragene" Körperschallleistung geschlossen. Das dafür notwendige Verhältnis von Quell- und Strukturimpedanz wird mit einem Kopplungsterm berücksichtigt.

Mit Kenntnis der installierten Körperschallleistung lässt sich im Anschluss die Schallausbreitung mit den Berechnungsmodellen nach DIN EN 12354-1 [2] bis hin zum Empfangsraumpegel bestimmen. Da sich diese Modelle auf die Schallübertragung infolge einer Luftschallanregung beziehen, wird zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Anregemechanismen ein Anpassungsterm eingeführt.

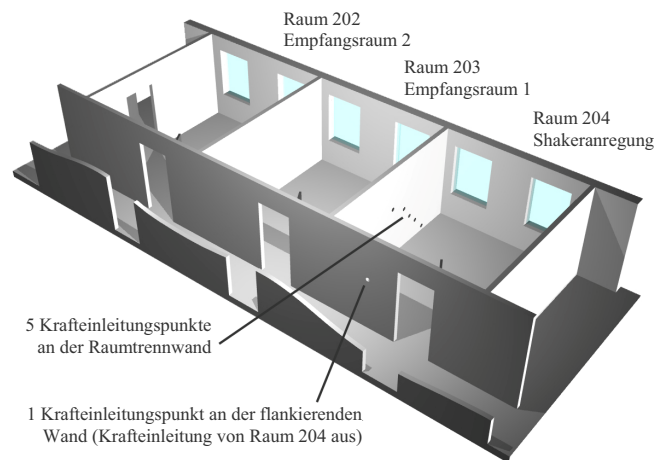
Das Berechnungskonzept nach DIN EN 12354 beruht auf der systematischen Unterteilung der Gesamtübertragung der Schallleistung in einzelne voneinander unabhängige Teilübertragungswege. Für jeden Übertragungsweg wird die übertragene Teil-Schallleistung separat und detailliert berechnet. Aus der abschließenden energetischen Aufsummierung ergibt sich der Gesamtbetrag der übertragenen Schallleistung.

## Übertragungsfunktionen in Gebäuden

Für die Anwendung des Berechnungsmodells nach DIN EN 12354 ist neben den Quelleigenschaften (Impedanz und Stärke) sowie den Eigenschaften des Bauteils, an dem die Quelle angekoppelt ist (Eingangsimpedanz) auch eine genaue Kenntnis der Gebäudestruktur unerlässlich. Zudem sind die eingeführten Prognoserechnungen zur Körperschallübertragung derzeit nur für Massivbauteile ausgelegt. Eine Anwendung auf Konstruktionen in Leicht- oder Skelettbau ist unter anderem aufgrund des inhomogenen Bauteilaufbaus ohne weiteres nicht möglich.

Es wird vermutet, dass sich für Gebäude gleichen Bautyps die Gesamt-Übertragungsfunktionen zwischen Körperschalleinleitung und mittlerem Schalldruckpegel in Größe und Frequenzgang nur gering unterscheiden. Ließen sich unterschiedlichen Bauweisen Übertragungsfunktionen in einem sinnvollen Toleranzbereich zuordnen, könnten diese anstelle des detaillierten Prognoseverfahrens für die Vorausbestimmung des im Empfangsraum erwarteten Schalldruckpegels herangezogen werden. Vor allem für Leicht- und Skelettbaukonstruktionen wäre dieser Umstand eine wichtige Grundlage zur Formulierung eines normfähigen Prognoseverfahrens.

Im Rahmen einer Studie sollen die Abweichungen zwischen Übertragungsfunktionen von Gebäuden gleichen Bautyps in ihrer Größe und spektralen Zusammensetzung näher untersucht werden. Speziell soll ermittelt werden, wie fein eine Gebäudekategorisierung hinsichtlich der Bauweisen vorzunehmen ist, um für zugeordnete Übertragungsfunktionen einen anwendbaren Toleranzbereich einzuhalten.



**Abbildung 1:** Darstellung des Test-Objektes in Massivbauweise; Hervorhebung der 5 Ankoppelpunkte für die Körperschalleinleitung an der Trennwand zw. Raum 204/203 sowie des Ankoppelpunktes an der flankierenden Wand

## Untersuchungen an einem Test-Objekt

Für die Validierung der Vermutung sind umfangreiche Messungen in Gebäuden verschiedener Bauweisen geplant. Zu Beginn der Untersuchungen wird sich vorerst auf Massivbauten konzentriert, da die Messergebnisse mit den Prognoseverfahren abgeglichen werden können. In einem ersten Schritt wurden in einem ehemaligen Bürogebäude (Abbildung 1) zwei mögliche Varianten zur messtechnischen Bestimmung der gesuchten Übertragungsfunktionen näher betrachtet. Ein Augenmerk galt dabei der Anwendbarkeit der Messmethoden in bewohnten Gebäuden, da hier möglichst wenig in die Gebäudestruktur eingegriffen werden sollte.

**Variante 1 – direkter Messpfad:**

Beim direkten Messpfad erfolgte eine punktuelle Kraftanregung senkrecht zur Raumtrennwand mittels Schwingerreger (Shaker). Die Ankopplung des Kraftsensors wurde oberflächlich mit Klebwachs ausgeführt. Im angrenzenden sowie dahinter liegenden Raum wurde der mittlere Schalldruckpegel im Diffusfeld bestimmt. Die Messung erfolgte mit breitbandigem Rauschen. Da der Zeitverlauf der Messgrößen Kraft  $F$  und Schalldruck  $p$  sowie deren Phasenbeziehung für die übertragene Energie unerheblich sind, wurden beide zeitlich gemittelt in Terzbändern erfasst. Durch eine anschließende Pegelbildung wurde die Übertragungsfunktion  $H$  nach Gleichung (1)-(3) in ein Übertragungsmaß  $\gamma$  mit einer Bezugsfläche  $S_0$  von  $1\text{m}^2$  überführt.

$$H(f) = \frac{p(f)}{F(f)} \quad [1/\text{m}^2] \quad (1)$$

$$20\log(H \cdot S_0) = 20\log\left(\frac{p}{p_0} \cdot \frac{F_0}{F}\right) \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

$$\gamma = L_p - L_F \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

**Variante 2 – reziproker Messpfad:**

Für das reziproke Messverfahren wurde in den Empfangsräumen ein Luftschallfeld mittels Dodekaeder-Lautsprecher erzeugt und die daraus resultierenden Oberflächenschwingungen an den vorherigen Ankopplungspunkten mit Beschleunigungssensoren erfasst. Ausgehend von der Schallleistung des erzeugten Diffusfeldes  $P_{Diff}$  (Gleichung (4)) kann das Übertragungsverhalten mit dem in DIN EN 14366 [3] beschriebenen Verfahren reziprok bestimmt werden. Dabei ergibt sich die in Gleichung (5) beschriebene Übertragungsfunktion  $H$ , die nach Logarithmierung ebenfalls als Übertragungsmaß  $\gamma$  angegeben werden kann (Gleich. (6)).

Neben den primären Messgrößen Schalldruck  $p$  und Oberflächenschnelle  $v$  ist bei diesem Verfahren auch die Schallkennimpedanz der Luft  $\rho c$  sowie die äquivalente Absorp-

tionsfläche des Empfangsraumes  $A$  zu bestimmen. Des weiteren werden zur Beschreibung der Diffusfeld-Schallleistung die Korrekturen  $W$  nach Waterhouse und  $e^{A/S}$  nach Vorländer berücksichtigt.

$$P_{Diff} = \frac{p^2}{\rho c} \cdot \frac{A}{4} \cdot W \cdot e^{A/S} \quad [\text{W}] \quad (4)$$

$$H(f) = \rho c k \cdot \frac{v}{p} \cdot \frac{1}{\sqrt{A\pi W e^{A/S}}} \quad [1/\text{m}^2] \quad (5)$$

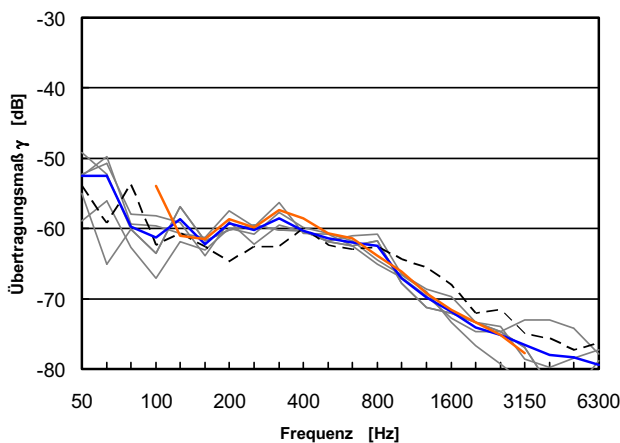
$$\gamma = 20\log(H / H_0); \quad H_0 = 1/\text{m}^2 \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

**Schlussfolgerung / Zusammenfassung**

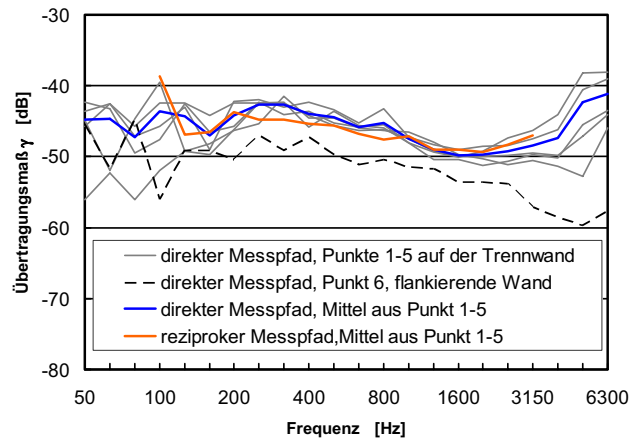
Den Abbildungen 2 und 3 ist zu entnehmen, dass die Übertragungsmaße zwischen den einzelnen Kraftankopplungspunkten leicht variieren. Dabei ist die Streuung für den weiter entfernt liegenden Raum geringer als für den direkt angrenzenden Raum, da hier die Schallleistung ausschließlich über flankierende Wege übertragen wird. Aus der Darstellung der über alle 5 Ankopplungspunkte auf der Raumtrennwand gemittelten Übertragungsmaße ist erkennbar, dass die Werte des reziproken Messpfades sehr gut mit den Werten des direkten Messpfades übereinstimmen. Die größte Abweichung liegt im Bereich von ca. 2 dB. Da bei diesem Verfahren keine Kraftankopplung an die Gebäudestruktur notwendig ist, eignet es sich besonders für die weiteren Untersuchungen in bewohnten Gebäuden.

**Literatur**

- [1] DIN EN ISO 12354-5:2009 Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 5: Installationsgeräusche
- [2] DIN EN ISO 12354-1:2000 Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigen. – Teil 1: Luftschalldämmung zw. Räumen
- [3] DIN EN 14366:2005 Messung der Geräusche von Abwasserinstallationen im Prüfstand



**Abbildung 2:** Im Test-Objekt bestimmte Übertragungsmaße  $\gamma$  von einer Kraftanregung zum mittleren Luftschallpegel im weiter entfernt liegenden Raum 202



**Abbildung 3:** Im Test-Objekt bestimmte Übertragungsmaße  $\gamma$  von einer Kraftanregung zum mittleren Luftschallpegel im benachbarten Raum 203