

AKUSTIK KOMPAKT (35)

Biegesteif oder biegeweich

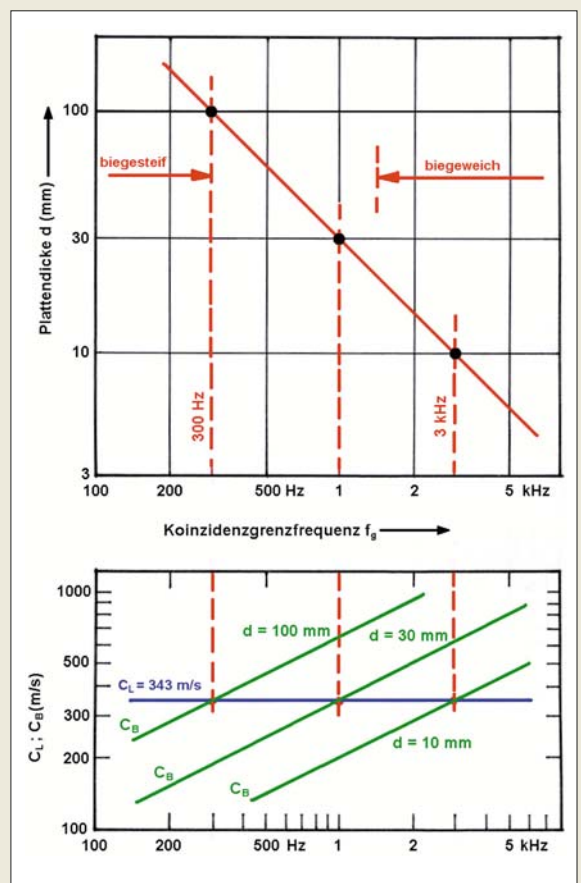
Schalldämmung | Welche Bedeutung haben die Begriffe „biegesteif“ und „biegeweich“ in der Bauakustik und speziell für den Trockenbau? Antworten auf diese Fragen gibt unser Akustik-Experte Prof. Dr. Ivar Veit im vorliegenden Beitrag.

In der einschlägigen Fachliteratur über Bauakustik – hierzu gehören auch die diesbezüglichen Regelwerke – stößt man immer wieder auf die Begriffe „biegesteif“ und „biegeweich“. Im Beiblatt 1 zur DIN 4109 [1] z. B. findet man Tabellen, in denen das zu erwartende, bewertete Schalldämm-Maß $R'_{w,R}$ (Index R = Rechenwert) von einschaligen, biegesteifen Wänden und Decken in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse m' abgelesen werden kann (siehe dort: Tabelle 1). Des Weiteren findet man dort in einer anderen Tabelle (Tab. 8) die zu erwartenden Dämmwerte $R'_{w,R}$ für einschalige, biegesteife Wände mit **biegeweicher** Vorsatzschale, ebenfalls in Abhängigkeit von der flächenbezogenen Masse m' , und zwar der Massivwand.

Dazu ein **Zahlenvergleich**: Um beispielsweise ein bewertetes Schalldämm-Maß von $R'_{w,R} = 52$ dB zu erreichen, muss eine einschalige, biegesteife Massivwand ein Flächengewicht m' von mindestens 380 kg/m^2 besitzen. Um das gleiche Dämm-Maß mit einer biegesteifen Wand plus biegeweicher Vorsatzschale zu erzielen, genügt es, wenn die Massivwand eine flächenbezogene Masse m' von nur 250 kg/m^2 hat. – Einzelheiten zum Aufbau von Vorsatzschalen findet man im Beiblatt 1 der DIN 4109 [1].

Die mechanischen Eigenschaften **biegesteif** oder **biegeweich** bestimmen somit ganz wesentlich die erreichbare Schalldämmung von Bauteilen. Um das besser zu verstehen, muss hier zunächst ein Begriff aus der Mechanik vorgestellt und erklärt werden, nämlich die Biegesteifigkeit oder kurz die **Biegesteife** B [Einheit: Nm]. Neben der Dicke h [Einheit: m] einer Plattenstruktur (z. B. Wand, Decke) hängt die Biegesteife auch noch vom Elastizitätsmodul E [Einheit: N/m^2] und von der **Poisson'schen Querkontraktionszahl** μ ($= 0,3 \dots 0,4$) des jeweiligen Bauteilmaterials ab:

ABBILDUNG 1



Grafische Darstellung der direkten Verknüpfung der drei Größen

- Platten- oder Wanddicke d ,
- Biegewellengeschwindigkeit c_B und
- Koinzidenz-Grenzfrequenz f_{gr} bzw. $f_{gr'}$, die für die mit Wänden und Decken (oder allgemein mit Platten) erreichbare Schalldämmung von großer Bedeutung sind, erläutert am Beispiel von Gipsplatten mit 3 verschiedenen Dicken d .

Oberes Diagramm: Zusammenhang zwischen der Plattendicke d einer Gipsplatte und der dazugehörigen Koinzidenz-Grenzfrequenz.

Unteres Diagramm: Schallgeschwindigkeit c_l für Luftschall und Ausbreitungsgeschwindigkeit für Biegewellen c_B auf Gipsplatten unterschiedlicher Dicke d in Abhängigkeit von der Frequenz. Der Schnittpunkt der c_l -Geraden mit den c_B -Geraden ergibt die Koinzidenz-Grenzfrequenz für die jeweilige Plattendicke d .

$$B = \frac{E \cdot h^3}{(1 - \mu^2) \cdot 12} \quad (1)$$

Außerdem besteht zwischen der Biegesteife B und der **Koinzidenz-Grenzfrequenz** f_{gr} [Einheit: Hz], oberhalb derer eine zu Biegeschwingungen angeregte Platte (z. B. Wand oder Decke) überhaupt erst Luftschall abstrahlt, ein fester Zusammenhang [3]:

$$f_{gr} = \frac{c^2}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{m'}{B}} \quad (2)$$

Darin bedeutet c die Schallausbreitungsgeschwindigkeit in Luft; bei 20° C ist c

$= c_l \approx 343 \text{ m/s}$. Dieser Zusammenhang wurde bereits in einem früheren Beitrag dieser Aufsatzreihe [2] behandelt. Lässt man die flächenbezogene Masse m' einer Wand oder einer Decke unverändert und variiert lediglich die Biegesteife B , so geht aus der Gleichung (2) hervor, dass bei einer kleinen Biegesteife die Grenzfrequenz f_{gr} groß ist, und umgekehrt, dass bei einer großen Biegesteife die Grenzfrequenz f_{gr} sehr klein wird. Letzteres kann beispielsweise bei einer sehr massiven und entsprechend steifen Wand der Fall sein. Mit anderen Worten: Im zuerst angenommenen Fall ist das Bauteil biegeweich, und im zweiten Fall ist es biegesteif.

Abbildung 1 zeigt diesen Zusammenhang noch einmal sehr anschaulich in einem Doppeldiagramm. Die obere Darstellung zeigt den Zusammenhang zwischen der Dicke d (entsprechend h in Gleichung (1)) einer Gipsplatte und der dazugehörigen Grenzfrequenz f_{gr} . Im unteren Diagramm sind die Schallgeschwindigkeiten c_L für Luftschall (≈ 343 m/s) sowie die Ausbreitungsgeschwindigkeiten c_B von Biegewellen entlang unterschiedlich dicker Gipsplatten dargestellt, und zwar in Abhängigkeit von der Frequenz. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit c_B von Biegewellen ist bekanntlich frequenzabhängig ([3], Dispersion!):

$$c_B = \sqrt[4]{\frac{m'}{B}} \cdot \sqrt{\omega} \quad (3)$$

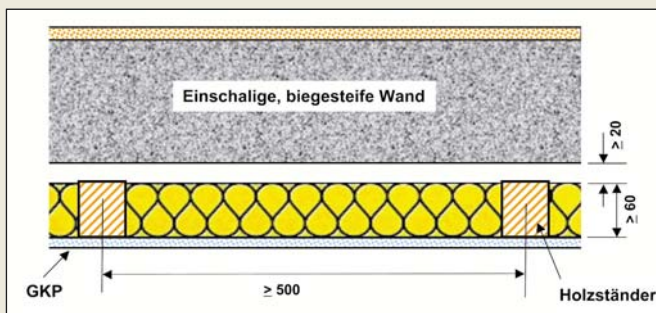
Das Formelzeichen ω stellt die sog. Kreisfrequenz ($= 2\pi f$) dar. – Der Verlauf der Biegewellengeschwindigkeit im unteren Diagramm ist für drei verschiedene Plattendicken als Beispiel eingetragen. Die Darstellung ist so gewählt, dass die logarithmisch geteilten Frequenzachsen beider Diagramme zahlenmäßig übereinstimmen. Dadurch ist ein direkter Wechsel von einem Diagramm in das andere möglich. Die Plattendicke d ist in Abbildung 1 ausnahmsweise in [mm] angegeben. – Bei der theoretischen Behandlung von Platten, auf denen sich Biegeschwingungen ausbreiten, verwendet man für die Angabe der Dicke einer Platte vorzugsweise das Symbol h anstelle des sonst in der Praxis gebräuchlicheren Symbols d , siehe dazu Gleichung (1). Beide Symbole stehen für die gleiche Größe.

Übertragen auf die Praxis besagt das untere Diagramm, dass eine zu Biegeschwingungen angeregte Wand oder Decke erst dann Schall in Luft abstrahlt, wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit c_B größer wird als die Schallgeschwindigkeit c_L in Luft. Der Schnittpunkt dieser beiden Geraden ergibt, projiziert auf die Abszissenachse, die Grenzfrequenz f_g oder auch f_{gr} .

Wie aus der Gleichung (1) hervorgeht, nimmt die Biegesteife von Platten – das Gleiche gilt übertragen auch für Wände und Decken – mit der dritten Potenz der Plattendicke zu: $B \sim d^3$ ($\sim h^3$). Das bedeutet aber, dass die Biegesteife mit kleiner werdender Plattendicke sehr rasch abnimmt und dass die Grenzfrequenz entsprechend

ABBILDUNG 2

Biegeweiche Gipskarton-Vorsatzschale vor einschaliger, biegesteifer Wand, getragen von freistehenden Holzständern (siehe auch Beiblatt 1 zu DIN 4109, Tabelle 7). Der Abstand der einzelnen Ständer voneinander sollte zwischen 500 mm



und 625 mm liegen. Die Räume zwischen den Ständern enthalten eine Hohlraumfüllung aus ≥ 60 mm dickem Faserdämmstoff mit einem längenspezifischen Strömungswiderstand $\Xi > 5$ kNs/m⁴. Statt Holzständer können in dieser Bauweise auch C-Wandprofile aus Stahlblech zum Einsatz kommen.

schnell ansteigt. Für eine Gipsplatte von einer üblichen Dicke von 12,5 mm kann man im Diagramm eine Grenzfrequenz von etwa 2400 Hz ablesen. Für eine 100 mm dicke Gipsplatte dagegen findet man dort einen Wert von 300 Hz.

Allein schon diese Zahlenwerte verdeutlichen den Unterschied zwischen „biegesteif“ und „biegeweich“. Bei biegesteifen Bauteilen befindet sich der praktisch interessierende Frequenzbereich oberhalb der Koinzidenz-Grenzfrequenz, während dieser Bereich bei biegeweichen Teilen unterhalb der Grenzfrequenz liegt [4].

Biegeweiche Schalen verbessern massive Wände um bis zu 15 dB

Nun zur Akustik im Trockenbau: Im letzten Abschnitt war bereits von Gipskartonplatten (GKP) die Rede. Im Trockenbau sind GKP die bekannteste und am häufigsten verwendete Ausführung von biegeweichen Vorsatzschalen vor einschaligen, biegesteifen Wänden zur Verbesserung des Schallschutzes. Bewährte Ausführungsbeispiele von GKP-Vorsatzschalen mit Angabe der damit erreichbaren, bewerteten Schalldämm-Maße R'_w findet man im Beiblatt 1 zur DIN 4109 [1]. Dort findet man außerdem auch erprobte Ausführungen von zweischaligen Leichtbauwänden, bestehend aus einfach oder doppelt beplankten Gipskartonkonstruktionen, mit denen man sehr hohe Schalldämm-Maße erreichen kann.

Es ist bekannt, dass die Schalldämmung von einschaligen, biegesteifen Wänden in Bezug auf den Frequenzgang mit bis zu

6 dB/Oktave (ω -Gang) zunehmen kann und dass die Schalldämmung von zweischaligen, biegesteifen Wänden sogar mit 18 dB/Oktave (ω^3 -Gang) ansteigen kann. Des Weiteren ist bekannt, dass die Schalldämmung von einschaligen Massivwänden außerdem noch um bis zu 15 dB verbessert werden kann, wenn man eine **biegeweiche Vorsatzschale** davorsetzt [3]. Bei Vorsatzschalen-Konstruktionen, bei denen die Massen der beiden Schalen extrem unterschiedlich sind ($m'_1 \geq m'_2$), gehorcht der Frequenzgang der Schalldämmung weder dem ω -Gesetz noch dem ω^3 -Gesetz. Nach L. Cremer [5] lautet die Beziehung für die Schalldämmung R zweischaliger Konstruktionen

$$R = 20 \cdot \lg \left(\frac{\omega^3 \cdot a \cdot m'_1 \cdot m'_2}{2 \cdot \rho^2 \cdot c^3} \right) \quad [\text{in: dB}] \quad (4)$$

Für den Fall, dass $m'_1 \geq m'_2$ ist, kann man die Gleichung (4) auch aufspalten in

$$R = 20 \cdot \lg \frac{\omega \cdot m'_1}{2 \cdot \rho \cdot c} + 20 \cdot \lg \frac{\omega^2 \cdot m'_2 \cdot a}{\rho \cdot c^2} \quad (5)$$

Darin sind

a = Abstand der beiden Schalen voneinander

ρ = Luftdichte

c = c_L = Schallgeschwindigkeit in Luft

Angenommen, die erste massive Wand (m'_1) würde in Ruhe verharren, so kann man für die restliche Konstruktion eine Resonanzfrequenz ω_{o2} einführen:

$$\omega_{o2} = \sqrt{\frac{\rho \cdot c^2}{a \cdot m'_2}} \quad (6)$$

In diesem Falle würde man für die Verbesserung des Dämm-Maßes den Ausdruck

$$\Delta R = 40 \cdot \lg\left(\frac{\omega}{\omega_{02}}\right) \text{ [in: dB]} \quad (7)$$

erhalten. Um eine deutliche Verbesserung der Schalldämmung zu erreichen, sollte man für die Resonanzfrequenz ω_{02} einen möglichst niedrigen Wert anstreben. Das stößt aber sehr schnell an praktische Grenzen, siehe Gleichung (6). Zum einen ist die Flächenmasse m'_2 einer Gipskarton-Vorsatzschale mit etwa 8,5 bis 9,5 kg/m² nicht sehr groß und außerdem bereits vorgegeben; zum anderen kann der Schalenabstand a nicht beliebig groß gewählt werden, da dadurch störende Dickenresonanzen im Luftspalt der Trennfuge auftreten können.

Es bleibt somit bei der maximal erreichbaren Verbesserung des Schalldämm-Maßes von ≤ 15 dB (siehe weiter oben), und das auch nur dann, wenn die Flächenmasse m'_1 der biegesteifen Massivwand nach Möglichkeit ≤ 100 kg/m² beträgt. Bei älteren Häusern, wo man ohnehin oftmals nicht viel verändern kann oder darf, sind 15 dB aber auch schon eine deutliche Verbesserung.

Ein Punkt verdient abschließend noch Erwähnung, nämlich die **Befestigung von Vorsatzschalen**. Im akustischen Idealfall sollten Vorsatzschalen nach Möglichkeit völlig frei stehend, d. h. ohne mechanischen Kontakt vor der Massivwand angebracht sein, da jede Körperschallbrücke die angestrebte Verbesserung der Schalldämmung leicht wieder zunichte machen kann. In der Praxis gibt es heute eine Reihe von bewährten Ständerkonstruktionen (Holzständer, Metallständer), die diese Aufgabe weitgehend erfüllen. Ein

Beispiel dafür zeigt Abbildung 2. Als Abstand zwischen den Ständern untereinander ist ein Wert von 500 mm bis maximal 625 mm allgemein üblich. Die Befestigung der GKP an den Ständern hat Einfluss auf die wirksame **Biegesteife B** der Platten und somit auch auf die Schalldämmung der gesamten Konstruktion, siehe Gleichung (1) bis (3). \square

LITERATUR

- [1] DIN 4109 Schallschutz im Hochbau – Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz, Beiblatt 1, November 1989
- [2] Veit, I.: Der Koinzidenz- oder Spuranpassungseffekt. In: Trockenbau-Akustik 07/2007, S. 34 – 35
- [3] Veit, I.: Vorsatzschalen – Guter Vorsatz zählt. In: Trockenbau-Akustik 05/2006, S. 44– 46
- [4] Rieländer, M. (Herausgeber): Reallexikon der Akustik, Verlag Erwin Bochinsky, Frankfurt/Main., 1982, S. 54
- [5] Cremer, L.: Vorlesungen über Technische Akustik, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York, 1975, 2. Auflage, S. 288

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.
E-Mail: i.veits@gmx.net

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**
- Schalldämmung
- Schallübertragung