



ENTWICKLUNGEN BEI DER PROGNOSE VON GERÄUSCHEN AUS GEBÄUDETECHNISCHEN ANLAGEN

Fabian Schöpfer¹, Andreas Mayr¹, Ulrich Schanda¹, Bernd Nusser², Jörg Arnold³,
Albert Vogel³, Conrad Völker³

¹ Technische Hochschule Rosenheim, Deutschland, E-Mail: fabian.schoepfer@th-rosenheim.de

² Holzforschung Austria, Österreich, E-Mail: b.nusser@holzforschung.at

³ Bauhaus-Universität Weimar, Deutschland, E-Mail: albert.vogel@uni-weimar.de

Kurzfassung

Bei energieeffizienten und nachhaltigen Gebäuden und Gebäudekonzepten spielt die Holzbauweise sowohl im Neubau als auch in der Sanierung eine wichtige Rolle. Diese Entwicklung erfordert auch eine Anpassung und Weiterentwicklung der Planungswerkzeuge unter anderem für den Schallschutz. Diese wurden für die Luft- und Trittschallübertragung in den vergangenen Jahren u.a. durch Arbeiten der Holzforschung Austria und der Technischen Hochschule (TH) Rosenheim erheblich verbessert und ergänzt. Für die Prognose von Geräuschen aus gebäudetechnischen Anlagen stehen bisher jedoch noch keine belastbaren und validierten Methoden zur Verfügung. Dabei ist grundsätzlich zwischen der Luft- und Körperschallemission einer Quelle zu unterscheiden. In Bezug auf die Körperschallemissionen, die im Vergleich ungleich komplexer sind, wurde an der TH Rosenheim ein Ansatz für ein ingenieurtaugliches Berechnungsverfahren auf der Grundlage vorausgegangener Arbeiten, u.a. an der Bauhaus-Universität Weimar (BUW), auf der Basis von gemessenen Übertragungsfunktionen entwickelt.

Grundlage für diese Methode ist eine Trennung von Gebäude und Quelle (hier die gebäudetechnische Anlage). Geräuschquellen werden damit unabhängig vom Gebäude hinsichtlich ihrer Körperschalleigenschaften charakterisiert. Ebenso wird die Schallübertragung im Gebäude unabhängig von der Geräuschquelle messtechnisch in Form von Übertragungsfunktionen erfasst. Hier wurden in den vergangenen Jahren im Rahmen von Projekten an der TH Rosenheim eine Vielzahl von Messungen in Gebäuden durchgeführt, um eine Datenbasis für ein empirisches Prognosewerkzeug aufzubauen. In diesem Beitrag wird die Methode aufgezeigt und die Entwicklung der letzten Jahre bis zum jetzigen Stand zusammengefasst.

Einleitung und Hintergrund

Bei Geräuschen aus gebäudetechnischen Anlagen bzw. Installationsgeräuschen werden baurechtlich Anforderungen an maximale Schalldruckpegel in schutzbedürftigen Räumen gestellt. Nach den Mindestanforderungen zum Schallschutz der DIN 4109 wird hier nach aktuellem Stand der $L_{AF,max,n}$ herangezogen. Unabhängig von Anforderungen besteht aber auch ein grundsätzliches Interesse an einer Möglichkeit, die zu erwartenden Schallimmissionen prognostizieren zu können. So kann es ein Qualitätsmerkmal ein, auch in Situationen ohne gesetzliche Mindestanforderungen, eine niedrigere Lärmbelastung bieten zu können.

In der Praxis bedeutet die Betrachtung von zu erwartenden, absoluten (resultierenden) Schalldruckpegeln jedoch, dass nicht nur die Schallübertragung über Bauteile und Bauteilstöße durch das Gebäude von Relevanz ist, sondern auch die Ursache, also die Quelle. Hier zeigt sich der wesentliche Unterschied zur Prognose der Luft- und Trittschalldämmung, wo die tatsächliche Anregung in der Nutzung eine untergeordnete Relevanz hat und nur Anforderungen an die Bauteile gestellt werden.

Nicht zuletzt dadurch ist die Prognose von resultierenden Schalldruckpegeln aus gebäudetechnischen Anlagen ungleich komplexer. Auch deshalb sind die vorhandenen akustischen Planungsmethoden auch weit hinter den Regelwerken für Luft- und Trittschallübertragung zurück. Dennoch bestehen seit Jahrzehnten Bestrebungen, Methoden zu entwickeln (s. z.B. [1] [2] [3] [4] [5]). Dabei ist die größte Hürde die Komplexität der Prognose in einer Methode zu fassen, die baupraktisch anwendbar ist.

Bei Schallquellen muss stets zwischen der Luft- und Körperschallemission unterschieden werden. So sind für die Luftschallemissionen schon seit langem Messmethoden zur Ermittlung der Luftschalleistung der Quelle vorhanden und normativ eingeführt. Mit dieser

Größe und mit der Kenntnis der Schallpegeldifferenz am Bau zwischen zwei Räumen, die mit vorhandenen Planungsmethoden auch berechenbar ist, kann der resultierende Schalldruckpegel, ausgehend von Luftschallemissionen, im Empfangsraum prognostiziert werden.

Nun ist bei der Körperschallemission zu beachten, dass diese sehr stark von der Baustruktur bzw. vom Bauteil selbst abhängt, an dem die jeweilige Quelle montiert ist. Somit kann die emittierte Körperschalleistung nicht direkt aus Labormessungen auf die Bausituation transferiert werden. Vielmehr sind Methoden erforderlich, die es erlauben, einen Datensatz der Quelle zu bestimmen, der mit beliebigen Empfängerstrukturen kombinierbar ist, um die Körperschallemission gezielt für die jeweilige Situation zu berechnen. Dies erfordert Messmethoden, die eine Charakterisierung der Quellen unabhängig vom Gebäude ermöglichen. Gleichzeitig sind Informationen von der jeweiligen Empfängerstruktur erforderlich.

Sowohl für Luft- als auch für Körperschallemissionen ist zudem zu berücksichtigen, dass jeweils nur für einen spezifischen Betriebspunkt bzw. -zustand der Schalldruckpegel im Empfangsraum bestimmt werden kann. Hier ist dann jeweils der ungünstigste Fall zu betrachten, welcher aber nicht immer einfach zu spezifizieren ist.

Quellencharakterisierung

Die Prognoserechnung für Schalldruckpegel erfordert Eingangsdaten der Quelle, die deren Schwingungseigenschaften an den vorgesehenen Kontaktpunkten mit der Empfängerstruktur beschreiben. Dabei wird unterschieden zwischen einer aktiven Komponente, welche die Quelle im Betrieb bei einem definierten Betriebszustand beschreibt und einer passiven Komponente (mechanische Impedanz Z_s bzw. Admittanz $Y_s = Z_s^{-1}$) zur Charakterisierung der Kopplung, die den Kontaktpunkt in Form der strukturdynamischen Eigenschaften beschreibt [6].

Dabei ist es eine Herausforderung, die aktive Komponente als installationsunabhängige Größe zu bestimmen, da diese in der Einbausituation vom gekoppelten Bauteil abhängt. Man verwendet hier die sogenannte freie Schnelle v_f bzw. die blockierte Kraft F_b , die jeweils eine Idealisierung, entweder einer freien Quelle oder einer Quelle an einer unendlich steifen, schweren Struktur, beschreibt.

Für die baupraktische Anwendung wurden mit der DIN EN 15657 Labormessmethoden entwickelt. Diese Methoden ermöglichen eine Charakterisierung von Quellen mit dem Ziel, die Eingangsdaten für die Schallschutzprognose zu liefern. Dabei wurde unter anderem das auf der Statistischen Energieanalyse (SEA) [6] basierende Prinzip aufgegriffen, Bauteile als Energiesubsysteme zu betrachten und damit keine

Konkretisierung hinsichtlich des genauen Befestigungsortes zu machen. Es wird also lediglich die in ein Bauteil eingeleitete Körperschalleistung betrachtet.

Zur Charakterisierung werden indirekte Methoden verwendet, in denen die Quelle auf einer bekannten Struktur betrieben wird und die Quelleigenschaften aus Messungen an der Struktur abgeleitet werden (s. z.B. [7]). Dies ist die sogenannte Empfangsplattenmethode, bei der die Schwingungsenergie in der Platte im diffusen Körperschallfeld, ähnlich der Hallraummethode bei der Bestimmung der Luftschalleistung, ermittelt wird. An der BUW und der TH Rosenheim und anderen Stellen wurde diese Methode in den vergangenen Jahren intensiv untersucht, angewendet und weiterentwickelt [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17].

Zur Ermittlung der Unsicherheit der Körperschallquellencharakterisierung wurden zahlreiche Empfangsbauteile und -materialien sowie verschiedene Typen von Quellen [17] untersucht. Dadurch konnte für diese Meßmethode für die untersuchten Quellen und Empfangsbauteile ein Teil-Unsicherheitsbeiwert für die Prognoserechnung von ca. 3 – 6 dB ermittelt werden [18] [19]. In [18] ist ermittelt worden, dass generell für schwere Körperschallquellen, wie zum Beispiel Wärmetauscher oder Wärmepumpen auf leichten Empfangsbauteilen, die Unsicherheit für die Prognose zunimmt und Werte von bis zu 7 dB allein für die Leistungsprognose auf dem Empfangsbauteil erreicht. Hier sind weitere Untersuchung erforderlich, um auch für Leicht- und Holzleichtbauteile planungssichere Unsicherheitsbeiwerte zu ermitteln.

Übertragung durch das Gebäude

Um den Schalldruckpegel in einem Empfangsraum (Immission) zu ermitteln, ist die gesamte Übertragung (Transmission) von der Luft- bzw. Körperschallquelle (Emission) zu beschreiben. Sowohl bei der Luftschall- als auch bei der Körperschallemission ist die Schalleistung die wesentliche Eingangsgröße für die Prognose. Dabei ist die Körperschallemission abhängig von der Kombination aus Quelle und Bauteil in der betrachteten Einbausituation.

Die Gesamtübertragung umfasst die Schallausbreitung in Bauteilen und über Bauteilstöße sowie die Schallabstrahlung im Empfangsraum. Vor allem für inhomogene Holzbaukonstruktionen, mit einer großen Konstruktionsvielfalt, ist die Berechnung der Schallübertragung allein auf der Grundlage von Materialeigenschaften und Konstruktionsdetails prinzipiell zwar möglich, aber in ihrer gesamten Komplexität nicht in einer baupraktischen Anwendung abbildbar. Zwar ist in der DIN EN 12354-5:2009 eine Methodik beschrieben, die aber stark limitiert in Bezug auf die Bauweisen ist, bis heute nur im wissenschaftlichen Umfeld verwendet wird und keine Anwendung in der Praxis findet.

Zudem können auch zu betrachtende Situationen mit mehr als einer Stoßstelle zwischen dem Sendebauteil und dem Empfangsraum auftreten. Ein Beispiel hierfür ist ein Technikraum im Keller und ein Schlafzimmer als schutzbedürftiger Raum im ersten Obergeschoss. Diese Übertragungswege höherer Ordnung können aktuell weder für den Holzbau noch für jegliche andere Bauweisen mit den vorhandenen Prognosemethoden berechnet werden. Die Beschreibung der Übertragung ist dann nur durch gemessene Übertragungsfunktionen möglich.

Schon früh wurden deshalb Ansätze vorgeschlagen, die Gesamtübertragung als Black Box zu betrachten und eine Größe dafür zu definieren [1] [2] [3]. Dabei wird das Verhältnis der Wirkung (hier der Schalldruck) zur Ursache (Emission der Quelle), die sogenannte Übertragungsfunktion, betrachtet. Diese kann, wenn die Anregung bekannt ist, messtechnisch bestimmt werden. Das bietet die Möglichkeit, ein Übertragungsmodell aus Messdaten abzuleiten.

Diesen Ansatz griff die BUW im Rahmen einer Messserie in Gebäuden auf und konnte dabei erste Erkenntnisse über die Streuung von Übertragungsfunktionen in verschiedenen Gebäuden erfassen [4]. Dabei wurde die Übertragungsfunktion zwischen der eingeleiteten Kraft und dem resultierenden, mittleren Schalldruck in einem Raum bei horizontaler/direkter Übertragung für verschiedene Gebäude betrachtet. Durch die Anwendung unterschiedlicher Normierungsgrößen konnte die Streuung der Daten reduziert werden. Analog zur Norm-Schallpegeldifferenz und dem Norm-Trittschallpegel wird die raumakustische Eigenschaft des betrachteten Raumes durch eine Normierung auf die äquivalente Schallabsorptionsfläche berücksichtigt. Zudem wurde die Impedanz der angeregten Wand als Korrektur herangezogen. Weiterhin wurde das Schalldämm-Maß der Trennwand als Normierungsgröße eingeführt. Dadurch konnte die Streuung der Daten erheblich reduziert werden.

An der TH Rosenheim wurde der Ansatz aufgegriffen und die Übertragungsfunktion als Verhältnis zwischen dem mittleren, resultieren Schalldruck und der eingeleiteten (installierten) Körperschalleistung definiert [5] [20] (s. Abb.1). In Pegelschreibweise ist die Übertragungsfunktion (Transmission Function) D_{TF} definiert als

$$D_{TF} = L_p - L_w$$

Diese Definition und die Methoden zur Messung wurden in ISO 10848 [21] standardisiert. Die Betrachtung des Pegels der Körperschalleistung L_w entspricht den leistungsbasierten Ansätzen von Prognosemodellen in der Bauakustik.

Durch eine zusätzliche Normierung des Schalldruckpegels auf die Absorptionsfläche kann in Form von $D_{TF,n}$ die raumakustische Eigenschaft des Empfangsraumes berücksichtigt und damit die Streuung der Daten reduziert werden.

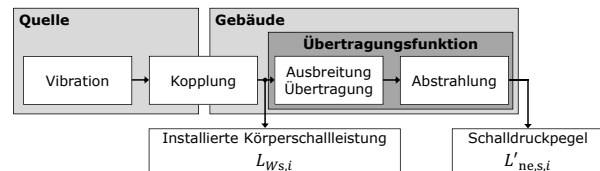


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Gesamtübertragungskette einschließlich der Übertragungsfunktion zwischen installierter Körperschalleistung und Schalldruckpegel im Empfangsraum.

Unter Anwendung dieser Definition wurden von der TH Rosenheim in den vergangenen Jahren eine Vielzahl von Messungen in verschiedenen Gebäuden in Holzbauweise durchgeführt [22]. Dabei wurden neben der horizontalen, direkten Übertragung verschiedene andere Übertragungswege betrachtet, wie sie bei Geräuschen aus gebäudetechnischen Anlagen zwischen dem Aufstellort der Quelle und dem Empfangsraum zu erwarten sind. Bei der Auswahl der Gebäude wurden Ein- und Mehrfamilienhäuser, mehrgeschossige Wohngebäude sowie Beherbergungs- und Objektbauten mit einbezogen. So konnten Messungen über verschiedene Trennsituationen sowohl im eigenen Wohn- und Arbeitsbereich, als auch in fremde Wohn- und Arbeitsbereiche gemessen werden.

Bei den sehr unterschiedlichen Übertragungssituationen handelte es sich ausnahmslos um übliche und häufig gebaute Konstruktionen im Holzbau. So konnten aus den gewonnenen Daten Gruppen ähnlicher Übertragungswege, Konstruktionen und Trennsituationen gebildet werden. Obwohl jede Übertragung zunächst einzigartig ist, zeigten sich, wie auch in den ersten Untersuchungen der BUW, ähnliche spektrale Charakteristika. Auf der Grundlage der Gruppierungen wurden repräsentative Übertragungssituationen abgeleitet, die für die Schalldruckpegelprognose verwendet werden können [22].

So ist es nun bereits in der Planungsphase möglich, für verschiedene Situationen den entsprechenden Datensatz zu verwenden, der die Situation akustisch repräsentativ beschreibt. Somit ist erstmalig eine Berechnung des zu erwartenden Schalldruckpegels in Kombination mit schalltechnisch charakterisierten Quellen möglich. Natürlich ist die Berechnung entsprechend der Streuung aus den bisher vorhandenen (in-situ) Daten und der Definition der Gruppierungen bislang mit größeren Unsicherheiten behaftet. Aktuell muss von ca. 5 dB [17] [19] ausgegangen werden, was als vielversprechender Wert interpretiert werden kann, aber noch zu hoch ist, um in der Praxis Anwendung und Zuspruch finden zu können (vgl. Unsicherheitsbeiwerte u_{prog} für R'_w von 2 dB und für $L'_{n,w}$ von 3 dB [23]).

Aktueller Stand

Untersuchungen, nicht nur auf nationaler sondern vor allem auf europäischer Ebene, mündeten in zwei wesentlichen Überarbeitungen bzw. Neuveröffentlichungen europäischer Normen.

Für die Charakterisierung von Quellen hinsichtlich ihrer Körperschalleigenschaften wurde 2009 die EN 15657-1, Messung des Luft- und Körperschalls von haustechnischen Anlagen im Prüfstand [24], veröffentlicht. Diese war jedoch limitiert auf "Vereinfachte Fälle, in denen die Admittanzen der Anlagen wesentlich höher sind als die der Empfänger". Die CEN Arbeitsgruppe TC126 WG7 entwickelte die Verfahren in den Folgejahren entsprechend weiter, was in der EN 15657:2017, Messung des Körperschalls von haustechnischen Anlagen im Prüfstand für alle Installationsbedingungen [25], mündete. Diese Ansätze wurden analog in der Überarbeitung der EN 14366 übernommen, die 2023 als EN 14366-1:2023, Messung von Luftschall und Körperschall von gebäudetechnischen Anlagen im Prüfstand [26], veröffentlicht wurde.

In Bezug auf die Übertragungsmodelle im Gebäude wurde 2009 die EN 12354-5 veröffentlicht [27]. Darin wurden die Methoden aus Teil 1 und Teil 2 um die Installationsgeräusche erweitert. Aber auch Teil 5 war zunächst noch limitiert auf schwere homogene Bauteile. Im Folgenden wurde von der CEN Arbeitsgruppe TC126 WG2 dieser Teil grundlegend überarbeitet, was in einer 2023 erschienenen neuen Fassung mündete, die auf den Eingangsdaten der EN 15657 basiert und unter anderem Übertragungsfunktionen nach ISO 10848 als Werkzeug für die Prognose enthält [28]. Dabei wurde eine neue Größe, $L'_{n,e,s,i,0}$ eingeführt [29]. Diese ist ähnlich dem Norm-Trittschallpegel und beschreibt den normierten mittleren Schalldruckpegel am Bau (inklusive aller Flankenwege) durch eine Körperschallanregung mit 1 Watt Leistung auf dem Sendebauteil i . Diese Größe steht mit $D_{TF,n}$ in folgendem Zusammenhang

$$L'_{n,e,s,i,0} = D_{TF,n} + 10 \lg(1 \text{ W} / 10^{-12} \text{ W}) = D_{TF,n} + 120 \text{ dB}$$

Mit dieser standardisierten Methode ist es nun möglich, für alle Kombinationen von Quellen und Gebäudetypen, eine Schalldruckpegelprognose durchzuführen. Voraussetzung dafür ist natürlich, dass die erforderlichen Eingangsdaten der Quelle sowie der betrachteten Gebäudesituation vorhanden sind.

Ausblick

Aktuell laufen an verschiedenen Stellen, unter anderem an der TH Rosenheim, Forschungs- und Entwicklungsprojekte, in denen die beschriebenen Prognosemethoden in konkreten Anwendungsfällen erprobt werden [16]. Diese Arbeiten gilt es nun gezielt auszu-

weiten, dass zukünftig allgemein gültige Unsicherheitsbeiwerte für die vollständige Übertragungskette von der Quelle bis zum Empfangsraum in Form einer Gesamtprognoseunsicherheit u_{prog} zur Verfügung gestellt werden können.

Literatur

- [1] Buhlert KJ, Feldmann J. Ein Meßverfahren zur Bestimmung von Körperschallanregung und -übertragung. – *Acustica* 1979;42(3):108-113
- [2] Vercammen ML, Heringa PH. Characterising structure-borne sound from domestic appliances. – *Appl. Acoust.* 1989;28: 105-117.
- [3] Fischer H-M. Determination and use of transfer functions to describe structure-borne sound transmission caused by equipment and installations. *Proceedings of ICA* 2001.
- [4] Arnold J, Kornadt O. Beschreibung Körperschallinduzierter Schalldruckpegel mit Hilfe von Übertragungsfunktionen. *Bauphysik-Kalender* 2014 641–663.
<https://doi.org/10.1002/9783433603338.ch16>.
- [5] Schöpfer F, Hopkins C, Mayr AR, Schanda U. Measurement of transmission functions in lightweight buildings for the prediction of structure-borne sound transmission from machinery. – *Acta Acust Acust* 2017;103:451-464.
- [6] Cremer L, Heckl M. *Körperschall - Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen*. 2nd ed. Berlin. Heidelberg: Springer Verlag; 1996.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-08182-2>.
- [7] Gibbs BM, Qi N, Moorhouse AT. A Practical Characterisation for Vibro-Acoustic Sources in Buildings. *Acta Acust Acust* 2007;93:84–93. , <https://liverpool.ac.uk/3011701>.
- [8] Reinhold S, Hopkins C. Sampling procedures on reception plates to quantify structure-borne sound power from machinery. *Appl Acoust* 2021;172.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107649>.
- [9] Spaeh M. *Characterisation of structure borne sound sources in buildings*. PhD: University of Liverpool; 2006.
- [10] Wittstock V, Villot M, Scheck J. Results of a Round Robin on structure-borne sound power. *Proceedings Forum Acusticum* 2011:2327–32.
- [11] Vogel A, Wittstock V, Kornadt O, Scholl W. Application of the two-stage method on the characterization of different structure-borne sound sources and a moment actor. *Proceedings INTER-NOISE* 2013. 1160.

- [12] Vogel A, Wittstock V, Kornadt O, Völker C. Characterisation of sources injecting a moment power with the two-stage-method. Proceedings International Conference on Sound and Vibration ICSV 2017. (1083).
- [13] Hoßfeld M, Kohrmann M, Mayr AR, Schanda U. Messtechnische Analyse modifizierter Empfangsplattenprüfstände zur Ermittlung der Körperschalleistung haustechnischer Geräte. Fortschritte der Akustik – DAGA 2018.
- [14] Weinzierl J, Kruse T, Mayr AR, Schöpfer F, Schanda U. Leistungsvergleich gebäudeähnlicher Strukturen bei in-plane und out-of-plane Anregung. Fortschritte der Akustik – DAGA 2022.
- [15] Schöpfer F, Kruse T, Weinzierl J, Mayr AR, Schanda U. Experiences with source characterization methods within and beyond the scope of EN 15657. Proceedings of Inter-Noise 2022.
- [16] Kruse T, Schöpfer F, Schanda U, Mayr AR. Input data for the prediction of noise from technical equipment using a heat pump. Proceedings of Forum Acusticum 2023.
- [17] Vogel A., Arnold J., Voelker C., Kornadt O., Applicability of the structure-borne sound source characterisation two-stage method as well as the parameters derived in sound pressure level predictions in lightweight constructions. Applied Acoustics (2023) <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109242>.
- [18] Wittstock V, Scheck J, Villot M. Structure-borne sound sources in buildings – Estimating the uncertainty of source properties and installed power from interlaboratory test results. Acta Acustica 2022;6:16. <https://doi.org/10.1051/aacus/2022012>.
- [19] Vogel A., Arnold J., Voelker C., Kornadt O. Data for sound pressure level prediction in lightweight constructions caused by structure-borne sound sources and their uncertainties. Data in Brief, 2023. ISSN 2342-3409.
- [20] Schöpfer F. Vibroacoustics of timber-frame structures excited by structure-borne sound sources. University of Liverpool; 2019 [Dissertation].
- [21] DIN EN ISO 10848-1:2018-02. Akustik - Messung der Flankenübertragung von Luftschall, Trittschall und Schall von gebäudetechnischen Anlagen zwischen benachbarten Räumen im Prüfstand und am Bau. Teil 1: Rahmendokument.
- [22] Schöpfer F, Mayr AR, Schanda U. Schallschutz bei gebäudetechnischen Anlagen planen. Praxistaugliches Prognoseverfahren nutzt Übertragungsfunktionen im Holzbau. – Bauen+ 2021(5): 21-25.
- [23] DIN 4109-2:2018: Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen.
- [24] DIN EN 15657-1:2009-10. Akustische Eigenschaften von Bauteilen und Gebäuden - Messung des Luft- und Körperschalls von haustechnischen Anlagen im Prüfstand. Teil 1: Vereinfachte Fälle, in denen die Admittanzen der Anlagen wesentlich höher sind als die Empfänger am Beispiel von Whirlwannen.
- [25] DIN EN 15657:2017-10. Akustische Eigenschaften von Bauteilen und von Gebäuden - Messung des Körperschalls von haustechnischen Anlagen im Prüfstand für alle Installationsbedingungen.
- [26] DIN EN 14366-1:2023-09. Bauakustik - Messung von Luftschall und Körperschall von gebäudetechnischen Anlagen im Prüfstand. Teil 1: Anwendungsregeln für Abwasserinstallationen.
- [27] DIN EN 12354-5:2009-10. Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften. Teil 5: Installationsgeräusche.
- [28] DIN EN 12354-5:2023-08. Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften. Teil 5: Installationsgeräusche.
- [29] Villot M. Predicting In Situ Sound Levels Generated by Structure-Borne Sound Sources in Buildings. – Acta Acust Acust 2017;103(5): 885-886.