

Vergleich von Methoden zur Qualifikation reflexionsarmer Räume

Volker Wittstock, Christian Bethke, PTB, Braunschweig, volker.wittstock@ptb.de, christian.bethke@ptb.de

1 Einleitung

Die Einführung von Unsicherheitsbetrachtungen nach GUM [1] in die akustische Messtechnik erfordert, dass die einzelnen Effekte, die zur Messunsicherheit beitragen, zunächst separat analysiert und danach in einem weiteren Schritt zur Gesamtunsicherheit zusammengefasst werden. Eine in der Akustik häufig auftretende Ursache von Unsicherheiten sind unbeabsichtigte Reflexionen von Raumbegrenzungsflächen. Durch die Verwendung reflexionsarmer Räume wird versucht, diesen Effekt in seiner Auswirkung zu begrenzen. Eine völlige Unterdrückung des Effekts gelingt aus technischen Gründen jedoch nicht, so dass die Frage steht, wie groß die verbleibenden Unsicherheiten sind. Als erster Schritt zur Beantwortung dieser Frage werden im hier vorgestellten Beitrag die existierenden Methoden zur Qualifikation reflexionsarmer Räume betrachtet. Insbesondere wird untersucht, ob ein quantitativer Zusammenhang zwischen den mit unterschiedlichen Verfahren erzielten Ergebnissen hergestellt werden kann und ob Aussagen zur Messunsicherheit von in reflexionsarmen Räumen erzielten Messergebnissen getroffen werden können.

2 Untersuchte Verfahren

Die einzige derzeit gültige internationale Norm, in der Verfahren zur Qualifikation reflexionsarmer Räume beschrieben sind, ist die ISO 3745 [2]. Im derzeit vorliegenden endgültigen Entwurf (FDIS) sind zwei Verfahren angegeben.

Beim ersten Verfahren wird der Schalldruckpegel in Abhängigkeit vom Abstand von einer Punktschallquelle auf geraden Pfaden gemessen. Solange die Messwerte, beginnend mit den quellnahen Werten innerhalb eines bestimmten vorgegebenen Toleranzschluchs um den im Freifeld zu erwartenden Verlauf liegen, qualifiziert sich das durch die Pfade aufgespannte Raumvolumen als reflexionsarm. Als Auswertalgorithmus wird in [2] eine Regressionsanalyse zwischen dem invertierten Schalldruck und dem Messabstand vorgeschlagen, aber nicht bindend vorgeschrieben. Durch eine solche Regressionsanalyse wird eine Verschiebung des akustischen Zentrums ermöglicht, so dass sich ein im Vergleich zum theoretischen Freifeldverlauf flacherer oder steilerer Abfall des Schalldruckpegels als zulässig erweist (Bild 1).

Eine übliche Alternative zu dieser Regressionsanalyse besteht darin, den Toleranzschlauch in seiner Form durch den bekannten Abstand zur Quelle festzulegen und anschließend in vertikaler Richtung so zu verschieben, dass der Messabstand, bei dem der erste Messwert außerhalb des Toleranzbands liegt, maximiert wird (Bild 1).

Die mit diesen verschiedenen Auswertungen erzielten Ergebnisse unterscheiden sich naturgemäß voneinander, wobei nicht von vornherein entschieden werden kann, welche der Varianten zu geringeren maximalen Messabständen r_{\max} führt.

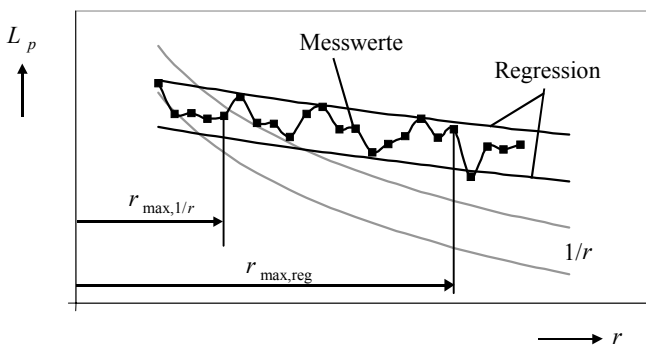


Bild 1 Regressionsanalyse und 1/r-Verlauf

Im Zusammenhang mit diesem Testverfahren kommt des Weiteren die Frage auf, aufgrund welcher Überlegungen die in [2] angegebenen maximal zulässigen Pegelabweichungen festgelegt wurden. Hinweise darauf finden sich in [3], jedoch wird nicht erklärt, warum die zulässigen Pegelabweichungen frequenzabhängig und zudem für Voll- und Halbräume unterschiedlich sind.

Neben der direkten Nachprüfung des Freifeldverlaufs gibt es noch eine weitere Methode, die sich an der Schalleistungsmessung orientiert. Dabei wird unter Verwendung der Schallquelle, von der die Schalleistung ermittelt werden soll, auf unterschiedlich großen Hüllflächen S der mittlere Schalldruckpegel L_p gemessen. Unter Voraussetzung konstanter meteorologischer Bedingungen und konstanter Schallemission sowie bei Vernachlässigung von Nahfeldeffekten, beschreibt die Differenz

$$\delta = \left| \overline{L_{p,2}} - \overline{L_{p,1}} + 10 \lg(S_2/S_1) \right| \text{dB} \quad (1)$$

die durch die Raumeinflüsse bedingte Abweichung im Schalleistungspegel. Mit dieser Methode wird jedoch nicht ein bestimmtes Raumvolumen sondern lediglich ein konkret vorliegendes Schallfeld, das sich aufgrund der Kombination von Quell- und Raumeigenschaften einstellt, als hinreichend reflexionsarm qualifiziert.

Weitere existierende Verfahren ([4], [5], [6]) haben zum Ziel, den Wert des Reflexionsfaktors im Raum zu ermitteln. Sie werden hier jedoch genauso wenig betrachtet wie neuere Verfahren, die auf Raumimpulsantworten beruhen ([7]).

3 Messaufbau

Für die Messungen wurden Punktschallquellen verwendet, die in ihrer Richtcharakteristik den Anforderungen aus [2] genügen. Gespeist wurden die Quellen mit einem Multisinussignal von bis zu 8 Tönen. Die Messungen wurden bei den in [2] festgelegten Frequenzen zwischen 63 Hz und 20 kHz ausgeführt. Als Messraum diente ein Hemifreifeldraum, der durch Einbringen zweier Spanplatten von 1 m² bzw. 2 m² Größe schrittweise verschlechtert wurde. Das Mikrofon

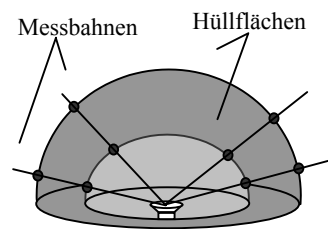


Bild 2 Pfade und Hüllflächen

wurde mittels einer Seilbahn kontinuierlich entlang gerader Messbahnen bewegt, wobei eine Zeitintegration von je 1 cm Länge durchgeführt wurde. Die insgesamt acht Messbahnen sind dabei so angeordnet, dass eine halbkugelförmige Hüllfläche in etwa gleichmäßig abgetastet wird (Bild 2).

Während aller Messungen wurde parallel das Signal eines örtlich stationären Referenzmikrofons aufgezeichnet, um etwaige Schwankungen der Emission der Quelle detektieren und korrigieren zu können.

4 Auswertungen und Ergebnisse

Die gleichen Messkurven wurden nach der 1/r-Methode, der Regressionsmethode sowie der δ -Methode ausgewertet, wobei die Messwerte vor den Berechnungen um die Luftdämpfung nach [8] korrigiert wurden.

Für $f=250$ Hz sind die um Ausbreitungs- und Luftdämpfung korrigierten Schalldruckpegelverläufe in Bild 3 und Bild 4 dargestellt. Die Kurven sind zusätzlich so gegeneinander verschoben, dass jede Messkurve im Idealfall glatt auf einer Gitternetzlinie liegen würde. Im Falle des leeren Raums ist dies näherungsweise der Fall (Bild 3) wohingegen das Einbringen der Spanplatten zu einer starken Erhöhung der Reflexionen führt (Bild 4).

Die Berechnung der maximal zulässigen Radien erfolgte für alle drei Verfahren unter Variation der zulässigen Pegelspanne. Ein typisches Ergebnis dieser Berechnungen zeigt Bild 5. Wie erwartet erhöht sich der maximal mögliche Radius mit zunehmender Pegelspanne. Die bei weitem größten Radien liefert dabei die δ -Methode, die Ergebnisse der beiden anderen Methoden liegen deutlich tiefer. Die Unterschiede zwischen der Regressions- und der 1/r-Methode sind gering, jedoch sind die mit der Regressionsmethode berechneten Radien tendenziell etwas kleiner. Dies bestätigt sich im Mittel auch für die gesamte Datenmenge (vgl. auch [9]).

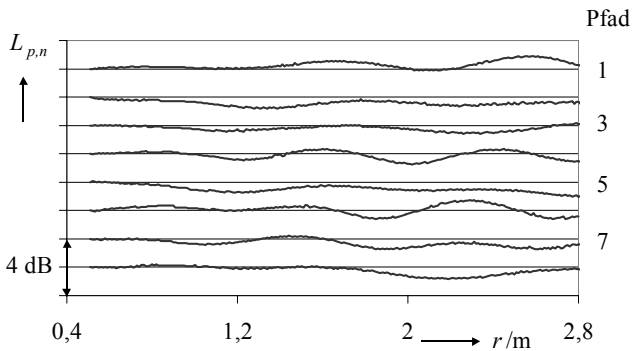


Bild 3 Um Ausbreitungs- und Luftdämpfung korrigierte Schalldruckpegelverläufe, $f=250$ Hz, Raum leer

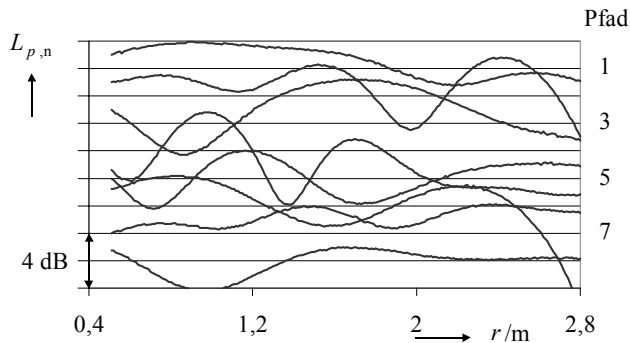


Bild 4 Um Ausbreitungs- und Luftdämpfung korrigierte Schalldruckpegelverläufe, $f=250$ Hz, beide Spanplatten im Raum

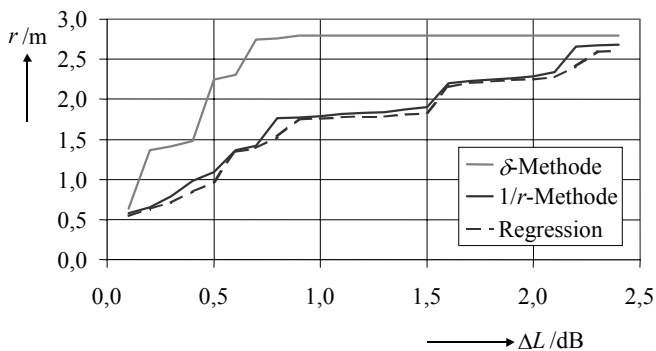


Bild 5 Mit verschiedenen Verfahren berechnete qualifizierte Raum-längen bei Variation der zulässigen Pegelabweichung, $f=250$ Hz, eine Platte im Raum

Ausgehend von den Ergebnissen besteht nun die sehr interessante Möglichkeit, für einen festen Messabstand die nach den verschiedenen Verfahren zulässigen Pegelspannen zu berechnen, um die Frage zu beantworten, welche Pegelspanne nach dem einen Verfahren welcher Pegelspanne nach dem anderen Verfahren entspricht. Anschaulich bedeutet dies, horizontale Schnitte im Bild 5 auszuwerten.

Die Ergebnisse dieser Rechnungen finden sich in Bild 6 und Bild 7. Es muss hier leider konstatiert werden, dass keinerlei systematischer Zusammenhang zwischen den Pegelspannen besteht, die den unterschiedlichen Verfahren zugeordnet sind.

In [2] wird für den Freifeldtest in Halbräumen derzeit eine Pegelspanne $\Delta L_{1/r}$ bzw. ΔL_{reg} von bis zu ± 2 dB im mittleren Frequenzbereich als zulässig erachtet. Damit sind jedoch Abweichungen in der Schallleistungsbestimmung von bis zu $\pm 1,5$ dB verbunden (Bild 6, Bild 7), da δ genau die umgebungsbedingte Abweichung der Schallleistungsbestimmung ist (vgl. Gl. (1)). Die Messgenauigkeit kann somit wesentlich geringer sein als in [2] angegeben, obwohl das Volumen innerhalb der Messfläche als reflexionsarm qualifiziert ist.

Auch die Frage, wie groß $\Delta L_{1/r}$ bzw. ΔL_{reg} maximal sein dürfen, um die für Klasse 1 Messungen geforderte Pegelspanne δ von höchstens $\pm 0,5$ dB einzuhalten, lässt sich wegen der nicht vorhandenen Korrelation zwischen δ und $\Delta L_{1/r}$ bzw. ΔL_{reg} nicht beantworten.

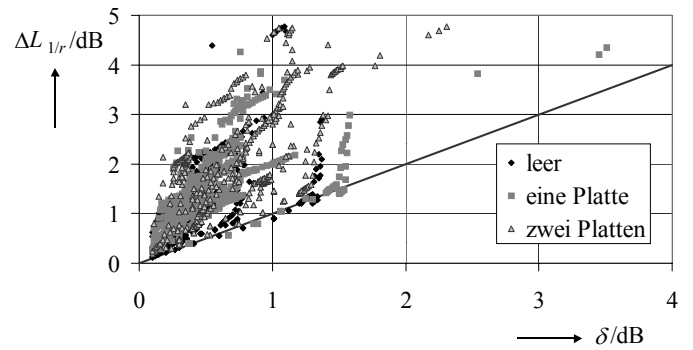


Bild 6 Zuordnung von zulässigen Pegeltoleranzen nach $1/r$ - und δ -Verfahren, alle Frequenzen

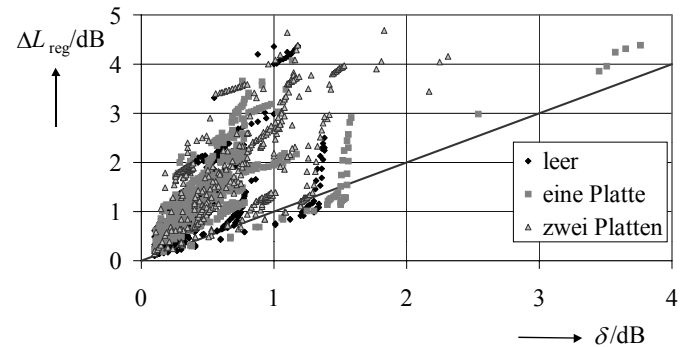


Bild 7 Zuordnung von zulässigen Pegeltoleranzen nach Regressions- und δ -Verfahren, alle Frequenzen

5 Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund der vorgestellten Ergebnisse ist zu vermuten, dass die derzeit übliche Überprüfung des Freifeldverlaufs des Schalldruckpegels nur wenig geeignet ist, um Messumgebungen für Schallleistungsbestimmungen nach dem Schalldruckhüllflächenverfahren zu qualifizieren. Bevor Konsequenzen gezogen werden, sollte diese Vermutung allerdings durch weitere Messungen insbesondere an breitbandigen Schallquellen überprüft werden.

Literatur

- [1] *Guide to the expression of uncertainty in measurement*. (GUM) first edition, 1993, ISBN 92-67-10188-9
- [2] *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for anechoic and hemi-anechoic rooms*. ISO/FDIS 3745, 2002
- [3] F.P. Mechel: *Zur Anforderung an Absorber für reflexionsarme Räume*. wksb 41, 1998, S. 20 – 28
- [4] H.G. Diestel: *Messung des mittleren Reflexionsfaktors der Wandauskleidung in einem reflexionsarmen Raum*. *Acustica* **12**, 1962, S. 113 – 118
- [5] H. Lenz: *Messung der akustischen Wandmittanzten hochabsorbierender Auskleidungen in reflexionsarmen Räumen*. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 1983
- [6] H. Kuttruff, H.-G. Bruchmüller: *Zur meßtechnischen Überprüfung reflexionsarmer Räume*. *Acustica*, 30, 1974, S. 343 – 349
- [7] J. Duda, M. Hirschhorn, M. Gilbert, G. Torio: *TDS-RIM for qualifying high frequency anechoic test facility*. *Sound and Vibration*, December, 1999, S. 28 – 31
- [8] *Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere*. ISO 9613-1:1993
- [9] V. Wittstock, C. Bethke: *A comparison of qualification procedures for anechoic rooms*. Proc. EuroNoise03, Neapel, in Druck