

Anmerkungen zur Messung von Körperschall-Nachhallzeiten und Strukturimpedanzen in der Bauakustik

Heinrich Bietz¹, Volker Wittstock¹

¹ Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig

heinrich.bietz@ptb.de

Einleitung

In der bauakustischen Messtechnik spielen die Bestimmung von Körperschall-Nachhallzeiten bzw. des daraus resultierenden Verlustfaktors sowie die Messung der mechanischen Impedanz von Strukturen eine zunehmend wichtige Rolle. In der PTB Braunschweig wurden in letzter Zeit einige weiterführende Untersuchungen durchgeführt, um die bei der Anwendung dieser Messverfahren auftretenden Fragestellungen näher zu erörtern.

Messung der Körperschall-Nachhallzeit

Der Gesamtverlustfaktor eines Bauteils wird üblicherweise aus der gemessenen Körperschall-Nachhallzeit ermittelt. Die Messung erfolgt analog zum Luftschall-Verfahren, wobei allerdings im Körperschall bevorzugt das Impulsverfahren eingesetzt wird, da mit abgeschaltetem Rauschen keine ausreichende Dynamik zu erzielen ist. Die Impulsantwort kann hierbei mittels Anregung durch einen Shaker und Korrelationsmesstechnik (MLS, Sweep) oder durch Anregung mit einem Hammer ermittelt werden. Die Hammeranregung ist hinsichtlich des Messaufwandes vorteilhafter, allerdings hat sich in der Vergangenheit bereits gezeigt, dass mit dieser Art der Anregung tendenziell höhere Verlustfaktoren (also kürzere Nachhallzeiten) gemessen werden¹², und dass es eine Abhängigkeit zwischen anregender Kraft und gemessenem Verlustfaktor gibt. In der PTB wurden zu dieser Problematik weitere Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse hier vorgestellt werden.

Durchgeführte Messungen

Bei den in ¹ und ² untersuchten Strukturen handelte es sich um eine 10 cm starke Gipsbohlenwand bzw. eine 24 cm starke Kalksandsteinwand. Da diese Bauteile bedingt durch Inhomogenität und geringe Modendichte problematisch sind, wurden zunächst Messungen an einer frei aufgehängten, 12,5 mm starken Gipskartonplatte durchgeführt. Die Anregung erfolgte mittels eines mit einem MLS-Signal gespeisten Shakers bzw. eines Modalhammers, wobei die eingeleitete Kraft in beiden Fällen mit erfasst wurde. Es wurde auch untersucht, inwiefern die Ankopplung eines Shakers an diese relativ leichte Struktur den Verlustfaktor beeinflusst. Als weitere Messobjekte dienten eine 11,5 cm starke KS-Wand sowie eine ca. 16 cm starke Stahlbetondecke. In den beiden letztgenannten Fällen wurde die mit dem Modalhammer ausgeübte Anregungskraft in drei Stufen variiert, wobei sich die untere Grenze durch die erforderliche Messdynamik und die obere Grenze durch die Kenndaten des Modalhammers ($F_{\max}=5$ kN) ergibt. Bei der GK-Platte wurde diese Variation nicht angewendet, da zu hohe Kräfte hier zu einer Beschädigung des Messobjektes führen.

Ergebnisse der Messungen

Bild 1 zeigt für die untersuchten Messobjekte die Differenz des gemessenen Verlustfaktors zwischen Hammermessung und Shakermessung. In den Fällen, bei denen die Anregekraft variiert wurde, entspricht das Ergebnis einer mittleren Anregung. Die Differenz ist als logarithmische Größe dargestellt, um die Auswirkung auf

eine evtl. anzuwendende Korrektur des Schalldämm-Maßes des entsprechenden Bauteils darzustellen.

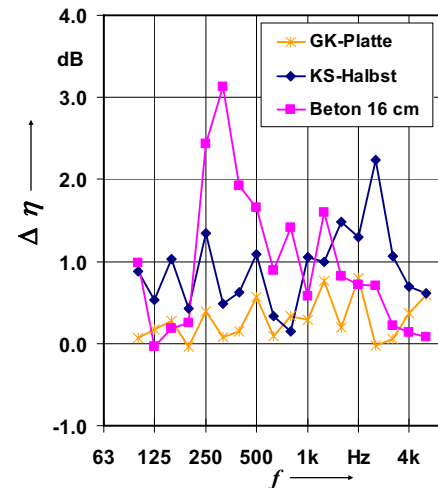


Bild 1: Differenz Hammermessung zu Shakermessung bei verschiedenen Bauteilen

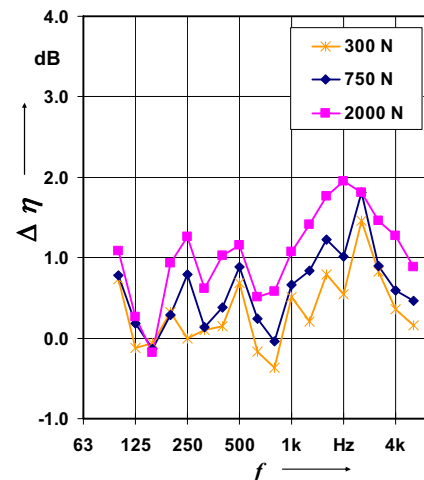


Bild 2: Differenz Hammer / Shaker bei verschiedenen starken Hammerschlägen, halbsteinige KS-Wand

Während bei der GK-Platte die Differenz durchweg < 1 dB ist, zeigen die beiden anderen Bauteile teils erhebliche, stets positive Abweichungen. Hierbei ist bemerkenswert, dass das schwerste Bauteil auch die größten Abweichungen zeigt, was wiederum auf einen Zusammenhang mit der anregenden Kraft hindeutet. Dieses soll in Bild 2 noch einmal verdeutlicht werden. Hier ist für die halbsteinige KS-Wand die Abweichung Hammer/Shaker in Abhängigkeit von der anregenden Kraft dargestellt. Es ist erkennbar, dass der gemessene Verlustfaktor mit zunehmender Kraft steigt. Betrachtet man die Spektren der gemessenen Impulsantworten, so ist auch hier, wie schon in ² beschrieben, bei einzelnen Moden mit zunehmender Kraft eine zunehmende Bedämpfung zu beobachten. Allerdings gibt es hierfür immer noch keine Erklärung. Die An-

nahme, dass der Hammer bei einem stärkeren Schlag länger Kontakt zur Oberfläche hat, konnte nicht bestätigt werden. Bei der Shakermessung werden im Vergleich zur Hammeranregung Kräfte $< 10\text{ N}$ in die Struktur eingeleitet, welche von der Größenordnung her wesentlich besser der Anregung des Bauteils durch ein Luftschallfeld bei einer bauakustischen Messung entsprechen. In realen Nutzungssituationen sind die einwirkenden Kräfte oft noch wesentlich niedriger. Daher kann zunächst davon ausgegangen werden, dass die Shakermessung zumindest bei schweren Bauteilen eher den gesuchten Verlustfaktor liefert.

Messung der Strukturimpedanz

Die Punktimpedanz einer gegebenen Struktur ist definiert als das Verhältnis von eingeleiteter Kraft zur erzeugten Schnelle am Anregungspunkt. In der Praxis erfolgt die Messung entweder mit einem Impedanzmesskopf oder mit einem Kraftaufnehmer und einem nahe daneben angebrachten Beschleunigungsaufnehmer. Beide Verfahren haben Vor- und Nachteile, die nachfolgend näher betrachtet werden. Weiterhin wird auf die Unterschiede bei verschiedener Bearbeitung der Eingangssignale eingegangen.

Messung mit Impedanzmesskopf

Bei einem Impedanzmesskopf sind ein Kraftaufnehmer und ein Beschleunigungsaufnehmer übereinander in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht, wodurch Kraft und Beschleunigung direkt im Anregungspunkt gemessen werden können. Nachteilig wirkt sich die endliche Federsteife des Kraftaufnehmers aus, da sie bei der Messung großer Impedanzen nicht vernachlässigbar ist. Eine weitere Einschränkung ergibt sich aus der Restmasse zwischen Kraftaufnehmer und angekoppelter Struktur. Diese Einschränkung gilt ebenfalls beim 2-Aufnehmer-Verfahren, hier ist die Restmasse bei üblichen Kraftaufnehmern auch um einiges höher. Bild 3 zeigt die aus diesen Überlegungen resultierenden Einschränkungen für einen Impedanzmesskopf. Zur besseren Beurteilung sind die abgeschätzten Impedanzverläufe einiger Bauteile mit eingezeichnet.

2-Aufnehmer-Verfahren

Wie aus Bild 3 hervorgeht, ist ein Impedanzkopf nicht für die Messung schwerer Strukturen geeignet. In solchen Fällen wird ein separater Beschleunigungsaufnehmer möglichst nah am Kraftaufnehmer angebracht, was allerdings bei kleinen Wellenlängen zu einem Messfehler führt. Bild 4 zeigt das Ergebnis einer Messung eines schwimmenden Estrichs, bei der unterschiedliche Abstände der Aufnehmer verwendet wurden. Der Verlauf der Kurven zeigt, dass auch bei kleinem Abstand ein nennenswerter Messfehler auftritt.

Signalverarbeitung

Üblicherweise werden Kraft und Beschleunigung schmalbandig gemessen, und erst die daraus errechnete Impedanz wird bei Bedarf als Terzpegel dargestellt. Manchmal werden diese Messungen aber direkt mit einem Echtzeitanalysator durchgeführt, so dass Kraft und Beschleunigung nur als Terzpegel vorliegen. Hier ist problematisch, dass die Phasenbeziehungen zwischen den Eingangsgrößen verloren gehen und der Terzpegel der jeweiligen Messgröße durch tonale Komponenten dominiert sein kann. In wieweit bei der Berechnung der Impedanz Abweichungen auftreten, hängt sehr von der spektralen Struktur der jeweiligen Spektren ab. Insbesondere bei der Messung von Strukturen mit ausgeprägten Eigenfrequenzen konnten bei Vergleichsrechnungen Fehler des Impedanzpegels in der Größenordnung von 5 dB beobachtet werden.

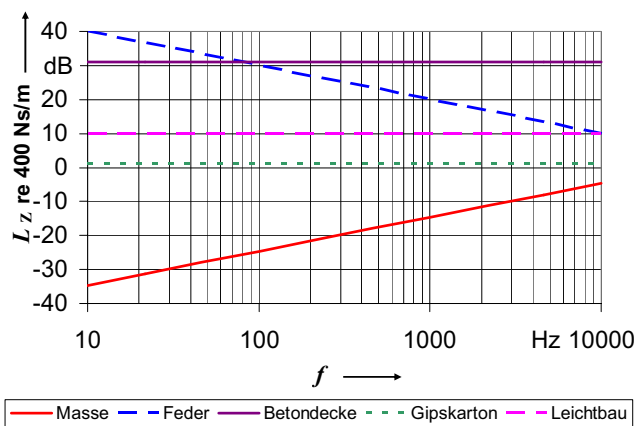


Bild 3: Messbereich eines Impedanzkopfs in Abhängigkeit von der angekoppelten Impedanz

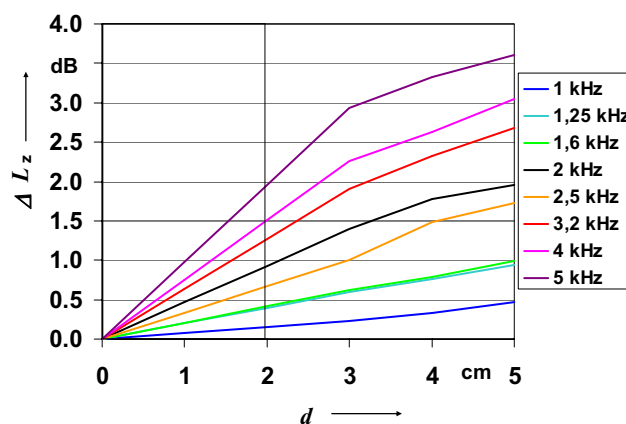


Bild 4: Impedanzpegel in Abhängigkeit von der Distanz Kraftaufnehmer/Beschleunigungsaufnehmer, Extrapolation aus $d = 2\text{ cm}$ bis $d = 5\text{ cm}$

Zusammenfassung

Die durchgeführten Untersuchungen zur Messung der Körperschall-Nachhallzeit haben gezeigt, dass zumindest bei schweren Strukturen die Hammermessung höhere Verlustfaktoren liefert als die Shakermessung, was zunächst als Messfehler betrachtet werden muss. Dafür spricht insbesondere die Beobachtung von Nichtlinearitäten bei großen Kräften. In Zukunft muss noch untersucht werden, welche Mechanismen diese Abweichungen verursachen.

Bei der Messung von Punktimpedanzen mit einem Impedanzkopf ist der zu erfassende Impedanzbereich durch die Eigenschaften des Messkopfes beschränkt. Werden getrennte Aufnehmer verwendet, entsteht durch die unterschiedlichen Messorte ein zusätzlicher Fehler. Bei leichten Messobjekten ist kein systematischer Unterschied zwischen Hammermessung und Shakermessung festzustellen.

¹ Meier, A.: Bestimmung des Gesamtverlustfaktors einer Trennwand im Prüfstand, Addendum zum PTB-Bericht „Schallschutz-Vergleichsmessungen 1997“, 1998

² Bietz, H., Wittstock, V.: Comparison of different methods for the determination of the structure-borne noise reverberation time, Proceedings of the joint congress CFA/DAGA'04 Strasbourg, S. 177-178