Charakterisierung und Prognose der Körperschallübertragung von Vorwandinstallationen im Massivbau

Steffi Reinhold[1], Jochen Scheck[1], Heinz-Martin Fischer[1], Andreas Ruff[1], Carl Hopkins[2]

[1] *Hochschule für Technik Stuttgart, 70174 Stuttgart, E-Mail:steffi.reinhold@hft-stuttgart.de*
[2] *Acoustics Research Unit, School of Architecture, University of Liverpool, Liverpool L69 7ZN*

Einleitung

Die Geräuschübertragung von Sanitäranlagen zählt zu den am meisten störenden Lärmeinwirkungen in Wohngebäuden. Beschwerden von Bewohnern geben häufig Anlass dazu, in ausgeführten Gebäuden Messungen durchzuführen. Wenn sich hierbei herausstellt, dass Anforderungen nicht eingehalten sind, ist es selten klar, wer dafür die Verantwortung trägt. Ein Grund hierfür ist, dass es derzeit nur sehr eingeschränkte Möglichkeiten zur Prognose der Schallübertragung von Sanitärinstallationen gibt. Im Rahmen eines Forschungsprojekts [1] wurden Untersuchungen am Empfangsplattenprüfstand und im gebäudeähnlichen Kombinationsprüfstand der Hochschule für Technik Stuttgart durchgeführt. Das Ziel ist die unabhängige Charakterisierung eines Vorwandinstallationssystems als Körperschallquelle nach DIN EN 15657-1 [2], um Eingangsdaten für das Prognosemodell nach DIN EN 12354-5 [3] zu gewinnen. Die Charakterisierung des Vorwandinstallationssystems wurde für verschiedene "Anregearten" infolge des Betriebes der Sanitärobjekte (Waschbeckenarmatur, Badewannenarmatur und -brause, Toilettenspülung) durchgeführt. In einem früheren Beitrag [4] wurde bereits über Untersuchungen zu den stationären Betriebszuständen berichtet. Im Folgenden liegt der Fokus auf der transienten Anregung infolge von Spül- und Füllvorgängen der Toilette. Insbesondere wird ein mögliches Vorgehen für die Anwendung der Empfangsplattenmethode zur Charakterisierung von transienten Quellen vorgeschlagen. Zusätzlich wurden Messungen in einem gebäudeähnlichen Prüfstand durchgeführt. Dabei wurden die Körperschall-Übertragungswege und der Einfluss des Abwasserfallrohrs auf die Körperschallübertragung näher betrachtet.

Vorwandinstallation

Die untersuchte Vorwandinstallation ist in Abbildung 1 dargestellt. Die wesentlichen Bestandteile sind das Tragsystem aus speziellen Metallprofilen, den Sanitärobjekten mit ihren benötigten Zu- und Abwasserleitungen und die Beplankung mit Gipsplatten. Der Anschluss an Boden und Wand erfolgt über Montagewinkel mit Korkunterlage.

In Gebäuden sind Geräusche von haustechnischen Anlagen nach DIN EN ISO 10052 [5] zu messen. Zusätzlich müssen die Vorgaben der DIN 4109-11 [6] berücksichtigt werden. Diese Messungen können nur in bereits ausgeführten Gebäuden durchgeführt werden. Eine weitere gängige Praxis ist die messtechnische Bestimmung von Installationsgeräuschen in gebäudeähnlichen Prüfständen. Da dabei immer konkrete Einzelsituationen geprüft werden, ist die Übertragbarkeit auf andere Bausituationen eingeschränkt. Folglich besteht aus schalltechnischer Sicht für den Bereich der Sanitärinstallationen derzeit eine unzureichende Planungssicherheit. Ziel des Forschungsvorhabens ist es daher, ein allgemeingültiges Prognoseverfahren für den schalltechnischen Nachweis bereitzustellen, welches auf einer unabhängigen Quellen-Charakterisierung nach DIN EN 15657-1 [2] basiert. Damit werden Eingangsdaten zur Prognose der Schallübertragung in Gebäuden nach DIN EN 12354-5 [3] bereitgestellt. Um das für stationäre Betriebszustände entwickelte Verfahren auch für transiente Betriebszustände anwendbar zu machen, wird zunächst der Betriebszyklus am Beispiel der Toilettenspülung näher betrachtet.

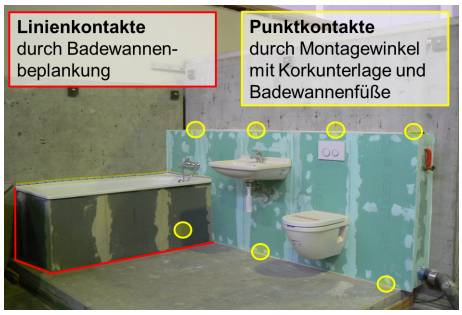

Abbildung 1: Vorwandinstallationssystem mit Sanitärobjekten am Empfangsplattenprüfstand.

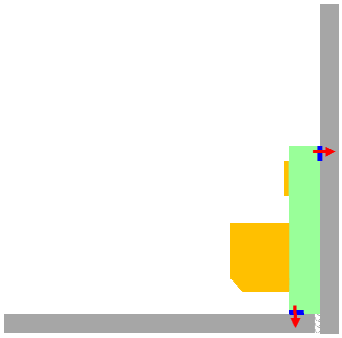

Abbildung 2: Körperschallübertragung über die Befestigungspunkte der Vorwandinstallation in Boden und Wand beim Betrieb eines Sanitärobjektes.

Die Körperschallübertragung während eines Spül- und Füllvorgangs der Toilette beginnt mit einer manuellen Auslösung der Spülung, welche das Füllventil öffnet. Anschließend strömt das Wasser aus dem Spülkasten in die Toilettenkeramik und von der Toilettenkeramik in die Abwasserleitung. Danach setzt der Füllvorgang des Spülkastens ein. Abbildung 3 zeigt einen typischen Zeitverlauf des Schnellepegels für einen Spül- und Füllvorgang.

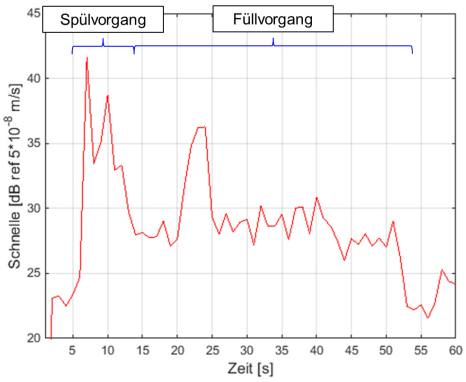

Abbildung 3: Zeitverlauf des Schnellepegels (räumliche Mittelung für 12 Beschleunigungsaufnehmer-Positionen) auf der horizontalen Empfangsplatte während eines Spül- und Füllvorgangs der Toilette.

Aus dieser Zeitabhängigkeit ergibt sich das Problem der Auswertung eines repräsentativen Frequenzspektrums bei der Charakterisierung, welches als Eingangsgröße für die Prognose nach DIN EN 12354-5 [3] benötigt wird. Darüber hinaus beziehen sich die Anforderungen für Installationsgeräusche [7] auf einen L_{AFmax} (maximaler A-bewerteter Schalldruckpegel, gemessen mit Zeitbewertung "Fast"). In [8] wurde basierend auf der Transienten SEA ein Zeitbereichsvorhersagemodell für die Prognostizierung von Maximalpegeln entwickelt. Da dieses deutlich komplexer als die Prognose nach DIN EN 12354-5 [3] ist, erscheint es praktikabler, das Verfahren für stationäre Quellen für transiente Quellen anzupassen. Eine Möglichkeit hierzu wird nachfolgend erläutert.

Empfangsplattenmethode

Stationäre Betriebsbedingungen

Die Empfangsplattenmethode nach DIN EN 15657-1 [2] ermöglicht eine praktikable Charakterisierung von Körperschallquellen mit beliebig vielen Kontaktpunkten und Kontaktgeometrien. Die Empfangsplatten-Leistung W_{rec} in die Empfangsplatte i wird nach (1) bestimmt:

$$W_{\mathrm{rec,i}} = \omega \cdot m_{\mathrm{i}} \cdot \tilde{\tilde{v}}_{\mathrm{i}}^{2} \cdot \eta_{\mathrm{i}} \qquad (1)$$

Um eine unabhängige Quellen-Charakterisierung zu erhalten, erfolgt eine Normierung auf die Admittanz der Empfangsplatte nach (2). Die so bestimmte charakteristische Körperschall-Leistung wird nach (3) in die installierte Leistung für reale Wände und Böden umgerechnet. Die installierte Leistung ist die Eingangsgröße für die Prognose nach DIN EN 12354-5 [3].

$$W_{\mathrm{char,i}} = W_{\mathrm{rec,i}} \cdot \frac{Y_{\infty,\mathrm{rec}}}{\mathrm{Re}\left\{\overline{Y}_{\mathrm{rec,i}}\right\}} \qquad (2)$$

$$W_{\mathrm{inst,i}} = W_{\mathrm{char,i}} \cdot \frac{Y_{\infty,\mathrm{inst,i}}}{Y_{\infty,\mathrm{rec}}} \qquad (3)$$

Zeitvariante Betriebsbedingungen

Zur Charakterisierung von transienten Körperschallquellen mit der Empfangsplattenmethode können Frequenzspektren für diskrete Zeitintervalle bestimmt werden. In Abbildung 4 ist der Zeitverlauf des Schnellepegels für einen Spül- und Füllvorgang der Toilette in Abhängigkeit von Zeit und Frequenz dargestellt.

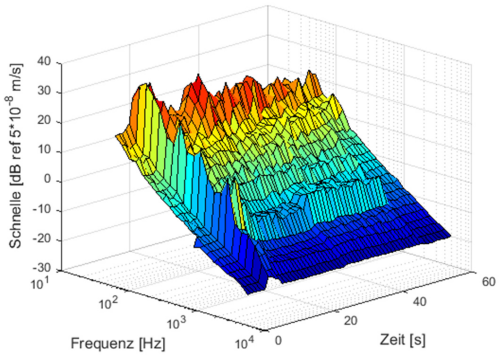

Abbildung 4: 3D-Autospektrum für Zeitintervalle von $T_{\mathrm{m}} = 1$ s des mittleren Schnellepegels auf der horizontalen Empfangsplatte für einen Spül- und Füllvorgang.

Hieraus können Frequenzspektren für beliebige Zeitintervalle extrahiert werden. Nach DIN 4109 [7] wird die erste Spitze als Betätigungsgeräusch (manuelle Auslösung der Spülung) gewertet und soll bei der Beurteilung von Installationsgeräuschen im Gebäude und dem Vergleich mit den Anforderungen nicht berücksichtigt werden. Folglich könnte dies auch bei der Charakterisierung für Prognosezwecke berücksichtigt werden. Im Sinne einer „worst case“ Betrachtung erfolgte die Bestimmung der charakteristischen Körperschallleistung hier jedoch für die beim Auslösen des Spülvorganges auftretenden Maximalwerte (Abbildung 5).

Die Leistungsspektren für vertikale und horizontale Übertragung zeigen eine ähnliche Charakteristik mit Maximalwerten unter 100 Hz und einem Abfall zu höheren Frequenzen. Die Körperschall-Übertragung in Boden und Wand ist in etwa gleich stark.

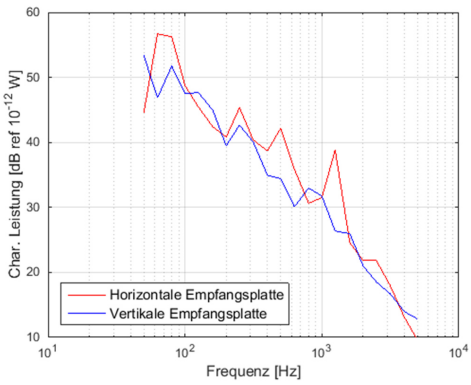

Abbildung 5: Charakteristische Körperschall-Leistungen der Auslösung des Toilettenspülvorgangs für die horizontale und vertikale Übertragung.

Vergleich der Sanitärkomponenten

Die charakteristischen Körperschall-Leistungen beim Betrieb der untersuchten Sanitärobjekte (Quellen) werden in Abbildung 6 für die horizontale und in Abbildung 7 für die vertikale Übertragung verglichen. Daraus geht hervor, dass der größte Körperschall-Eintrag in den Boden beim Betrieb der Badewannenbrause erfolgt. Die stärkste Übertragung in

die Wand erfolgt bei der der Auslösung des Spülvorgangs der Toilette.

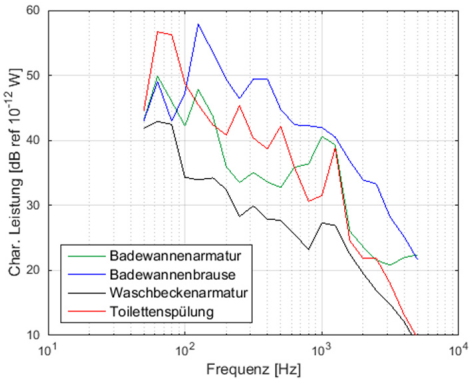

Abbildung 6: Charakteristische Körperschall-Leistungen beim Betrieb der Sanitärobjekte für die horizontale Übertragung.

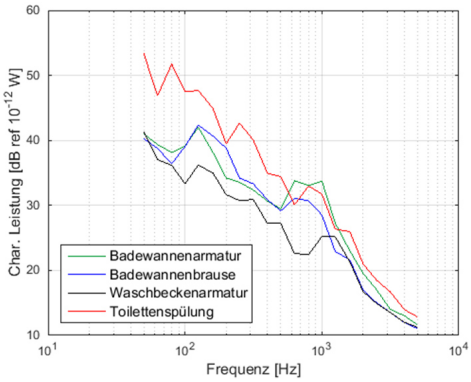

Abbildung 7: Charakteristische Körperschall-Leistungen beim Betrieb der Sanitärobjekte für die vertikale Übertragung.

Untersuchungen in bauähnlicher Situation

Im gebäudeähnlichen Kombinationsprüfstand wurde derselbe Aufbau der Vorwandinstallation wie am Empfangsplattenprüfstand realisiert. Allerdings wurde zusätzlich ein Installationsschacht mit Abwasserfallrohr verwendet (Abbildung 8 und 9). Die 100 mm dicke Installationswand bestand aus Gips-Wandbauplatten (Rohdichte 1200 kg/m³), die zu den angrenzenden Bauteilen durch eine elastische Zwischenschicht entkoppelt war. Die Trenndecke bestand aus 180 mm Stahlbeton (Rohdichte 2300 kg/m³).

Abbildung 8: Vorwandinstallation mit zusätzlichem Installationsschacht im gebäudeähnlichen Prüfstand.

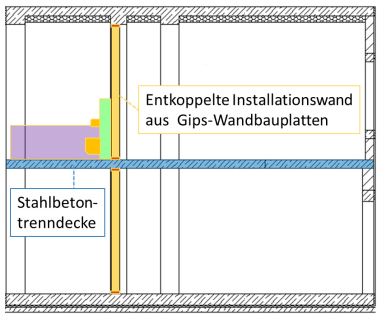

Abbildung 9: Vertikalschnitt des gebäudeähnlichen Prüfstands mit Vorwandinstallation.

Zu beachten ist, dass für die Validierung des Prognosemodells nach DIN EN 12354-5 [3] nur die Vorwandinstallation ohne Abwasserfallrohr am Empfangsplattenprüfstand untersucht wurde. Die Charakterisierung des Abwasserfallrohrs ist am Empfangsplattenprüfstand technisch nicht realisierbar. Deshalb wurde zunächst ein geräuscharmer Ablauf im unteren Geschoss realisiert. Der geräuscharme Ablauf bestand aus einem flexiblen Schlauch, der keinen Kontakt zur Installationswand hatte.

In Abbildung 10 ist der Zeitverlauf des Schalldruckpegels (gemessen nach DIN EN ISO 10052 [5]) im Empfangsraum für die diagonale Übertragung während eines Spül- und Füllvorgangs der Toilette dargestellt. Der Zeitverlauf des Schalldruckpegels ist ähnlich dem Zeitverlauf des Schnellepegels am Empfangsplattenprüfstand (Abbildung 3).

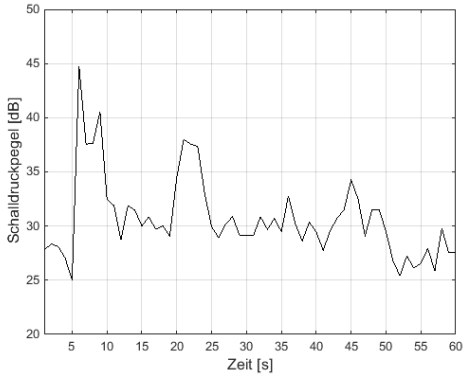

Abbildung 10: Zeitverlauf des Schalldruckpegels im Empfangsraum für die diagonale Übertragung eines Spül- und Füllvorgangs der Toilette.

Der Beitrag von Wand und Decke zur Gesamtübertragung wurde durch Messungen der Schnellen an den abstrahlenden Bauteilflächen im Empfangsraum untersucht. Der Schalldruckpegel durch Abstrahlung einer Bauteilfläche wird nach (4) berechnet.

$$L_{p,i} = L_{v,i} \cdot 10\lg(\sigma_i) + 10\lg\left(\frac{S_i}{A}\right) + 6\text{dB mit } \sigma_i = 1 \qquad (4)$$

Abbildung 11 zeigt die Frequenzspektren der Schalldruckpegel direkt nach Auslösen der Spülung („worst case“ wie bei Charakterisierung). Bei diagonaler Übertragung ist die Körperschallabstrahlung des Bodens maßgeblich. Durch die effektive Entkopplung der Installationswand ist die Körperschallübertragung von der Trenndecke in die Wand und von der oberen zur unteren Installationswand vernachlässigbar.

Üblicherweise wird eine Vorwandinstallation mit einem Abwasserfallrohr (im Installationsschacht) an die Instal-

lationswände installiert. Daher wurden Messungen auch in einer Konfiguration mit dem Abwasserfallrohr, das mit zwei Rohrschellen an jeder Installationswand montiert ist, durchgeführt.

In Abbildung 12 sind die abgestrahlten Schalldruckpegel von der unteren Wand und der Trenndecke verglichen und zusätzlich sind die Kurven aus Abbildung 11 dargestellt. Aufgrund der Befestigung des Abwasserfallrohrs ist die Abstrahlung der Installationswand bis zu 20 dB höher für $f > 500$ Hz. Die Schallübertragung in die Trenndecke ist ebenfalls für $f < 315$ Hz erhöht. Es wird angenommen, dass es beim vorhandenen Rohrverlauf zu einer höheren Anregung des Rohrs und damit der Installationswand und somit zu einer höheren Schallübertragung in den benachbarten Raum kommt. Aus diesen Ergebnissen kann festgestellt werden, dass sowohl die Vorwandinstallation mit Sanitärobjekten als auch das Abwasserfallrohr einen Einfluss auf die Schallübertragung haben. Daher müssen beide 'Quellen' für die Charakterisierung und Prognose getrennt betrachtet werden.

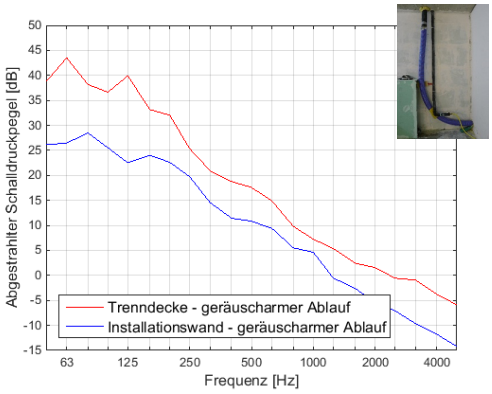

Abbildung 11: Aus Körperschall-Messungen berechnete Schalldruckpegel im Empfangsraum bei der diagonalen Übertragung – mit geräuscharmen Ablauf.

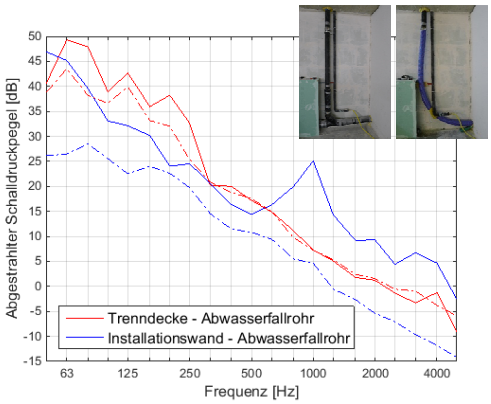

Abbildung 12: Aus Körperschall-Messungen berechnete Schalldruckpegel im Empfangsraum bei der diagonalen Übertragung – mit Abwasserfallrohr.

Zusammenfassung

Die Empfangsplattenmethode kann für die Charakterisierung von komplexen Vorwandinstallationssystemen angewandt werden. Die Leistungseinträge in die horizontale und vertikale Empfangsplatte können unabhängig voneinander gemessen und für die Prognose der Körperschallübertragung in Gebäuden verwendet werden. Bisher ist die Methode nach DIN EN 15657-1 [2] auf stationär betriebene Quellen beschränkt. Im Rahmen des beschriebenen Forschungsvorhabens wurde die Methode für die Charakterisierung von zeitlich variierenden Quellen am Beispiel der Toilettenspülung erweitert. Der Ansatz ist die Messung von Schnellen für diskrete Zeitintervalle, um verschiedene Zeitabschnitte des Betriebszyklus der Quelle zu erfassen. Hieraus wird das benötigte Frequenzspektrum extrahiert (z.B. mit Bezug auf die Anforderungen).

Das Vorwandinstallationssystem wurde auf der Empfangsplatte und im gebäudeähnlichen Prüfstand installiert und messtechnisch untersucht. Unter Berücksichtigung aller untersuchten Sanitärobjekte sind die Badewannenbrause sowie die Auslösung und das ablaufende Wasser der Toilettenspülung die stärksten Quellen des Vorwandinstallationssystems.

Untersuchungen im gebäudeähnlichen Prüfstand zeigen, dass neben dem Vorwandinstallationssystem auch das Abwasserfallrohrsystem einen signifikanten Einfluss auf die Schallübertragung im Gebäude haben kann. Beide 'Quellen' müssen für die Charakterisierung und Prognose getrennt betrachtet werden.

Im nächsten Schritt werden die in-situ Messungen in der bauähnlichen Situation mit der Prognose nach DIN EN 12354-5 [3] verglichen.

Danksagung

Dieses Projekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

Literatur

[1] Nachhaltiger Schallschutz gebäudetechnischer Anlagen in energetisch optimierten Gebäuden, Forschungsvorhaben aus dem Förderprogramm des BMBF an der Hochschule für Technik Stuttgart und der Hochschule Rosenheim.

[2] DIN EN 15657-1: Akustische Eigenschaften von Bauteilen und von Gebäuden – Messung des Luft- und Körperschalls von haustechnischen Anlagen im Prüfstand – Teil 1: Vereinfachte Fälle, in denen die Admittanz der Anlagen wesentlich höher sind als die der Empfänger am Beispiel von Whirlwannen, Oktober 2009.

[3] EN 12354-5: Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 5: Installationsgeräusche, Oktober 2009.

[4] S. Reinhold, J. Scheck, H.-M. Fischer: Untersuchungen zur Körperschallübertragung einer Vorwandinstallation aus Gipsplatten, DAGA 2014, Oldenburg.

[5] DIN EN ISO 10052: Akustik – Messung der Luftschalldämmung und Trittschalldämmung und des Schalls von haustechnischen Anlagen in Gebäuden – Kurzverfahren, Oktober 2010.

[6] DIN 4109-11: Schallschutz im Hochbau – Teil 11: Nachweis des Schutzes – Güte- und Eignungsprüfung, Mai 2010.

[7] DIN 4109: Schallschutz im Hochbau – Anforderungen und Nachweise, November 1989.

[8] M. Robinson, C. Hopkins: Prediction of maximum time-weighted sound and vibration levels using transient statistical energy analysis – Part 1: Theory and numerical implementation, Acta Acustica united with Acustica, 100(1), 46-56, 2014.