

## Federung

Wirkt eine Kraft oder ein Moment auf eine Elastomerfeder, so verformt sich die Feder um einen Federweg  $s$  bzw. um einen Verdrehwinkel  $\varphi$ .

Das Verhältnis der aufgewendeten Kraft bzw. des Momentes zum Verdrehwinkel bezeichnet man als Federrate  $c$  oder als Verdrehfederrate  $c_v$ .

Je nach Formgebung des Elementes stellt sich eine progressive, eine lineare oder eine degressive Kennlinie ein.

Nur bei einer linearen Kennlinie ergibt sich über den gesamten Federungsbereich eine konstante Federrate oder eine konstante Verdrehung.

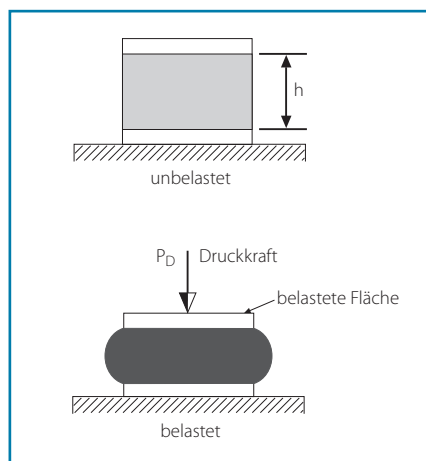
Bei den beiden anderen Kurvenverläufen ist die Federrate abhängig von der Verformung des Isolierelementes. Durch Anlegen der Tangente im Arbeitspunkt A bei der tatsächlichen Belastung  $F_A$  oder des tatsächlichen Momentes  $M_A$  erhält man die Strecke  $s_{subA}$  bzw.  $\varphi_{subA}$ .

Der Quotient aus Belastung und dieser so ermittelten Strecke ergibt die Federrate im Arbeitspunkt.

Stahlfedern haben über den gesamten Arbeitsbereich eine konstante Federkennlinie.

Druckbelastete Elastomerfedern neigen zu einem progressiven Kennlinienverlauf. Schub- und zugbelastete Elastomerfedern neigen zu einem degressiven Kennlinienverlauf. Zugbeanspruchungen sind in der Regel nicht zugelassen.

Elastomerfedern aus kompakten Werkstoffen sind nicht kompressibel. Damit sie ihre isolierende Wirkung entfalten können, ist ein ausreichender Freiraum für die Ausbauchung erforderlich.



Federelement im entlasteten- bzw. belasteten Zustand

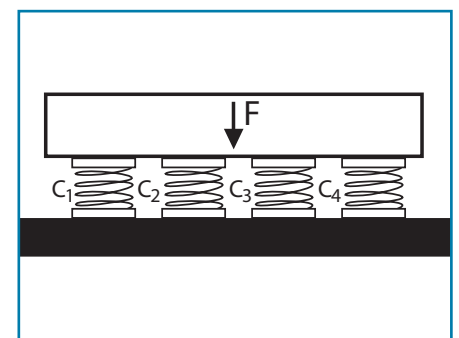
## Kombinationsmöglichkeiten von Federelementen

Elastomerfedern können in Kombination miteinander eingesetzt werden.

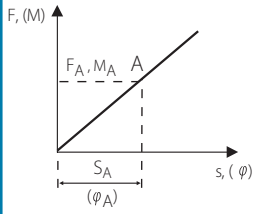
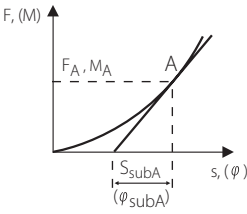
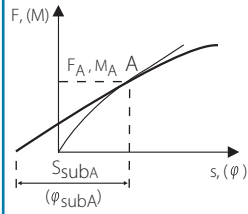
## Parallelschaltung von Elastomerfedern

$$C_{ges} = C_1 + C_2 + C_3 + C_n$$

$$s = \frac{F}{C_{ges}} = \frac{F}{C_1 + C_2 + C_3 + C_n}$$



Federn parallel eingesetzt

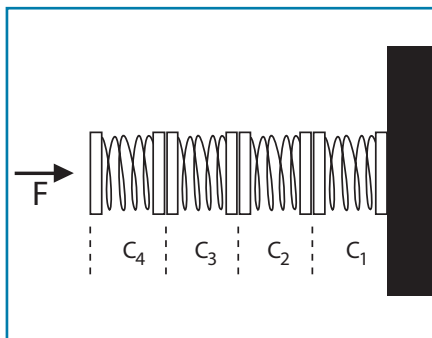
	linear	progressiv	degressiv
Federdiagramm			
Federrate im Arbeitspunkt A	$c_A = \frac{F_A}{S_A} \quad c_\varphi = \frac{M_A}{\varphi_A}$	$c_A = \frac{F_A}{s_{subA}} \quad c_\varphi = \frac{M_A}{\varphi_{subA}}$	$c_A = \frac{F_A}{s_{subA}} \quad c_\varphi = \frac{M_A}{\varphi_{subA}}$
Federrate	$c = \frac{F}{S} \quad c_v = \frac{M}{\varphi}$	$c = \frac{dF}{ds} \quad c_v = \frac{dM}{d\varphi}$	$c = \frac{dF}{ds} \quad c_v = \frac{dM}{d\varphi}$

Kennlinienverläufe

## Reihenschaltung von Elastomern

$$s = \frac{F}{c_{\text{ges}}} = \frac{F}{c_1} + \frac{F}{c_2} + \frac{F}{c_3} + \frac{F}{c_n}$$

$$c = \frac{1}{\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_3} + \frac{1}{c_n}}$$

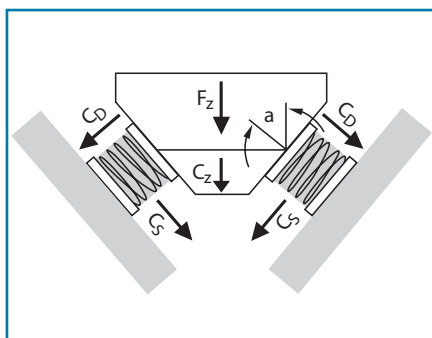


Federn in Reihe eingesetzt

## Druck-Schubbelastung

$$s = \frac{F_z}{c_z}$$

$$c_z = 2 * (c_D \cos^2 \alpha + c_s \sin^2 \alpha)$$



Federn mit Druck- und Schubbelastung

## Eigenfrequenz, Eigenschwingungszahl, Resonanz

Feder-Masse-Systeme schwingen sobald sie angeregt werden. Man unterscheidet zwei Anregearten: Anregung durch Stoß und kontinuierliche Anregung. Wird das Feder-Masse-System durch Stoß angeregt, z.B. durch einen einzelnen Hammerschlag, dann schwingt es in seiner Eigenfrequenz (Eigenschwingungszahl) solange aus, bis die dem System zugeführte Energie durch Dämpfung in Wärme umgesetzt ist.

Wird das Feder-Masse-System kontinuierlich, z.B. durch einen Kolbenkompressor angeregt, so schwingt das System mit der ihm aufgezwungenen Frequenz (Erregerfrequenz, Eigenschwingungszahl).

Ist die Anregefrequenz und die Eigenfrequenz des Isolierelementes gleich, so schwingen sie in Resonanz. Ist nun keine Dämpfung im System vorhanden, z.B. bei Stahlfedern, würden die Schwingungsausschläge unendlich groß.

Die Eigenschwingungszahl  $v_e$  (Schwingungen pro Minute) ist 60 mal höher als die Eigenfrequenz  $f_e$  (Schwingungen pro Sekunde).

Die Systemeigenfrequenz errechnet sich:

$$f_e = \frac{1}{2 * \pi} * \sqrt{\frac{c}{m}} * 1000 \text{ Hz}$$

bzw. die Eigenschwingungszahl  $v_e$ :

$$v_e = \frac{30}{\pi} * \sqrt{\frac{c}{m}} * 1000 \text{ min}^{-1}$$

Resonanz liegt vor, wenn die Frequenz einer erregenden Schwingung mit der Eigenfrequenz eines Schwingensystems übereinstimmt.

Voraussetzung für eine Dämpfung bzw. Isolierung ist, dass die Erregerfrequenz  $f_{\text{err}}$  um den Faktor  $\sqrt{2} = 1,414$  größer ist als die Eigenfrequenz des eingesetzten Isolierelementes.

Der Isoliergrad  $\eta$  wird bestimmt:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\left(\frac{f_{\text{err}}}{f_e}\right)^2 - 1}$$

$\eta$ in %	0	0,667	0,875	0,958	0,984	0,990
$f_e$	1	1	1	1	1	1
$f_{\text{err}}$	1,414	2	3	5	8	10

Isoliergrad bezogen auf das Frequenzverhältnis

## Federung

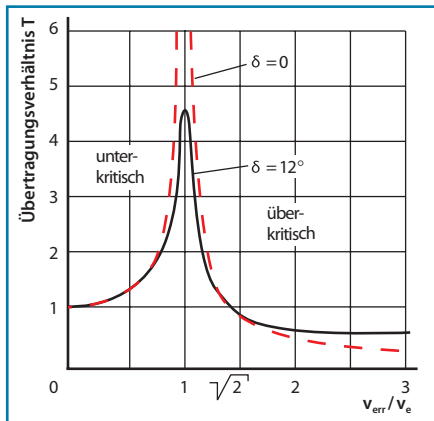
Die Dämpfung D wird bestimmt:

$$D = 20 \log \left[ \left( \frac{f_{err}}{f_e} \right)^2 - 1 \right] \text{ dB}$$

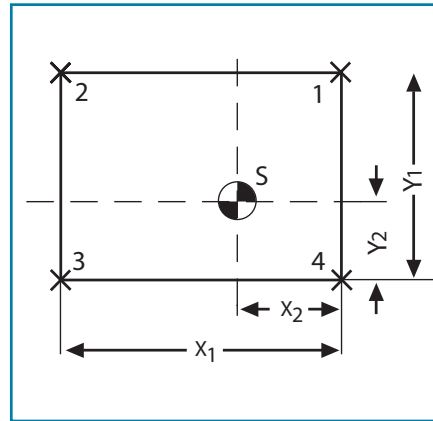
Zur sicheren Auslegung einer elastischen Lagerung ist es wichtig, die Masse des zu lagernden Systems und die Erregerfrequenz zu kennen.

Vorgehensweise bei außermittigem Schwerpunkt:

Hier müssen in Abhängigkeit der erforderlichen Unterstützungskräfte unterschiedliche Federtypen eingesetzt werden. Bei der Auswahl helfen Ihnen die Fachberater der FETECH.



Resonanzkurve



Skizze zur Bestimmung des Schwerpunktes

Der Einsatz der Elastomerfedern findet nur im überkritischen Bereich statt.

Eine Auslegung im unterkritischen Bereich soll vermieden werden.

Ermittlung der Einzelmassen

$$m1 = m^* \frac{(X_1 - X_2) * Y_2}{X_1 * Y_1}$$

$$m2 = m^* \frac{X_2 * Y_2}{X_1 * Y_1}$$

$$m3 = m^* \frac{X_2 * (Y_1 - Y_2)}{X_1 * Y_1}$$

$$m4 = m^* \frac{(X_1 - X_2) * (Y_1 - Y_2)}{X_1 * Y_1}$$

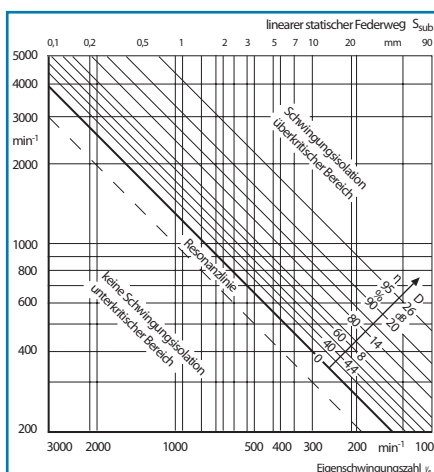


Diagramm zur Ermittlung des Isolierwirkungsgrades

# Ihre Fetech Vertriebspartner



Gummi-Fischer GmbH & Co. KG | Technischer Gummi- und Industriebedarf sowie Arbeitsschutz

Gummi-Fischer GmbH & Co. KG

Ansprechpartner: Frau Fischer · Ailingen Straße 3 · 88046 Friedrichshafen

Telefon: +49 (0)7541 9205-10 · Telefax: +49 (0)7541 9205-88

www.gummi-fischer.de · eMail: helene.fischer@gummi-fischer.de



**Hilger u. Kern Schwingungstechnik**

Hilger u. Kern GmbH Industrietechnik

Ansprechpartner: Frau Richter · Käfertaler Str. 253 · 68167 Mannheim

Telefon: +49 (0)621 3705-249 · Telefax: +49 (0)621 3705-402

www.hilger-kern.de · eMail: mrichter@hilger-kern.de



Roth Antriebs-, Schwingungs- und Fördertechnik

Ansprechpartner: Herr Sturm · Andernacher Str. 14 · 90411 Nürnberg

Telefon: +49 (0)911 99521-0 · Telefax: +49 (0)911 99521-70

www.roth-ing.de · eMail: roth-info@roth-ing.de



RRG INDUSTRIE-TECHNIK GmbH

Ansprechpartner: Frau Altenkamp · Brunshofstr. 10 · 45470 Mülheim an der Ruhr

Telefon: +49 (0)208 3783-126 · Telefax: +49 (0)208 3783-156

www.rrg.de · eMail: altenkamp@rrg.de

**WILHELM HERM. MÜLLER**



Wilhelm Herm. Müller GmbH & Co. KG

Ansprechpartner: Herr Brandes · Heinrich-Nordhoff-Ring 14 · 30826 Garbsen (OT Osterwald)

Telefon: +49 (0)5131 4522-0 · Telefax: +49 (0)5131 4522-10

www.whm.net · eMail: brandes@whm.net

**Technische Grundlagen**  
**Gummi-Metall-Elemente**  
**Maschinenschuhe**  
**Gummi-Hohlfedern**  
**Anschlagpuffer**  
**Elastomer-Federn**  
**Sonderelemente**