

Innere Verlustfaktoren ausgewählter Leichtbauwerkstoffe und ihre Ermittlung

Bernd Nusser¹, Philipp Meisinger¹, Ulrich Schanda¹

¹ Fachhochschule Rosenheim, 83024 Rosenheim, Deutschland, Email: bernd.nusser@fh-rosenheim.de

Einleitung

Im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens Holzbau der Zukunft wurden für das Teilprojekt 09 „Konstruktionsgrundlagen für den Einsatz von Leichtbauwerkstoffen im Innenausbau“ Messungen zu Verlustfaktoren von Leichtbauplatten durchgeführt. Der Verlustfaktor η setzt sich nach gängigen Vorstellungen gemäß Gleichung 1 additiv zusammen aus den drei Anteilen innere Verluste (η_i), Verluste durch Abstrahlung (η_S) und Verluste durch Energieableitung in angrenzende Bauteile (η_K). Er kann z.B. bestimmt werden durch die Abklingsmethode über die Messung der Körperschallnachhallzeit T gem. Gleichung 2.

$$\eta = \eta_i + \eta_S + \eta_K \quad (1)$$

$$\eta = 2,2 / (f \times T) \quad (2)$$

Messaufbau

Den Messaufbau zeigt Abbildung 1. Die Leichtbauplatten-Probekörper besaßen eine Größe von 1,95 m x 0,95 m. Sie wurden an zwei Schnüren abgehängt, um als Randbedingung dem idealen Fall der frei schwingenden Platte möglichst nahe zu kommen. Der zur Energieeinleitung benötigte Shaker vom Typ B&K 4810 wurde wie die Probekörper abgehängt. Zur Sicherstellung einer momentenfreien Krafteinleitung wurde eine Anregenadel (Stinger) verwendet. Diese wurde auf angeklebte Aluminiumplättchen geschraubt. Die Beschleunigungsaufnehmer wurden mit Klebewachs auf der Platte befestigt. Es wurden zwei Beschleunigungsaufnehmer mit je 2,7 g exkl. Kabel verwendet. Die Messung der Körperschallnachhallzeit erfolgte gemäß den Empfehlungen aus [1] mittels dem MLS-Messfahren. Als Datenerfassungssystem diente ein Echtzeitanalysator vom Typ Norsonic 840. Zur Vermeidung einer Raumerückwirkung auf die Platte erfolgte die Messung in einem nachhallarmen Raum.



Abbildung 1: Schematische Darstellung des Messaufbaus zur Bestimmung des inneren Verlustfaktors von Leichtbauplatten [6].

Anrege- und Messpositionen

Die Positionierung der Anrege- und der zugehörigen Messpunkte erfolgte nach Abbildung 2.

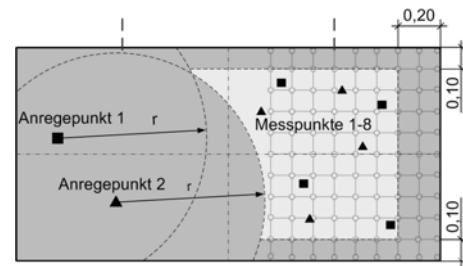


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Anrege- und der zugehörigen Messpositionen bei der Verlustfaktormessung inkl. Halbradius r , den festgelegten Randbereichen und den Messpunkten bei der Rastermessung [6].

Aus einer Vermessung der rechten Plattenhälfte einer 16 mm Spanplatte mit einem Rasterabstand von 10 cm (s. Abb. 2) zeigte sich eine schwache Tendenz zu geringeren gemessenen Verlustfaktoren im Randbereich [6]. Dabei wurde ein Mindestabstand von 0,70 m (max. Halbradius) zwischen Anregepunkt und Messpunkt eingehalten. Die Verlustfaktoren über alle Messpositionen ohne Randbereiche zeigten bei der Rastermessung im mittleren Frequenzbereich eine relative Standardabweichung von ca. $\pm 15\%$. Die Positionen und die Anzahl der Anrege- und der zugehörigen Messpunkte wurden daraufhin für die weiteren Messungen so ausgewählt, dass deren Messmittelwert innerhalb der Standardabweichung der Ergebnisse der Rastermessung lag. Es wurde auf eine möglichst willkürliche und zur Plattenmittellachse nicht symmetrische Verteilung der Messpunkte geachtet. Die relative Abweichung bei Wiederholungsmessungen (2 Messungen an je 2 Platten) betrug etwa $\pm 10\%$.

Ermittlung der Verlustfaktoren

Gemessene Verluste

Bei den hier durchgeführten Untersuchungen ist durch die Wahl der Aufhängung eine Energieableitung in angrenzende Bauteile vernachlässigbar. Dadurch ergibt sich der gemessene Verlustfaktor η_{Mess} nach Gleichung 3 zu:

$$\eta_{\text{Mess}} = \eta_i + \eta_S \quad (3)$$

Um auf den inneren Verlustfaktor zu kommen, wurde der Strahlungsverlustfaktor rechnerisch wie folgt korrigiert.

Korrektur der Strahlungsverluste

Die Dämpfung aufgrund der Schallabstrahlung kann durch den Strahlungsverlustfaktor gem. Gleichung 4 beschrieben werden ([1], [5]).

$$\eta_S = \rho_0 \times c_0 \times \sigma / (\pi \times f \times m') \quad (4)$$

(ρ_0 : Dichte der Luft, m' : flächenbez. Masse der Platte, c_0 : Luftschallgeschwindigkeit, σ : Abstrahlgrad)

Das Abstrahlverhalten einer frei schwingenden Platte lässt sich in drei Frequenzbereiche einteilen ([2], [3]).

- I. Bereich der Dipolabstrahlung ($f < f_D$)

- II. Bereich des akustischen Kurzschlusses ($f_D \leq f < f_c$)
- III. Bereich der vollen Abstrahlung ($f \geq f_c$)

Im Frequenzbereich I unterhalb der Dipolfrequenz f_D verhält sich die Platte wie ein Dipolstrahler [2]. Für die vorliegenden Probekörper liegt f_D bei einer Abstrahlung in den Vollraum bei etwa 185 Hz. Diese Frequenz wurde als die untere Grenze des Auswertebereiches ($f \geq f_D$) verwendet.

Im Frequenzbereich II wurde nach [2] für den Abstrahlgrad einer frei schwingenden Platte σ_{frei} der zweite Term der Näherung von Maidanik ([3] - [5]) gemäß Gleichung 5 verwendet.

$$\sigma_{frei} = U \times \lambda_c / S \times g_2(f/f_c) \quad f_D \leq f < f_c \quad (5)$$

(S: Plattenfläche, U: Plattenumfang, λ_c : Wellenlänge bei der Koinzidenzgrenzfrequenz f_c , $g_2(f/f_c)$: s. [3] - [5])

Auf Grund der Unsicherheit bei der Angabe des Abstrahlgrades im Frequenzbereich III wurde der Auswertebereich nach oben auf $f \leq f_c/2$ beschränkt.

Innere Verluste

Der innere Verlustfaktor η_i ergibt sich damit wie folgt:

$$\eta_i = \eta_{Mess} - \rho_0 \times c_0 \times \sigma_{frei} / (\pi \times f \times m) \quad f_D \leq f \leq f_c/2 \quad (6)$$

Ergebnisse

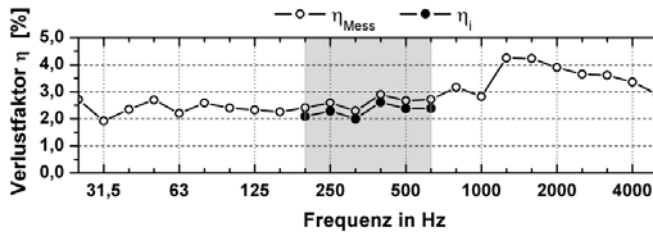


Abbildung 3: Exemplarisch dargestellte Auswertung der gemessenen Verlustfaktoren η_{Mess} im festgelegten Frequenzbereich $f_D \leq f \leq f_c/2$ und des sich nach der Korrektur von Strahlungsverlusten ergebenden inneren Verlustfaktors η_i .

Abbildung 3 zeigt exemplarisch für eine Platte die Auswertung. Der graue hinterlegte Bereich gibt den zur Auswertung herangezogenen Frequenzbereich wieder. Auf Grund der sehr unterschiedlichen Koinzidenzgrenzfrequenzen der untersuchten Platten variiert die obere Grenze dieses Frequenzbereichs. Innerhalb des Auswertebereiches weisen die Verlustfaktoren i.d.R. eine sehr flache Frequenzabhängigkeit auf. Tabelle 1 gibt eine Übersicht der untersuchten Platten. Die vorletzte Spalte gibt den gemessenen Verlustfaktor (Mittelung über alle Anregungs- und Messpunkte und über alle Frequenzen innerhalb des Auswertebereiches) an, die letzte Spalte den inneren Verlustfaktor. In den meisten Fällen spielt die Korrektur der Strahlungsverluste keine große Rolle.

Literatur

- [1] **Meier A.:** Die Bedeutung des Verlustfaktors bei der Bestimmung der Schalldämmung im Prüfstand, Dissertation, Technische Hochschule Aachen, 2000
- [2] **Schirmer W.:** Technischer Lärmschutz, ISBN 3-18-401339-1, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1996
- [3] **Kollmann F. G.:** Maschinenakustik, 2. Auflage, ISBN 3-540-61344-7, Springer-Verlag, Berlin, 2000

Tabelle 1: Kennwerte der untersuchten Plattenwerkstoffe; ¹⁾ Die Luftschallmessungen erfolgten im Türenprüfstand (Prüfkörpergröße 1,98 m x 0,95 m) in Anlehnung an die DIN EN ISO 140-3; ²⁾ aus 1/24 Oktav-Luftschallmessung; ³⁾ aus Terz-Luftschallmessung; ⁴⁾ über Frequenzbereich $f_D \leq f \leq f_c/2$ gemittelt.

Platten-typ	Aufbau	Dicke in mm		Dichte in kg/m³	R _w ¹⁾ in dB	f _c ²⁾ in Hz	gemessener Verlustfaktor η_{Mess} ⁴⁾ [%]	innerer Verlustfaktor η_i ⁴⁾ [%]
		Deck-lage	Ge-samt					
Wabenplatten								
Papier-wabe	Honeycomb Papierwaben-Kern, Zellweite 15mm, FPY-Decklage, roh	4	25	290	26,6	1703	2,9 ± 0,1	2,7 ± 0,1
		4	19	359	27,7	2778	2,7 ± 0,2	2,6 ± 0,2
		3	25	224	24,3	1703	3,1 ± 0,2	2,9 ± 0,2
		3	19	287	25,1	2207	3,0 ± 0,3	2,8 ± 0,3
		8	29	437	30,5	1857	2,6 ± 0,2	2,5 ± 0,2
		4	50	163	25,1	1106	3,1 ± 0,5	2,7 ± 0,5
Kunststoff-wabe	Polypropylen-(rund)waben-Kern, HPL Deckschicht	1,2	29,4	211	23,3	783	6,4 ± 1,6	4,9 ± 1,4
		1,2	24,4	239	24,1	1044	6,1 ± 1,3	5,5 ± 1,3
Aluwabe	Honeycomb Aluwaben-Kern, Aludecklage, HPL-beschichtet	1,3	11,6	491	21,9	1562	1,0 ± 0,2	0,7 ± 0,2
Weil(steg)platten								
Papier-wellsteg	Papiersinus-wellsteg-Kern, HDF-Decklage, roh	3,3	25,6	324	24,4	1277	2,6 ± 0,2	2,3 ± 0,2
		3,3	50,6	209	26,3	958	3,0 ± 0,6	2,6 ± 0,6
Aluwellen	Alusinuswellen-Kern, asymmetrische Aludecklage	0,8/0,3	6,1	734	22,6	2476	0,2 ± 0,1	0,1 ± 0,1
		0,3	5,6	461	19,5	2271	0,3 ± 0,0	-0,1 ± 0,1
		0,3	10,6	413	21,7	1241	0,5 ± 0,2	-0,1 ± 0,1
Schaumplatten								
PS-Schaum	Polystyrol-Kern, MDF-Decklage, roh	1,5	16	215	24,0	5000	1,5 ± 0,4	1,4 ± 0,4
		3,5	20	292	27,5	3705	1,3 ± 0,2	1,3 ± 0,2
		3,5	20	363	29,0	4664	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1
PUR-Schaum	Polyurethan-Kern, MDF-Decklage, roh	1,5	16	284	25,3	>5000 ³⁾	2,0 ± 0,2	2,0 ± 0,2
		3,5	20	329	29,0	5000	1,9 ± 0,1	1,9 ± 0,1
	Polyurethan-Kern, MDF-Decklage, furniert (TA)	4	21	401	29,5	4800	2,1 ± 0,1	2,1 ± 0,1
		0,8	5,4	524	22,0	1241	2,5 ± 0,2	1,5 ± 0,2
		1,2	20,4	282	25,1	986	2,1 ± 0,1	1,4 ± 0,1
Leichtholzplatten								
Ceiba-STAE	Ceiba-Kern, gabunähnliche Decklage, roh	1,5	16	411	24,3	1655	1,8 ± 0,1	1,6 ± 0,1
Ceiba-STAB	Ceiba-Kern, gabunähnliche Decklage, roh	1,5	16	291	22,4	1857	1,4 ± 0,1	1,1 ± 0,1
Albasia-STAB	Albasia-Kern, Fuma-Decklage, roh	1	12	362	21,9	1703	1,0 ± 0,1	0,7 ± 0,1
		1,5	13	358	22,7	2024	1,0 ± 0,1	0,8 ± 0,1
Balsa-3-Schicht	Balsa-Kern, Pappel-Decklage	1,8	20,6	411	24,9	1075	1,5 ± 0,1	1,0 ± 0,1
		1,5	16	241	21,4	1703	1,1 ± 0,1	0,8 ± 0,1
Tischlerplatten								
Fichte-STAB	Fichte-Kern, gabunähnliche Decklage, roh	1,5	16	446	26,9	1562	1,0 ± 0,1	0,8 ± 0,1
		1,5	16	613	27,8	1475	1,6 ± 0,1	1,4 ± 0,1
Fichte-STAE	Fichte-Kern, gabunähnliche Decklage, roh	1,5	16	472	26,2	1241	1,1 ± 0,1	0,8 ± 0,1
Faserplatten								
Faser	Holzweichfaser	-	32	305	30,8	3398	2,6 ± 0,2	2,6 ± 0,2
Spanplatten								
Span	Span, roh	-	16	573	29,7	3150 ³⁾	2,0 ± 0,1	1,9 ± 0,1
Röhren-span	Röhrenspan-Kern, Dünnspan-Decklage, roh	-	40	276	28,7	1857	2,4 ± 0,1	2,3 ± 0,1
		-	50	375	29,3	1353	2,2 ± 0,3	2,1 ± 0,3
mineralische Platten								
Gips-karton, GKB	Gips-Kern, Karton-Decklage	-	12,5	710	29,9	3150 ³⁾	1,2 ± 0,0	1,2 ± 0,0
Blähglas	Blähglas-Kern, HPL-beschichtet	-	19	526	29,0	1967	0,4 ± 0,0	0,3 ± 0,0
		0,8	20,6	612	29,9	1353	1,2 ± 0,1	1,1 ± 0,1

- [4] **Maidanik G.:** Response of ribbed panels to reverberant acoustic fields, Journal of the Acoustical Society of America, Heft 34, S. 809-826, 1962
- [5] **DIN EN 12354-1:2000-12** Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften, Teil 1, Deutsche Norm, Dezember 2000
- [6] **Nusser B.:** Ermittlung schalltechnischer Kennwerte von Leichtbauplatten, Projektarbeit, Masterstudiengang Holztechnik, Fachhochschule Rosenheim, Juli 2006