Raummodendämpfer in der Praxis

Ingolf Bork
Arbeitsgruppe Geräuschmesstechnik 1.63, Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig
38116 Braunschweig, E-Mail: ingolf.bork@ptb.de

Einleitung

Das Schallfeld in kleinen Räumen wird bei tiefen Frequenzen durch die akustischen Resonanzen des Raumes (Raummoden) beherrscht. Zur Lösung der bekannten Probleme bei der Schallübertragung durch Helmholtz-Resonatoren wurde bereits in früheren Beiträgen berichtet [1][2]. Inzwischen wurden weitere Erfahrungen beim Einsatz dieser Technik gesammelt, die hier vorgestellt werden sollen. Weiterhin wurden auch Berechnungen mit einem FEM-Programm durchgeführt, die einen tieferen Einblick in die Änderungen der Schalldruckverteilung durch den Resonatoreinsatz erlauben.

Übertragungsfunktionen im Rechteckraum

Bei akustischer Anregung eines idealen schallharten Rechteckraums aus einer Ecke mit L_p = 94 dB ergeben sich Übertragungsfunktionen zu den sieben Ecken entsprechend Abbildung 1. Während die Maximalwerte aller Eckpunkte bei denselben modalen Frequenzen liegen, zeigen sich bei den übrigen Frequenzen ganz unterschiedliche Verläufe.

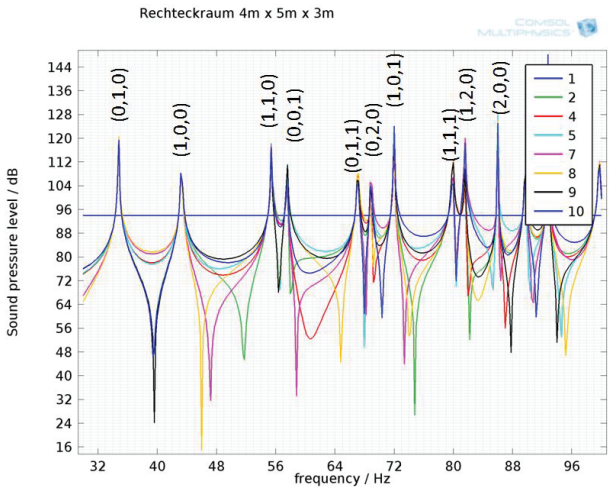

Abbildung 1: Berechnete Übertragungsfunktionen im Rechteckraum und Modenbezeichnungen (COMSOL FEM)

Für eine möglichst effektive Ankopplung eines Resonators an das Schallfeld ist dessen Öffnung möglichst in den Schalldruckmaxima anzubringen. Dies wären im Rechteckraum die Eckpunkte, in beliebig geformten Räumen ist (durch Rechnung oder Messung) zunächst zu ermitteln, wo bei den zu bedämpfenden Modenfrequenzen die Maxima liegen.

Optimierung der Resonanzdämpfung

Die entscheidende Voraussetzung für den optimalen Einsatz von Resonatoren ist die Einstellbarkeit der Resonanzgüte. Am Beispiel eines Tonregieraumes soll gezeigt werden, dass damit sowohl eine Optimierung des Übertragungsfrequenzgangs im Bereich der Grundmode als auch eine deutliche Verbesserung des Ein- und Ausschwingverhaltens erreicht werden kann. Dieser Raum zeigt eine stark ausgeprägte Resonanz bei 29,2 Hz (vgl. Abbildung 2), deren berechnete zugehörige Schalldruckverteilung in Abbildung 3 dargestellt ist.

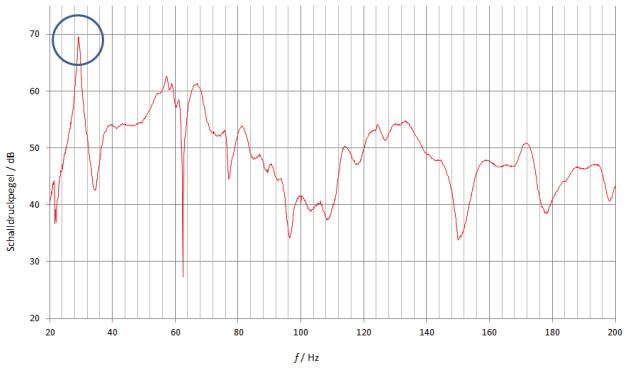

Abbildung 2: Frequenzgang der Übertragungsfunktion im Regieraum

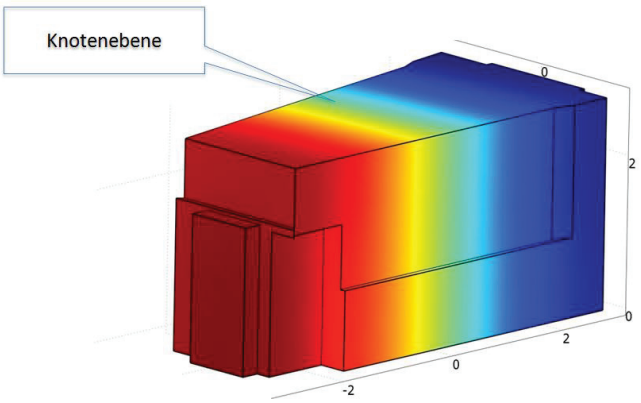

Abbildung 3: Schalldruckverteilung bei der Grundmode im Regieraum

In Abbildung 4 ist die Veränderung im Bereich der 29,2 Hz-Mode bei optimaler Dämpfung dargestellt. Hier wurde ein möglichst gleichmäßiger Übertragungsfrequenzgang angestrebt, was sich in einer erhöhten Bandbreite im dargestellten Resonanzbereich äußert.

Abbildung 5 zeigt den gemessenen Vergleich des Ein- und Ausschwingverhaltens des Raumes mit und ohne Einsatz des dämpfungsoptimierten Resonators bei Wiedergabe eines Tonburstsignals von 29,2 Hz. Sowohl das Einschwingen als auch das Ausklingverhalten lässt eine deutliche Verbesserung erkennen.

Praktisch wurden die Optimierungen durch eine Stoffschicht vor der Resonatoröffnung realisiert, deren Dicke interaktiv durch Messung des Frequenzganges bzw. des Ausklingvorganges angepasst wurde.

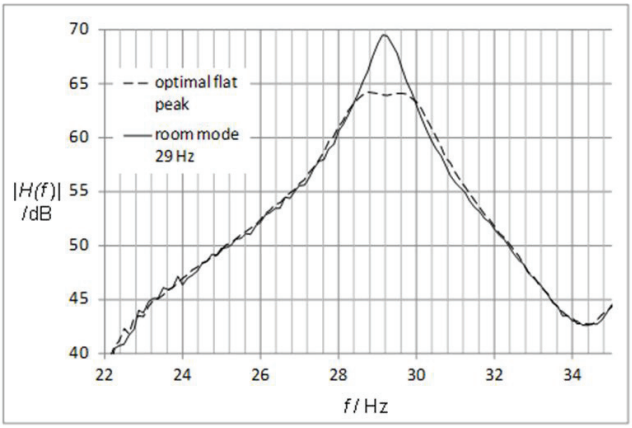

Abbildung 4: Optimierter Frequenzgang im Bereich der Grundmode.

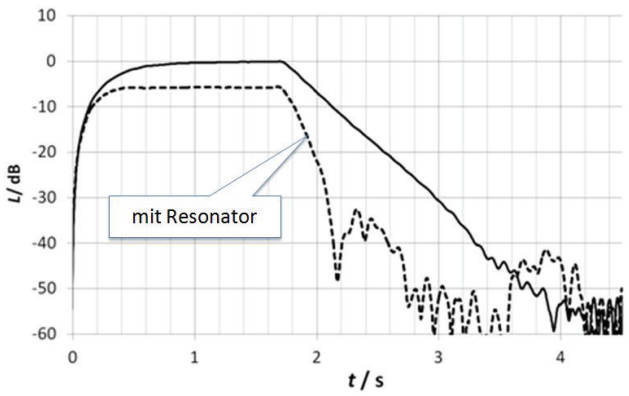

Abbildung 5: Optimiertes Ein- und Ausschwingverhalten eines 29,2-Hz-Tonbursts im Regieraum

Darstellung der Klangverbesserung anhand einer musikalischen Tonfolge

Die Auswirkung der Raumresonanz bei 29,2 Hz auf die Wiedergabe einer chromatischen Tonfolge wird am folgenden Beispiel verdeutlicht. Es wurden fünf Tonbursts mit jeweils 100 cent Tonhöhenstufen über einen Lautsprecher eingespielt. Die Tonhöhen entsprechen dem in Abbildung 6 im oberen Teil wiedergegebenen Notenbeispiel. Der mittlere Ton entspricht der Raumresonanzfrequenz von 29,2 Hz. Die Notation ist der Übersichtlichkeit halber zwei Oktaven höher angegeben. Praktisch kann man sich diese Tonfolge auf tiefen Orgelpfeifen gespielt vorstellen. Dargestellt werden die Pegel der Grundtöne entsprechend Abbildung 5.

Die Pegelverläufe im oberen Teil der Abbildung zeigen deutlich die Verfälschung der Ein- und Ausschwingvorgänge. Hier wird auch deutlich, wie Töne unter- und oberhalb der Raumresonanz durch Schwebungsvorgänge verfälscht werden.

In der unteren Pegeldarstellung bei Einsatz des optimierten Resonators werden gleichzeitig zwei Verbesserungen der Klangqualität deutlich:

1. Die Pegelstufen der chromatischen Tonschritte sind durch den Resonator deutlich verringert worden (vgl. auch Abb.4)
2. Die Ein- und Ausschwingvorgänge sind nicht nur bei allen fünf Tönen verkürzt worden, sondern zeigen wesentlich geringeres Schwebungsverhalten.

Diese Klangverbesserung konnte auch subjektiv im Hörvergleich bestätigt werden.

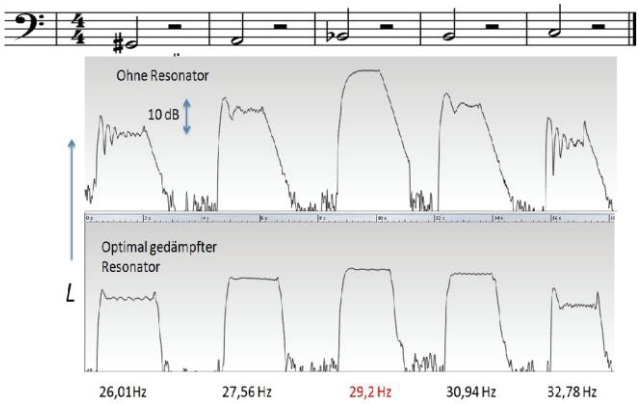

Abbildung 6: Vergleich einer chromatischen Tonfolge ohne und mit optimiertem Resonator im Regieraum

Zusammenfassung

Am Beispiel eines Tonregieraums konnte gezeigt werden, dass eine Raumresonanz von 29,2 Hz die Tonwiedergabe in der Umgebung der Resonanzfrequenz erheblich beeinträchtigt. Der Einsatz eines abgestimmten Resonators, dessen Dämpfung optimiert wurde, ermöglicht eine spürbare Verbesserung der Klangqualität, die sich sowohl im Amplitudenfrequenzgang als auch in den Ein- und Ausschwingvorgängen bemerkbar macht.

Literatur

[1] Bork, I., Klaus, J.: Damping of Modes in Small Rooms, Fortschritte der Akustik DAGA 2013, Meran

[2] Bork, I.: Schallfeldanalysen in kleinen Räumen, Fortschritte der Akustik DAGA 2014, Oldenburg