

Biegeschwingungsversuch

Allgemeine Grundlagen zur Bestimmung der dynamisch-elastischen Eigenschaften stab- oder streifenförmiger Probekörper

DIN
53 440
Blatt 1Testing of plastics and damped laminated systems; bending vibration test;
general rudiments of dynamic elastic properties of bars and strips

Zu dieser Norm gehören:

- DIN 53 440 Blatt 2 Prüfung von Kunststoffen und von schwingungsgedämpften geschichteten Systemen;
Biegeschwingungsversuch; Bestimmung des komplexen Elastizitätsmoduls (Ausgabe April 1973)
- DIN 53 440 Blatt 3 —; —; Bestimmung von Kenngrößen schwingungsgedämpfter Mehrschichtsysteme
(Ausgabe April 1973)

*Textteile, die kursiv gesetzt sind, enthalten zusätzliche Hinweise und Erläuterungen.***1. Zweck und Anwendung**

Der Biegeschwingungsversuch nach dieser Norm dient zur Bestimmung dynamisch-elastischer Kenngrößen von stab- oder streifenförmigen Probekörpern mit rechteckigem Querschnitt bei schwingender Biegebeanspruchung mit gegebener Frequenz in Richtung der Normale der breiteren Staboberfläche. Die Schwingung an bestimmter Stelle ist je nach Art der Schwingungserregung eine erzwungene stationäre Biegeschwingung oder eine gedämpfte Eigenschwingung¹⁾. Die Schwingungsweiten sollen genügend klein sein, so daß die periodischen Spannungen den zugehörigen Dehnungen proportional sind (linearer Bereich). Bei Probekörpern aus einem (makroskopisch) einheitlichen Werkstoff können aus den gemessenen Größen der Speichermodul (als Maß für die dynamische Steifheit), der Verlustmodul oder der Verlustfaktor (als Maße für die innere Dämpfung) und damit der komplexe Elastizitätsmodul berechnet werden (siehe DIN 53 440 Blatt 2). Diese Bestimmungsgrößen sind bei richtiger Bemessung der Probekörper von deren Abmessungen und der Versuchsanordnung unabhängig.

Auf Probekörpern aus mehreren Schichten sind Biegeschwingungen und -wellen wie auf Stäben aus einheitlichem Werkstoff möglich. Man kann deshalb formal die geschichteten Stäbe und Streifen als homogen ansehen und für sie dynamisch-elastische Kenngrößen wie für homogene Stäbe bestimmen. Aus den dynamisch-elastischen Eigenschaften geschichteter Systeme können auch die viskoelastischen Kenngrößen der Schichten ermittelt werden (siehe DIN 53 440 Blatt 3).

Die viskoelastischen Kenngrößen von Kunststoffen hängen mehr oder weniger stark von der Frequenz und der Temperatur ab. Dies gilt auch für die dynamisch-elastischen Eigenschaften der Probekörper. Man erfaßt im Biegeschwingungsversuch Frequenzbereiche von etwa 2 bis 3 Zehnerpotenzen der Frequenz, die je nach Probekörpern und Versuchsanordnung etwa zwischen 1 und 10 000 Hz liegen. Damit ist der Biegeschwingungsversuch besonders auch für Untersuchungen im Hörbereich, insbesondere im Hinblick auf akustische Anwendungen, geeignet.

Erläuterungen siehe DIN 53 440 Blatt 3

2. Begriffe

Stab- oder streifenförmige Probekörper sind im Biegeschwingungsversuch angeordnet

- a) an beiden Enden frei (Halterung in Schwingungsknoten),
 - b) an beiden Enden fest eingespannt,
 - c) an einem Ende eingespannt und am anderen Ende frei.
- Am häufigsten werden die Anordnungen a) und c) benutzt.

2.1. Resonanzkurve, Gipfelfrequenz und Halbwertsbreite¹⁾

Bei periodischer äußerer Erregung der Biegeschwingungen mit bestimmter Frequenz f und gleichbleibender Erregungsamplitude an passender Stelle des stab- oder streifenförmigen Probekörpers bildet sich auf diesem eine stehende Welle. Der Probekörper führt im eingeschwungenen Zustand an jeder Stelle erzwungene Schwingungen der gleichen Frequenz und konstanter Amplitude aus. Bei genügend langsamer Änderung der Frequenz und gleichbleibender Erregungsamplitude durchläuft die Schwingungsamplitude $\hat{A}$ (Scheitelwert) an beliebiger Stelle des Probekörpers außerhalb der Schwingungsknoten (siehe Abschnitt 2.2) bei nicht zu hoher Dämpfung mehr oder weniger hohe Resonanzmaxima. Die Kurvenstücke in der Umgebung der Maxima werden *Resonanzkurven* genannt. Die Höchstwerte werden bei den *Gipfelfrequenzen*, oft Resonanzfrequenzen genannt, erreicht (siehe DIN 1311 Blatt 2). Es gibt Resonanzstellen verschiedener Ordnungszahlen n ($n = 1, 2, 3, \dots$), die zugehörigen Gipfelfrequenzen werden mit f_n bezeichnet (siehe Abschnitt 2.2).

¹⁾ Siehe Broschüre „Elastische und viskose Eigenschaften von Werkstoffen“, herausgegeben vom Deutschen Verband für Materialprüfung (DVM), bearbeitet von H. Oberst, Berlin-Köln-Frankfurt 1963, Beuth-Vertrieb GmbH.

Fortsetzung Seite 2 bis 6

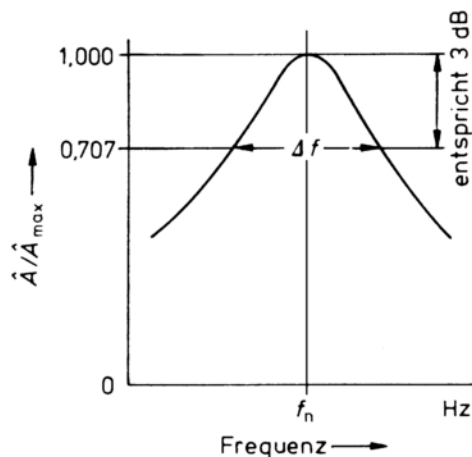


Bild 1. Resonanzkurve (schematisch)

- $\hat{A}$ Schwingungsamplitude (Scheitelwert)
 $\hat{A}_{max}$ Resonanzamplitude bei der Resonanzfrequenz f_n
 Δf Halbwertsbreite der Resonanzkurve
 f_n Gipffrequenz (Resonanzfrequenz)

Bild 1 zeigt schematisch eine Resonanzkurve. Sie ist bei genügend kleiner Dämpfung symmetrisch (glockenförmig) in bezug auf die Gipffrequenz f_n . Das Resonanzmaximum ist um so niedriger und die Resonanzkurve um so breiter, je größer die Dämpfung ist. Als Maß für die Dämpfung wird die Halbwertsbreite Δf benutzt. Sie ist definiert als der Abstand der beiden Frequenzen oberhalb und unterhalb von f_n , bei denen $\hat{A}^2 = \frac{1}{2} \hat{A}_{max}^2$ ist ($\hat{A}_{max}$ die Resonanzamplitude bei $f = f_n$), bzw. bei denen die Amplituden $\hat{A}$ 3 dB (Dezibel) unterhalb von $\hat{A}_{max}$ liegen (z. B. im Falle logarithmischer Aufzeichnung der Amplituden mit Pegelschreiber). Die Amplitudenabnahme in dB von einem Anfangswert A_1 auf einen Endwert A_2 ist gleich

$$20 \cdot \lg \frac{A_1}{A_2}.$$

Die relative Halbwertsbreite $\frac{\Delta f}{f_n}$ ist gleich dem Verlustfaktor d bei Frequenz f_n ²⁾:

$$d = \frac{\Delta f}{f_n} \quad (1)$$

Der Kehrwert Q von d heißt die Resonanzschärfe; Q wird besonders bei sehr kleinen Dämpfungen oft als charakteristische Dämpfungsgröße benutzt.

2.2. Dynamische Biegesteifigkeit, Biegewellengeschwindigkeit, Biegewellenlänge

Die dynamische Biegesteifigkeit ist der Quotient aus Biegemoment und Krümmung des stab- oder streifenförmigen Probekörpers. Beim homogenen ungedämpften Probekörper aus isotropem Werkstoff ist die dynamische Biegesteifigkeit

$$B = EJ. \quad (2)$$

Hierbei bedeuten:

- E Elastizitätsmodul (siehe DIN 53 440 Blatt 2)
 J axiales Flächenträgheitsmoment.

Bei Probekörpern mit rechteckigem Querschnitt ist

$$J = \frac{h^3 \cdot b}{12}.$$

Hierbei bedeuten:

- h Dicke des Probekörpers in Schwingungsrichtung
 b Breite des Probekörpers.

Bei periodischer äußerer Erregung der Biegeschwingungen nach Abschnitt 2.1 ist die dynamische Biegesteifigkeit B definiert für die zeitlich sinusförmigen Schwingungen mit der Frequenz f im eingeschwungenen Zustand. Sie ist im allgemeinen eine von der Frequenz f abhängige Kenngröße (siehe DIN 53 440 Blatt 2).

Die dynamische Biegesteifigkeit B kann mit Hilfe gemessener Resonanzfrequenzen f_n berechnet werden. Es gilt die Beziehung:

$$\sqrt{\frac{B}{m}} = \frac{2\pi l^2}{\beta_n^2} \cdot f_n \quad (3)$$

Hierbei bedeuten:

- m Probekörper-Masse je Länge (Längengewicht)
 l Länge des Probekörpers, bei eingespannten Probekörpern die „freie“ Länge (Länge des nicht eingespannten Teils des Probekörpers)
 β_n Zahlenfaktor (siehe Tabelle)
 f_n Resonanzfrequenz bei Ordnungszahl n } ($n = 1, 2, 3, \dots$)

Ordnungszahl der Resonanzstelle n	Probekörper an einem Ende fest eingespannt, am anderen Ende frei β_n^2	Probekörper an beiden Enden frei oder an beiden Enden fest eingespannt β_n^2
1	3,52	22,4
2	22,0	61,7
3	61,7	121
4	121	200
5	200	298
6	298	417
7	417	554
8	555	713
9	713	890
10	890	1086

Für $n > 2$ gilt mit genügender Genauigkeit

$$\beta_n = \left(n - \frac{1}{2}\right) \pi \text{ für den einseitig eingespannten Probekörper}$$

$$\beta_n = \left(n + \frac{1}{2}\right) \pi \text{ für den an beiden Enden freien und den an beiden Enden eingespannten Probekörper.}$$

(Gleichung (3) gilt allgemein, also auch für Probekörper aus mehreren Schichten.)

Auf den Probekörpern bilden sich Resonanzen verschiedener Ordnung mit den Resonanzfrequenzen f_n aus. Die zugehörigen stehenden Wellen haben Schwingungsbäuche und -knoten, deren Anzahl von der Ordnungszahl n abhängt. Die Knoten sind um so schärfer, je kleiner die Dämpfung ist. Bild 2 zeigt Beispiele der Verteilung von Knoten und Bäuchen bei einigen Ordnungszahlen n .

Besonders im Hinblick auf die Halterung des an beiden Enden freien Probekörpers in Schwingungsknoten interessiert der Abstand der ersten Knoten von den Probekörper-Enden.

2) Für den Verlustfaktor d ist nach DIN 1332 auch das Formelzeichen η zulässig; η sollte nur benutzt werden, wenn eine Verwechslung mit der dynamischen Viskosität η ausgeschlossen ist.