

Schallfeldanalysen in kleinen Räumen

Ingolf Bork

Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, E-Mail: Ingolf.Bork@ptb.de

Einleitung

Lärm wird in kleinen Räumen deshalb als besonders unangenehm empfunden, weil durch Raumresonanzen einzelne spektrale Schallkomponenten selektiv verstärkt werden. Obwohl dieser Zusammenhang seit langem bekannt ist, waren bisher keine Maßnahmen verfügbar, mit denen gezielt einzelne Raumresonanzen in ihrer Wirkung beeinflusst werden können. Über den Einsatz von Helmholtzresonatoren und die drei Möglichkeiten der Optimierung wurde bereits auf der letzten DAGA berichtet [1]. Hier soll an einem Beispiel gezeigt werden, dass durch geeignete Einstellung der Resonatorämpfung, d.h. dessen Resonanzgüte, nicht nur der Schalldruckpegel im Raum verringert werden kann, sondern dass auch das Ein- und Ausschwingverhalten von tieffrequenten Schallsignalen optimiert werden kann [2].

Messobjekt

In einem Treppenhaus wurde ein unangenehm langes exponentielles Nachklingen von $T_{60} = 3,8$ s einer Raumresonanz bei 38,5 Hz festgestellt, das durch Schließen der Erdgeschossstür impulsartig angeregt wurde. Die Raumübertragungsfunktion zeigt bei der kritischen Frequenz eine deutliche Resonanzspitze (Abb. 1).

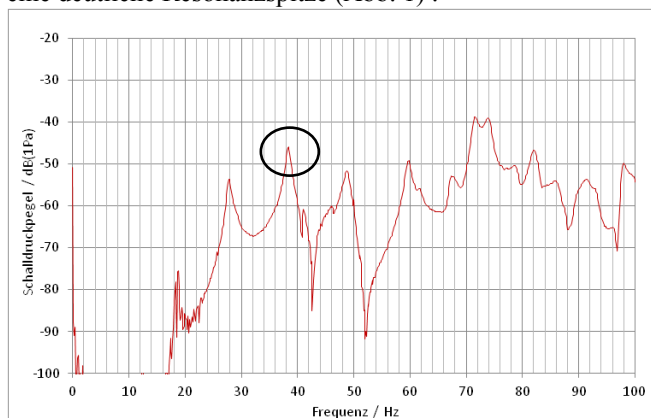


Abbildung 1: Raumübertragungsfunktion im Treppenhaus. Für Schallsignale wirkt diese wie ein Filter.

Schallfeld bei 38,5 Hz

Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung von Resonatoren ist die Kenntnis der Schalldruckverteilung bei den zu bedämpfenden Raummoden. Diese kann einerseits durch Messung bestimmt werden, andererseits durch Berechnung mit FEM-Programmen. In Abb. 2 ist die berechnete Schalldruckverteilung der Raummode von 38,5 Hz dargestellt, die auch durch Stichprobenmessungen bestätigt werden konnte. Die Farbe kennzeichnet dabei sowohl die Schalldruckamplitude als auch das Vorzeichen. So erkennt man deutlich, dass diese Mode sich nur im unteren Teil des Treppenhauses ausbildet und dort in drei Bereichen, die durch Knotenflächen begrenzt werden, mit unterschiedlichem Vorzeichen erscheint. Die Anregung durch die Tür

erfolgt in einem Schalldruckmaximum und ist dadurch gegenüber anderen Raummoden besonders stark ausgeprägt.

Die dämpfende Wirkung eines Resonators ist ebenfalls dort am stärksten, wo der Schalldruck maximale Werte annimmt. Daher wurde der Resonator ($V = 400$ l) unter dem Treppenabsatz aufgestellt, wo er auch am wenigsten auffällt (vgl. Foto Abb.3).

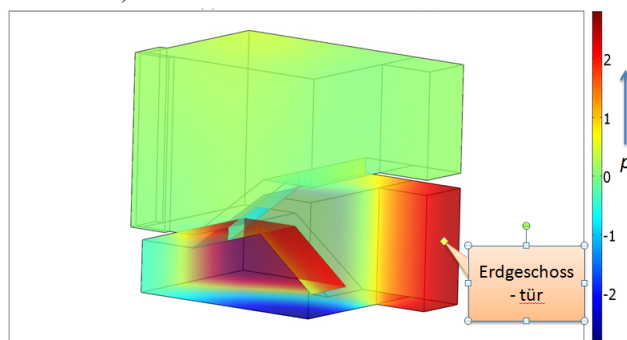


Abbildung 2: Schalldruckverteilung in einem Treppenhaus bei einer Raumresonanz von 38,5 Hz (FEM-Berechnung)



Abbildung 3: 400 l-Resonator im Treppenhaus

Optimierung des transienten Verhaltens von Tonbursts

Zur Untersuchung des Ein- und Ausschwingverhalten der betrachteten Raummode wurde über einen Lautsprecher im Bereich der Tür ein Tonburst von 1,3 s Dauer abgestrahlt. Der auf die Resonanzfrequenz von 38,5 Hz abgestimmte Resonator wurde nun mit Hilfe einer speziellen Abstimmvorrichtung (vgl. Abb.4) auf minimale Abklingzeit des Schalldruckpegelverlaufs optimiert. Dabei stellte sich heraus, dass selbst bei einer Integrationszeitkonstante von

$\tau = 50$ ms Details der Zeitfunktion durch den Mittelungsvorgang verloren gehen (Abb.5).



Abbildung 4: Abstimmmechanismus für Frequenz (obere Platte) und Dämpfung (Holzring mit Stoffbespannung)

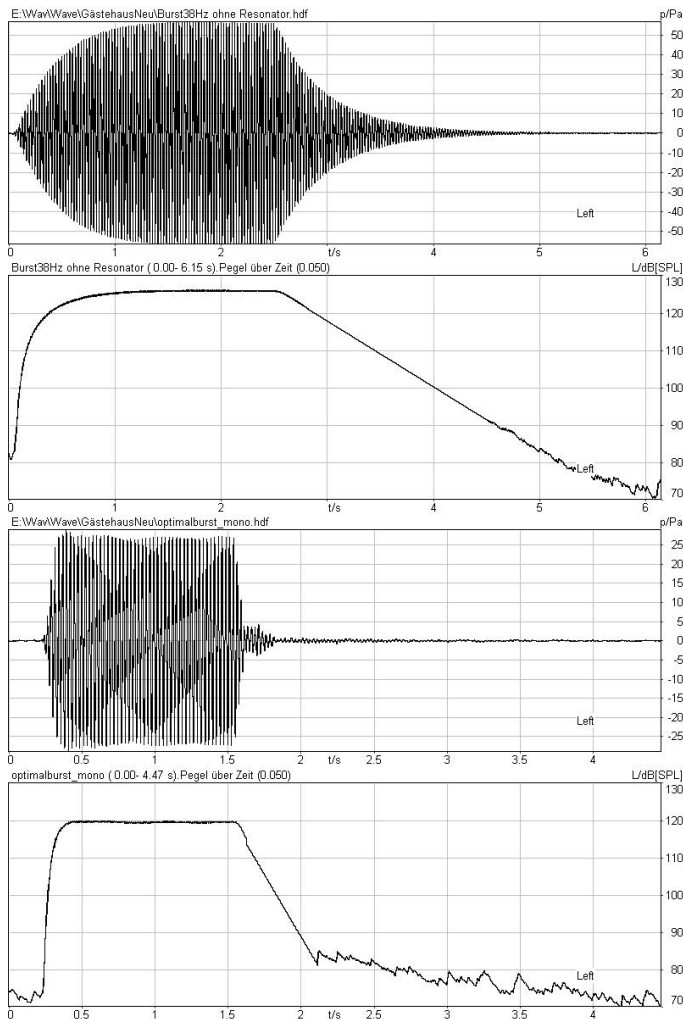


Abbildung 5: Tonburst im Treppenhaus ohne (oben) und mit Resonator, jeweils Zeitfunktion und Pegelverlauf mit Zeitkonstante 50 ms.

Deshalb wurde zur Beobachtung des erzielten Abklingvorgangs die Einhüllende des Schalldrucksignals mit Hilfe der Hilbert-Transformation gebildet. Hierfür wurde der FFT-Analysator Ono Sokki CF-7200A eingesetzt.

Die Abbildungen 5 und 6 zeigen deutlich, dass nicht nur der Abklingvorgang auf ein Minimum verkürzt werden konnte, sondern dass auch der Einschwingvorgang

wesentlich schneller erfolgt als ohne Resonator (Abb.5 oben).

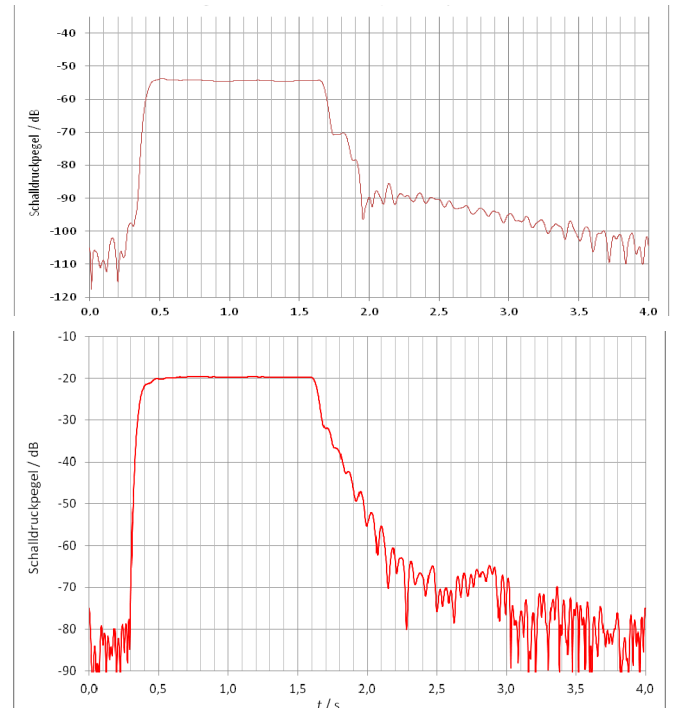


Abbildung 6: Darstellung des Pegelverlaufs mit Hilbert-Transformation, bessere Darstellung des noch nicht optimierten Ausklingvorgangs (oben, vgl. Abb.5 unten), unten: Tonburst bei optimaler Einstellung der Resonator dämpfung

Diskussion

Damit konnte eine weitere Anwendung zur Optimierung der Schallübertragung in kleinen Räumen gezeigt werden, die vor allem für die Musikwiedergabe über Lautsprecher oder reale Musikinstrumente von Interesse ist. Auch wenn der Tonburst ein synthetisches Signal ist, ergeben sich in der Musik bei percussiven Instrumenten oder beim Klavier sehr kurze Einschwingvorgänge, die in kleinen Räumen von Raumresonanzen unnatürlich verlängert werden können.

Zusammenfassung:

Die Filterwirkung von Raummoden auf die Schallübertragung in kleinen Räumen kann durch den Einsatz feinabstimmbarer Helmholtz-Resonatoren sowohl im Frequenzgang als auch im transienten Bereich deutlich verringert werden. Zur praktischen Abstimmung der Resonator dämpfung erweist sich die Hilbert-Transformation als geeignetes messtechnisches Hilfsmittel zur Optimierung der Tonburstübertragung.

Literatur

- [1] Bork, I., Klaus, Jannis: Damping of Modes in Small Rooms, Fortschritte der Akustik DAGA 2013, Meran
- [2] Klaus, J., Bork, I., Graf, M., Ostermeyer, G.-P., On the adjustment of Helmholtz resonators, Applied Acoustics 77 (2014) S.37–41