SCHWINGUNGSTECHNIK

RRG

Werkstoffeigenschaften und Schwingungsisolation

Technische Informationen

RRG INDUSTRIETECHNIK GMBH
Ihr Partner für Maschinenbau.

Brunshofstraße 10
45470 Mülheim/Ruhr

Tel. +49-(0)208-3783-0
Fax +49-(0)208-3783-158

info@rrg.de
www.rrg.de

Allgemeines zu Sylomer®

Sylomer® – das spezielle PUR-Elastomer hat in zelliger und kompakter Form viele Einsatzbereiche in der Bautechnik und im Maschinenbau. In den meisten Fällen wird Sylomer® als druckbelastete Feder verwendet. Die Eigenschaften der Feder können durch die gezielte Auswahl von Sylomer®-Typ, Aufstandsfläche und Bauhöhe, weitgehend an die jeweilige Konstruktion, Bauweise und Beanspruchung angepasst werden.

Sylomer®-Werkstoffe stehen als kontinuierlich gefertigte Bahnenware zur Verfügung und eignen sich besonders als flächige, elastische Schicht. Darüber hinaus sind auch technische Formteile aus Sylomer® erhältlich.

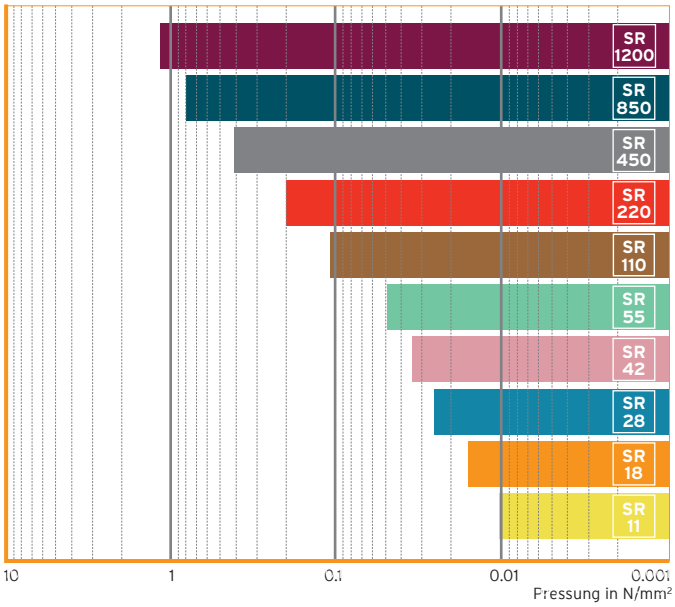


Abb. 1: Sylomer® Typenreihe

Für spezielle Anwendungen werden Sondertypen mit spezifisch abgestimmter Steifigkeit gefertigt. Die feinzellige Struktur stellt bei statischer und dynamischer Beanspruchung das notwendige Verformungsvolumen in sich zur Verfügung. Dadurch werden elastische Lager mit vollflächiger Kraftübertragung möglich. Speziell im Bauwesen bringt dies große konstruktive und wirtschaftliche Vorteile.

Quasistatische Federkennlinie

Der für Sylomer® typische Verlauf der Federkennlinie bei Druckbelastung ist in Abb. 2 dargestellt.

Im Bereich kleiner Druckbelastung besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Spannung und Verformung. In diesem Bereich soll bei elastischen Lagern die ständige statische Belastung liegen. Der Belastungsbereich ist in den Datenblättern jeweils spezifiziert.

Anschließend an den linearen Lastbereich verläuft die Federkennlinie degressiv; der Werkstoff reagiert auf zusätzliche statische und dynamische Lasten besonders „weich“ und ermöglicht daher eine sehr wirksame Schwingungsdämmung.

Der Bereich der Kennlinie, in dem eine hohe Wirksamkeit bei relativ kleiner Einfederung erreicht wird, ist in den Datenblättern leicht gerastert unterlegt.

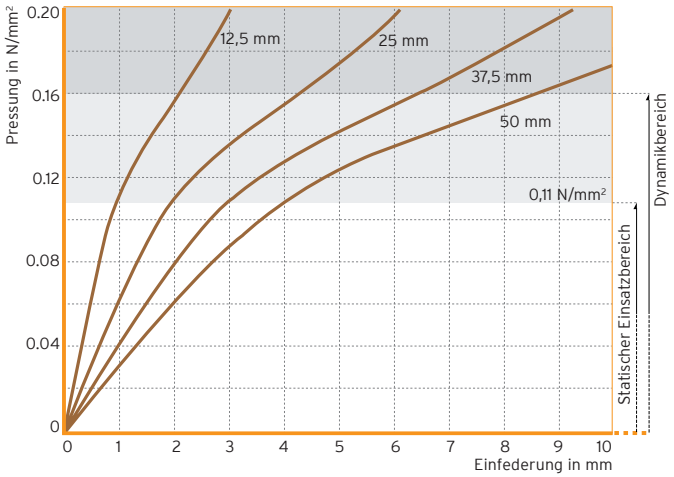


Abb. 2: Federkennlinien am Beispiel von Sylomer® SR 110

Bei Belastungen bzw. Verformungen, die über den degressiven Bereich hinausgehen, verläuft die Kennlinie progressiv (stark gerasterter Bereich). Der Werkstoff wird steifer. In diesem Lastbereich ist daher mit einer reduzierten schwingungstechnischen Wirksamkeit zu rechnen. Sylomer® ist unempfindlich gegen Überbelastung. Selbst sehr hohe Verformungen infolge kurzzeitiger extremer Lastspitzen federn nach der Entlastung nahezu vollständig zurück. Der Werkstoff wird nicht geschädigt. Der Druckverformungsrest nach EN ISO 1856 ist für Sylomer® kleiner als 5 %.

Verhalten bei dynamischer Belastung

Abb. 3 zeigt die Lastabhängigkeit des statischen und dynamischen Elastizitätsmoduls (bei 10 Hz und bei 30 Hz). Wie alle Elastomere reagiert Sylomer® auf dynamische Belastungen steifer als auf statische Belastungen. Der Versteifungsfaktor ist abhängig vom Sylomer®-Typ, der Belastung und der Frequenz und liegt zwischen 1,4 und 4. Entsprechend dem Verlauf der Federkennlinie weisen der quasistatische und der dynamische Elastizitätsmodul ein Minimum auf. In diesem Lastbereich besitzt Sylomer® besonders gute schwingungsisolierende Eigenschaften. Es können daher mit Sylomer®-Lagern Schwingsysteme realisiert werden, die trotz verhältnismäßig kleiner statischer Einsenkung eine hohe Isolierwirkung ergeben.

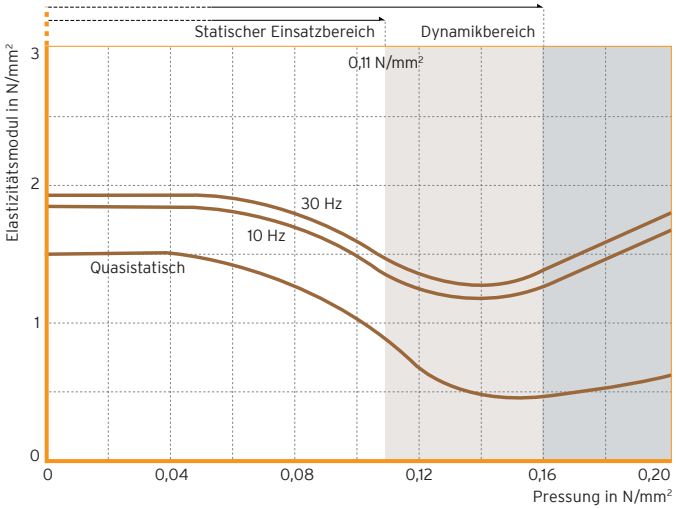


Abb. 3: Lastabhängigkeit des quasistatischen und dynamischen Elastizitätsmoduls am Beispiel Sylomer® SR 110

Verlustfaktor

Bei dynamischer Belastung von Sylomer®-Werkstoffen werden Teile der zugeführten mechanischen Arbeit durch Dämpfungseffekte in Wärme umgewandelt. Das Dämpfungsverhalten von Sylomer®-Werkstoffen kann durch den mechanischen Verlustfaktor beschrieben werden. Dieser liegt für Sylomer®-Werkstoffe zwischen 0,09 und 0,25. Der jeweilige Wert ist in den Datenblättern angegeben.

Verhalten bei Schubbelastung

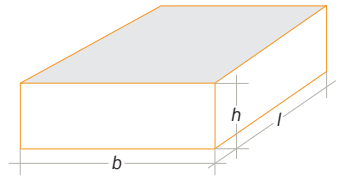
Grundsätzlich reagiert ein Sylomer®-Lager auf Schubbelastung weicher als auf Druckbelastung. Das Verhältnis von Druck- zu Schubsteifigkeit kann je nach Zelligkeit und Geometrie des Sylomer®-Lagers zwischen 4 bis 10 betragen. Die quasistatische Schubkennlinie zeigt ein relativ lineares Verformungsverhalten.

Einfluss des Formfaktors

Sylomer®-Werkstoffe in zelliger Ausführung mit geringer Dichte sind volumenkompressibel. Das bedeutet, dass sich solche Sylomer®-Federelemente bei Druckbelastung im Vergleich zu kompakten Elastomeren quer zur Belastungsrichtung wenig ausdehnen. Sylomer®-Lager mit kleinem Formfaktor q (Definition als Verhältnis von belasteter Fläche zur Mantelfläche des Lagers, siehe Abb. 4) weisen dagegen höhere Einsenkungen auf als den Kennlinien der Datenblätter zu entnehmen ist (auf Seite 2 und 3 sind die Kennlinien zum Formfaktor 3 aufgeführt).

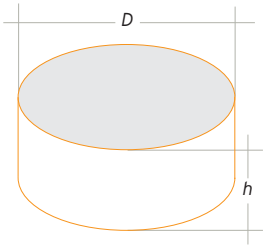
Auf Seite 4 der Datenblätter sind die Abhängigkeiten der Einsenkung, des dynamischen Elastizitätsmoduls und der Eigenfrequenzen vom Formfaktor aufgeführt. Diese Abhängigkeiten können als Korrekturwerte zu den Kennlinien auf Seite 2 und 3 der Datenblätter für abweichende Formfaktoren herangezogen werden.

Definition: $\text{Formfaktor} = \frac{\text{Belastete Fläche}}{\text{Mantelflächen}}$



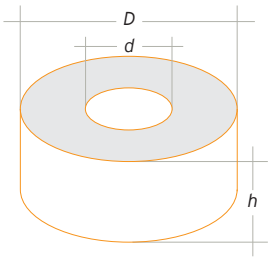
Quader

$$q = \frac{b \cdot l}{2 \cdot h \,(b + l)}$$



Zylinder

$$q = \frac{D}{4 \cdot h}$$



Hohlzylinder

$$q = \frac{D - d}{4 \cdot h}$$

Abb. 4: Definition des Formfaktors

Statisches Dauerstandverhalten

Bei Dauerbelastung treten wie bei allen elastomeren Werkstoffen gewisse Kriecheffekte auf. Unter Kriechen versteht man die reversible Verformungszunahme unter gleich bleibender, langzeitiger Belastung. Abb. 5 zeigt das für Sylomer® typische Verhalten:

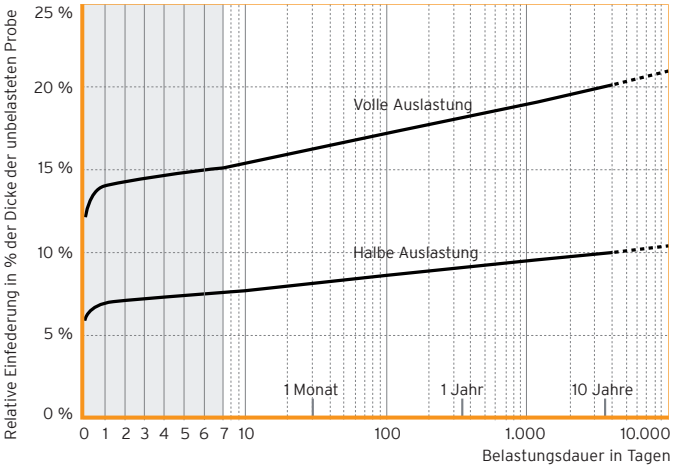


Abb. 5: Dauerstandverhalten von Sylomer®

Die größte Verformungszunahme aufgrund des Kriechens ist nach relativ kurzer Zeit abgeschlossen. Anschließend an diese kurze Phase ist die Verformungszunahme über einen längeren Zeitraum betrachtet sehr gering.

Dynamische Eigenschaften bei Dauerbelastung

Vor allem bei elastischen Schwingungslagern ist eine etwaige Veränderung der dynamischen Eigenschaften bei langzeitiger Belastung von Bedeutung. Die Empfehlungen für die statischen Einsatzbereiche wurden so gewählt, dass sich bei maximaler Auslastung des statischen Einsatzbereiches die Eigenfrequenz des Systems während der Belastungszeit nicht ändert. Die Abb. 6 beschreibt diese Zusammenhänge:

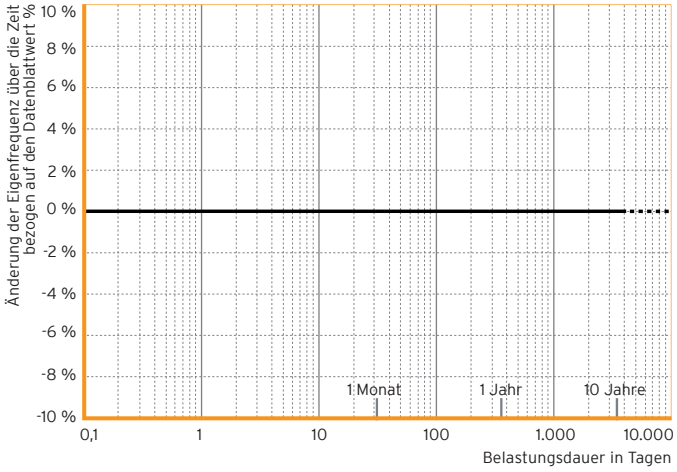


Abb. 6: Dynamisches Dauerstandverhalten von Sylomer®

Querdehnzahl

Die Querdehnzahl (Poissonszahl) kann mit ausreichender Genauigkeit nur für Materialien angegeben werden, die im linearen Bereich beansprucht werden.

Sylomer® wird in der Regel auch im nichtlinearen Bereich beansprucht, womit sich die Angabe der Querdehnzahl als diskreter „Einzahlenwert" als nicht realitätsnah erweist. Je höher die Dichte und somit die Steifigkeit von Sylomer® ist, desto geringer ist die Volumenkompressibilität (ideal inkompressibel → Querdehnzahl 0,5).

Eine Bestimmung der Querdehnzahl bei Sylomer® unterliegt entsprechenden Schwankungen, abhängig vom Materialtyp (Dichte) und von der Belastung (bzw. Prüfart). Eine Bestimmung ergibt für Sylomer® Werte zwischen 0,3 – 0,5.

Einfluss der Temperatur

Die Gebrauchstemperatur von Sylomer®-Werkstoffen sollte zwischen -30 °C und 70 °C liegen. Die Glasübergangstemperatur von Sylomer®-Werkstoffen liegt bei etwa -50 °C, der Schmelzbereich erstreckt sich von 150 °C bis 180 °C. Die Maximaltemperatur, mit der Sylomer® kurzzeitig belastet werden kann, ohne dass die in den Datenblättern aufgeführten Eigenschaften nachhaltig verloren gehen, hängt stark von der jeweiligen Anwendung ab. Für genaue Auskünfte sollte hierzu der Support von Getzner Werkstoffe kontaktiert werden.

Die Angaben in den Datenblättern gelten für Raumtemperatur.

Die jeweiligen Abhängigkeiten für die einzelnen Materialtypen von der Temperatur sind dem Detaildatenblatt zu entnehmen.

Frequenzabhängigkeit

Der Elastizitätsmodul wie auch der Verlustfaktor von Sylomer® sind von der Verformungsgeschwindigkeit, bei einer dynamischen Belastung somit von der Frequenz abhängig. Die Abhängigkeit von Sylomer® von der Frequenz ist dem Detaildatenblatt zu entnehmen.

Amplitudenabhängigkeit

Sylomer® zeigt eine geringe Amplitudenabhängigkeit, und kann deshalb in der Regel bei Berechnungen vernachlässigt werden. Dies stellt speziell im Bereich von Gebäudelagern und den damit verbundenen Amplituden eine sehr wichtige Eigenschaft dar.

Brandverhalten

Sylomer®-Werkstoffe werden nach DIN 4102 der Brandklasse B2 (normal entflammbar) zugeordnet. Im Brandfall entstehen keine korrosiv wirkenden Rauchgase. Sie sind in ihrer Zusammensetzung denen von Holz oder Wolle ähnlich.

Beständigkeiten gegen Umweltbedingungen und Chemikalien

Sylomer®-Werkstoffe sind gegen Substanzen wie Wasser, Beton, Öle und Fette, verdünnte Säuren und Laugen beständig. Eine detaillierte Zusammenstellung der Beständigkeit gegen verschiedene Medien ist im Datenblatt chemische Beständigkeit enthalten.

Schwingungsisolierung

Die Schwingungsisolierung und die Körperschallisolierung dienen der Reduzierung von übertragenen mechanischen Schwingungen. Dabei werden Kräfte und Schwingungsamplituden durch die Verwendung spezieller viskoelastischer Bauelemente, die im Übertragungsweg der Schwingungen angeordnet werden, vermindert.

Bei der Körperschallisolierung wird neben den mechanischen Schwingungen auch der zusätzlich durch den Körperschall entstehende sekundäre Luftschall reduziert. Die Abstimmfrequenzen liegen bei der Körperschallisolierung meist höher als bei der Schwingungsisolierung.

Die Schwingungs- und Körperschallisolierung wird unterteilt in:

Quellenisolierung (Emissionsschutz)
Zur Verminderung der von einer Maschine oder sonstigen Quelle übertragenden Kräfte in die Umgebung.

Empfängerisolierung (Immissionsschutz)
Abschirmung von Maschinen, Geräten oder Gebäuden gegen Schwingungseinwirkungen aus der Umgebung

Durch gezielten Einsatz von viskoelastischen Bauelementen und eventuell zusätzlichen Massen lässt sich für jede Aufgabenstellung im Allgemeinen eine optimale Lösung zur Schwingungsisolierung realisieren.

Das eindimensionale Masse-Feder-System

Viele Schwingungsprobleme können näherungsweise an einem einfachen physikalischen Modell diskutiert werden, dem sogenannten Masse-Feder-System (siehe Abb. 7).

Wird die Masse durch eine kurzzeitige, äußere Kraft aus der Gleichgewichtslage gebracht, so führt die Masse Schwingungen mit der Eigenfrequenz f_0 aus (siehe Abb. 8).

1

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}} = \frac{1}{T}$$

T = Periodendauer in s
f_0 = Eigenfrequenz in Hz
c = Federkonstante in N/m
m = Schwingende Masse in kg

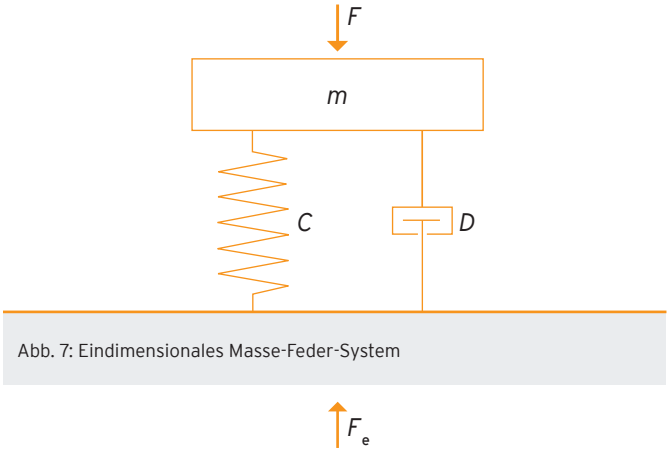


Abb. 7: Eindimensionales Masse-Feder-System

Die Amplitude dieser Schwingung klingt mit der Zeit ab:

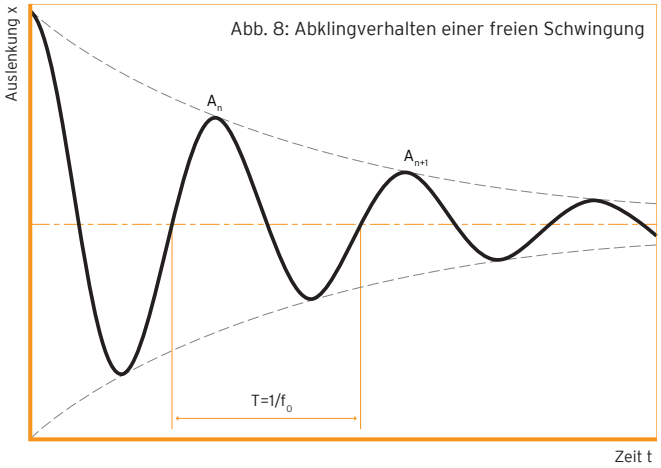


Abb. 8: Abklingverhalten einer freien Schwingung

Wie schnell die Amplitude abklingt, hängt von der Dämpfung der Feder ab. Für Sylomer®-Werkstoffe wird die Dämpfung durch den mechanischen Verlustfaktor η beschrieben. Der Verlustfaktor beträgt für Sylomer® je nach Typ zwischen η = 0,09 und η = 0,25.

Zwischen mechanischem Verlustfaktor η und dem so genannten LEHR'schen Dämpfungsmaß *D* besteht die Beziehung:

2

$$\eta = 2D$$

Den Zusammenhang zwischen der Dämpfung und dem Verhältnis zweier aufeinander folgender maximaler Amplituden beschreibt die Gleichung:

3

$$\frac{A_{n+1}}{A_n} = e^{-2D\pi} = e^{-\eta\pi}$$

Übertragunsfunktion

Die Isolierwirkung der elastischen Lagerung wird mit der Übertragungsfunktion $V(f)$ beschreiben. Darunter wird bei der Krafterregung (Emmissionsschutz) die Kraftübertragungsfunktion und bei der Wegerregung (Immissionsschutz) die Amplitudenübertragungsfunktion verstanden.

4

$$V(f) = \sqrt{\frac{1+\eta^2\cdot\left(\frac{f}{f_0}\right)^2}{\left(1-\left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2+\eta^2\cdot\left(\frac{f}{f_0}\right)^2}}$$

Die Übertragungsfunktion beschreibt die mathematische Beziehung zwischen der Systemantwort (Schwingungsamplituden) und der Einwirkung (Erregeramplituden) und wird meist als Funktion des Frequenzverhältnisses f/f_0 dargestellt:

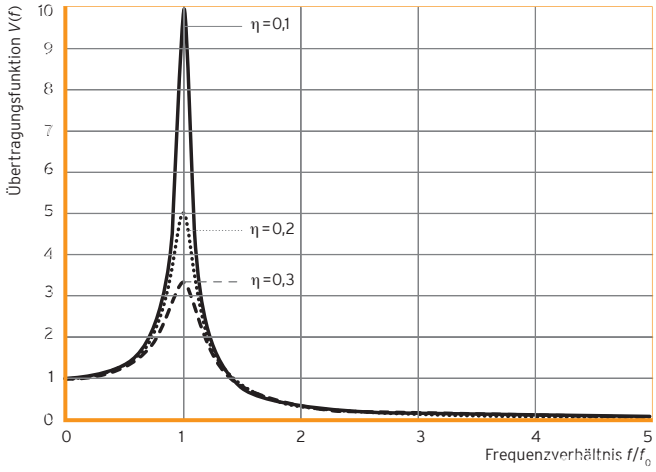


Abb. 9: Übertragungsfunktion

Eine Isolierwirkung erfolgt nur im Frequenzbereich $f/f_0 > \sqrt{2}$. Eine sogenannte Tiefenabstimmung liegt dann vor, wenn die Eigenfrequenz f_0 des Systems um den Faktor 1,41 tiefer liegt als die tiefsten auftretenden Frequenzen f der mechanischen Schwingungen.

Im Resonanzbereich $f/f_0 < \sqrt{2}$ tritt in jedem Fall abhängig von der Dämpfung eine Verstärkung der mechanischen Schwingungen auf.

Übertragungsmaß / Isoliergrad

Die Isolierwirkung wird häufig logarithmisch in der Pegelform dargestellt. Man spricht dann von dem Übertragungsmaß $L(f)$ in dB.

5

$$L(f) = 20\cdot\log\left[\sqrt{\frac{1+\eta^2\cdot\left(\frac{f}{f_0}\right)^2}{\left(1-\left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2+\eta^2\cdot\left(\frac{f}{f_0}\right)^2}}\right]$$

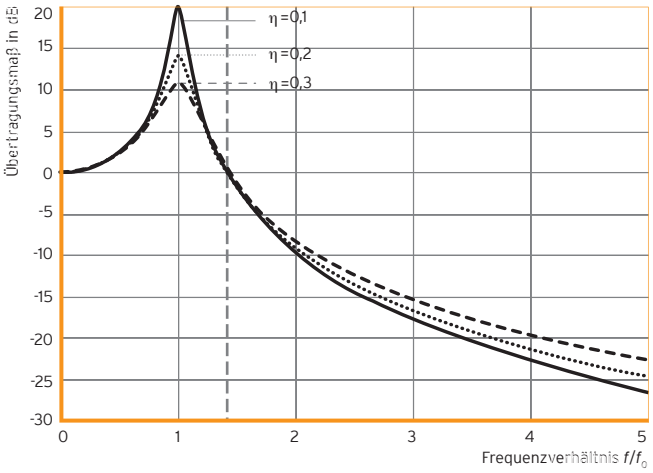


Abb. 10: Übertragungsmaß

Ebenso ist der Isoliergrad $I(f)$ eine gebräuchliche Größe, welche die Verminderung der übertragenen Erregergröße in % angibt:

6

$$I(f) = 100\cdot\left[1-\sqrt{\frac{1+\eta^2\cdot\left(\frac{f}{f_0}\right)^2}{\left(1-\left(\frac{f}{f_0}\right)^2\right)^2+\eta^2\cdot\left(\frac{f}{f_0}\right)^2}}\right]$$

Berechnung von Eigenfrequenz und Dämmwirkung bei Systemen mit Sylomer®

Bei der Verwendung von nur einem Sylomer®-Typ kann die Eigenfrequenz der freien Schwingung entsprechend der statischen Auslegung aus den Datenblättern entnommen werden. Hierfür ist jeweils unter Punkt 3 die Eigenfrequenz des Systems in Abhängigkeit von der Flächenpressung für verschiedene Materialdicken dargestellt.

Die Berechnung der Eigenfrequenz erfolgt nach (1). Die dynamische Federkonstante der Lagerung berechnet sich nach:

7 $$c = \frac{E \cdot A}{d}$$

E = Dynamischer Elastizitätsmodul in N/mm²
A = Auflagefläche in mm²
d = Materialdicke in mm

Alternativ zu (1) kann auch nachfolgende Formel verwendet werden:

8 $$f_0 = 15.76 \sqrt{\frac{E}{d\sigma}}$$

σ = Flächenpressung in N/mm²

Der dynamische Elastizitätsmodul kann entsprechend der Flächenpressung unter Punkt 2 in den Datenblättern abgebildeten Diagrammen entnommen werden. Für die Berechnung der dynamischen Federkonstante nach (7) ist jeweils die Materialdicke des unbelasteten Sylomer®-Lagers einzusetzen. Werden verschiedene Sylomer®-Typen kombiniert, muss für die Berechnung der Eigenfrequenz nach (1) die Gesamtsteifigkeit der Lagerung zugrunde gelegt werden. Die Gesamtsteifigkeit ergibt sich aus der Summe der Einzelsteifigkeiten nach (7).

Für Lager, die auf Schub beansprucht werden, muss hierbei anstelle des dynamischen Elastizitätsmoduls der dynamische Schubmodul zugrunde gelegt werden.

Dämmmaß und Isoliergrad der elastischen Lagerung sind vom Verhältnis Erregerfrequenz zu Eigenfrequenz und dem Verlustfaktor abhängig. Sie können aus den Gleichungen (5) und (6) berechnet werden.

Zudem sind beide Werte in Abhängigkeit von Eigen- und Störfrequenz in den Datenblättern unter Punkt 4 dargestellt.

Eine Abschätzung der Eigenfrequenz aus der statischen Einsenkung nach der folgenden Formel (9) ist für Sylomer® nicht anwendbar:

9 $$f_0 \neq \frac{5}{\sqrt{x}}$$

x = Statische Einsenkung in cm

Modellierung

Die Berechnung des realen Schwingungssystems erfolgt anhand eines mechanischen Ersatzmodells. Dabei ist für viele reale Schwingungsprobleme die eindimensionale Modellierung als Masse-Feder-System ausreichend.
Will man das Schwingungssystem genauer untersuchen, muss man bei dem Modell weitere, für das reale System relevante Bewegungsmöglichkeiten zulassen. Ferner kann die schwingende Masse durch verschiedene diskrete Einzelmassen, die durch Federn bzw. Dämpfer verbunden sind, dargestellt werden. Die Anzahl der unabhängigen Bewegungsmöglichkeiten, die das System zulässt, werden als Freiheitsgrade bezeichnet. Die Anzahl der Freiheitsgrade ist mit der Anzahl der möglichen Eigenfrequenzen identisch.

Für die Bemessung der Schwingungsisolation ist im Allgemeinen die niedrigste Eigenfrequenz maßgebend. Da diese Frequenz bei allen Modellen annähernd gleich ist, reicht eine eindimensionale Modellierung als Masse-Feder-System oft aus.

Alle Angaben und Daten beruhen auf unserem derzeitigen Wissenstand. Sie können als Rechen- bzw. Richtwerte herangezogen werden, unterliegen üblichen Fertigungstoleranzen und stellen keine zugesicherten Eigenschaften dar. Änderungen vorbehalten.

FLUID
ANTRIEB
ELASTOMER
SCHWINGUNG

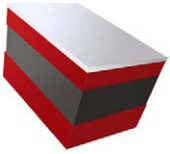
RRG

FAX-Antwort: (0208) 37 83-154

Bitte senden Sie mir mehr Informationen:

❑ **Sylomer® & Sylodyn®**
Elastomere für die Schwingungsdämpfung im niedrigen, mittleren und hohen Bereich

❑ **Akustik + Sylomer®**
Elastische Befestigungselemente für Decken und Wände



❑ **KSD®-Elemente**
Isolierung von Körperschall, Schwingungen und Erschütterungen

❑ **Stahlfeder-Schwingungsdämpfer**
Aktivisolierung von z. B. Klimageräten, Ventilatoren, etc.

❑ **Sicherheits- und Industriestoßdämpfer**
Elemente zur sicheren Abbremsung bewegter Massen

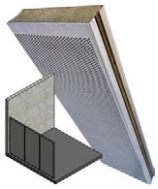
❑ **Schwingungsisolatoren**
für Maschinen, Motoren, Kompressoren, Transfersysteme, Lüfter und Gebläse

❑ **Maschinenschuhe**
zur Nivellierung und Dämpfung von Geräten und Maschinen

❑ **Gummi-Metall-Elemente**
Schwingungsabsorption und Lärmreduzierung

❑ **Gummi-Hohlfedern Elastomerfedern**
Federelemente für den Einsatz im Fahrzeug- und Maschinenbau

❑ **Lärmschutzkabinen und -kapseln**
Dämmung und Isolierung von Luftschall



❑ **Paneel-System HAPS » Do it yourself «**
Hochabsorbierendes Lärmschutzsystem für den Eigenbau

❑ **Schallabsorptionselemente**
Dämmmaterialien für Maschinen, Geräte und den Innenausbau

❑ **ELASTOMERTECHNIK**
Gummitechnik
Kunststofftechnik

❑ **ANTRIEBSTECHNIK**
Antriebselemente
Linearsysteme

❑ **FLUIDTECHNIK**
Hydraulik
Hydraulik-Service

Platz für Ihre Visitenkarte

Einkleben - Kopieren - Faxen

Unsere Anschrift lautet:

Firma: _____

Name: _____

Straße: _____

PLZ & Ort: _____

Telefon: _____

Fax: _____

E-M@il: _____

RRG INDUSTRIETECHNIK GMBH
Ihr Partner für Maschinenbau.

Brunshofstraße 10
45470 Mülheim/Ruhr

Tel. +49-(0)208-3783-0
Fax +49-(0)208-3783-158

info@rrg.de
www.rrg.de