

# Schalleistungsbestimmungen in angenäherten Diffusfeldern

Christian Bethke, Volker Wittstock

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, christian.bethke@ptb.de

## Einleitung

Viele Messverfahren in der Maschinenakustik, aber auch in der Bauakustik, erfordern die Bestimmung der Schallleistung in Räumen. Genormt sind diese Verfahren derzeit für Frequenzen oberhalb von ca. 100 Hz. Um die so erzielten Kenngrößen besser an die Wahrnehmung anzupassen, wird jedoch eine Ausweitung auf tiefere Frequenzen bis 50 Hz und z.T. sogar bis 20 Hz und darunter angestrebt. Dabei steht die Frage, ob die existierenden Messverfahren einfach bei tiefen Frequenzen angewendet werden können und lediglich eine erhöhte Unsicherheit zu berücksichtigen ist, oder ob andere Messverfahren verwendet werden sollten.

Als erster Schritt zur Beantwortung dieser Frage wurde an der PTB ein Messprogramm mit kleinen transportablen Schallquellen durchgeführt. Mit diesen Quellen wurde eine bekannte Schallleistung in verschiedene Räume eingespeist und es wurde untersucht, welche Schalleistungs-Ergebnisse die verschiedenen Messverfahren in den Räumen liefern.

## Messräume und Quellen

Für die Messungen wurden sehr unterschiedliche Räume verwendet (Tabelle 1). Die Nachhallzeiten in den Leichtbau-Räumen lagen bei tiefen Frequenzen bis 20 Hz bei ca. 1 s und zum Teil darunter. Die anderen Räume waren in diesem Bereich deutlich halliger. Da die Raumvolumina sehr klein sind, die Mikrofonpositionen jedoch einen Abstand von mindestens einem Meter zur Quelle haben sollten, wurden die Quellen in der Raumecke angeordnet. Als Quellen kamen ein Staubsauger, ein Kompressor und eine Referenzschallquelle zum Einsatz. Die Referenzschallquelle hat ein breitbandiges Spektrum, der Kompressor viele Töne und der Staubsauger einige wenige prominente Einzeltöne.

**Tabelle 1** Verwendete Messräume

Name	Aufbau	Volumen	Oberfläche
BDF3	Leichtbau	15,1 m <sup>3</sup>	37,3 m <sup>2</sup>
B2	Massivbau	48,7 m <sup>3</sup>	82,0 m <sup>2</sup>
BDF4	Leichtbau	35,7 m <sup>3</sup>	67,0 m <sup>2</sup>
SWHR	Beton	204 m <sup>3</sup>	210 m <sup>2</sup>
RWHR	Beton	237 m <sup>3</sup>	270 m <sup>2</sup>

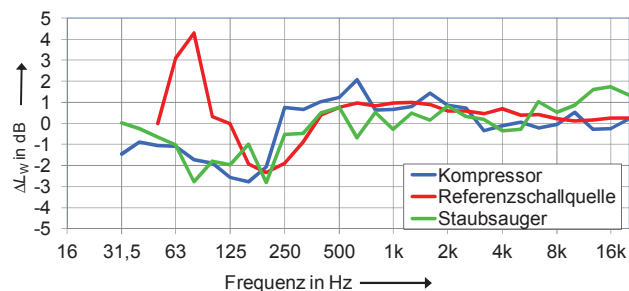
## Bezugsmessungen

Die von den Quellen in ein freies Schallfeld abgegebene Schallleistung wurde in einer großen Halle bestimmt. Die Quellen wurden dabei in einer Ecke angeordnet, und es wurde ihre Schallleistung auf einer Achtelkugel-Hüllfläche mit 2 m Radius und 10 Messpunkten ermittelt. Diese Messungen wurden im Frequenzbereich zwischen 20 Hz und 500 Hz mit einer Intensitätssonde mit einem 80 mm Spacer ausgeführt und bei den höheren Frequenzen mit einem Schalldruck-Mikrofon. Auf eine Raumkorrektur für die Schalldruckmessungen wurde verzichtet. Die verwendete Ecke der Halle bestand ursprünglich aus Beton. Da in den später verwendeten Räumen die Quellen jedoch z.T. auch

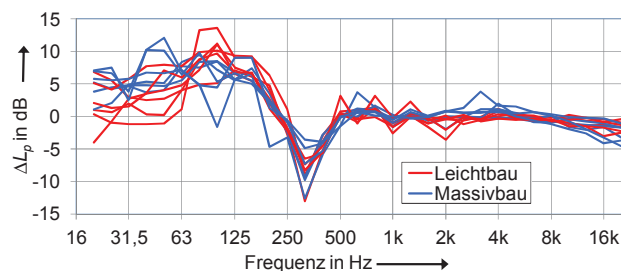
vor Leichtbauwänden stehen, wurde die Bezugsmessung ein zweites Mal durchgeführt nachdem eine Vorsatzschale vor den vertikalen Betonwänden angebracht worden war.

Die Schallleistung der Quellen hängt nur wenig von der Beschaffenheit der Raumecke ab (Bild 1). Lediglich bei der aerodynamischen Referenzschallquelle kommt es zu größeren Abweichungen. Die Strömung regt, hier vermutlich in Form von Wechseldrücken, die leichten Platten anders zu Schwingungen an als die Betonwand.

Die untere Frequenzgrenze ist für die Messungen unterschiedlich, da es z.T. zu negativen Intensitätsmittelwerten auf der Hüllfläche kam. Eine Ursache dafür waren Luftströmungen von der Referenzschallquelle. Bei diesen Messungen kamen daher verschiedene Arten von Windschirmen zum Einsatz, die den Frequenzbereich gültiger Messungen deutlich verbesserten. Dennoch konnten nicht für alle Messungen bis zu 20 Hz aussagefähige Bezugswerte ermittelt werden.



**Bild 1** Differenz der Schalleistungspegel (Leichtbau-Ecke – Betonecke) der drei verwendeten Schallquellen



**Bild 2** Differenz der Schalldruckpegel (Raumecke – Diffusfeld) der drei verwendeten Schallquellen in den verschiedenen Räumen

## Messverfahren

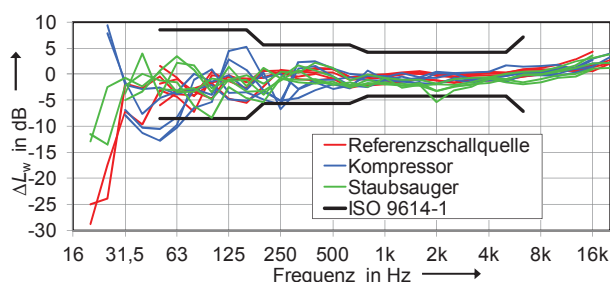
Während des Betriebs der Quellen in einer Raumecke wurde der Schalldruckpegel an insgesamt fünf wand- und quellenfernen Raumpunkten in Terzen zwischen 20 Hz und 20 kHz gemessen. Die in den bauakustischen Messnormen, z.B. [2], vorgeschriebenen Messabstände konnten dabei bei den tiefen Frequenzen nicht eingehalten werden. Zusätzlich wurden die Schalldruckpegel in den Raumecken nach der Tieffrequenz-Prozedur aus [2] durchgeführt. Die Nachhallzeiten wurden in Terzbändern aus MLS-Messungen mit rückwärtsintegrierter Impulsantwort und zeitinverser

Filterung ermittelt. Dazu wurden pro Raum zwei Lautsprecher- und drei Mikrofonpositionen verwendet. Ausgenommen von diesen Messbedingungen sind die Messungen im rechtwinkligen Hallraum (RWHR), die zwischen 50 Hz und 20 kHz unter Verwendung eines rotierenden Diffusors ausgeführt wurden.

## Ergebnisse

Eine erste interessante Frage ist, wie groß der Unterschied der Schalldruckpegel in der Raumecke und im Raummittel ist. Zwischen 500 Hz und 8 kHz ist diese Differenz 0 (Bild 2), darüber sinkt der Schalldruckpegel in der Ecke aufgrund der Richtcharakteristik des Mikrofons. Zwischen 250 und 500 Hz sind die Schalldruckpegel in der Raumecke deutlich niedriger als im Raummittel, da bei diesen Frequenzen eine destruktive Interferenz beim gewählten Abstand von 30 cm zwischen Mikrofon und Wänden auftritt. Bei den tieferen Frequenzen sind die Schalldruckpegel in der Ecke um bis zu ca. 12 dB größer als in den wandfernen Messpunkten. Bei den tiefen Frequenzen zeigt sich auch ein Einfluss der Bauweise auf die Schalldruckpegeldifferenz.

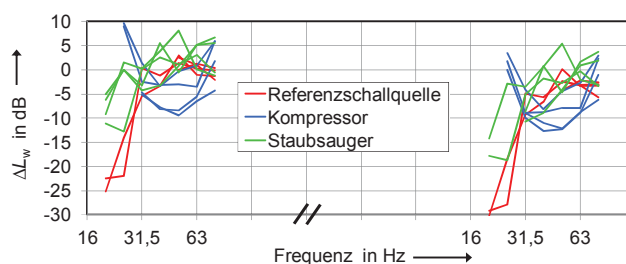
In einem weiteren Schritt wurde aus dem Raummittelwert des Schalldruckpegels und den gemessenen Nachhallzeiten unter Einbeziehung der Waterhouse-Korrektur und des individuellen Mikrofonfrequenzgangs eine Schalleistung berechnet. Die Differenz dieser Schalleistungspegel zum Referenzwert liegt in sehr weiten Frequenzbereichen innerhalb der kritischen Differenz, die aus der Vergleichs-Standardabweichung nach [1] berechnet wurde (Bild 3).



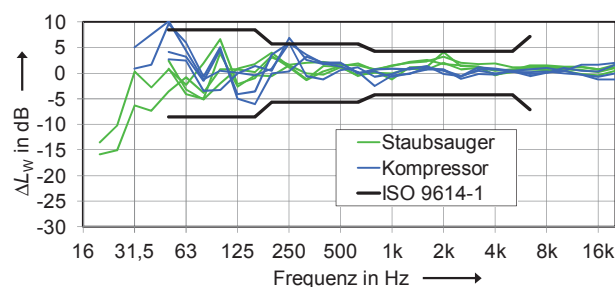
**Bild 3** Differenz der Schalleistungspegel bestimmt nach dem Diffusfeldverfahren in den verschiedenen Räumen und dem Freifeld-Bezugswert

Desweiteren wurde untersucht, wie sich die Schalleistungspegel unter 100 Hz ändern, wenn, wie in [2] vorgeschlagen, die in den Ecken gemessenen Schalldruckpegel mit der Wichtung 1 : 2 mit den Schalldruckpegeln an wandfernen Punkten gemittelt werden. Die Streuung der Werte verringert sich dadurch nicht wesentlich, doch die Werte liegen in der Summe näher an der 0 dB – Linie (Bild 4). Dies bedeutet, dass die im Raum gemessene Schalleistung näher an der im Freifeld bestimmten Schalleistung liegt. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Waterhouse-Korrektur weiterhin angewendet wird. Physikalisch ist eine Anwendung der Waterhouse-Korrektur jedoch nur bei der Messung an wandfernen Punkten sinnvoll. Ein Verzicht auf die Waterhouse-Korrektur bei Einbeziehung der Eckpositionen liefert in etwa die gleichen Schalleistungen wie ein Verzicht auf die Eckpositionen (Bild 4).

Zuletzt wurden noch die Schalleistungspegel von Kompressor und Staubsauger ermittelt, indem eine Proportionalität zwischen Schalldruck und Schalleistung in allen Räumen angesetzt wurde. Die Schalleistungspegel ergeben sich dann aus der Differenz der Schalldruckpegel bei Betrieb der zu messenden Schallquelle und der Referenzschallquelle und der Bezugs-Leistung der Referenzschallquelle. Die so ermittelten Schalleistungen liegen symmetrisch zur Nulllinie (Bild 5). Es treten jedoch bei tiefen Frequenzen teilweise recht große Abweichungen zum Bezugswert auf, die in etwa so groß sind wie bei Bild 3.



**Bild 4** Differenz der Schalleistungspegel bestimmt nach dem Diffusfeldverfahren unter Einbeziehung der Eckpositionen und dem Freifeld-Bezugswert, links: mit Waterhouse-Korrektur, rechts ohne



**Bild 5** Differenz der Schalleistungspegel bestimmt nach dem Substitutionsverfahren und dem Freifeld-Bezugswert

## Zusammenfassung

Das Substitutionsverfahren stellt auch bei den tiefen Frequenzen eine interessante Alternative zum Diffusfeldverfahren dar, zumal auf die bei diesen Frequenzen äußerst zweifelhaften Nachhallzeitmessungen verzichtet werden kann. Die Berücksichtigung von Eckpositionen für die Schalldruckpegelmessung hat in etwa den selben Effekt wie die Waterhouse-Korrektur. Die bei allen Verfahren beobachteten Abweichungen können zwei Ursachen haben: entweder die Schalleistung der Quelle ändert sich oder die Messung hat eine große Unsicherheit. Zu dieser Frage sind weitere grundlegende Untersuchungen erforderlich.

## Literatur

- [1] DIN EN ISO 9614-1, *Akustik - Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen - Teil 1: Messungen an diskreten Punkten*, 1993
- [2] DIN EN ISO 16283-1, *Akustik - Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau - Teil 1: Luftschalldämmung*, 2014