

14 Federn

Federsteifigkeit, Federarbeit, Schwingverhalten

Federn mit

Linearer Kennlinie:

Federsteifigkeit bei Zug-, Druck- und Biegefedern $c = \frac{F}{s}$ (14.1)

Federsteifigkeit bei Drehfedern $c_t = \frac{M_t}{\varphi}$ (14.2)

c in N/mm, c_t in Nmm/rad, s in mm, M_t in Nmm, φ in rad. Die Benennung der Federrate ist uneinheitlich. In manchen Federnormen heißt sie R , in anderen, z. B. DIN 2095, jedoch c . Da sind im allgemeinen technisch-physikalischen Gebrauch der Buchstabe c durchgesetzt hat, wird hier c verwendet (wie auch in DIN 740). Es sei aber ausdrücklich darauf hingewiesen, dass in manchen DIN-Normen auch R bzw. R_t benutzt wird.

Bei nichtlinearen Federkennlinien gilt:

$$c = \frac{dF}{ds}, \quad c_t = \frac{dM_t}{d\varphi}$$

Ggf. wird die Federkennlinie abschnittsweise berechnet. Der Kehrwert der Federsteifigkeit (auch Federrate genannt) heißt **Federnachgiebigkeit** δ . Es gilt:

$$\delta = \frac{1}{c} \quad \text{bzw.} \quad \delta_t = \frac{1}{c_t} \quad (14.1a) \quad (14.2a)$$

Federarbeit bei linearer Kennlinie

Federarbeit von Zug-, Druck- und Biegefedern $W = \frac{F}{2} s$ (14.3)

Federarbeit von Drehfedern $W_t = \frac{M_t}{2} \varphi$ (14.4)

W, W_t in Nmm Federarbeit, M_t in Nmm Federdrehmoment,
 F in N Federkraft, φ in rad Federdrehwinkel,
 s in mm Federweg,

allgemein gilt für die Federarbeit:

$$W = \int_0^{s_{\max}} F \cdot ds \quad \text{bzw.} \quad W_t = \int_0^{\varphi_{\max}} M_t \cdot d\varphi$$

Federschwingssysteme

Eigenfrequenz eines Schwingensystems mit Zug-, Druck- oder Biegefeder $f_e = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c}{m}}$ (14.5)

f_e in $s^{-1} = \text{Hz}$ Eigenfrequenz des Federschwingensystems (Hz = Hertz),
 c in N/m Federsteifigkeit,
 m in kg abgefederte Masse.

$$\text{Eigenfrequenz eines Schwingsystems mit Drehfeder } f_e = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_t}{J}} \quad (14.6)$$

c_t in Nm/rad Federrate = Federkonstante,
 J in $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ Drehmasse oder Trägheitsmoment der abgefederten Masse zur Drehachse.

Zusammenwirken mehrerer Federn

Parallelschaltung von Federn (Bild 14.1a)

$$\text{Gesamtfedersteifigkeit } c_{\text{ges}} = c_1 + c_2 + c_3 + \dots \quad (14.7)$$

Es addieren sich also die Federsteifigkeiten.

Hintereinanderschaltung von Federn (Bild 14.1b)

$$\text{Gesamtfedernachgiebigkeit } \delta_{\text{ges}} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots \quad (14.8)$$

Es addieren sich also die Federnachgiebigkeiten.

Mischschaltung von Federn (Bild 14.1c)

$$c_{\text{ges}} = \frac{1}{\frac{1}{c_1 + c_2} + \frac{1}{c_3 + c_4}} \quad (14.9)$$

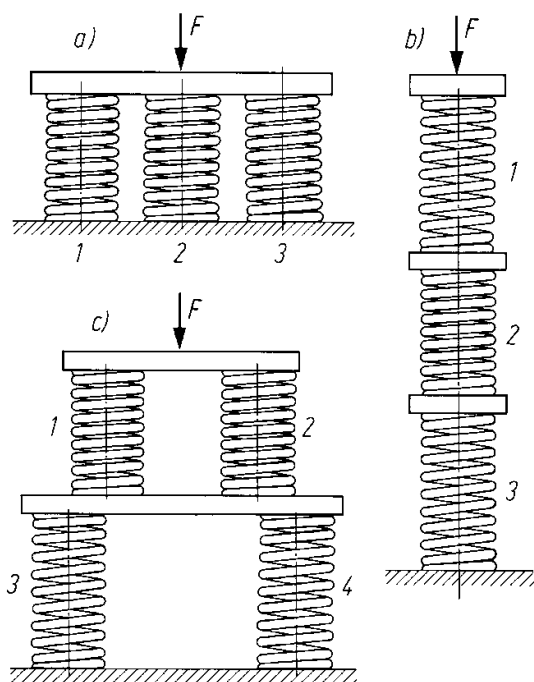


Bild 14.1 Zusammenwirken mehrerer Federn

- a) Parallelschaltung
- b) Hintereinanderschaltung
- c) Mischschaltung

Zylindrische Schraubenfedern aus runden Drähten oder Stäben

Druckfedern

Mit n als Anzahl der federnden Windungen (wirksamen Windungen) beträgt bei **kaltgeformten Druckfedern** aus runden Drähten entspr. Bild 14.2 die

Gesamtwindungszahl $n_t = n + 2$, d. h. $n = n_t - 2$.

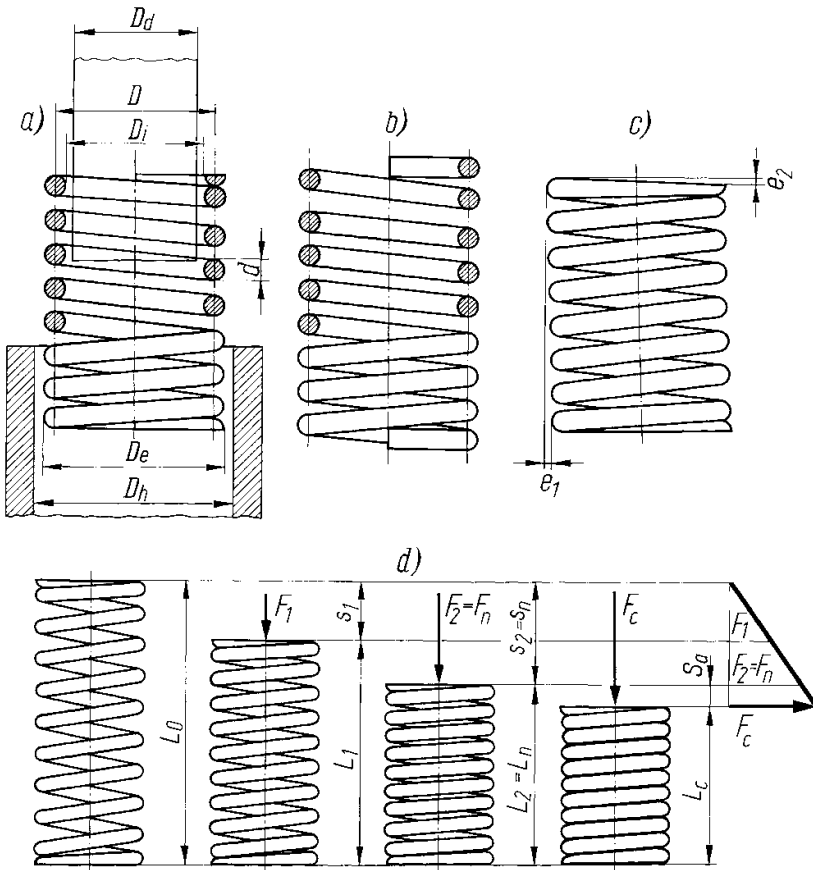


Bild 14.2 Kaltgeformte Druckfedern nach DIN EN 15800
 a) Endwindungen angelegt und geschliffen,
 b) Endwindungen angelegt,
 c) Formabweichungen,
 d) Kräfte und Federlängen

und bei **warmgeformten Druckfedern** aus runden Stäben entspr. Bild 14.3:

Gesamtwindungszahl $n_t = n + 1,5$, d. h. $n = n_t - 1,5$.

Die Gesamtwindungszahl einer Druckfeder soll auf 0,5 enden ($n_t = 5,5, 6,5, 7,5$ usw.). Bei der kleinsten, zulässigen Federlänge $L_n = L_c + S_a$ soll die *Summe der lichten Mindestabstände zwischen den einzelnen wirksamen Windungen* betragen für

$$\text{kaltgeformte Federn} \quad S_a = \left(0,0015 \frac{D^2}{d} + 0,1d \right) n \quad (14.10)$$

$$\text{warmgeformte Federn} \quad S_a = 0,02(D + d)n \quad (14.11)$$

D in mm mittlerer Windungsdurchmesser
 d in mm Drahtdurchmesser,
 n Anzahl der wirksamen Windungen.

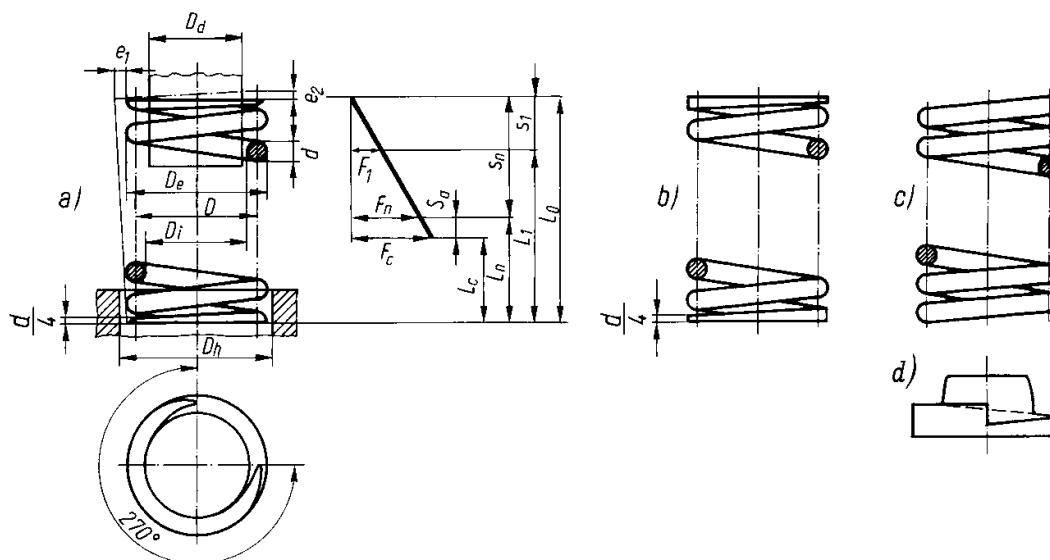


Bild 14.3 Warmgeformte Druckfedern aus Rundstäben nach DIN 2096

- a) Federenden angelegt und aus dem Vollen geschliffen,
- b) Federenden angelegt, geschmiedet und geschliffen,
- c) Federenden unbearbeitet,
- d) Steigungsteller

Bei dynamischer Beanspruchung der Federn ist der S_a -Wert bei warmgeformten Federn zu **verdoppeln**, bei kaltgeformten Federn muss er **das 1,5fache** betragen.

Im zusammengedrückten Zustand, wenn alle Windungen aneinander liegen, beträgt die größtmögliche

$$\text{Blocklänge der Druckfeder } L_c = k_n \cdot d_{\max} \tag{14.12}$$

- k_n Windungszahlbeiwert
bei kaltgeformten Federn mit angelegten, geschliffenen Federenden = n_t ,
bei kaltgeformten Federn mit angelegten, unbearbeiteten Federenden = $n_t + 1,5$,
bei warmgeformten Federn mit angelegten, planbearbeiteten Federenden = $n_t - 0,3$,
bei warmgeformten Federn mit unbearbeiteten Federenden = $n_t + 1,1$.
- n_t Gesamtzahl der Windungen,
- d_{\max} in mm Nennmaß des Draht- bzw. Stabdurchmessers (Tab. 14.4 bis 14.6), vermehrt um das obere Abmaß (Tab. 14.13).

Damit beträgt die

$$\text{kleinste zulässige Länge der mit } F_n \text{ belasteten Druckfeder } L_n = L_c + S_a \tag{14.13}$$

Beim Zusammendrücken einer Schraubendruckfeder wird der Windungsdurchmesser geringfügig größer. Bei der Blocklänge L_c und freier Lagerung der Federenden beträgt die

$$\text{Vergrößerung des äußeren Windungsdurchmessers } \Delta D_e = 0,1 \frac{m^2 - 0,8m \cdot d - 0,2d^2}{D} \tag{14.14}$$

- m in mm Windungsabstand (Steigung)
für Federn mit angelegten, planbearbeiteten Enden = $\frac{L_0 - d}{n}$,
für Federn mit unbearbeiteten Enden = $\frac{L_0 - 2,5 d}{n}$
- L_0 in mm Länge der ungespannten Feder,
- n Anzahl der wirksamen Windungen,
- d, D siehe Legende zur Gl. (14.11).