

Bewertung von Unsicherheitsbeiträgen bei raumakustischen Messungen nach GUM

Pascal Dietrich, Ingo Witew

Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen, 52056 Aachen, Email: pdi@akustik.rwth-aachen.de

Einleitung

Ein lineares Ursache-Wirkungs-Modell inklusive entsprechender Messexperimente zur praktischen Bestimmung von Messunsicherheiten raumakustischer Parameter nach GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) [1] wurde bereits vorgestellt [2]. Messungen haben Aufschluss über die Beeinflussung der raumakustischen Parameter durch bestimmte Störfaktoren und somit über das Unsicherheitsbudget der Nachhallzeit und des Klarheitsmaßes ergeben. Die Positionierung von Quelle und Mikrophon, sowie die Richtcharakteristik der Quelle, zeigten dominante Beiträge zum Unsicherheitsbudget. Die Werte für die menschliche Wahrnehmungsschwelle für den betrachteten raumakustischen Parameter werden für eine einzelne Messung teilweise überschritten.

In diesem Beitrag wird eine weiterführende Anwendung dieser Unsicherheitsmodellierung vorgestellt. Der Seitenschallgrad ist bezüglich der Unsicherheitsbetrachtung ein komplexerer Parameter als die bereits untersuchten Parameter. Die Bestimmung der bereits gefundenen Hauptunsicherheitsfaktoren erfolgt analog, allerdings werden noch weitere Faktoren detaillierter untersucht.

Definitionen und Modellierung

Seitenschallgrad – ISO 3382

Der Seitenschallgrad ist nach ISO 3382 [3] definiert,

$$LF = \frac{\int_{5 \text{ ms}}^{80 \text{ ms}} p_{\infty}^2 dt}{\int_{0 \text{ ms}}^{80 \text{ ms}} p_{\circ}^2 dt}. \quad (1)$$

Dabei steht p_{∞} für die mit einem Acht-Mikrophon gemessene Schalldruckimpulsantwort und p_{\circ} für die mit einem Kugelmikrophon gemessene Impulsantwort. Die Nullrichtung des Acht-Mikrophons soll nach Norm entweder auf eine mittlere Quellenposition auf der Bühne oder direkt auf die Quelle zeigen. Durch die Integrationsgrenzen werden nur die ersten 80 ms nach Impulsstart berücksichtigt. Der Quotient setzt somit die seitlich einfallende Energie ins Verhältnis zur allseitig einfallenden.

GUM – Hintergrund

Der GUM stellt ein Regelwerk zur einheitlichen Bestimmung von Unsicherheiten beim Messen dar. Als Kernaufgabe der Modellierung von Unsicherheiten ist das Aufstellen einer Modellfunktion $y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$ zu sehen. Diese Funktion verknüpft die Eingangs- oder auch die Störgrößen x_i mit der Ausgangsgröße y , hier dem Parameter LF. Wenn alle Eingangsgrößen hinsichtlich be-

stem Schätzwert und Unsicherheit bekannt sind, kann der beste Schätzwert der Ausgangsgröße und die entsprechende Unsicherheit berechnet werden.

Modellierung von Unsicherheiten

Das bereits vorgestellte Unsicherheitsmodell für die messtechnisch zu erfassenden Beiträge mit Hilfe von speziellen Experimenten setzt eine vernachlässigbare Korrelation der Einflussgrößen voraus. Jede Einflussgröße wird dabei durch einen mittelwertfreien Korrektionsfaktor K_i und einem entsprechenden Unsicherheitsbeitrag $u(K_i)$ charakterisiert. Eine Normalverteilung der Beiträge wird ebenfalls vorausgesetzt und konnte in guter Näherung auch sinnvoll angenommen werden.

Auswertung und Ergebnisse

Pegelabweichung

Da für die Messung zwei verschiedene Signale von unterschiedlichen Mikrofonen benötigt werden, kürzen sich bei der Quotientenbildung Pegelfehler nicht heraus, wie dies z.B. beim Klarheitsmaß der Fall ist. Als Modellfunktion wird

$$y = \frac{\int_{5 \text{ ms}}^{80 \text{ ms}} (K_{\infty} p_{\infty})^2 dt}{\int_{0 \text{ ms}}^{80 \text{ ms}} (K_{\circ} p_{\circ})^2 dt} \quad (2)$$

angesetzt, wobei die Korrektionsfaktoren K_{\circ} und K_{∞} die absoluten Pegelfehler der einzelnen Kanäle charakterisieren. Es wird ein Korrektionsfaktor für den relativen Pegelfehler eingeführt, der die beiden anderen vereint.

$$K_{\text{level}}^2 = \frac{K_{\infty}^2}{K_{\circ}^2} = \left(10^{\frac{K_{\text{level,dB}}}{20}} \right)^2. \quad (3)$$

Die derzeit verwendeten Mikrophone für diese Messung sind nicht per Pistonfon kalibrierbar. Daher wird als bester Schätzwert für $K_{\text{level,dB}}$ wird 0 dB angesetzt und die frequenzunabhängige Unsicherheit $u(K_{\text{level,dB}})$ wird zu 0.3 dB geschätzt. Zudem haben die Kapseln eine frequenzabhängige Richtcharakteristik die von den jeweiligen Idealen abweichen, was zu weiteren frequenzabhängigen Pegelfehlern führen kann. Die wird hier allerdings noch nicht gesondert untersucht. Dieser erste Ansatz soll den Pegelfehlereinfluss allgemein beschreiben. Die zugrundeliegende Verteilungsfunktion wird als normal angenommen. Es ergibt sich rechnerisch nach GUM eine Unsicherheit für den Parameter von

$$u_{\text{level}}(y) = \frac{\ln 10}{10} \cdot Y \cdot u(K_{\text{level,dB}}) \approx 0.23 \cdot 0.3 \cdot Y \quad (4)$$

in Abhängigkeit vom besten Schätzwert Y für LF.

Mikrophonorientierung

Nach Norm sind zwei Ausrichtungsmethoden für das Richtmikrophon zulässig, wodurch sich ein Bereich auf Bühne ergibt in dem Quelle anzutreffen ist. Dieser Bereich lässt sich wie in Abb. 1 auf einen Winkelbereich des Mikrophons übertragen. Für die Verteilung der ange-

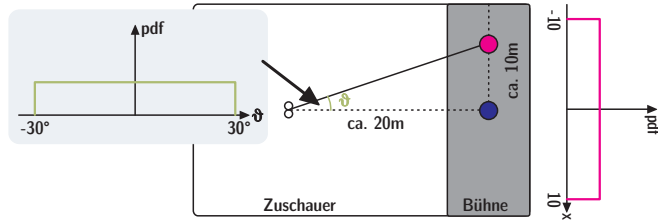


Abbildung 1: Zwei zulässige Mikrophonausrichtungen hinsichtlich einer Quellenposition verursachen eine Unsicherheit der Mikrophonorientierung.

peilten Position auf der Bühne wird eine Gleichverteilung angesetzt. Aufgrund des kleinen Winkelbereichs wird vereinfachend linearisiert und ebenfalls eine Gleichverteilung des Winkels angesetzt. Für die gegebenen Raumabmessungen wurde in einem ersten Ansatz der Winkelbereich großzügig zu $\pm 30^\circ$ bestimmt. In einem nächsten Schritt

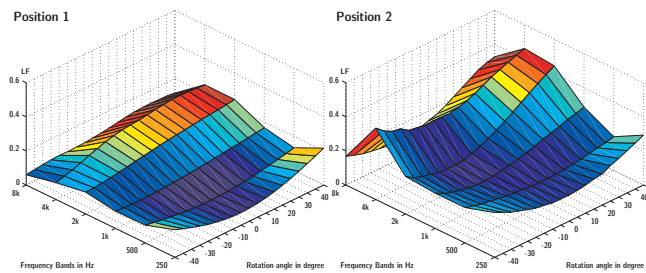


Abbildung 2: Abhängigkeit des Parameters von der Orientierung des Mikrophons für zwei verschiedene Raumpositionen.

kann durch ein Experiment der Einfluss der Mikrophonorientierung auf den Parameter untersucht werden. In Abb. 2 ist die Variation des Parameters über dem Orientierungswinkel für zwei verschiedene Messpositionen aufgetragen. Es lässt sich hier bereits erkennen, dass kein einfacher Zusammenhang zwischen Orientierungswinkel und Parameter aufgestellt werden kann. Auch die untersuchten Verteilungsfunktionen erlauben keine eindeutigen Schlüsse. Ausgehend von der mittleren Orientierung bei 0° , dies ist die Orientierung auf die tatsächliche Quellenposition in etwa der Mitte der Bühne, scheint der Parameter sich stellenweise symmetrisch zu beiden Seiten zu verhalten. Diese Aussage ist allerdings nicht allgemein gültig. Es wird daher in erster Näherung eine Normalverteilung für den Parameter über dem interessierenden Winkelbereich von $\pm 30^\circ$ angenommen. Die Auswertung der Unsicherheitsbeiträge erfolgt mit Hilfe der Standardabweichung aus den experimentellen Daten.

Unsicherheitsbudget

Das Unsicherheitsbudget ist in Abb. 3 dargestellt. Als weitere Haupteinflussgrößen wurden die Richtcharakte-

ristik der Quelle und das Hintergrundrauschen in Betracht gezogen. Diese Beiträge sind sehr ähnlich denen beim Klarheitsmaß [2]. Für den Beitrag durch die Pegelabweichung wurde mit dem besten Schätzwert Y des Parameters im entsprechenden Oktavband gerechnet, der hier allerdings nicht abgedruckt ist.

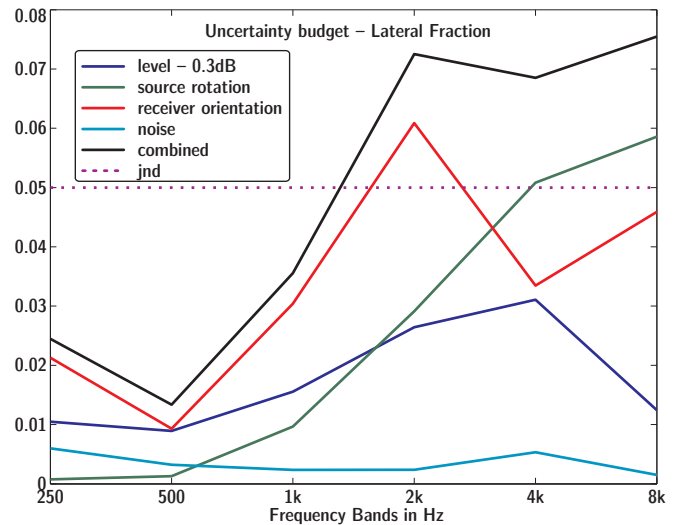


Abbildung 3: Aufgestelltes Unsicherheitsbudget für eine einzelne Messung des Seitenschallgrads unter Berücksichtigung der ermittelten Haupteinflussgrößen.

Zusammenfassung

Es wurde eine Möglichkeit zur praktischen Erfassung von Messunsicherheiten für raumakustische Parameter vorgestellt und in einem nächsten Schritt auf den Seitenschallgrad angewandt. Bereits früher untersuchte Haupteinflussgrößen zeigten beim Seitenschallgrad ebenfalls dominante Beiträge. Als zusätzliche Einflussfaktoren wurde theoretisch die relative Pegelabweichung der aus unterschiedlichen Mikrophonen stammenden Signale, und messtechnisch die Ausrichtung des Acht-Mikrophons auf eine Quellenposition erarbeitet.

Das Unsicherheitsbudget wurde angegeben und liegt teilweise überhalb der Wahrnehmungsschwelle. Weitere Messungen und Auswertungen sollen zukünftig zu einer detaillierteren Kenntnis dieser Unsicherheitsfaktoren in verschiedenen Messsituationen führen.

Literatur

- [1] Deutsches Institut für Normung, *DIN V ENV 13005:1999: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen*, Hrsg. DIN Deutsches Institut für Normung, Berlin, Wien, Zürich, 1999.
- [2] I. B. Witew and P. Dietrich, "Assessment of the uncertainty in room acoustical measurements," *The 19th International Congress on Acoustics, ICA*, 2007.
- [3] ISO, *ISO 3382 - Acoustics - Measurement of the reverberation time - Part 1: Performance spaces*, ISO TC 43/SC 2 N 0767, ISO, June 2004.