

Prüfung von Kautschuk und Elastomeren
**Bestimmung der visko-elastischen Eigenschaften
 von Elastomeren**

bei erzwungenen Schwingungen außerhalb der Resonanz

DIN
53 513

Testing of rubber; determination of the visco-elastic properties of rubber under forced vibration beyond resonance

Ersatz für Ausgabe 01.83

Essai du caoutchouc et des élastomères; détermination des caractéristiques visco-élastiques des élastomères sous vibrations données, sans résonance

Zusammenhang mit den von der International Organization for Standardization (ISO) herausgegebenen Internationalen Normen ISO 2856:1981 und ISO 4664:1987 siehe Erläuterungen.

1 Anwendungsbereich und Zweck

Zweck dieser Norm ist es, Bedingungen für die Bestimmung der visko-elastischen Eigenschaften von Elastomeren aus Messungen bei erzwungenen Schwingungen außerhalb der Resonanz festzulegen. Die auf diese Weise bestimmten visko-elastischen Kenngrößen charakterisieren das Verhalten von periodisch (dynamisch) beanspruchtem Gummi, wie er z. B. in Reifen, Maschinenteilen (Dichtungen und Kupplungen) oder in Bauteilen zur Schwingungsisolierung (Federungen, Schwingungsdämpfern) verwendet wird. Die Methode der erzwungenen Schwingungen gestattet die Messung der visko-elastischen Kenngrößen unter definierten Bedingungen, d. h. definierter Frequenz und definierter Amplitude (Spannungs- oder Verformungsamplitude). Die Temperaturabhängigkeit der visko-elastischen Kenngrößen kann bis in den Einfrierbereich gemessen werden, im allgemeinen bis zu einer Temperatur, bei der der Modul um den Faktor 5 angestiegen ist.

Zur Messung der Temperaturabhängigkeit bis zu Temperaturen im Bereich der Stahlelastizität (siehe DIN 53 545) kann der Torsionsschwingungsversuch nach DIN 53 445 angewandt werden. Bei dieser Prüfmethode handelt es sich um freie, gedämpfte Schwingungen mit abklingender Amplitude und im allgemeinen nicht konstanter Frequenz.

2 Begriffe

2.1 Spannung und Verformung

Bei erzwungenen Schwingungen wird zwischen einer zeitlich konstanten Spannung τ_m (Mittelspannung genannt) und einer

zeitlich sich ändernden Spannung mit der Amplitude τ_a (Spannungsamplitude genannt) unterschieden. Bei sinusförmiger Anregung mit der Frequenz f gilt für den Momentanwert der Spannung τ folgende Beziehung (siehe Bild 1):

$$\tau = \tau_m + \tau_a \cdot \sin \omega t \quad (1)$$

Hierin bedeuten:

τ_m Mittelspannung

τ_a Spannungsamplitude

ω Kreisfrequenz ($\omega = 2\pi f$)

t Zeit

Für die Verformung des Stoffes gilt für den Momentanwert der Verformung im linearen Bereich, d. h. im allgemeinen für kleine Spannungsamplituden τ_a aber unabhängig von der Größe der Mittelspannung τ_m :

$$\gamma = \gamma_m + \gamma_a \sin (\omega t - \delta) \quad (2)$$

Hierin bedeuten:

γ_m Mittelverformung

γ_a Verformungsamplitude

δ Phasenwinkel

Der zeitlich sich ändernde Anteil der Verformung mit der Amplitude γ_a (auch Verformungsamplitude genannt) hat also die gleiche Frequenz wie die Spannung, ist aber um den Phasenwinkel δ verzögert.

Anmerkung: Die hier für den Fall der Scherung festgelegten Definitionen für die Spannung und die Verformung gelten in entsprechender Weise für die Dehnung (siehe Abschnitt 2.2).

Fortsetzung Seite 2 bis 8

Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Normenausschuß Kautschuktechnik (FAKAU) im DIN

AVA Documents
 Document Sharing Hub

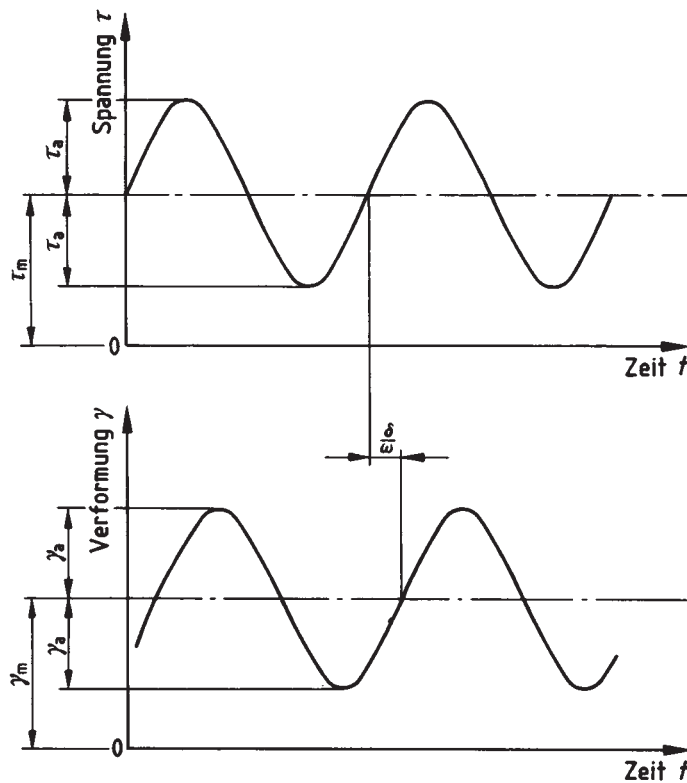


Bild 1. Spannungs-Zeit-Diagramm und Verformungs-Zeit-Diagramm

2.2 Verlustfaktor und dynamischer Modul

Um das visko-elastische Verhalten eines Stoffes bei periodischer Verformung zu kennzeichnen, ist die Angabe von zwei Kenngrößen erforderlich. Hierfür sind z.B. der mechanische Verlustfaktor und der dynamische Modul geeignet.

Der Verlustfaktor ist mit

$$d = \tan \delta \quad (3)$$

definiert. Dabei gibt der Winkel δ bzw. δ/ω an, wie weit die Verformung der Spannung nacheilt (siehe Bild 1).

Je nach Art der Beanspruchung ist zwischen dem dynamischen Schubmodul $|G^*|$ bei Scherung und dem dynamischen Dehnmodul $|E^*|$ bei Dehnung oder Stauchung zu unterscheiden.

Der dynamische Schubmodul

$$|G^*| = \tau_a / \gamma_a \quad (4)$$

kennzeichnet die dynamische Schubsteifigkeit des Probekörpers im Schwingungsverhalten; er ist der Betrag des komplexen Schubmoduls (auch absoluter Schubmodul genannt), siehe DIN 53 535.

Der dynamische Dehnmodul

$$|E^*| = \sigma_a / \varepsilon_a \quad (5)$$

kennzeichnet die dynamische Zug- oder Drucksteifigkeit im Schwingungsverhalten. Hierbei wird für die Dehnung oder Stauchung das Zeichen ε und für die Spannung das Zeichen σ gewählt. Der dynamische Dehnmodul stellt den Betrag des komplexen Dehnmoduls dar, siehe DIN 53 535.

Die Definition für den Verlustfaktor nach Gleichung (3) gilt in gleicher Weise für den Fall der Scherung und Dehnung.

2.3 Dämpfung

Die Dämpfung ist der Betrag an mechanischer Energie, der beim periodischen Verformen des Probekörpers in Wärme umgesetzt wird; die auf einen Beanspruchungszyklus bezo-

gene Verlustenergie wird als absolute Dämpfung A_w bezeichnet. Wird diese Energie auf das Volumen bezogen, so ergibt sich die spezifische Verlustenergie W , (siehe DIN 53 535) und im Falle der Scherung folgender Zusammenhang zum Phasenwinkel δ :

$$W = \pi \gamma_a \tau_a \sin \delta \quad (6)$$

Für die Dehnung gilt entsprechend

$$W = \pi \varepsilon_a \sigma_a \sin \delta \quad (7)$$

Die spezifische Verlustenergie ist gleich dem Flächeninhalt der Ellipse im Spannungsverformungs-Diagramm; für den Fall der Scherung das $\tau\gamma$ -Schaubild siehe Bild 2. Wird die Spannung in MPa oder N/mm² gemessen, so ergibt sich für die spezifische Verlustenergie die Einheit N · mm/mm³.

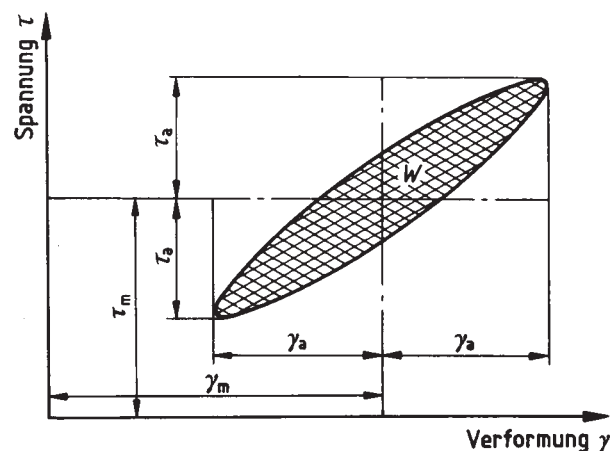


Bild 2. Spannungsverformungs-Diagramm

2.4 Formfunktion

Durch Einführung von Formfunktionen Φ kann der Einfluß der nicht homogenen Verformung bei Probekörpern mit ungünstiger Form eliminiert werden, siehe DIN 53 535.

Der Verlustfaktor ist von den Abmessungen des Probekörpers weitgehend unabhängig, dagegen ergeben sich für den dynamischen Modul nur dann gleiche Werte, wenn die Messungen an Probekörpern mit gleicher Form durchgeführt werden.

Für den Fall der Scherung gilt bei einem Probekörper mit beliebiger Form:

$$|G^*| = \frac{1}{\Phi_G} \cdot \frac{\tau_a}{\gamma_a} \quad (8)$$

Werden die Höhe des Probekörpers mit L_0 und der Durchmesser mit d_0 bzw. bei quadratischem Querschnitt die Kantenlänge des Quadrates mit b_0 bezeichnet, so sind die Formfunktionen abhängig von der Größe der Quotienten d_0/L_0 bzw. b_0/L_0 . Die Formfunktion Φ_G geht für sehr große Quotienten gegen 1; im allgemeinen kann bereits für einen Quotienten $d_0/L_0 = 4$ bzw. $b_0/L_0 = 4$ die Formfunktion $\Phi_G = 1$ gesetzt und damit auf einen Korrekturfaktor verzichtet werden. Bei einem Probekörper mit quadratischem Querschnitt bedeutet dies, daß die Kantenlänge b_0 des Quadrates viermal so groß ist wie die Höhe L_0 des Probekörpers.

Für den Fall der Dehnung gilt bei einem Probekörper beliebiger Form:

$$|E^*| = \frac{1}{\Phi_E} \cdot \frac{\sigma_a}{\varepsilon_a} \quad (9)$$

Die Formfunktion Φ_E für eine zylindrische Probe ist gegeben durch:

$$\Phi_E = 1 + B \left(\frac{d_0}{L_0} \right)^n \quad (10)$$

wenn B und n Funktionen des dynamischen Dehnmoduls darstellen, die experimentell zu ermitteln sind. Für einen Quotienten $d_0/L_0 = 1$, d. h. wenn der Durchmesser die gleiche Größe hat wie die Höhe des Probekörpers, gilt angenähert $\Phi_E = 1,1$ und $\sigma_a = 1,1 |E^*| \varepsilon_a$; siehe DIN 53 535 und [1], [2].

Die Gleichung (5) gilt nur für sehr kleine Quotienten d_0/L_0 bzw. streng nur für den Grenzwert $d_0/L_0 \rightarrow 0$.

Anmerkung: Der dynamische Modul ist nur dann eine viskoelastische Kenngröße, die von der Form des Probekörpers unabhängig ist, wenn unter Berücksichtigung der Formfunktion im Falle der Dehnung auf den Quotienten $d_0/L_0 \rightarrow 0$ und im Falle der Schubbeanspruchung auf den Quotienten $d_0/L_0 \rightarrow \infty$ bzw. $b_0/L_0 \rightarrow \infty$ extrapoliert wurde. Bei inkompressiblen Materialien wie Gummi, d. h. falls bei der Verformung das Volumen konstant bleibt, gilt zwischen dem dynamischen Dehnmodul $|E^*|_{d_0/L_0 \rightarrow 0}$ und dem dynamischen Schubmodul $|G^*|_{d_0/L_0 \rightarrow \infty}$ folgende Beziehung:

$$|E^*|_{d_0/L_0 \rightarrow 0} = 3 |G^*|_{d_0/L_0 \rightarrow \infty} \quad (11)$$

d. h. der Dehnmodul hat den dreifachen Wert des Schubmoduls.

3 Bezeichnung

Bezeichnung des Verfahrens zur Bestimmung der viskoelastischen Eigenschaften von Elastomeren bei erzwungenen Schwingungen außerhalb der Resonanz (A):

Prüfung DIN 53 513 – A

4 Prüfgerät

Als Prüfgerät ist jedes Gerät geeignet, in dem man im Falle der Scherung auf den Probekörper eine konstante Verformungsamplitude aufbringen und die Kraftamplitude messen kann; im Falle der Dehnung eines zylindrischen Probekörpers eine definierte Mittelverformung und eine sinusförmige Verformung aufbringen kann und die Kräfte bzw. Verformungen messen oder konstant halten kann. Es muß die Möglichkeit bestehen, sowohl die Kraft- und Verformungsamplituden zu messen wie auch die Dämpfung bzw. den daraus zu berechnenden Phasenwinkel zwischen Kraft und Verformung.

Außerdem muß der Probekörper nach Abschnitt 6.2 temperiert werden können.

Im folgenden wird eine Ausführungsform des Prüfgerätes beschrieben. Das Prüfgerät (siehe Bild 3) besteht aus einem verstellbaren Exzenter und einem Kraft- und Verformungsmeßsystem. Der Probekörper wird durch Verschieben des Exzenters einer zeitlich konstanten Mittelkraft bzw. Mittelverformung ausgesetzt und durch Rotation des Exzenters mit einer Frequenz von 10 Hz periodisch verformt.

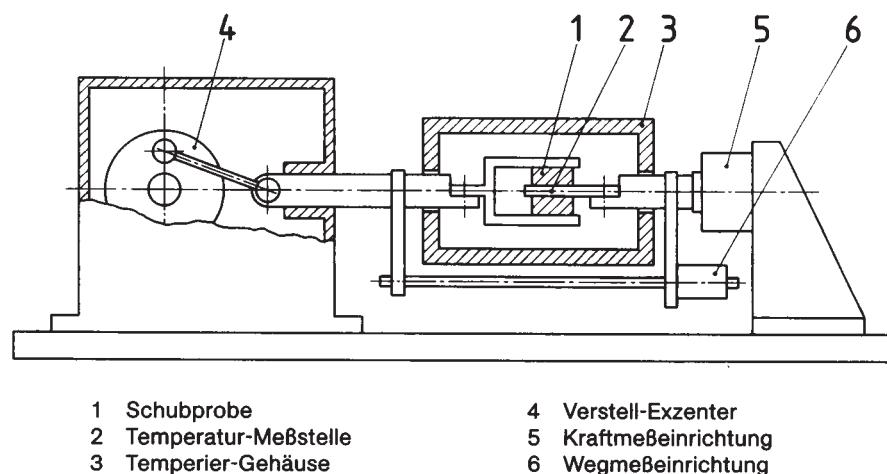


Bild 3. Schematische Darstellung einer Ausführungsform des Prüfgerätes