

Ermittlung von Kopplungs- und Dämpfungsverlustfaktoren eines Zwei-Komponenten-Systems mittels TSEA

Martin Schmelzer

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, Email: martin.schmelzer@ptb.de

Einleitung

In der Akustik liegen häufig gekoppelte Systeme vor. Der aus der Kopplung resultierende Energieaustausch zwischen den Teilsystemen verfälscht dann Messungen an einzelnen Teilsystemen. Wie können die Dämpfungseigenschaften der einzelnen Teilsysteme dennoch zugleich am Gesamtsystem gemessen werden? Frühere Untersuchungen [1, 2] wurden hier fortgesetzt.

Der Messaufbau

Im schiefwinkligen Hallraum der PTB wurde eine gerahmte Sperrholzplatte aufgehängt. Das Luftvolumen wurde mit Lautsprechern auf drei Positionen angeregt, die Platte mit einem Shaker an ebenfalls drei Positionen. Die Systemenergien wurden an jeweils fünf Positionen gemessen: im Luftvolumen mit 1/2"-Mikrofonen, auf der Platte mit Beschleunigungsaufnehmern. Gemessen wurde mit der Methode des abgeschalteten Rauschens. Grenzen des Messverfahrens waren in [2] diskutiert worden.

Die Identifikation mittels TSEA

Das zu untersuchende System wird bei der statistischen Energieanalyse (SEA) [3] in hier zwei Teilsysteme zerlegt: das Luftvolumen des Hallraums und die Platte. Die Dämpfungsleistungen der Teilsysteme werden mit den Dämpfungsverlustfaktoren η_{11} und η_{22} berechnet, die zwischen den Teilsystemen ausgetauschten Energien mit den Kopplungsverlustfaktoren η_{12} und η_{21} .

In [2] war das stationäre Verfahren der "Power Injection Method" angewendet worden, das auf [4] zurückgeht und in der SEA verbreitet ist. Hier wird die Methode mit transienter SEA (TSEA) genutzt. Auch dabei regt man nacheinander jedes der hier zwei Teilsysteme separat an. In allen Teilsystemen wird synchron der zeitliche Energieverlauf gemessen. Es folgt eine Optimierungsschleife: Darin werden Parameter η_{ij} ausgewählt. Mit diesen wird das Differentialgleichungssystem der TSEA gelöst und diese Lösung mit der Messung verglichen. Suchalgorithmen führen so zu Parametern η_{ij} , die die beste Übereinstimmung aus gemessenen und berechneten Energieverläufen bieten.

Für jede Terz gibt es 150 Kombinationen aus: sechs Anregungen, fünf Mikrophon- und fünf Beschleunigungsaufnehmerpositionen. Abbildung 1 zeigt ein Identifikationsergebnis für eine dieser 150 Kombinationen. Dabei wurden zwei Identifikationsdurchläufe durchgeführt: Bei einem wurde für jede der 150 Kombinationen eine individuelle Optimierung durchgeführt. Die roten Abklingkurven wurden mit dieser konkreten individuellen Lösung

berechnet. Bei der anderen Identifikation wurde für alle 150 Kombinationen eine gemeinsame Optimierung ausgeführt. Dies zeigen die schwarzen Kurven.

Gezeigt ist ein Fall der 1 kHz Terz mit Plattenanregung. Der Energiepegel auf der Platte klingt zunächst sehr schnell ab (um ca. 25 dB), bis schließlich ein Energieniveau erreicht ist, ab dem die Energieeinspeisung aus dem Luftvolumen in die Platte dominiert, wodurch der Energiepegel der Platte fortan mit derselben Steigung abklingt wie der Energiepegel des Luftvolumens.

Die Koeffizienten

Die Koeffizienten η_{ij} wurden in den Terzen von 50 Hz bis 20 kHz bestimmt und η_{11} und η_{22} wurden gemäß $T_{rev} = 2,2 / (f \cdot \eta)$ mit der Frequenz f in Nachhallzeiten der separaten Teilsysteme umgerechnet. Zum Vergleich waren gemäß der Standardverfahren die Nachhallzeit des leeren Hallraums [5] und die Körperschallnachhallzeit der Sperrholzplatte [6] separat gemessen worden. Bei der letzteren Messung, die in einer großen Halle durchgeführt wurde, liegt eine Kopplung von der Platte in das umgebende Luftvolumen vor. Die Rückwirkung ist dagegen hinreichend gering. Vom Standardverfahren, das den Gesamtverlustfaktor einschließlich Abstrahlungsdämpfung ermittelt, werden daher kleinere Nachhallzeit erwartet als vom Identifikationsverfahren – zumindest oberhalb der Koinzidenzgrenze der Platte, die bei ca. 2,5 kHz liegt. Darum wurde das Standardverfahren außerdem mit dem Gesamtverlustfaktor der Platte $\eta_{2,total} = \eta_{22} + \eta_{21}$ aus dem Identifikationsverfahren verglichen.

In Abbildung 2 sind die Nachhallzeiten des Hallraums aus η_{11} , in Abbildung 3 (obere Kurvenschar) die Körperschallnachhallzeiten der Platte aus η_{22} logarithmisch (0 dB bei 1 s) dargestellt. Die Kurven "Optimum TSEA" zeigen die Lösungen des Identifikationsdurchlaufs mit gemeinsamer Berücksichtigung aller 150 Kombinationen. Die Kurven "Mittel TSEA" zeigen den Mittelwert der 150 individuell identifizierten Lösungen. Die Kurven "SEA" zitieren die Ergebnisse des stationären Messverfahrens aus [2]. Man erkennt eine gute Übereinstimmung zwischen den Kurven der Identifikation und denen der Standardmessverfahren bis zur 2 kHz Terz, darüber liegen leichte Unterschiede vor. Auf der Platte liefert die TSEA ab der Koinzidenz – wie zuvor diskutiert – eine höhere Nachhallzeit als das Standardverfahren. Der Vergleich mit dem Gesamtverlustfaktor $\eta_{2,total}$ zeigt dann über den gesamten Frequenzbereich eine gute Übereinstimmung, s. Abbildung 3 (untere Kurvenschar).

Eine Überprüfung der Ergebnisse der Kopplung von der Platte in das Luftvolumen kann über eine Umrechnung

von η_{21} ins Abstrahlmaß L_σ erfolgen: Oberhalb der Koinzidenzfrequenz sollte ein Wert von 0 dB vorliegen. Abbildung 4 zeigt, dass dies erst bei klar höheren Frequenzen erreicht wird. Dort liegt dann für die transienten Verfahren angesichts einer leichten Überhöhung eine passable Übereinstimmung vor. Der Wert des stationären Verfahrens steigt zu hoch.

Zusammenfassung

Mit der transienten SEA wurden Nachhallkurven mit Abschnitten unterschiedlicher Steigung ausgewertet und so die Verlustfaktoren eines Zwei-Komponenten-Systems identifiziert. Die Dämpfung zeigt eine gute Übereinstimmung mit den Standardmessverfahren. Die Kopplung liefert prinzipiell den theoretisch erwarteten Verlauf.

Literatur

- [1] C. Kling, "Investigation into Damping in Building Acoustics by Use of Downscaled Models", Diss. RWTH Aachen, 2008
- [2] M. Schmelzer, "Ermittlung von Kopplungs- und Dämpfungsverlustfaktoren eines SEA-Systems mit der Power Injection Method", Fortschritte der Akustik – DAGA 2010, Berlin, pp. 763–764
- [3] R.H. Lyon and R.G. deJong, "Theory and Application of Statistical Energy Analysis", Butterworth-Heinemann, Boston, 2nd ed., 1995
- [4] D.A. Bies and S. Hamid, "In Situ Determination of Loss and Coupling Loss Factors by the Power Injection Method", J. Sound and Vibration, vol. 70, no. 2, 1980, pp. 187–204
- [5] DIN EN ISO 354, "Akustik – Messung der Schallabsorption in Hallräumen", 2003
- [6] DIN EN ISO 10848-1, "Akustik – Messung der Flankenübertragung von Luftschall und Trittschall zwischen benachbarten Räumen in Prüfständen – Teil 1: Rahmendokument", 2006

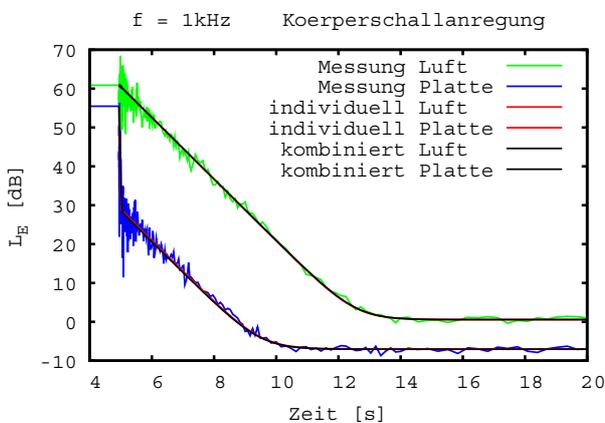


Abbildung 1: Beispiel eines Identifikationsergebnisses; verglichen werden die Messkurven im Luftvolumen (grün) und auf der Platte (blau) mit den Ergebniskurven der individuellen (rot) und der gemeinsamen (schwarz) Identifikation

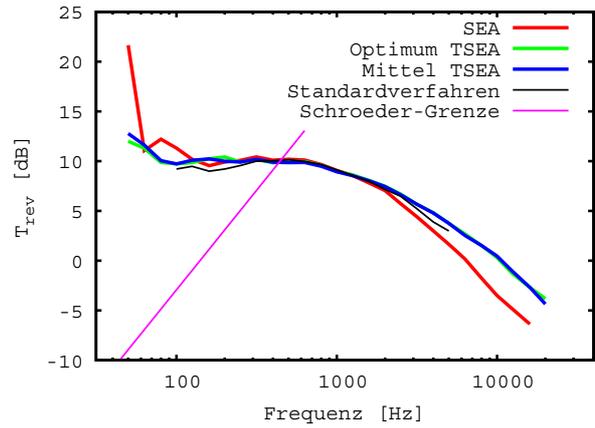


Abbildung 2: Vergleich der Nachhallzeiten im Hallraum: nach stationärer Methode gemäß [2] (SEA), nach transienter Methode mit beiden Verfahren (Optimum TSEA) und (Mittel TSEA) und nach dem Standardverfahren [5]; dazu die maximal messbare Nachhallzeit (Schröder-Grenze)

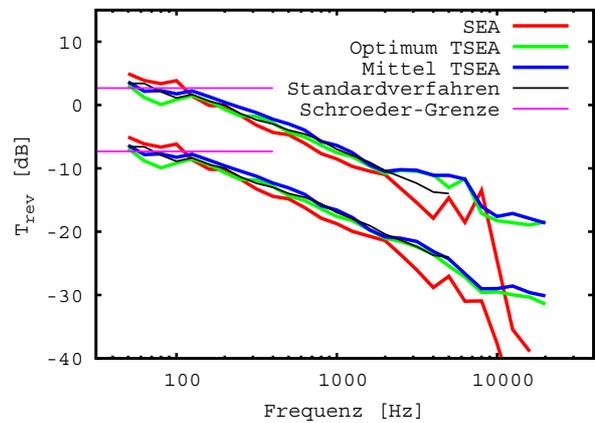


Abbildung 3: Vergleich der Körperschallnachhallzeiten auf der Platte: nach stationärer Methode gemäß [2] (SEA), nach transienter Methode mit beiden Verfahren (Optimum TSEA) und (Mittel TSEA) und nach dem Standardverfahren [6]; dazu die maximal messbare Nachhallzeit (Schröder-Grenze); obere Kurvenschar: η_{22} , darunter (-10 dB Versatz): $\eta_{2,total}$

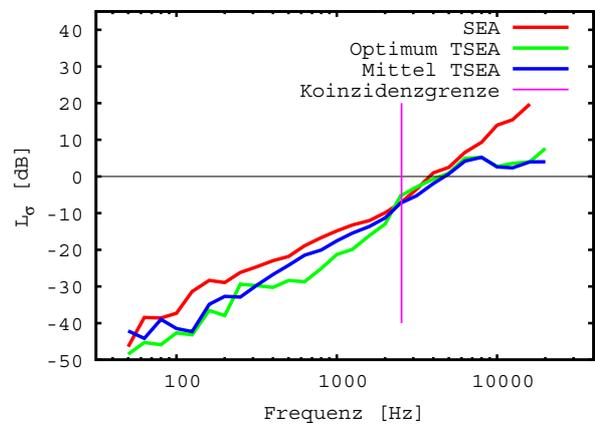


Abbildung 4: Ins Abstrahlmaß L_σ umgerechneter Kopplungsverlustfaktor η_{21} : nach stationärer Methode gemäß [2] (SEA), nach transienter Methode mit beiden Verfahren (Optimum TSEA) und (Mittel TSEA); dazu die Koinzidenzgrenzfrequenz und eine Hilfslinie bei 0 dB