

Einfluss der Sabine'schen Näherungsformel für den Absorptionsgrad auf die Berechnung des Streugrades

Markus Müller-Trapet¹, Michael Vorländer¹

¹ *Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen, 52066 Aachen, Deutschland, Email: mmt@akustik.rwth-aachen.de*

Einleitung

Die in ISO17497 [1] beschriebene Hallraummethode zur Bestimmung des Streugrades berechnet diesen aus vier Absorptionsgraden, die jeweils wiederum aus der Messung der Nachhallzeit ermittelt werden. Zur Berechnung des Absorptionsgrades aus der Nachhallzeit kann entweder die Formel nach Eyring oder Sabine benutzt werden, da die Voraussetzungen für beide Theorien erfüllt sind. Die ISO-Norm schreibt vor, die Vereinfachung nach Sabine zu benutzen.

Der Einfluss der Sabine'schen Vereinfachung auf die Ergebnisse bei Absorptionsgradmessungen im Hallraum wurde bereits untersucht und als nicht signifikant bewertet. In der Berechnungsvorschrift für den Streugrad sind jedoch vier unterschiedliche Absorptionsgrade enthalten, von denen zwei sowohl im Nenner als auch im Zähler erscheinen. Daher liegt hier die Vermutung nahe, dass sich schon geringe Abweichungen im Absorptionsgrad deutlich im Ergebnis des Streugrades niederschlagen können.

In dieser Arbeit wird für ein sinusförmiges Testobjekt der Streugrad mit Absorptionsgrad nach Sabine oder Eyring ermittelt und der Einfluss der vereinfachten Berechnung untersucht. Für die Messungen wird hierbei ein Maßstabhallraum verwendet, um Messzeiten zu verkürzen und die Handhabung des Messobjekts zu erleichtern.

Grundlagen

Laut der in [1] beschriebenen Methode zur Bestimmung des Streugrades eines Objektes im Hallraum müssen die folgenden vier mittleren Absorptionsgrade bestimmt werden:

- $\bar{\alpha}_1$: leerer Hallraum
- $\bar{\alpha}_2$: Objekt im Raum
- $\bar{\alpha}_3$: leerer Hallraum mit rotierendem Drehteller
- $\bar{\alpha}_4$: Objekt auf dem rotierenden Drehteller

Aus diesen Werten kann dann mithilfe zweier Zwischenvariablen der Streugrad s für zufälligen Schalleinfall berechnet werden:

$$\alpha_s = \frac{S}{S_{\text{Sample}}}(\bar{\alpha}_2 - \bar{\alpha}_1), \quad [1] \quad (1)$$

$$\alpha_{\text{spec}} = \frac{S}{S_{\text{Sample}}}(\bar{\alpha}_4 - \bar{\alpha}_3), \quad [1] \quad (2)$$

$$s = \frac{\alpha_{\text{spec}} - \alpha_s}{1 - \alpha_s}, \quad [1] \quad (3)$$

wobei S die Gesamtoberfläche des Raumes und S_{Sample} die Fläche des Testobjektes ist.

Die einzelnen Absorptionsgrade in (1) und (2) können dabei nach Gleichung 5-23 und 5-24 in [3] wie folgt bestimmt werden (Raumvolumen V , Raumboberfläche S , Nachhallzeit T , Luftabsorptionsfaktor m):

$$\frac{V}{S} \left(\frac{55.26}{c \cdot T} - 4 \cdot m \right) = \begin{cases} \bar{\alpha} & \text{Sab.} \\ -\log(1 - \bar{\alpha}) & \text{Eyr.} \end{cases}, \quad (4)$$

wobei die beiden Zeilen als Sabine'sche bzw. Eyring'sche Nachhallformel bekannt sind. Diese sind annähernd identisch für sehr kleine Werte von $x = \frac{V}{S} \left(\frac{55.26}{c \cdot T} - 4m \right)$, da dann

$$1 - e^{-x} \approx x \quad x \ll 1 \quad (5)$$

gilt. Der Fehler, der durch die Verwendung der Sabine'schen Vereinfachung – wie in [2] vorgeschrieben – in Gleichung 5 gemacht wird, ist:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{x - (1 - e^{-x})}{1 - e^{-x}} \cdot 100. \quad [\%] \quad (6)$$

Für die üblicherweise geringen bzw. nach [2] maximal zulässigen Werte des mittleren Absorptionsgrades von bis zu 0.15 liegt dieser Fehler unterhalb von 7 Prozent. Der Effekt dieser Abweichungen wurde schon in anderen Arbeiten untersucht und bewertet [4].

Einfluss auf den Streugrad

Wie aus Gleichungen 1–3 ersichtlich, hängt der Streugrad direkt von vier verschiedenen Absorptionsgraden ab. Daher ist es wahrscheinlich, dass sich der geringe Absorptionsgradfehler deutlich auf das Ergebnis des Streugrades auswirkt. Um diesen Einfluss zu untersuchen, wurden Messungen an einem sinusförmigen Sample durchgeführt und die Parameter nach Gleichungen 1–3 jeweils mit der Eyring'schen und Sabine'schen Formel bestimmt. Das Sinus-Sample, das schon Gegenstand anderer Untersuchungen war [5], wurde hierbei gewählt, da im interessanten Frequenzbereich (nahezu) alle Streugradwerte zwischen 0 und 1 vorkommen und so der angesprochene Einfluss für alle Werte untersucht werden kann.

Messaufbau

Die Messungen zur Bestimmung des Streugrades wurden in einem kürzlich modernisierten Maßstabhallraum [6] (Abb. 1) am Institut für Technische Akustik (ITA) in Aachen im Maßstab 1:5 durchgeführt. Die Drehung des Drehtellers für die Parameter $\bar{\alpha}_3$ und $\bar{\alpha}_4$ erfolgte dabei in diskreten Schritten von 5°.

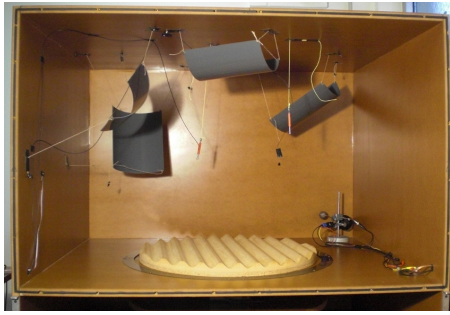


Abbildung 1: Maßstabhallraum am ITA in Aachen

Ergebnisse

Beispielhaft sind in Abbildung 2 die Fehler nach Gleichung 6 für die vier mittleren Absorptionsgrade $\bar{\alpha}_1$ – $\bar{\alpha}_4$ für das sinusförmige Sample aufgetragen. In Abbildung 3 ist der daraus resultierende relative Fehler für die Parameter der Streugradmessung gezeigt.

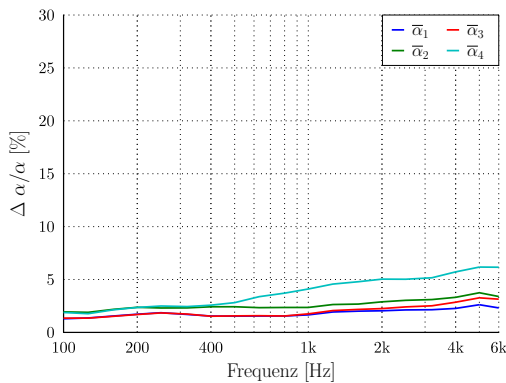


Abbildung 2: Relativer Fehler in den vier mittleren Absorptionsgraden zur Bestimmung des Streugrades

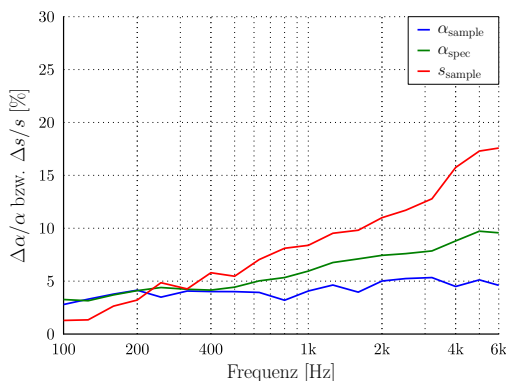


Abbildung 3: Relativer Fehler in den Parametern der Streugradmessung: α_s , α_{spec} , s_{sample}

Man kann erkennen, dass sich die geringen Abweichungen der mittleren Absorptionsgrade von meist unter 5 % stark im Streugrad bemerkbar machen, so dass die Fehler der Streugradparameter fast alle oberhalb von 5 % liegen. Für höhere Werte des Streugrades beträgt der Fehler mehr als 10 %; ein Wert, der die Messtoleranz deutlich überschreitet.

Um die Auswirkung auf das Ergebnis einer Messung zu veranschaulichen, sind in Abbildung 4 die Streugrade mit der Berechnung nach Eyring und Sabine dargestellt.

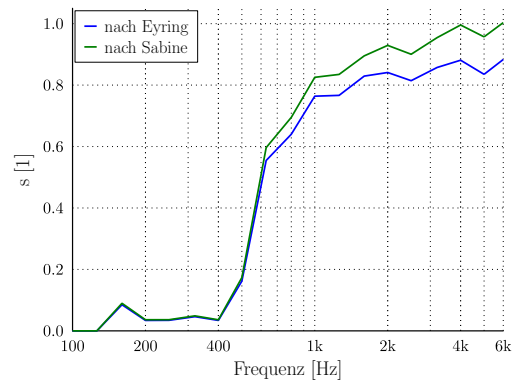


Abbildung 4: Streugrad für das Sinus-Sample nach Eyring und Sabine

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden die Unterschiede bei der Berechnung des Streugrades untersucht, die durch die Verwendung der Sabine'schen bzw. Eyring'schen Nachhallformel entstehen. Es konnte gezeigt werden, dass durch die vereinfachte Formel nach Sabine ein Fehler von bis zu 15 % gemacht wird, auch wenn sich die als Zwischengrößen verwendeten mittleren Absorptionsgrade weniger unterscheiden. Durch Verwendung eines Sinus-Samples konnte der Fehler für beinahe alle verschiedenen Werte des Streugrades zwischen 0 und 1 berechnet und gezeigt werden. Es fiel auf, dass ab einem Wert des Streugrades von über 0.8 der Fehler über 10 % liegt.

Die Ergebnisse legen nahe, bei der Messung von Streugraden die mittleren Absorptionsgrade nach der Formel von Eyring zu berechnen, da ansonsten eine unnötige zusätzliche Unsicherheit in das Ergebnis einfließt.

Literatur

- [1] ISO/FDIS 17497-1: Measurement of the random-incidence scattering coefficient in a reverberation room. 2000.
- [2] ISO 354: Measurement of sound absorption in a reverberation room. 2003.
- [3] Kuttruff H., Room Acoustics, Spon press. 2008.
- [4] M. Kob, Vergleichbarkeit von Absorptionsgradmessungen im Hallraum, Diplomarbeit am IfN TU Braunschweig, 1994.
- [5] Jean-Jacques Embrechts et. al., Calculation of the Random-Incidence Scattering Coefficients of a Sine-Shaped Surface. ACTA, Vol. 92, pp. 593 – 603, 2006.
- [6] M. Müller-Trapet et. al., A Revised Scale-Model Reverberation Chamber for Measurements of Scattering Coefficients, ASA Meeting, Cancún, Mexiko, 2010.