

# Messtechnische Analyse modifizierter Empfangsplattenprüfstände zur Ermittlung der Körperschalleistung haustechnischer Geräte

Michael Hößfeld<sup>1</sup>, Mathias Kohrmann<sup>1</sup>, Andreas R. Mayr<sup>1</sup>, Ulrich Schanda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Labor für Schallmesstechnik, Hochschule Rosenheim, E-Mail: Michael.Hoessfeld@stud.fh-rosenheim.de

## Einleitung

Die aktuelle Fassung der DIN 4109-1:2018-01 [1] definiert Mindestanforderungen für den maximalen A-bewerteten Norm-Schalldruckpegel  $L_{AF,max,n}$  in schutzbedürftigen Räumen, der durch haustechnische Geräte erzeugt wird.

Um bereits in der Planungsphase, den von haustechnischen Anlagen verursachten Schalldruckpegel vorhersagen zu können, wird dazu in der DIN EN 12354-5:2009-10 [2] ein Prognosemodell bereitgestellt. Als Eingangsdaten für dieses Berechnungsverfahren fließt unter anderem die charakteristische Körperschalleistung,  $P_{sn}$ , dieser Anlagen mit ein, wobei dazu in der DIN EN 15657:2017-10 [3] ein Verfahren mit Empfangsplatten zur Quellencharakterisierung zur Verfügung gestellt wird.

An der Hochschule Rosenheim wurde ein solcher Empfangsplattenprüfstand aufgebaut, jedoch mit von der obigen genannten Norm abweichenden Geometrien. Um im späteren Verlauf haustechnische Anlagen charakterisieren zu können, muss der Prüfstand zunächst eingemessen werden. Hierfür wurde der Verlustfaktor aus der Körperschall-Nachhallzeit ermittelt sowie die charakteristische Körperschalleistung einer Referenzquelle ermittelt.

## Empfangsplattenverfahren

Bei dem in der DIN EN 15657:2017-10 [3] beschriebenen Empfangsplattenverfahren handelt es sich um ein indirektes Messverfahren, da die Körperschalleistung nicht direkt am Gerät, sondern über die Energie der Empfangsplatten ermittelt wird. Dabei wird die zu charakterisierende Schallquelle bauüblich an den Empfangsplattenprüfstand montiert und unter den gewünschten Bedingungen, in der Regel dem ungünstigsten Fall, betrieben. Parallel wird die räumlich gemittelte Schnelle  $\tilde{v}_i^2$  aus  $N$  Beschleunigungssensoren auf der Platte messtechnisch erfasst. Unter Berücksichtigung des Verlustfaktors,  $\eta$ , sowie der Masse der Platte,  $m$ , ergibt sich die eingebrachte Körperschalleistung der zu betrachtenden Quelle unter Bezug auf eine Schwingungsperiode,  $\omega$  nach Gleichung (1)

$$P_s = m \cdot \eta \cdot \omega \cdot \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \tilde{v}_i^2 \quad (1)$$

Der Verlustfaktor wird dabei aus der Messung der Körperschall-Nachhallzeiten bestimmt.

Die charakteristische Körperschalleistung wird nach Gleichung (2) berechnet. Dabei wird die auf der Empfangsplatte gemessene Körperschalleistung  $P_s$  durch das

Verhältnis der charakteristischen Admittanz einer unendlich großen Platte  $Y_{R,\infty,low}$  und der äquivalenten Einzeladmittanz  $Y_{R,low,eq}$  (Mittelwert aller Kontaktpunkte einer Quelle) korrigiert.

$$P_{sn} = P_s \cdot \frac{Y_{R,\infty,low}}{\text{Re}(Y_{R,low,eq})} \quad (2)$$

In der DIN EN 15657:2017-10 [3] wird für die charakteristische Admittanz einer 10 cm dicken, unendlich großen Platte, der Wert  $Y_{R,\infty,low} = 5 \cdot 10^{-6} (\text{m/s})/N$  angegeben. Die Admittanz der Empfangsplatte ist dabei im Vergleich zur Admittanz der zu charakterisierenden Quelle wesentlich geringer, was mit dem Index low beschrieben wird.

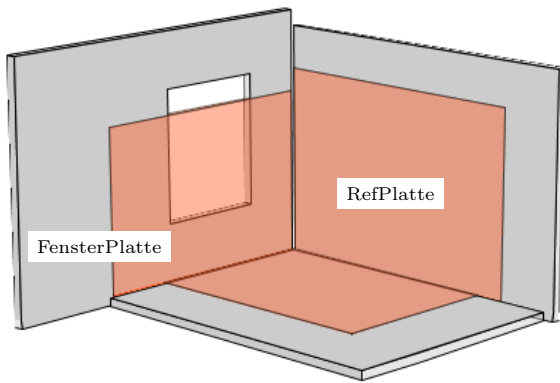
Durch die so ermittelte charakteristische Körperschalleistung haustechnischer Geräte, wird ein Vergleich von Geräten gleichen Typs untereinander ermöglicht, da die Eigenschaften der Empfangsplatte sowie der konkreten Ankopplungspunkte durch Gleichung (2) herausgerechnet werden.

Umgekehrt kann die installierte Körperschalleistung  $P_{inst}$  durch den Bezug auf die Admittanzen einer konkreten Einbausituation am Bau bestimmt werden. Diese dient dann als Eingangsgröße für das Prognosemodell der DIN EN 12354-5:2009-10 [2].

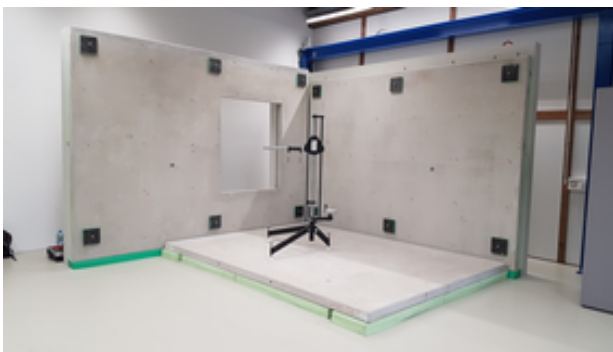
## Empfangsplattenprüfstand der Hochschule Rosenheim

Im Rosenheimer Technologiezentrum für Energie und Gebäude wurde ein neuer Empfangsplattenprüfstand errichtet. Wie in der DIN EN 15657:2017-10 [3] angegeben, bilden zwei senkrechte und eine horizontal montierte Platte eine Raumecke nach. Die in der Norm beschriebenen Betonplatten weisen eine Größe von ca. 2 m x 3 m x 0.1 m auf. Die Abmessungen des neuen Prüfstandes fallen mit einer Größe von ca. 3 m x 4 m x 0.1 m wesentlich größer aus. Zudem wurde erstmals an einer der senkrechten Platten eine Fensteröffnung ausgespart, was so ebenfalls nicht in der Norm vorgesehen ist (Abbildung 1).

Die modifizierten Plattendimensionen bringen einige Vorteile mit sich. Durch die großen Platten ist die Leistungsermittlung von größeren Geräten am Prüfstand möglich, da ausreichend Platz für die Montage (inklusive Randabstände) und die Positionierung der Beschleunigungssensoren ist. Desweiteren ermöglicht die vorhandene Fensteröffnung, Geräte die in der Regel in Fensterlaibungen montiert werden unter bauüblicheren Bedingungen zu befestigen.



**Abbildung 1:** Größenvergleich Empfangsplatte nach DIN EN 15657:2017-10 [3] (orange) und Empfangsplatte HS-Rosenheim (grau)



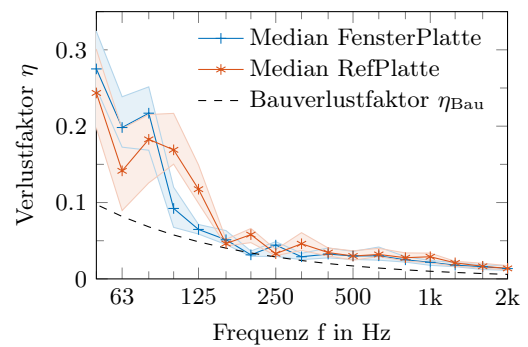
**Abbildung 2:** Empfangsplattenprüfstand der Hochschule Rosenheim

Die Empfangsplatten werden mit Hilfe von Elastomerdämmstreifen wie in der DIN EN 15657:2017-10 [3] beschrieben elastisch gelagert und mit Hilfe von Gewindestangen an den Befestigungspunkten gegen Umfallen gesichert (Abbildung 2). Um die Steifigkeit, der hinter den Platten eingeschlossenen Luft zu verringern, sind zwischen den Lagen des elastischen Materials Luftspalte vorgesehen. Die in das dahinterliegende Stützelement eingebetteten Halfenschienen dienen dabei als Ankerpunkt. Im weiteren Verlauf werden die beiden vertikalen Empfangsplatten näher betrachtet, wobei die Platte mit Fensteröffnung als *FensterPlatte* und die zweite vertikale Platte als *RefPlatte* bezeichnet werden.

## Verlustfaktor

Für die Ermittlung der eingebrachten Körperschalleistung wird der Verlustfaktor der jeweiligen Empfangsplatte benötigt. Dabei handelt es sich um ein Maß für die Energieableitung in angrenzende Bauteile und Umwandlung in Wärmeenergie durch innere Reibung [4].

Bei der Ermittlung des Verlustfaktors über die Körperschall-Nachhallzeit in Gleichung (3) wird das Abklingverhalten einer angeregten Struktur im Zeitbereich betrachtet. Dabei wird die Zeit bestimmt, die eine Struktur benötigt, bis die kinetische Energie  $E_{\text{kin}}$  um den Faktor



**Abbildung 3:** Vergleich der gemessenen Verlustfaktoren an FensterPlatte und RefPlatte mit bauüblichen Verlustfaktor. Darstellung des Medians und der 25 % und 75 % Quantile.

$10^{-6}$  abgeklungen ist. Dies entspricht einem Pegelabfall von 60 dB.

$$\eta = \frac{\ln(10^6)}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_s} \quad (3)$$

Die Strukturangeregung kann dabei mit einem elektrodynamischen Schaker oder einer transienten Anregung, in diesem Fall einem Impulshammer erfolgen. Voruntersuchungen haben gezeigt, dass mit beiden Anregearten nahezu die gleichen Verlustfaktoren ermittelt werden können. Auf Grundlage dieser Erkenntnis wurden die weiteren Verlustfaktorermittlungen aus der Körperschall-Nachhallzeit mit dem Impulshammer durchgeführt, da es sich dabei um ein unkompliziertes Anregeverfahren handelt.

Die *FensterPlatte* und die *RefPlatte* wurden jeweils an drei Positionen auf der Platte angeregt, wobei pro Anregeposition jeweils 12 Beschleunigungssensoren zur Nachhallzeitermittlung verwendet wurden. Somit ergeben sich insgesamt 36 frequenzabhängige Nachhallzeiten. Aufgrund der schiefen Verteilung der gemessenen Nachhallzeiten in einem Frequenzband wird wie von Mecking u. a. [5] beschrieben der Median zur Auswertung herangezogen und in Abbildung 3 dargestellt.

Oberhalb von 250 Hz weisen beide Platten einen nahezu gleichen Verlustfaktor auf. Tieffrequent weichen die ermittelten Verlustfaktoren beider Platten voneinander ab, zudem tritt eine größere Streuung der Daten auf, was durch die zusätzlich aufgetragenen 25 % und 75 % Quantile ersichtlich wird. Ein möglicher Grund dafür ist eine geringere Modendichte bei tiefen Frequenzen. Ergänzend ist der bauübliche Verlustfaktor für massive Bauteile nach Schneider und Fischer [6] aufgetragen, welcher leicht unter den ermittelten Verlustfaktoren liegt.

## Leistungsvergleich

Voraussetzung für die Anwendung der Empfangsplattenmethode ist, dass die Leistung der Platte  $P_s$  der eingebrachten Leistung am Anregungspunkt  $P_{\text{Anregungspunkt}}$  entspricht. Diese wird nach Gleichung 4 bestimmt.

$$P_{\text{Anregungspunkt}} = \frac{1}{2} \text{Re} \left\{ \hat{\underline{F}}^* \cdot \hat{\underline{v}} \right\} \quad (4)$$

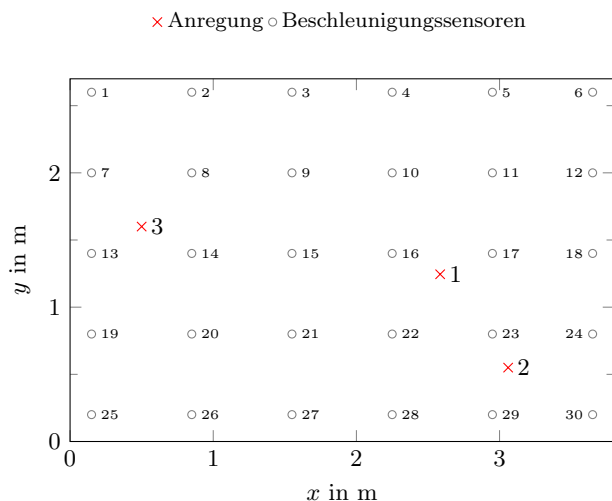
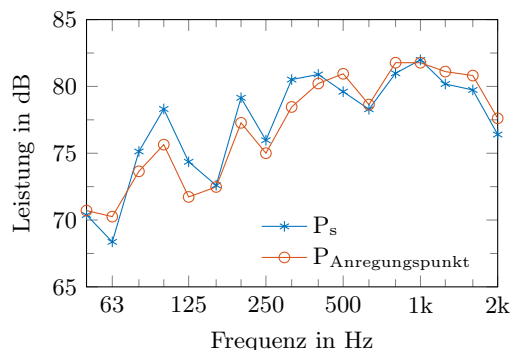


Abbildung 4: RefPlatte; Anrege- und Sensorpositionen

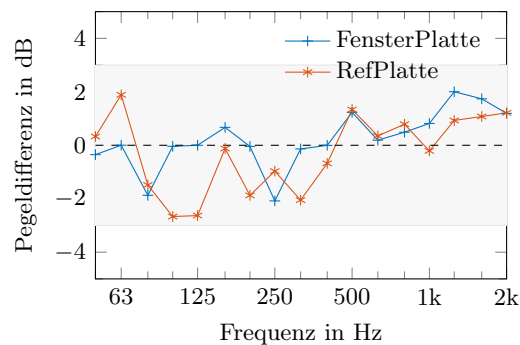
Abbildung 5: Leistungsvergleich auf RefPlatte. Gemessene Plattenleistung  $P_s$  verglichen mit gemessener Leistung am Anregungspunkt  $P_{\text{Anregungspunkt}}$  (Anregungspunkt 1).

Die *RefPlatte* und die *FensterPlatte* wurden jeweils an drei Punkten mit einem Impulshammer angeregt (Abbildung 4). Die in der Plattenstruktur vorhandene kinetische Energie ergibt sich aus den räumlich gemittelten quadratischen Schnellen, welche mit Beschleunigungsaufnehmern auf der Platte experimentell erfasst werden. Hierfür wurden wie in Abbildung 4 gezeigt, 30 Beschleunigungssensoren in einem regelmäßigen Raster auf den Empfangsplatten montiert.

Stellt man exemplarisch den Verlauf der Leistung in der Platte  $P_s$  mit der Leistung am Anregungspunkt  $P_{\text{Anregungspunkt}}$ , für die Anregung am Punkt 1 (Abbildung 4) gegenüber, so ist festzustellen, dass  $P_s$  tieffrequent tendenziell leicht überschätzt und hochfrequent leicht unterschätzt wird (Abbildung 5).

Dies zeigt sich in der Differenz (Abbildung 6), welche den Bereich von  $\pm 3$  dB nicht überschreitet.

Für die *FensterPlatte* wurde diese Betrachtung in Abbildung 6 ebenfalls durchgeführt, wobei die für Anregungspunkt 1 exemplarisch aufgetragene Pegeldifferenz im direkten Vergleich zur *RefPlatte* gleich bzw. stellenweise etwas geringer ausfällt.

Abbildung 6: Pegeldifferenz aus  $P_s$  und  $P_{\text{Anregungspunkt}}$  für FensterPlatte und RefPlatte

## Charakteristische Körperschalleistung

Die Empfangsplattenmethode bietet eine praktikable Möglichkeit zur Charakterisierung von Körperschallquellen, wobei die Körperschallquelle auf die charakteristische Admittanz einer 10 cm dicken, unendlich großen Platte  $Y_{R,\infty,\text{low}}$  nach Gleichung (2) normiert wird. Es sollte also sowohl über die *FensterPlatte*, als auch über die *RefPlatte* die gleiche charakteristische Körperschalleistung einer Quelle ermittelt werden können. Als Quelle dient in diesem Fall ein elektrodynamischer Shaker, da dieser über die Hardwareeinstellungen an beiden Platten gleich betrieben werden kann. Bei gleicher Montage, das heißt bei gleicher Ankopplung an die Empfangsplatten und bei gleicher Stingerlänge, ist zu erwarten, dass die identische Leistungen in die jeweilige Empfangsplatte eingeleitet wird.

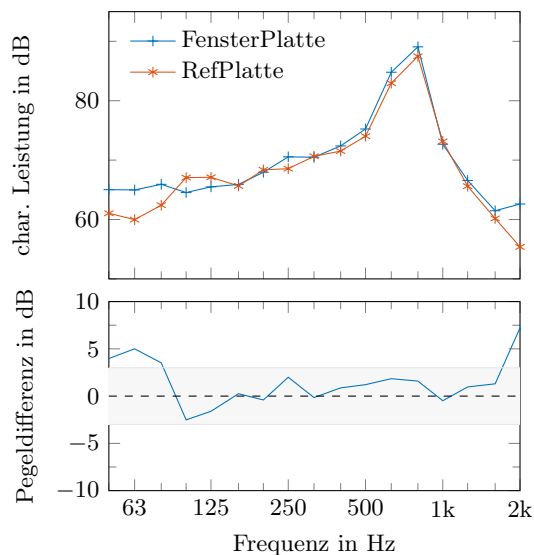
Die charakteristische Körperschalleistung  $P_{\text{sn}}$  wird nach Gleichung (2) bestimmt. Die Eingangsadmittanz  $Y_{R,\text{low},\text{eq}}$  wird aus dem Verhältnis der Schnelle am Kraftereinleitungspunkt und der eingeleiteten Kraft nach Gleichung (5) gebildet. Die 30 auf der Empfangsplatte montierten Beschleunigungsaufnehmer messen die mit weißem Rauschen angeregte Beschleunigung der Platte. Mit  $\eta$  wird daraus die Plattenleistung  $P_s$  berechnet.

$$Y_{R,\text{low},\text{eq}} = \frac{v}{F} \quad (5)$$

Die in Abbildung 7 gebildete Pegeldifferenz aus der auf beiden Empfangsplatten ermittelten charakteristischen Körperschalleistung des elektrodynamischen Shakers zeigt gute Übereinstimmungen. Im Frequenzbereich von 100 Hz bis 1600 Hz wird eine Pegeldifferenz von 2 dB nicht überschritten. Unter 100 Hz treten jedoch Pegeldifferenzen von bis zu 5 dB auf (Abbildung 7). Ein möglicher Grund dafür könnte der jeweilige, zur Leistungsermittlung verwendete Verlustfaktor  $\eta$  der einzelnen Empfangsplatten sein. Da bei der Verlustfaktorermittlung vor allem tieffrequent größere Streuungen auftreten.

## Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde der neue Empfangsplattenprüfstand an der Hochschule Rosenheim für die Charakterisierung von haustechnischen Geräten nach DIN EN 15657:2017-10 [3] vorgestellt. Dieser wurde abweichend



**Abbildung 7:** charakteristische Körperschalleistung ermittelt für RefPlatte und FensterPlatte; Pegeldifferenz aus beiden charakteristischen Körperschalleistungen

von der Norm mit größeren Dimensionen und einer Fensteröffnung ausgeführt. In Voruntersuchungen wurde der für das Empfangsplattenverfahren notwendige Verlustfaktor der Platten ermittelt. Zudem wurde ein Leistungsvergleich auf Grundlage dieses Verlustfaktors durchgeführt.

Durch die vorhandene Fensteröffnung wird eine Montage von Geräten, die in der Regel in Fensterlaibungen montiert werden, unter bauüblicheren Bedingungen ermöglicht. Durch diese stirnseitige Montage werden hauptsächlich longitudinale Wellen in der Platte angeregt. Mit dem Empfangsplattenverfahren wird allerdings nur die Leistung durch BiegeWellen erfasst.

In weiteren Schritten wird die in der Fensteröffnung stirnseitige Plattenanregung und die hierzu verbundene Ermittlung der charakteristischen Körperschalleistung von haustechnischen Geräten genauer betrachtet werden.

## Danksagung

Die Autoren danken der Firma Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH für die Unterstützung in der Messtechnik.

## Literatur

- [1] DIN 4109-1:2018-01: Schallschutz im Hochbau - Teil 1: Mindestanforderung
- [2] DIN EN 12354-5:2009-10: Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften: Teil 5: Installationsgeräusche
- [3] DIN EN 15657:2017-10: Akustische Eigenschaften von Bauteilen und von Gebäuden - Messung des Körperschalls von haustechnischen Anlagen im Prüfstand für alle Installationsbedingungen
- [4] Cremer, L.; Heckl, M. A.: Körperschall: Physikalische Grundlagen und Anwendungen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1967

- [5] Mecking, S. u. a.: Messung von Körperschall-Nachhallzeiten inhomogener Strukturen am Beispiel einer Holzbalkendecke. In: *Fortschritte der Akustik - DAGA*. Hrsg. von Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. Darmstadt, 2012
- [6] Schneider, M.; Fischer, H.-M.: Einfluss des Verlustfaktors auf die Schalldämmung von Lochsteinmauerwerk. *Bauphysik* 30.6 (2008), S. 453–462