

Bedeutung kurzer Nachhallzeiten bei tiefen Frequenzen für die raumakustische Qualität in Unterrichtsräumen

Eckard Mommertz¹, Philipp Reents², Gerhard Graber²

¹ Müller-BBM, GmbH, 82152 Planegg, E-Mail: EMommertz@MuellerBBM.de

² TU Graz, Institut für Breitbandkommunikation, A-8010 Graz

Einleitung

Um gute Lern- und Lehrbedingungen in Unterrichtsräumen zu erhalten, sind ausreichend niedrige Nachhallzeiten erforderlich. Des Weiteren ist anzustreben, dass der Frequenzverlauf der Nachhallzeit möglichst gleichmäßig verläuft bzw. zu tieferen Frequenzen sogar abfällt. Ein entsprechender anzustrebender Sollbereich ist beispielsweise in der DIN 18041 [1], gezeigt. Das Erreichen kurzer Nachhallzeiten in der 125 Hz- und ggf. auch in der 63 Hz-Oktave ist zwar grundsätzlich möglich, erfordert jedoch in der Regel den Einsatz spezieller tieffrequenter Absorber oder großer Konstruktionshöhen. Vor dem Hintergrund baupraktischer und ggf. auch wirtschaftlicher Aspekte stellt sich die Frage, welche Bedeutung ausreichend kurzen Nachhallzeiten bei tiefen Frequenzen beigemessen werden muss.

Grundlagen

Tendenziell ist zu erwarten, dass die raumakustischen Verhältnisse bei tiefen Frequenzen weniger bedeutsam sind als im mittelfrequenten Bereich. Argumente dafür sind die geringere Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs bei tiefen Frequenzen und die geringere Anregung durch Sprache unterhalb der 125 Hz-Oktave. Für die Bedeutung tiefer Frequenzen wird z. B. angeführt, dass tieffrequente Geräusche höherfrequente informationshaltige Signalanteile verdecken können (z. B. [2]). Hier sei insbesondere auf die Verdeckungskurven von Slawin [3] und Zwicker [4], aber auch auf die Arbeit von Rau [5] verwiesen.

Vorgehensweise

Um weitergehende Aussagen über den Einfluss der Nachhallzeit bei tiefen Frequenzen zu ermöglichen, wurden für exemplarische Räume und unterschiedliche akustische Raumzustände binaurale Impulsantworten simuliert bzw. gemessen. Nach Faltung mit einem nachhallfreien Sprachsignal eines männlichen Sprechers und Darbietung über Kopfhörer wurde die Sprachverständlichkeit mittels Hörversuche im Paarvergleich beurteilt. Das Sprachbeispiel (Terzpegel vgl. Abb. 1) hatte eine Dauer von etwa 10 Sekunden, was bei 15 Paaren zu einer Versuchsdauer von etwa 3 Minuten führte. Die zehn Probanden wurden gefragt: „Bei welchem Beispiel ist die Sprachverständlichkeit besser?“ Die Auswertung erfolgte nach dem sogenannten Bradley-Terry-Luce-Modell (BTL-Modell). Dies erlaubt es, die Ergebnisse auf einer Präferenzskala aufzutragen sowie inkonsistente Antworten zu ermitteln und mit Hilfe des Kriteriums des Konsistenzkoeffizienten die Antworten einzelner Probanden ggf. auszuschließen (vgl. [6]).

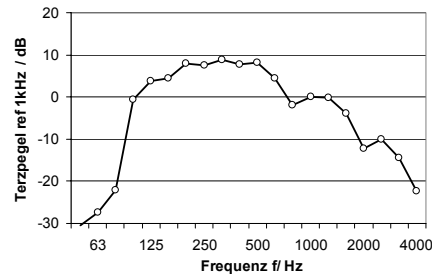


Abbildung 1: Terzpegel des verwendeten nachhallfreien Sprachsignals (bezogen auf 1 kHz).

Hörversuche mit simuliertem Klassenraum

Für die Simulationen wurde ein typischer Klassenraum mit den Abmessungen ca. 7 m x 10 m x 3,3 m modelliert, der bereits für vorangegangene Untersuchungen herangezogen wurde (vgl. [7]). Es wurden ein schallabsorbierender Deckenfries sowie eine teilabsorbierende Verkleidung an der Rückwand in ihrem frequenzabhängigen Absorptionsgrad so angepasst, dass sich die in Abb. 2 (links) gezeigten Sabine'schen Nachhallzeiten einstellen. In Abb. 2 steht der Raumzustand A für die längste Nachhallzeit (Ausgangssituation) und der Raumzustand F für die kürzeste Nachhallzeit bei tiefen Frequenzen. Für diese Raumzustände wurden für drei verschiedene Empfängerpositionen (vorn – Mitte – hinten) mit dem Simulationsprogramm CATT binaurale Raumimpulsantworten ermittelt. Die Grenzfrequenz des Raumes liegt bei Nachhallzeiten von weniger als 1 s unter 130 Hz, was die Anwendung eines geometrisch-statistischen Simulationsverfahrens rechtfertigt. Bei dem verwendeten Simulationsprogramm wird darüber hinaus der Frequenzbereich unterhalb der 125 Hz-Oktave extrapoliert, so dass auch hier Energieanteile vorhanden sind. Die aus den simulierten Raumimpulsantworten ermittelten Nachhallzeiten (hier: EDT) sind in Abb. 2 (rechts) gezeigt.

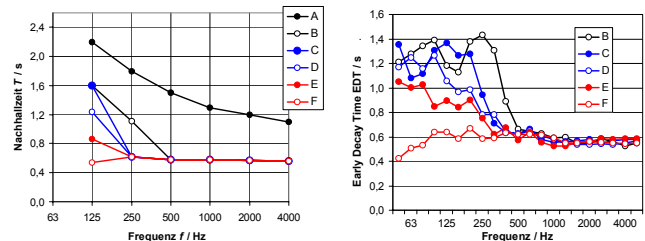


Abbildung 2: Nachhallzeiten des simulierten Klassenraums, links Sabine'sche Nachhallzeit, rechts Simulationsergebnis (rechts ohne Raumzustand A).

Die Auswertung der Hörversuche zeigte (vgl. Abb. 3), dass der Raumzustand A (unbehandelt) von sämtlichen Probanden hinsichtlich der Sprachverständlichkeit als am ungünstigsten

tigsten bewertet wurde. Auch die Raumzustände mit einem starken Anstieg der Nachhallzeit im mittelfrequenten Bereich bzw. einem starken Anstieg in der 250 Hz-Oktave wurden ungünstiger bewertet, als dies bei den Raumzuständen E und F der Fall war. Die auf der BTL-Skala sehr nah beieinander liegenden Balken für die Zustände E und F zeigen jedoch, dass zwischen einem Abfall der Nachhallzeit (F) und einem leichten Anstieg der Nachhallzeit (E) zu tiefen Frequenzen kaum bzw. keine Unterschiede hinsichtlich der Sprachverständlichkeit erkennbar waren. Diese Aussage gilt nicht nur für den hier betrachteten Platz, sondern auch für die untersuchten Plätze im hinteren und vorderen Raumbereich.

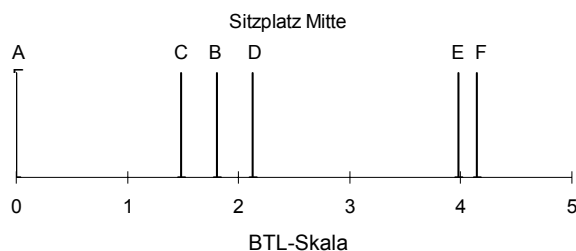


Abbildung 3: Exemplarischer Ergebnis der Hörversuche (simulierter Raum)

Hörversuche mit realen Raumaufzeichnungen

Um neben den Simulationen auch Ergebnisse mit gemessenen Schallfeldern und damit ggf. einer realistischeren Situation unterhalb der Grenzfrequenz des Raumes zu erhalten, wurden die Untersuchungen auf einen realen Raum mit einem Volumen von etwa 100 m³ ausgedehnt. Hier wurden ähnlich wie bei Untersuchungen von Rau [5] durch Einbringen unterschiedlicher Absorber unterschiedliche akustische Raumzustände eingestellt. In Abbildung 4 sind die gemessenen Nachhallzeiten und die Raumübertragungsfunktion unterhalb der Grenzfrequenz des Raumes (ca. 200 Hz) gezeigt.

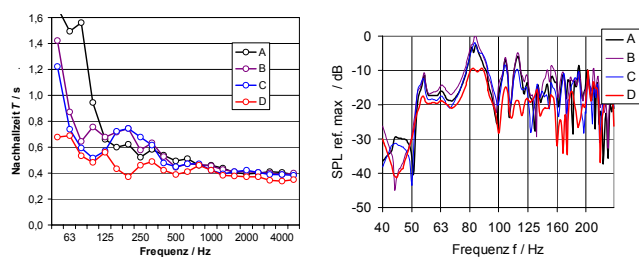


Abbildung 4: Nachhallzeiten und Raumübertragungsfunktion (Ausschnitt) für die unterschiedlichen Raumzustände

Die Messungen erfolgten mit einem Kunstkopf und die Darstellung wie oben beschrieben über Kopfhörer. Die Ergebnisse der Hörversuchsreihe sind in Abb. 5 gezeigt. Es ist zu erkennen, dass die Beurteilungen sehr eng beieinander liegen. Auch war die Anzahl inkonsistenter Antworten sehr hoch. Dies bedeutet, dass im Hörversuch ein deutlicher Anstieg der Nachhallzeit unter 125 Hz respektive eine unterschiedliche Modenbedämpfung nicht zuzuordnen war. Auch umfangreiche Reimtests mit bzw. ohne verdeckendem Rauschen führten zu diesem Ergebnis [6].

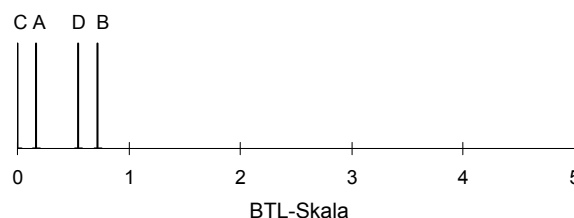


Abbildung 5: Exemplarischer Ergebnis der Hörversuche (realer Raum)

Folgerungen

Aus den Untersuchungen lassen sich für Unterrichtsräume und verallgemeinernd auch für andere Sprachräume mit einem Volumen ab etwa 100 m³ die folgenden Schlüsse ziehen:

- Eine ausreichend niedrige Nachhallzeit in der 250 Hz-Oktave ist für eine gute Sprachverständlichkeit erwartungsgemäß sehr wichtig.
- Die Nachhallzeit verliert unterhalb der 250 Hz-Oktave und insbesondere unterhalb der 125 Hz-Oktave in Bezug auf die Sprachverständlichkeit zunehmend an Bedeutung.
- Ein leichter Anstieg der Nachhallzeit zu tiefen Frequenzen, z. B. wie in der Literatur für klassische Musik gezeigt, ist akzeptabel und beeinträchtigt nicht die raumakustische Qualität für die Sprachnutzung.

Die hier angestellten Betrachtungen gelten nicht für Räume mit deutlich kleinerem Raumvolumen. Hier spielt der modale Charakter des Schallfeldes im Grundtonbereich der Stimme eine wesentlich wichtigere Rolle.

Literatur

[1] DIN 18041 „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“, Mai 2004

[2] Fuchs, H. V., Späh M., Pommerer, M., Schneider W., Roller, M., Akustische Gestaltung kleiner Räume bei tiefen Frequenzen, Bauphysik 1998 (6)

[3] Slawin, I., Industrielärm und seine Bekämpfung, VEB Technikum Berlin, 1960

[4] Zwicker, E.: Psychoakustik, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1982

[5] Rau, C. „Einfluss tieffrequenter Störgeräusche auf die Sprachverständlichkeit“, Diplomarbeit, Universität für Musik und Darstellende Kunst Graz / Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, 2004

[6] Reents, P., Einfluss der Nachhallzeit bei tiefen Frequenzen auf die Sprachverständlichkeit, Diplomarbeit, TU Graz / Müller-BBM, 2006

[7] Mommertz, E., Drescher, K., Engel, G., Untersuchungen zur Anordnung schallabsorbierender Oberflächen in Klassenräumen, DAGA 2002