

Zur Unsicherheit von Terz-Schalldruckpegeln

Volker Wittstock, Christian Bethke

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

Einleitung

In der angewandten Akustik werden die Unsicherheiten heute üblicherweise durch die Vergleichs-Standardabweichung berücksichtigt, in der die Summe aller Unsicherheitsbeiträge enthalten ist. Ihr Wert wird in Ringversuchen ermittelt und anschließend für alle Messergebnisse verwendet, die nach der vorgegebenen Messvorschrift ermittelt wurden.

Wegen einiger gravierender Nachteile dieses Verfahrens wird nun angestrebt, die individuellen Unsicherheitsbeiträge für die jeweilige Mess-Situation nach GUM [1] zu ermitteln. Die Unsicherheit der Messgröße wird aus der Summe der Einzelbeiträge gebildet und es ergibt sich u.a. der Vorteil, dass einzelne Unsicherheitskomponenten in ihrer Größe ermittelbar und damit auch beeinflussbar sind.

Dass ein solches Vorgehen in der Akustik möglich ist, soll hier am einfachen Beispiel von Terz-Schalldruckpegeln demonstriert werden. Diese sind die primäre Messgröße für viele Messverfahren in der angewandten Akustik, z.B. bei der Bestimmung von Luftschalldämmungen, Trittschall-, Schalleistungs- und Emissions-Schalldruck-Pegeln. Die hier ermittelten Unsicherheiten sind somit Bestandteil des Unsicherheitsbudgets für diese Größen.

Analysierte Situation

Betrachtet wird ein typischer Messaufbau in einem reflexionsarmen Halbraum (Bild 1). Eine Quelle im Fußboden wird von einer halbkugelförmigen Hüllfläche umschlossen. Auf dieser und auf einem von der Quelle ausgehenden Pfad sind insgesamt 13 Messpunkte angeordnet. Der Schalldruckpegel an den spezifizierten Raumpunkten wird mit fünf verschiedenen Messketten ermittelt, wobei jede aus einem 1/2" Kondensatormikrofon, einem Vorverstärker, einem Verlängerungskabel und einem Echtzeit-Terzanalysator besteht. Der Analysator befand sich in einem separaten Bedienraum und jede Messkette wurde, wie in der Akustik üblich, vor und nach den Messungen mit einem Pistophon oder Kalibrator kalibriert. Zwei verschiedene Anregungssignale kamen zur Anwendung, ein Multi-Sinus mit einem Ton bei jeder Mittenfrequenz und ein Rosa Rauschen. Eine sechste zusätzliche Messkette mit einem ortsfesten Mikrophon diente zur Ermittlung von Emissionsschwankungen der Quelle.

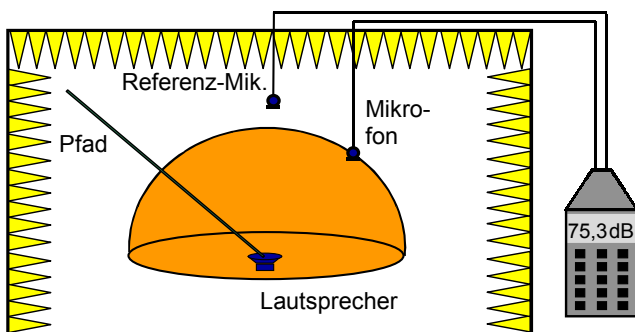


Bild 1: Messaufbau im Halbfreifeldraum der PTB

Ermittlung der Unsicherheit nach GUM

Ausgangspunkt jeder Unsicherheitsbetrachtung ist die Definition der Messgröße. Im vorliegenden Fall ist dies recht simpel, da die Messgröße einfach der Terz-Schalldruck-Pegel an der spezifizierten Position bei einer konstanten Schallemission von der Quelle ist. Bei komplexeren Messgrößen ist eine saubere Definition der Messgröße häufig wesentlich schwieriger.

Als nächstes gilt es nun, eine Modellfunktion zu formulieren, die den Zusammenhang zwischen der Messgröße und den Eingangsgrößen beschreibt. Für den hier betrachteten Fall ist dies

$$L_p = L'_p - K_{\text{mic}} - K_{\text{fil}} - K_{\text{dis}} - K_{\text{av}} - K_{\text{ang}} - K_{\text{cal}} - K_{\text{pos}} - K_1 - K_{\text{em}} \quad (1)$$

wobei L'_p der Anzeigewert ist, der mit Korrekturen für den Mikrofonfrequenzgang (K_{mic}), die Filtereigenschaften (K_{fil}), die Auflösung der Anzeige (K_{dis}), die Zeitmittelung (K_{av}), den Schalleinfallswinkel (K_{ang}), die Kalibrierung (K_{cal}), die Positionierung (K_{pos}), das Störgeräusch (K_1) sowie die Emissionsschwankung von der Quelle (K_{em}) versehen wird. Der beste Schätzwert der Messgröße ergibt sich nun aus den besten Schätzwerten der Eingangsgrößen, die häufig den Wert 0 annehmen. Die kombinierte Unsicherheit des besten Schätzwerts für die Messgröße ergibt sich für das sehr einfache Modell (1) aus den Unsicherheiten der Eingangsgrößen

$$u_c(L_p) = \sqrt{u^2(K_{\text{mic}}) + \dots + u^2(K_{\text{em}})} \quad (2)$$

Im allgemeinen Fall sind hier noch die Sensitivitätskoeffizienten zu berücksichtigen [1].

Berechnete Messunsicherheiten

Für jede der in Gl. (1) genannten Korrekturen wurde nun ein detailliertes Modell aufgestellt [3]. Zum Teil sind diese Modelle sehr einfach, wie etwa für die Anzeigeunsicherheit, bei der nach [1] von einer Rechteckverteilung ausgegangen werden kann. Für einige der Korrekturen waren die Modelle jedoch wesentlich aufwändiger. So wurde für den Einfluss des Schalleinfallswinkels die Richtcharakteristik der verwendeten Mikrofone gemessen und von einer Positionierungsunsicherheit von 5° ausgegangen. Auch die verbleibende Stehwelligkeit in reflexionsarmen Räumen musste berücksichtigt werden, da dies für die Positionierung des Mikrofans bei hohen Frequenzen einen wesentlichen Unsicherheitsbeitrag liefert.

Sowohl für das Rauschen als auch für das Multisinus-Signal liegt die kombinierte Messunsicherheit für die vorliegende Messsituation im mittleren Frequenzbereich bei ca. 0,4 dB (Bild 2, Bild 3). Zu hohen Frequenzen steigt die Unsicherheit stark und zu tiefen Frequenzen leicht an. Die wichtigsten Unsicherheitskomponenten sind im mittleren Frequenzbereich die Kalibrierung und die Filtereigenschaften. Bei hohen Frequenzen spielt der Schalleinfallswinkel

eine wichtige Rolle und bei der tonalen Anregung kommt zusätzlich noch die Positionierung hinzu, die wegen der verbleibenden Stehwelligkeit und den kleinen Wellenlängen zu einer großen Unsicherheitskomponente führt.

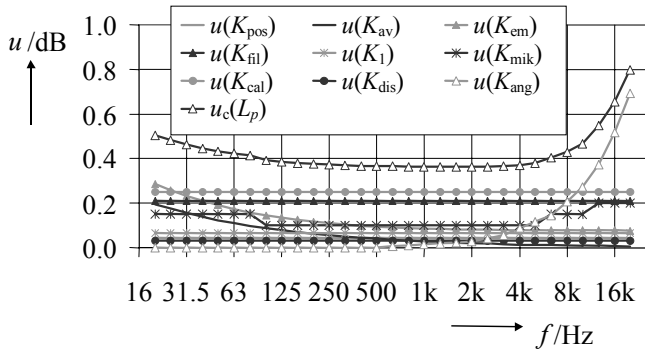


Bild 2: Kombinierte Messunsicherheit und Unsicherheitskomponenten für Rosa Rauschen

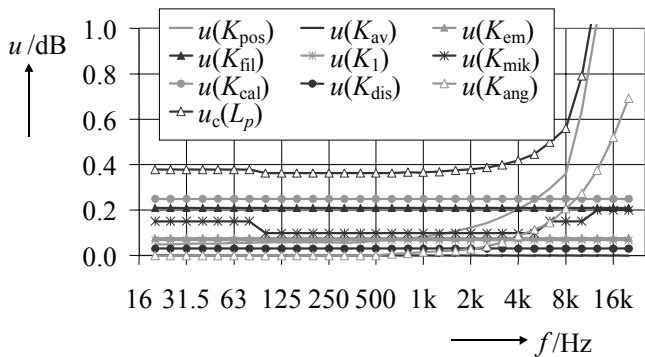


Bild 3: Kombinierte Messunsicherheit und Unsicherheitskomponenten für Sinustöne

Vergleich mit Messergebnissen

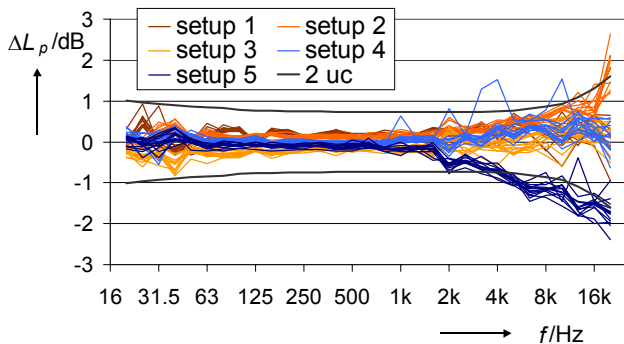


Bild 4: Kombinierte Messunsicherheit und experimentelle Messabweichungen für Rosa Rauschen

Für den Vergleich zwischen Rechnung und Messung werden die Schalldruckpegeldifferenzen betrachtet, die sich zwischen den Ergebnissen der einzelnen Messketten und dem Mittelwert über alle Messketten ergeben. Die Auswertung wurde punkt- und terzweise für alle 13 Messpunkte durchgeführt. Da die auftretenden Pegeldifferenzen im Wesentlichen innerhalb des Intervalls $\pm 2 u_c$ liegen, bestätigen die Messergebnisse das Rechenmodell (Bild 4, Bild 5). Bei Rosa Rauschen kommt es lediglich bei hohen Frequenzen ab ca. 2 kHz zu größeren Abweichungen, die durch das Ergebnis der Messkette 5 verursacht werden.

Im mittleren Frequenzbereich erweist sich das Modell als konservativ, die beobachteten Differenzen in den Terz-Schalldruckpegeln sind erheblich geringer als durch die erweiterte Messunsicherheit zu erwarten ist.

Auch für Einzelpunktmessungen in einem Bauakustik-Prüfstand bei Anregung mit einem Normhammerwerk wurden analoge Auswertungen durchgeführt. Die Messdaten stammen hierfür aus den Vergleichsmessungen, die regelmäßig an der PTB stattfinden. Das etwas abgeänderte Rechenmodell erweist sich auch hier als realistisch (Bild 6).

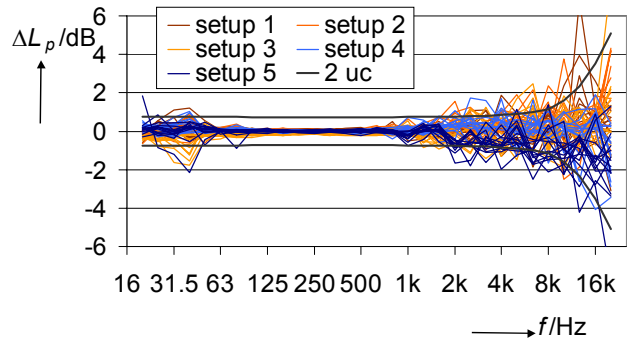


Bild 5: Kombinierte Messunsicherheit und experimentelle Messabweichungen für Sinustöne

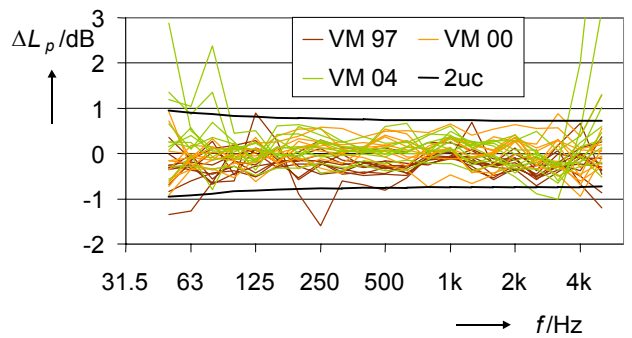


Bild 6: Kombinierte Messunsicherheit und experimentelle Messabweichungen aus Trittschallvergleichsmessungen

Zusammenfassung

Für eine typische Laborsituation wurde die Unsicherheit von Terz-Schalldruckpegeln nach GUM [1] ermittelt. Die kombinierte Unsicherheit von Terz-Schalldruckpegeln liegt bei ca. 0,4 dB bei Frequenzen zwischen 80 Hz und 3,1 kHz. Sie steigt zu tiefen Frequenzen leicht und zu hohen Frequenzen erheblich an. Die Rechenergebnisse konnten durch Messergebnisse bestätigt werden.

Literatur

- [1] *Guide to the expression of uncertainties in measurement*. First edition, 1993, corrected and reprinted 1995, International Organization for Standardization (Geneva, Switzerland)
- [2] IEC 1260 *Electroacoustics – Octave band and fractional-octave-band filters*.
- [3] Wittstock, V. ; Bethke, C.: *On the uncertainty of sound pressure levels determined by third-octave band analyzers in a hemianechoic room*. Proc. FORUM ACUSTICUM '05, Budapest, CD-ROM