

Erfahrungen mit der Raumrückwirkung in hochabsorbierenden Halb- und Viertelräumen

Christian Bethke, Volker Wittstock

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

Einleitung

Für die Ermittlung der Schalleistung von Geräuschquellen im angenäherten Freifeld (DIN EN ISO 3744 [1]) werden spezielle Messräume benötigt. Abhängig vom Typ der Schallquelle müssen diese Räume einen reflektierenden Boden (Halbraum) und evtl. zusätzlich eine reflektierende Wand (Viertelraum) aufweisen. Die Qualität solcher Räume wird üblicherweise mit einer Referenzschallquelle überprüft, deren Schalleistung aus einer Kalibrierung in einem nach DIN EN ISO 3745 [2] Anhang A zertifizierten Messraum bekannt ist. Die PTB hat in der Vergangenheit mehrere Halb- und Viertelräume überprüft. Über die Erfahrungen aus diesen Messungen wird im Beitrag berichtet.

Messprinzip

Die Messung beruht auf der Annahme, dass sich das Schallfeld im zu untersuchenden Raum aus einem direkten und einem diffusen Feld zusammensetzt. Der Schalldruck an einem Punkt lässt sich dann als Summe aus dem direkten p_{dir} und dem diffusen p_{diff} Schalldruckanteil auffassen

$$p_{\Sigma}^2 = p_{diff}^2 + p_{dir}^2 \quad (1)$$

Die Leistung der Quelle P im Diffusfeld ergibt sich aus dem Volumenmittelwert des Diffusfeld-Schalldrucks, dem Absorptionsvermögen A und der Schallkennimpedanz der Luft ρc . Die selbe Leistung kann auch im Direktfeld aus dem Hüllflächenmittelwert des Schalldrucks und dem Hüllflächeninhalt S ermittelt werden

$$P = \frac{\overline{p_{diff}^2}}{\rho c} \frac{A}{4}, \quad P = \frac{\overline{p_{dir}^2}}{\rho c} S \quad (2)$$

Messbar ist jedoch nur die Summe beider Schalldruckanteile, so dass sich schließlich die Schalleistung zu

$$P = \frac{\overline{p_{\Sigma}^2}}{\rho c} S \frac{1}{1 + 4 S / A} \quad (3)$$

ergibt. Bei Anwendung des Hüllflächenverfahrens zur Schalleistungsbestimmung ist also die Korrektur

$$K_2 = 10 \lg(1 + 4 S / A) \text{ dB} \quad (4)$$

zu berücksichtigen. K_2 kann ermittelt werden, indem eine bekannte Schalleistung (z.B. von einer Referenzschallquelle) in den Messraum eingespeist und auf einer Hüllfläche der Schalldruck gemessen wird. Die mit dem Schalldruckhüllflächenverfahren ermittelte Schalleistung ist jedoch vom Messabstand, von der Messflächenform und von der genauen Anordnung der Punkte abhängig. Die Kalibrierung von Referenzschallquellen erfolgt im Freifeld nach DIN EN ISO 6926 [3] auf einer Halbkugel. Bei der Messung von technischen Schallquellen kommen dagegen oft quaderförmige

Messflächen zur Anwendung. Daher ist die Anwendung des kalibrierten Schalleistungspegels der Referenzschallquelle zur Bestimmung von K_2 nicht empfehlenswert. Vielmehr muss die komplette Hüllflächenmessung zwei Mal durchgeführt werden, ein Mal in einem als reflexionsarm anerkannten Raum und ein Mal im neu zu untersuchenden Raum. Die Differenz aus beiden Messungen ergibt die Raumrückwirkung K_2 .

Messungen in der PTB

Das Vorliegen von Freifeldbedingungen im Halbfreifeldraum der PTB wurde durch Messung der Verringerung des Schalldrucks mit wachsendem Abstand von einer Punktquelle überprüft (DIN EN ISO 3745, Anhang A [2]). In den unteren Frequenzbereichen ist eine Abweichung gegenüber dem idealen Freifeld von $\pm 2,5$ dB zulässig. Diese Anforderungen sind bei 50 Hz bis zu einem Quellabstand von etwa 3 m, bei 60 Hz bis zu 3,80 m erfüllt (Bild 1).

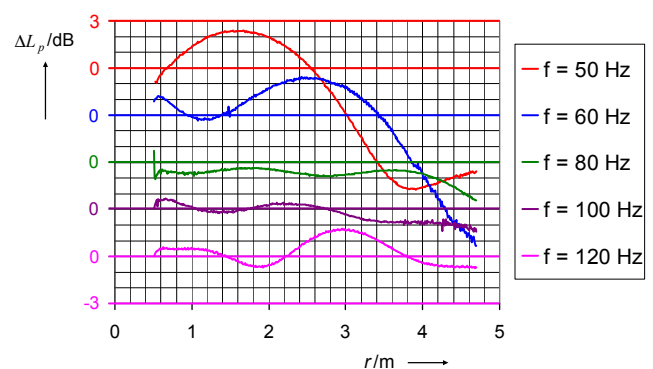


Bild 1 Differenz gegenüber dem idealen Freifeld gemessen mit tonaler Punktquelle im Halbfreifeldraum der PTB

Zur weiteren Absicherung der Ergebnisse wurde die Schalleistung der verwendeten Referenzschallquelle mit drei verschiedenen Verfahren bestimmt. Für Diffusfeld-Messungen wurde der große rechteckige Hallraum der PTB mit einem Volumen von 237 m³ und einer Oberfläche von 270 m² verwendet. Im Halbfreifeld wurde die Schalleistung auf einer Halbkugel mit einem Radius von 2 m bestimmt. Die Abtastung der Messfläche erfolgte mittels eines bewegten Mikrophons auf einer Viertelkreisbahn. Die Messdauer betrug 10 min. Währenddessen dreht sich die Schallquelle etwa acht mal um die eigene Achse. Während der Abtastung wird die Mikrophoneschwindigkeit der Art geregelt, dass in gleichen Zeitintervallen gleiche Flächenabschnitte überstrichen werden. Im Halbfreifeld wurde die Leistung sowohl nach dem Schalldruckverfahren [3] als auch mittels einer Intensitätssonde (50 mm Mikrofonabstand) mit Windschirm ermittelt [4].

Die bei den unterschiedlichen Messverfahren ermittelten Schallleistungspegel stimmen sehr gut überein (Bild 2). Die Abweichungen unterhalb 125 Hz sind zum einen darauf zurückzuführen, dass in diesem Frequenzbereich der Hallraum noch kein ausreichend diffuses Schallfeld hat und zum anderen sich im Halbfreifeldraum schon Nahfeldeffekte zeigen.

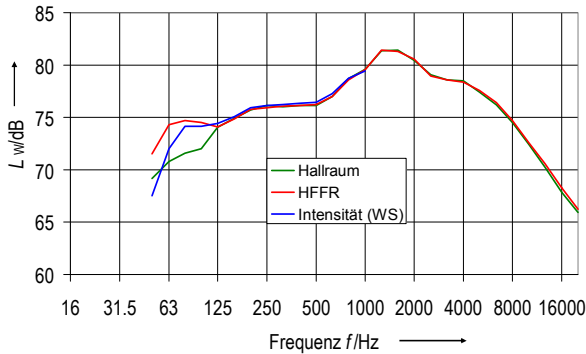


Bild 2 Leistung der Referenzschallquelle

Insgesamt kann somit festgestellt werden, dass der Halbfreifeldraum der PTB geeignet ist, um Schallleistungspegel nach dem Schalldruck-Hüllflächenverfahren ohne Raumkorrektur zu ermitteln. Daher wurden anschließend Messungen auf quaderförmigen Messflächen in Halb- und Viertelraumanordnung durchgeführt. Die zugehörigen Ergebnisse weichen um mehrere dB vom Halbkugel-Messwert ab (Bild 3).

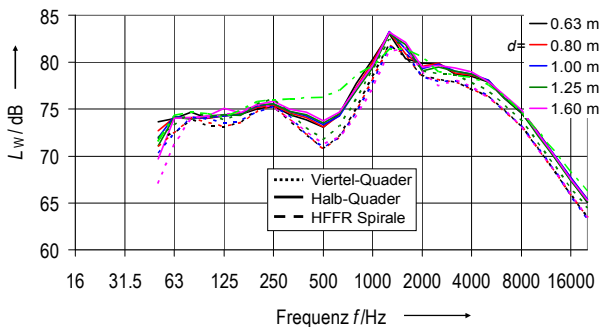


Bild 3 Schall-Leistung auf Quader-Hüllflächen

Gemessene Raumrückwirkungen

Die Raumrückwirkung wurde von der PTB in 4 Keilräumen und einem Flachabsorber-Raum ermittelt. Dabei ergeben sich Werte um 0 dB (Bild 4). Vor allem bei tiefen Frequenzen kommt es auch zu negativen Raumrückwirkungen, die theoretisch unmöglich sind. Um zu klären, ob dies durch die Unsicherheiten verursacht wird, wurde die Unsicherheit des K_2 berechnet. Berücksichtigt wurde die Unsicherheit der Schallleistungspegel, die Korrekturen für Luftdruck, Temperatur und Drehzahl sowie die Wiederholstreuung. Dabei zeigen sich erweiterte Unsicherheiten von über 4 dB bei 50 Hz, die auf ca. 0,6 dB bei mittleren und hohen Frequenzen abfallen. Die negativen Raumrückwirkungen lassen sich damit nicht vollständig erklären. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass es in hochabsorbierenden Räumen nicht zu einer Überlagerung aus Diffus- und Direktfeld kommt. Der Schalldruckpegel in einem Punkt ergibt sich aus dem direkten Schallanteil und wenigen, evtl. nur einer einzi-

gen Reflexion. Die Schallanteile addieren sich entsprechend ihrer Phasenlage, so dass es durch den Raumeinfluss zu einer Erhöhung oder Verringerung des Schalldruckpegels auf der Messfläche kommen kann.

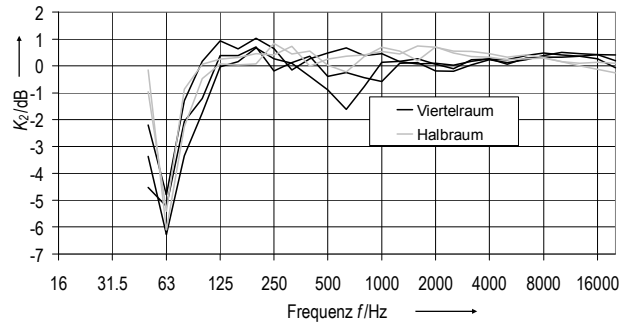


Bild 4 Raumrückwirkung K_2 in Halb- und Viertelraum

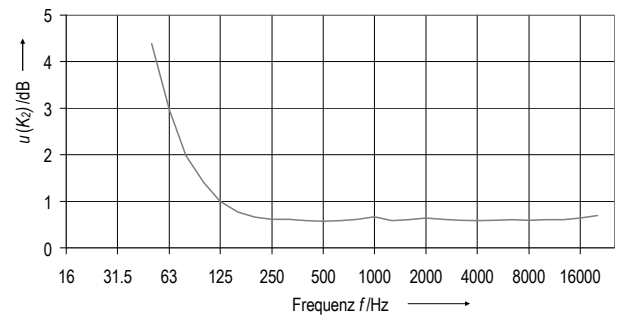


Bild 5 Erweiterte Unsicherheit der Raumrückwirkung (Erweiterungsfaktor $k = 2$)

Zusammenfassung

Die Raumrückwirkung in hochabsorbierenden Räumen kann auch negative Werte annehmen. Für die Anwendung bei Schallleistungsbestimmungen in solchen Räumen, wird empfohlen, diese Werte zu 0 zu setzen. In Zukunft müssen geeignetere Messverfahren entwickelt werden, um die Qualität hochabsorbierender Messräume einschätzen zu können.

Literatur

- [1] DIN EN ISO 3744 Akustik - Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im Wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene
- [2] DIN EN ISO 3745 Akustik - Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Verfahren der Genauigkeitsklasse 1 für reflexionsarme Räume und Halbräume
- [3] DIN EN ISO 6926 Akustik - Anforderungen an die Eigenschaften und die Kalibrierung von Vergleichsschallquellen für die Bestimmung von Schallleistungspegeln
- [4] DIN EN ISO 9614-3 Akustik - Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schallintensitätsmessungen - Teil 3: Scanning-Verfahren der Genauigkeitsklasse 1