

Vorschlag für eine neue Messmethode zur Bestimmung von Abwassergeräuschen am Prüfstand

Johanna Weinzierl¹, Fabian Schöpfer¹, Andreas Mayr¹, Ulrich Schanda¹

¹ Labor für Schallmesstechnik (LaSM), Technische Hochschule Rosenheim,

Email: johanna.weinzierl@stud.fh-rosenheim.de, fabian.schoepfer@th-rosenheim.de

Einleitung

Die DIN EN 14366:2005-02 [1] beschreibt derzeit das Verfahren zur Messung der Geräusche von Abwasserinstallationen im Prüfstand. Der hierfür beschriebene Laborprüfstand besteht aus zwei Räumen, einem Senderaum zur Bestimmung des Luftschallanteils und einem Empfangsraum zur Bestimmung des Körperschallanteils. Das Abwasserrohr ist an der Trennwand zwischen den beiden Räumen senderaumseitig montiert. In diesem Beitrag wird die Anwendung einer neuen Messmethode untersucht, um die Luft- und Körperschalleistung direkt zu bestimmen. Somit kann der Körperschallanteil als Körperschalleistung mit dem sogenannten Empfangsplattenverfahren bestimmt werden. Diese Größe kann direkt als Eingangsgröße zur Prognose nach DIN EN 12354 [2] verwendet werden. Der Luftschallanteil wird ebenfalls als leistungs-basierte Größe mit dem Schallintensitätsmessverfahren bestimmt. Das vorgeschlagene Verfahren benötigt deshalb weder einen Sende- noch einen Empfangsraum. In diesem Beitrag werden messtechnische Untersuchungen zur Anwendung der vorgeschlagenen Methode vorgestellt.

Grundlagen

Aus Messungen der Schallintensität und der mittleren Schnelle auf der Empfangsplatte können die Luft- und die Körperschalleistung mit Hilfe der folgenden Gleichungen direkt bestimmt werden:

Der Luftschalleistungspegel, L_{W_a} , wird anhand des mittleren Schallintensitätspegels, L_I , über eine bestimmte Hüllfläche, S , bestimmt.

$$L_{W_a} = L_I + 10 \lg \left(\frac{S}{1 \text{ m}^2} \right) \quad (1)$$

Der Körperschalleistungspegel, L_{W_s} , wird mit der Empfangsplattenmethode gemäß [3] bestimmt.

$$L_{W_s} = 10 \lg \left(\frac{\eta \omega m}{1 \text{ kg}} \right) + L_v - 60 \quad (2)$$

Dabei ist L_v der mittlere Schnellepegel auf der Empfangsplatte, m die Masse der Empfangsplatte und η der Verlustfaktor.

Laborprüfstand

Der Prüfstand ist im *roteg*¹ an der Technischen Hochschule Rosenheim installiert. Die Installation des Abwasserrohrsystems folgt grundsätzlich der in der DIN EN 14366

vorgegebenen Standardkonfiguration, jedoch ohne Sende- und Empfangsraum. Das Fallrohr wurde mit zwei einfachen gummierten Rohrschellen an einer vertikale Empfangsplatte befestigt (siehe Abbildung 1).

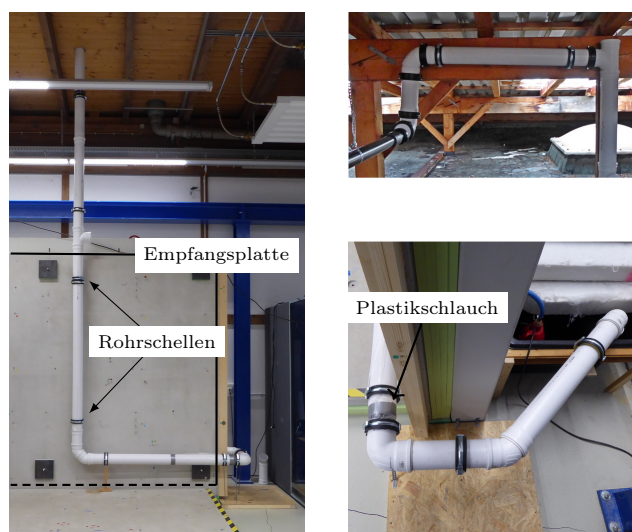


Abbildung 1: Aufbau einer Abwasserleitung. Links: Ansicht mit Empfangsplatte. Rechts oben: Aufbau oberhalb der Hallendecke / des Prüfstands. Rechts unten: Formteile, um das Wasser in den Tank hinter der Empfangsplatte abzuleiten.

Die Fallhöhe beträgt ca. 5,8 m. Oben wurde eine horizontale Beruhigungsstrecke, wie in DIN EN 14366:2005-02 beschrieben, installiert (siehe Abbildung 1, oben rechts). Mit einer Pumpe wird das Wasser aus einem Tank oberhalb des Prüfstandes durch das Abwasserrohr geleitet, das über einen Schlauch entkoppelt (siehe Abbildung 1, unten rechts) in ein Auffangbecken hinter dem Prüfstand mündet.

Für die Untersuchung verschiedener Strategien zur Definition der Messfläche wurde zunächst am freien Rohr gemessen. In einem zweiten Schritt wurden OSB Platten hinter dem Rohr montiert, mit dem Ziel die Schallenergie nach vorne zu reflektieren, sodass sich eine ebene Hüllfläche für die Bestimmung der Schallabstrahlung ergibt. Dieser Reflektor ist in Abbildung 2 (rechts) gezeigt.

In Abbildung 2 (links) ist zusätzliches Absorptionsmaterial (Polyesterfaser) mit einer Schichtdicke von ca. 1 m zu sehen, um die Qualität der Intensitätsmessungen zu erhöhen. Die Breite beträgt ca. 2 m, sodass links und rechts der Mittellinie des Rohres ca. 1 m Absorptionsmaterial ist. Für die Schallintensitätsmessungen wurde eine

¹Rosenheimer Technologiezentrum Energie und Gebäude

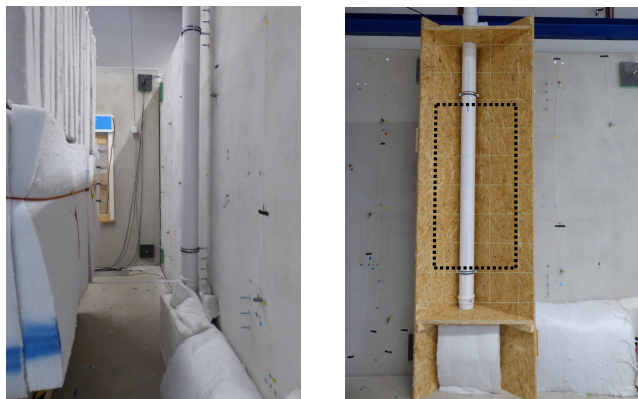


Abbildung 2: Links: Freies Abwasserrohr mit zusätzlicher Absorption gegenüber dem Rohr. Rechts: OSB-Reflektor. Das gepunktete Rechteck zeigt den Bereich für die in diesem Beitrag dargestellten Intensitätsmessungen.

zusätzliche Polyesterfaserschicht ca. 10 cm auf die was-serableitenden, horizontalen Rohrabschnitte aufgebracht (siehe Abbildung 2).

Für die Konstruktion des OSB-Reflektors wurden 25 mm dicke OSB-Platten verwendet. Eine horizontal einge-brachte Platte soll den Einfluss des an der Umlenkung entstehenden Luftschalls im Bereich des Fallrohres redu-zieren.

Für die Körperschallmessungen wurde in diesem Bereich keine zusätzliche Polyesterfaser aufgebracht. Das bedeu-tet, dass die beschriebene potentielle Nahfeldanregung nur im Bereich des Fallrohres mit dem OSB-Reflektor ab-geschirmt wurde.

In diesem Beitrag liegt der Fokus auf dem Vergleich ver-schiedener Messverfahren. Aus diesem Grund ist die ex-akte Einhaltung der in der DIN EN 14366 vorgegebenen Durchflussraten bisher nicht angestrebt. Dennoch wur-de für alle Messungen eine Durchflussrate von im Mit-tel $(2,71 \pm 0,05) \text{ l/s}$ sichergestellt. Dabei ist zu bemer-ken, dass die Durchflussrate im vorliegenden Testaufbau mit der Zeit konstant abnimmt. Im Bereich der Messzeiträu-me von maximal 20 s nimmt die Durchflussrate um ma-ximal $0,1 \text{ l/s}$ ab, und liegt somit im oben genannten Be-reich.

Alle Intensitätsmessungen wurden mit geschlossenen Rohrschellen durchgeführt. Bei den Körperschallmessun-gen wurden die Schellen zusätzlich geöffnet, um die Nah-feldanregung zu untersuchen.

Schallintensitätsmessungen: Ergebnisse

Die Abbildungen 3 bis 6 zeigen Ergebnisse für Intensi-tätsscans über das gepunktete Rechteck, das im rechten Bild in Abbildung 2 angedeutet wird. Mit Ausnahme von Abbildung 4 wurden alle gezeigten Ergebnisse mit einem Abstand von 45 cm zwischen der Mitte der beiden Son-denmikrofone und dem vorderen Rand des Abwasserrohrs gemessen.

Abbildung 3 zeigt gemittelte Schallintensitätspegel mit und ohne Wasserfluss. Mit Ausnahme von 80 Hz bis 100 Hz liegen die Messdaten im gesamten betrachteten Frequenzbereich 20 dB über dem Grundgeräusch (ohne Wasserfluss).

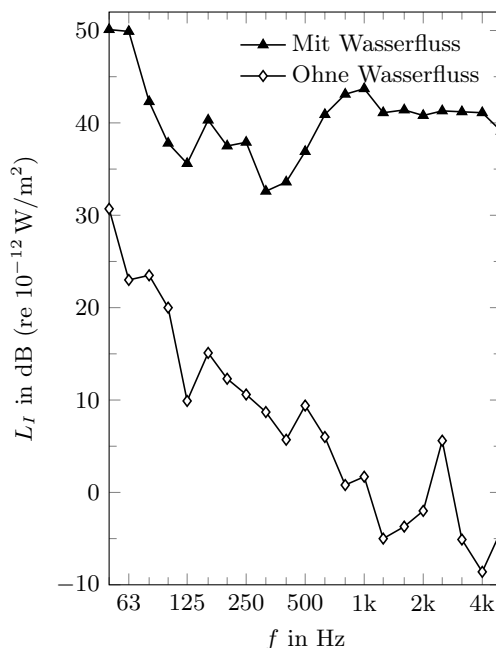


Abbildung 3: Vergleich der Schallintensität mit und ohne Wasserfluss bei geschlossenen Rohrschellen

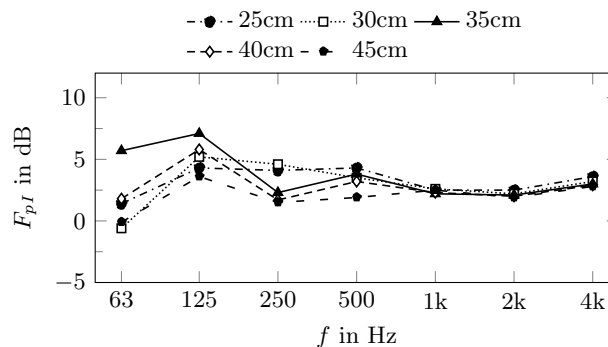


Abbildung 4: F_{pI} -Index für Messungen mit verschiedenen Messabständen

Abbildung 4 ist zu entnehmen, dass der höchste F_{pI} -Index über alle Abstände im 125 Hz Oktavband liegt. Mit zunehmendem Messabstand kann eine Verminderung der F_{pI} -Indizes erkannt werden. Bei 45 cm werden die ge-ringsten F_{pI} -Indizes erzielt.

Abbildung 5 zeigt einen Countourplot der A-gewichteten Summenpegel von I_{eq} , gemessen an 16 diskreten Punkten über ein regelmäßiges Raster von $20 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ über die durch das gepunktete Rechteck in Abbildung 2 definierte Fläche.

Festzustellen ist eine Differenz über die Messfläche inner-halb von $\pm 2,3 \text{ dB}$ sowie tendenzieller Abfall des Schallin-tenitätspegels von links nach rechts. Dies ist plausibel,

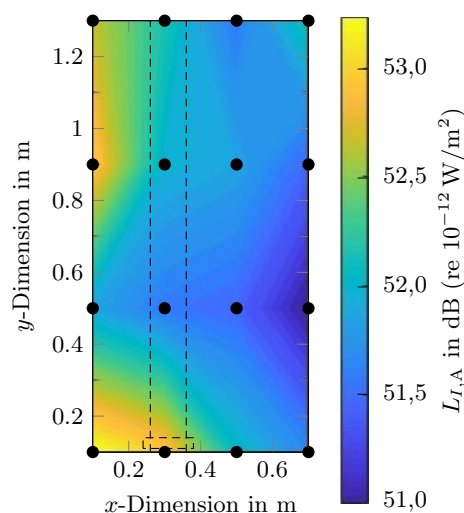


Abbildung 5: Contourplot des A-bewerteten Summenpegels der Schallintensität über 16 Messpunkte. Das Rohr und die untere Rohrschelle sind durch gestrichelte Linien, die Position der diskreten Messpunkte durch schwarze Punkte dargestellt.

da ein asymmetrischer Reflektor eingesetzt wurde, dessen linke Fläche aufgrund des größeren Anstellwinkels nur halb so groß wie die rechte Fläche ist. So ergeben sich links bis zu 3 dB höhere Schallintensitätspegel.

Die gleichen Daten sind in Abbildung 6 in Terzbändern mit Mittelwert und Standardabweichung dargestellt. Die Standardabweichung ist im Wesentlichen kleiner als 3 dB.

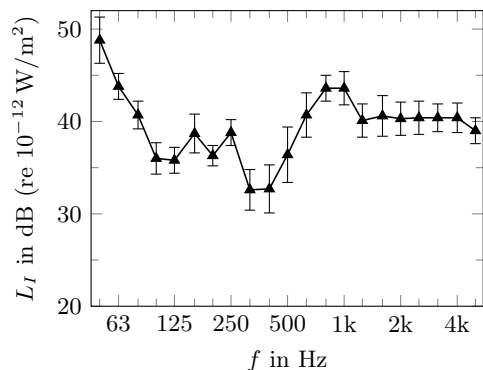


Abbildung 6: Durchschnittliche Schallintensitätspegel mit Standardabweichung für diskrete Messungen an 16 Punkten innerhalb des gepunkteten Rechtecks in der Abbildung 2

Abbildung 7 zeigt Differenzen gemittelter Schallintensitätspegel, die über die in der Bildunterschrift beschriebenen Verfahren gemessen wurden. Als Referenz dient das Verfahren (A). Dabei war der Messabstand zur Rohraußenseite 45 cm, die Messdauer für diskrete Messungen 10 s und für Scans 20 s. Die Messgeschwindigkeit der Scans war 0,4 m/s.

Dabei ist folgendes zu erkennen:

- (B)-(A): Abweichungen bis zu 10 dB im Frequenzbereich von 125 Hz bis 250 Hz
- (C)-(A): Differenzen bis zu 2 dB im gesamten Frequenzbereich mit Ausnahme von 6 dB bei 63 Hz

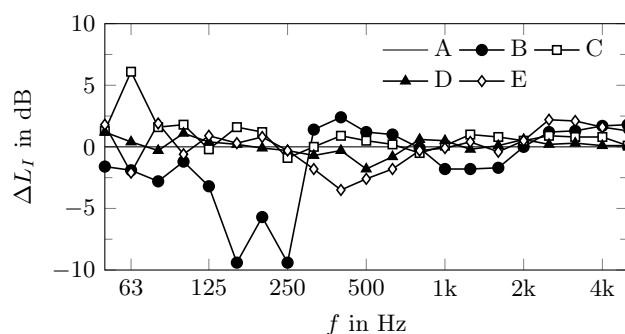


Abbildung 7: Differenz der Schallintensitätspegel für fünf Messverfahren (A) bis (E).

(A) 16 Messpunkte mit OSB-Reflektor (Referenz);
 (B) 16 diskrete Messungen auf einem gedachten Viertelzylinder um das Fallrohr ohne OSB-Reflektor;
 (C) Intensitätsscans (3 Scans: 2 x horizontal und 1 x vertikal) mit OSB-Reflektor;
 (D) 4 ausgewählte Punkte aus (A);
 (E) vertikale Intensitätsscans direkt vor dem Rohr mit OSB-Reflektor (3 Scans, aufwärts und abwärts)

- (D)-(A): Abweichungen des mittleren Schallintensitätspegels innerhalb von 2 dB
- (E)-(A): maximal 3,5 dB Unterschied bei 400 Hz

Schallintensitätsmessungen: Schlussfolgerungen

Folgende Schlussfolgerungen können aus den Schallintensitätsmessungen gezogen werden:

- Signal-Grundgeräusch-Abstand ab 125 Hz >20 dB (Minstdifferenz nach [4])
- F_{pI} -Indizes stets <10 dB im Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz
- zunehmender Messabstand hat Einfluss auf den F_{pI} -Index, beste Ergebnisse bei Abständen zwischen 40 cm bis 45 cm, Mindestabstand von 20 cm nach [4]
- bei diskreten Punkten über dem Reflektor weniger als 16 Punkte ausreichend
- größte Abweichungen in dem Messverfahren im Bereich von 50 Hz bis 315 Hz, wenn kein Reflektor verwendet wird

Körperschallmessungen

Zur Bestimmung der Körperschalleistung des Rohres werden die Schnellepegel auf der vertikale Empfangsplatte gemessen. Abbildung 8 zeigt die mittlere Schnelle auf der Empfangsplatte für verschiedene Konfigurationen des Messaufbaus im Vergleich zum Grundgeräusch. Es ist zu erkennen, dass das Signal-zu-Rausch-Verhältnis für die meisten Frequenzbänder >10 dB ist.

Mit gleicher Durchflussrate wurden weitere Messungen mit geöffneten Rohrschellen durchgeführt um die Luftschallanregung der Empfangsplatte zu untersuchen. Diese Messung wurde sowohl mit und ohne den in Abbildung 2 rechts gezeigten OSB-Reflektor durchgeführt, da dieser eine gewisse Abschirmung der Nahfeldanregung im Bereich des Fallrohres darstellt.

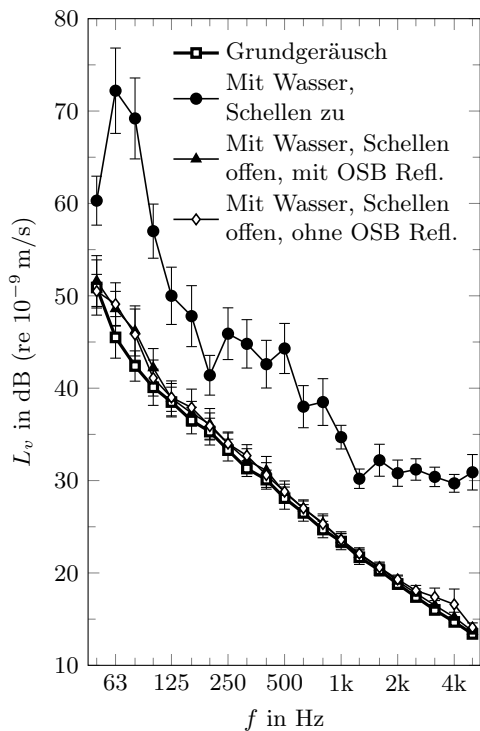


Abbildung 8: Mittlere Schnelle von zehn Positionen (mit Randabstand) auf der Empfangsplatte mit Standardabweichung.

Im Vergleich zur Grundgeräuschmessung ist zu erkennen, dass auf der Empfangsplatte mit geöffneten Rohrschellen kein signifikanter Eintrag messbar ist. Lediglich in den Terzbändern von 63 Hz bis 100 Hz liegen die mittleren Schwingschnellen bis zu ca. 4 dB über dem Grundgeräusch. Dabei ist allerdings zu erwähnen, dass eine vollständige Trennung von Fallrohr und Rohrschellen nicht realisiert werden konnte. Während der vordere Teil der Rohrschelle entfernt wurde, verblieb der hintere Teil an der Wand. Um den Kontakt zwischen Fallrohr und diesem Teil zu unterbinden, wurden 10 mm starke Streifen Sylomer SR 11 dazwischen geklemmt. Die Signalanteile im Bereich von von 63 Hz bis 100 Hz können gegebenenfalls dadurch erklärt werden.

In den Terzbändern 3150 Hz und 4000 Hz liegen die Schnellepegel für die Messung ohne den OSB Reflektor ca. 2 dB über dem Grundgeräusch. Dies kann gegebenenfalls auf den OSB Reflektor zurückgeführt werden, da die Überschreitung mit Reflektor nicht zu erkennen ist.

Zusammenfassung

Diese Studie zeigt Untersuchungen zur Bestimmung der Luft- und Körperschalleistung von Abwasserleitungen. Ziel ist die Anwendung von Messmethoden zur direkten Bestimmung der Luft- und Körperschalleistung mit Hilfe der Schallintensität am Fallrohr und der Körperschallschnellepegel auf einer Empfangsplatte. Aus diesen beiden Größen lassen sich die Leistungen mit den Gleichungen (1) und (2) direkt bestimmen.

Während das Messverfahren für Körperschall bereits in [3] definiert ist, erfordert die Messung der Luftschallei-

stung des Rohres mittels Intensitätsmessverfahren eingehende Untersuchungen. In diesem Beitrag wurden erste Optimierungen der Messqualität und der Vergleich mit und ohne Reflektor aufgezeigt.

Es kann gezeigt werden, dass die Qualität der Intensitätsmessungen alle Anforderungen der ISO 9614-2 [4] erfüllt. Ab einem Abstand von 40 cm betragen die F_{pI} -Indizes für das Scanverfahren weniger als 6 dB. Aus den vorliegenden Ergebnissen lässt sich ein optimaler Messabstand von 45 cm ableiten.

Ein Reflektor in Form eines Dreiecks definiert eine ebene Messfläche/Hüllfläche, wobei sich die Summenpegel über diesen Bereich um weniger als 2,5 dB unterscheiden, obwohl das Rohr weniger als 15 % der Fläche abdeckt. Vergleicht man die diskreten Messverfahren mit (A) und ohne (B) Reflektor, so zeigen sich im Frequenzbereich unterhalb von 315 Hz Unterschiede. Der Vergleich zwischen Scan und diskreten Messungen (C-A) ergibt über alle Frequenzbänder hinweg eine durchschnittliche Abweichung von 1 dB mit einem Extremwert von 6 dB. Werden vereinfachte Messverfahren mit Reflektor in Form von vier diskreten Messpunkten auf einer Diagonale (D) sowie eines vertikalen Scans direkt vor dem Rohr (E) mit (A) verglichen, so ergibt sich ein durchschnittlicher Unterschied von 1 dB bei (D) bzw. 2 dB bei (E).

Die Körperschallmessungen zeigen die Anwendbarkeit des Empfangsplattenverfahrens zur Charakterisierung des Körperschallanteils eines Abwasserrohrsystems. Durch die Entkopplung des Fallrohres konnte keine signifikante Luftschallanregung der Platte festgestellt werden.

Weitere Messungen und die Validierungen mit dem Verfahren nach DIN EN 14366 sind erforderlich, um letztlich ein geeignetes Verfahren zur Bestimmung der Luft- und Körperschallschalleistung ohne Sende- und Empfangsraum zu definieren.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Firma REHAU AG+Co für die finanzielle Beteiligung und Installation des Abwasserprüfstandes. Ein Dank gilt ebenfalls der Firma Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH für die Unterstützung in der Messtechnik.

Literatur

- [1] DIN EN 14366:2005-02: Messung der Geräusche von Abwasserinstallationen im Prüfstand: Deutsche Fassung EN 14366:2004
- [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] DIN EN ISO 9614-2:1996-12: Akustik - Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Intensitätsmessungen: Teil 2: Messung mit kontinuierlicher Abtastung. Hrsg. von Deutsches Institut für Normung e.V.