

# Die Körperschall-Nachhallzeit $T_s$

In dieser Ausgabe erläutert unser Akustik-Experte Prof. Dr. Ivar Veit in kompakter Form zwei weitere grundlegende Begriffe der Akustik: die Körperschall-Nachhallzeit  $T_s$  und die Stoßstellendämmung bzw. das Stoßstellendämm-Maß  $R_{ij}$ .

In der Raum- und Bauakustik gehört die Nachhallzeit  $T$  zu den wichtigsten Größen zur akustischen, d. h. luftschallmäßigen Beschreibung eines Raumes. In analoger Weise kann man auch das körperschallmäßige Verhalten von Bauteilen durch Angabe ihrer **Körperschall-Nachhallzeit**  $T_s$  beschreiben. Die Nachhallzeit  $T_s$  gibt Auskunft über das Abklingverhalten eines zu Biegeschwingungen angeregten Bauteils. Die Körperschall-Nachhallzeit  $T_s$  kann man sowohl *messtechnisch* als auch *rechnerisch* bestimmen. Das rechnerische Verfahren geht aus vom Verlustfaktor  $\eta$  des Bauteils.

Bei der messtechnischen Bestimmung der Körperschall-Nachhallzeit wird das Bauteil punktuell zu Biegeschwingungen angeregt, z. B. mit einem geeigneten Hämmerchen oder über einen Shaker, während die dabei entstehenden Bauteilschwingungen mit einem Beschleunigungsaufnehmer aufgenommen werden. Praktisch gemessen und ausgewertet wird dabei das zeitliche Abklingen des **Schnellepegels**  $L_v = 20 \cdot \lg v/v_0$  [in dB] an der Bauteiloberfläche. Die **Schwingschnelle**  $v$  erhält man durch Integration der gemessenen Wechsel-Beschleunigung  $a$  nach der Zeit. Die Bezugsschnelle beträgt  $v_0 = 10^{-9}$  m/s, im Gegensatz zur Akustik, wo die Bezugsschnelle für den Schallschnellepegel  $5 \cdot 10^{-8}$  m/s (!) beträgt.

Die Feinstruktur der monoton abklingenden Nachhallkurve (siehe Abbildung) zeigt im Allgemeinen stochastisch bedingte,

kleinere Unterschiede von Messung zu Messung, so dass eine mehr oder weniger große Anzahl von Wiederholungsmessungen mit anschließender Mittelung erforderlich sind. Um das zu umgehen, verwendet man in der Praxis noch ein anderes Verfahren. Man misst dabei die Impulsantwort und gewinnt durch anschließende Rückwärts-Integration unmittelbar die Nachhallkurve ohne irgendwelche Mittelungen [3].

Die rechnerische Bestimmung der Körperschall-Nachhallzeit basiert auf der Tatsache, dass die in das Bauteil eingeleitete Schwingungsenergie exponentiell abnimmt. Nach dem Ende einer Schwingungsanregung, z. B. nach dem Abschalten der Quelle (Generator und Shaker), beobachtet man in der logarithmischen Pegeldarstellung eine lineare Pegelabnahme. Die Zeit, die nach dem Ende der Anregung vergeht, bis der Energieinhalt auf ein Millionstel des Anfangswertes, d. h. um 60 dB, abgesunken ist (siehe Abbildung), ergibt die Körperschall-Nachhallzeit  $T_s$ :

$$\frac{e^{-\eta \omega t}}{e^{-\eta \omega T_s}} = \frac{1}{1 \cdot 10^{-6}} \quad (1)$$

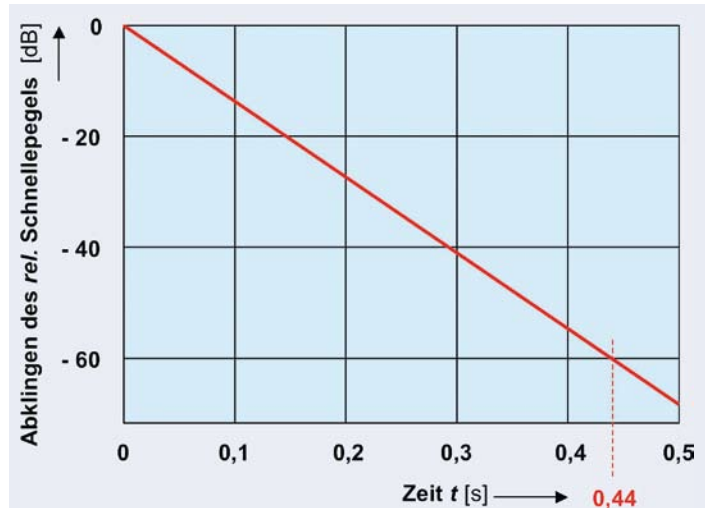
bzw.

$$\eta = \frac{\ln(1 \cdot 10^6)}{\omega \cdot T_s} = \frac{\ln(1 \cdot 10^6)}{2\pi f \cdot T_s} \quad (2)$$

oder

$$\eta = \frac{2,2}{f \cdot T_s} \quad (3)$$

Darin sind  $\eta$  der **Gesamt-Verlustfaktor**,  $\omega$  die Kreisfrequenz und  $f$  die Frequenz [in Hz]. Das bedeutet, dass zwischen



Grafische Ermittlung der Körperschall-Nachhallzeit  $T_s$  (bei  $-60$  dB) aus dem monotonen Abklingen des Schnellepegels  $L_v = 20 \cdot \lg v/v_0$  auf einem punktuell, z. B. mit einem geeigneten Hämmerchen, zu Biegeschwingungen angeregten Bauteil. Gemessen wird zunächst die Wechsel-Beschleunigung  $a$ , deren Integration die Schwingschnelle  $v = \int a dt$  ergibt.

dem Verlustfaktor  $\eta$  und der Körperschall-Nachhallzeit  $T_s$  ein direkter Zusammenhang besteht [1, 2, 3, 4]. Mit anderen Worten: Wenn der Verlustfaktor bekannt ist, kennt man damit auch die Körperschall-Nachhallzeit. Des Weiteren zeigt die Gleichung (3), dass beide Größen *frequenzabhängig* sind ( $\sim 1/f$ ). Bei tiefen Frequenzen, z. B. bei 100 Hz, liegt der Verlustfaktor  $\eta$  in der Praxis im Allgemeinen bei etwa 0,05. Die entsprechende Körperschall-Nachhallzeit  $T_s$  errechnet sich somit nach Gleichung (3) zu etwa 0,44 s. Bei hohen Frequenzen dagegen sind die Körperschall-Nachhallzeiten  $T_s$  deutlich niedriger.

## Material und Frequenz sind entscheidend für $T_s$

Der Gesamt-Verlustfaktor  $\eta$  ist außerdem von einer ganzen Reihe anderer Faktoren abhängig, unter anderem auch vom Körperschall-Absorptionsgrad  $\alpha_K$  für Biegewellen [1], so dass neben der Frequenz auch die innere Baumaterialdämpfung sowie Abstrahlverluste, insbesondere an den Bauteilrändern, Einfluss nehmen auf die Höhe der Nachhallzeit. – Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Körperschall-Nachhallzeiten

$T_s$  von Bauteilen, je nach Material und Frequenz, üblicherweise zwischen mehreren Millisekunden und einigen Sekunden liegen.

Die Art und Weise sowie die Beschaffenheit des Anschlusses von flankierenden Bauteilen an das eigentliche Trennbauteil, d. h. die **Stoßstelle** zwischen zwei Bauteilen, beeinflusst nicht unerheblich das resultierend erreichte bewertete Schalldämm-Maß  $R'_{w}$ . An Anschlussstellen zwischen Bauteilen kann eine Energieableitung erfolgen, die die Körperschallübertragung bzw. Körperschalldämmung in baulichen Strukturen mitbestimmt. Aus entsprechenden Untersuchungen an Querschnittsprüngen, Ecken, Kreuzungen und T-förmigen Verzweigungen liegen sehr genaue Kenntnisse über die dort auftretenden Körperschalldämmungen vor [5].

Wenn eine massive Trennwand mit flankierenden Bauteilen biegesteif verbunden ist, kann durch eine dadurch hervorgerufene **Stoßstellendämmung** die resultierende Schalldämmung höher werden. Die Stoßstellendämmung hat somit eine positive Auswirkung auf die Gesamtschalldämmung. Anders verhält es sich dagegen, wenn keine biegesteife Anbindung vorliegt. Hier spielen zwar die Flankenüber-

tragungswege  $F_d$  und  $D_f$  keine nennenswerte Rolle, dennoch ist in diesem Falle die übertragene Schallenergie größer als bei einer biegesteifen Verbindung. Das Ausmaß der Stoßstellendämmung wird in der Bauakustik quantitativ durch Angabe des so genannten **Stoßstellendämm-Maßes  $K_{ij}$**  [1] beschrieben:

$$K_{ij} = \frac{D_{v,ij} + D_{v,ji}}{2} + 10 \cdot \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i \cdot a_j}} \quad (\text{m: dB}) \quad (4)$$

Es besteht aus den **richtungsgemittelten Schnellepegeldifferenzen  $D_{v,ij}$**  und  $D_{v,ji}$  [in dB] an der Stoßstelle zwischen zwei Bauteilen  $i$  und  $j$  bei Anregung des Bauteils  $i$  und umgekehrt, zwischen den Bauteilen  $j$  und  $i$  bei Anregung des Bauteils  $j$  (= 1. Summand in der Gleichung (4)). Ferner erfolgt noch eine Normierung auf die gemeinsame Länge der Stoßstelle  $l_{ij}$  [in m] zwischen den beiden Bauteilen  $i$  und  $j$ , dividiert durch das geometrische Mittel aus den beiden **äquivalenten Absorptionslängen  $a_i$**  und  $a_j$  der Bauteile  $i$  und  $j$  [in m] (= 2. Summand in der Gleichung (4)). Die äquivalente Absorptionslänge errechnet sich aus der Beziehung

$$a = \frac{2 \cdot 2 \cdot c^2 \cdot N \cdot \sqrt{l_{ij}}}{c \cdot T} \quad (5)$$

$S$  = Fläche von Bauteil  $i$  oder  $j$  [in  $m^2$ ]  
 $c_0$  = Schallgeschwindigkeit in Luft (= 343 m/s), siehe auch [4]  
 $T_s$  = Körperschall-Nachhallzeit von Bauteil  $i$  oder  $j$  [siehe Gl. (3)]  
 $f_{ref}$  = Bezugsfrequenz (= 1000 Hz)  
 $f$  = Bandmittenfrequenz (die Schalldämmung zwischen Räumen wird in Frequenzbändern (Terz- oder Oktavbänder) ermittelt

Abschließend stellt sich nur noch die Frage: Wie geht die Stoßstellendämmung formelmäßig in das **resultierende, bewertete Schalldämm-Maß  $R'_w$**  ein? Dazu folgende Überlegung: Bedenkt man, dass jedes Trennbauteil mit vier Bauteilen (zwei flankierende Wände, Decke und Fußboden) verbunden ist, dann ergeben sich insgesamt  $4 \cdot (D_f + F_f + F_d) = 12$  Flankenwege, zuzüglich dem direkten Übertragungsweg  $D_d$ . Für jeden einzelnen Flankenübertragungsweg beträgt das bewertete Schalldämm-Maß

$$R_{i,w} = \frac{R_{i,w} + R_{i,w} + K_{ij} + 10 \cdot \lg \frac{S}{l_i \cdot l_j}}{2} \quad (6)$$

$R_{i,w}$  = bewertetes Dämm-Maß des Bauteils  $i$  [in dB]

$R_{j,w}$  = bewertetes Dämm-Maß des Bauteils  $j$  [in dB]

$S$  = Fläche des trennenden Bauteils [in  $m^2$ ]

$l_i$  = Länge der Verbindung zwischen den beiden Bauteile [in m]

$l_j$  = Bezugslänge der Verbindung = 1 m

Die Beziehung für das **resultierende, bewertete Schalldämm-Maß  $R'_w$** , die *auch* die Stoßstellendämmung enthält, ergibt sich somit a) aus dem bewerteten Schalldämm-Maß  $R_{Da,w}$  für die direkte Übertragung und b) aus den bewerteten Schalldämm-Maßen für die Flankenübertragungswege gemäß Gleichung (6) zu:

$$R'_w = -10 \cdot \lg \left( 10^{R_{Da,w}/10} + \sum_{i=1}^n 10^{R_{i,w}/10} \right) \quad (7)$$

**Literaturhinweise**

- [1] DIN EN 12354-1, „Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften“, Teil 1, Anhang C und E.
- [2] Blessing, S., et.al.: „In-situ Korrektur für Bauteile im Massivbau“, Fortschritte der Akustik, DAGA 2000, Seiten 610 – 611.
- [3] Meier, A.: „Die Bedeutung des Verlustfaktors bei der Bestimmung der Schalldämmung im Prüfstand“, Dissertation RWTH Aachen, 2000.
- [4] Schneider, M, et.al.: „Messung des Stoßstellendämm-Maßes  $K_{ij}$  an Wänden aus Mauerwerk im Labor“, Fortschritte der Akustik, DAGA 2000, Seiten 632 – 633.
- [5] Heckl, M. und J. Nutsch: „Körperschalldämmung und -dämpfung“, in: Taschenbuch der Technischen Akustik, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1975, Seiten 458 – 485.

**Autor**

Prof. Dr.-Ing. Ivar Veit ist Akustiker und Sachverständiger mit Büros in Nauheim (Groß Gerau) und Riga (Lettland). An der FH Wiesbaden/Rüsselsheim hat er einen Lehrauftrag für Akustik.

@ i.veits@t-online.de

Frühere Beiträge unserer Serie „Akustik kompakt“ können Sie auf unserer Website unter der Rubrik „Akustik“ nachlesen.

www.trockenbau-akustik.de

www.trockenbau-akustik.de **Archiv**

- ▶ Körperschalldämmung
- ▶ Nachhallzeit
- ▶ Schalldämmung

