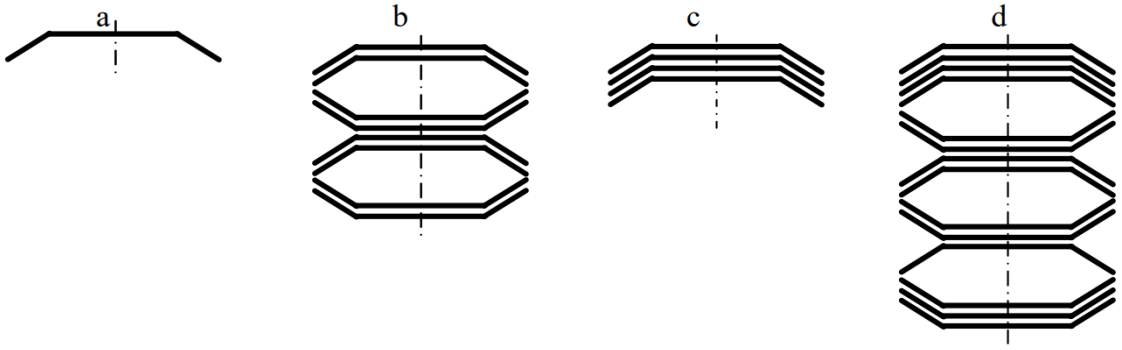
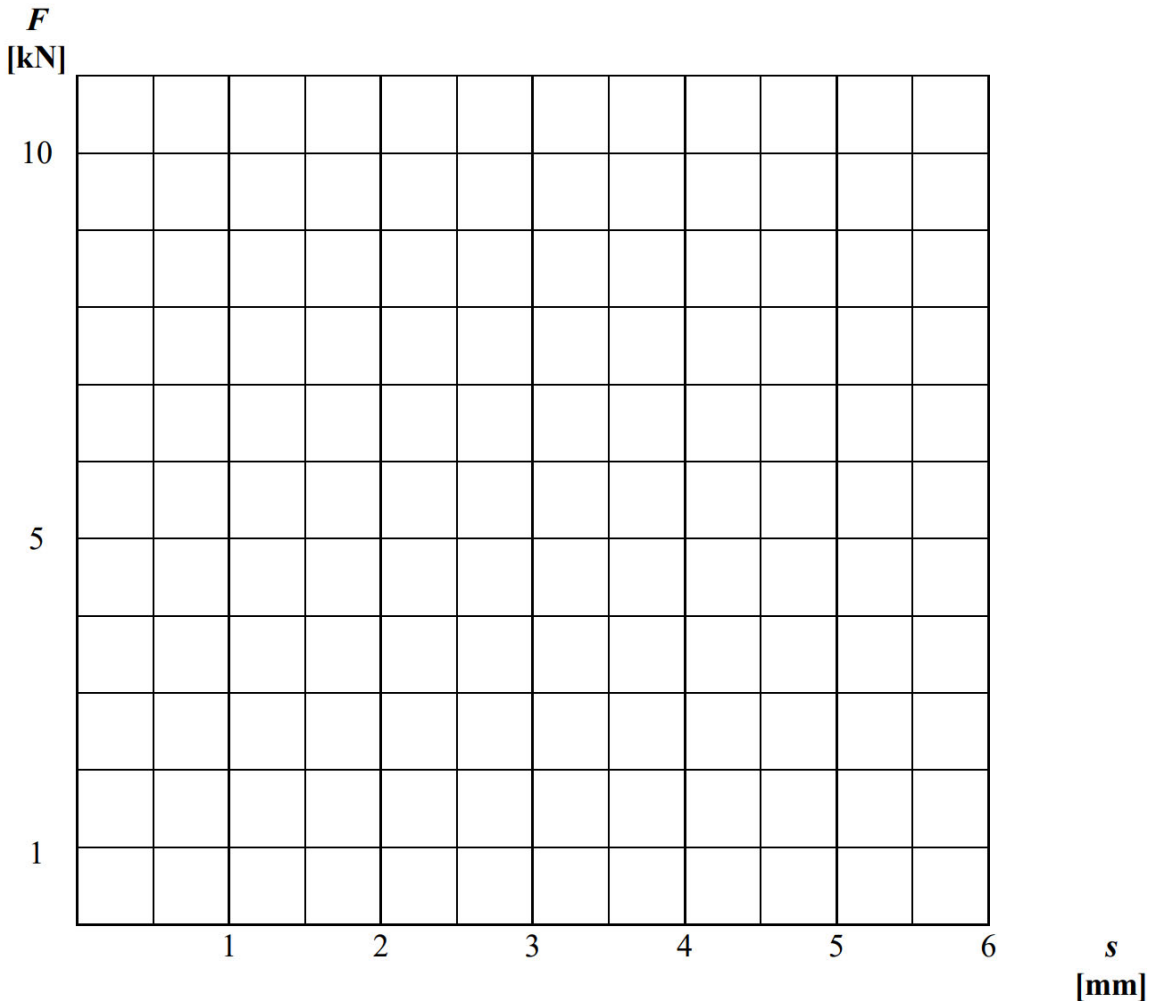
Übungsaufgabe FE 001

Aufgabenstellung

Gegeben sind mehrere stilisiert dargestellte Tellerfederpakete, deren Grundbaustein eine Tellerfeder mit der Federrate c = 2 kN/mm bildet.



E-FE 1 Zeichnen Sie die Kennlinien der Federpakete a bis d in das untenstehende Diagramm ein. Geben Sie für jedes Paket an charakteristischen Stellen Wertepaare an (Berechnung auf der nächsten Seite).

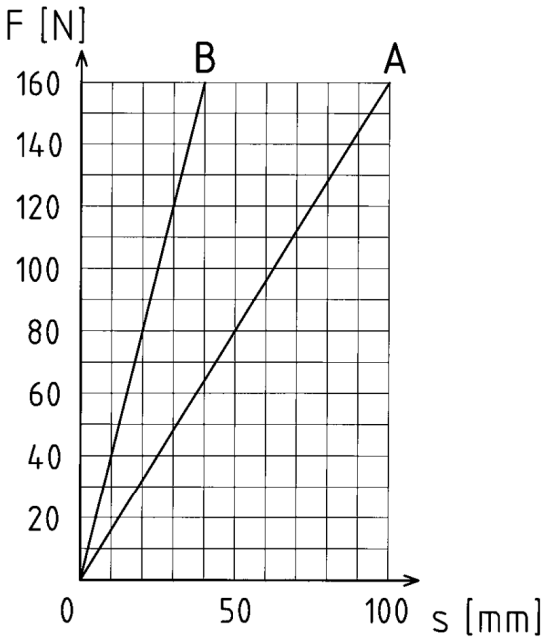


E-FE 2 Wie bezeichnet man die Federcharakteristik des Tellerfederpaketes d?

E-FE 3 Mit welcher Federart (keine Federpakete) lässt sich eine ähnliche Kennlinie wie die des Tellerfederpaketes d erzielen?

Übungsaufgabe FE 002

Zwei Schraubenzugfedern A und B haben die in dem rechten Diagramm dargestellten Kennlinien.



E-FE 1 Wie groß sind die Federraten c_A und c_B?

E-FE 2 Wie groß ist die Federrate c_{ges} bei Reihenschaltung der Federn A und B?

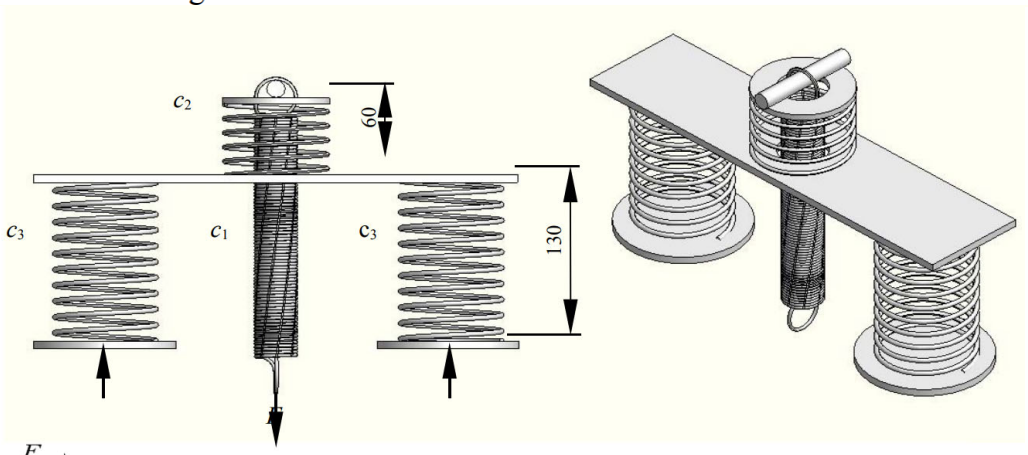
E-FE 3 Wie groß ist die Arbeit W_A bzw. W_B, die durch Aufbringen der Kraft F = 100 N in jeder der Federn gespeichert werden kann?

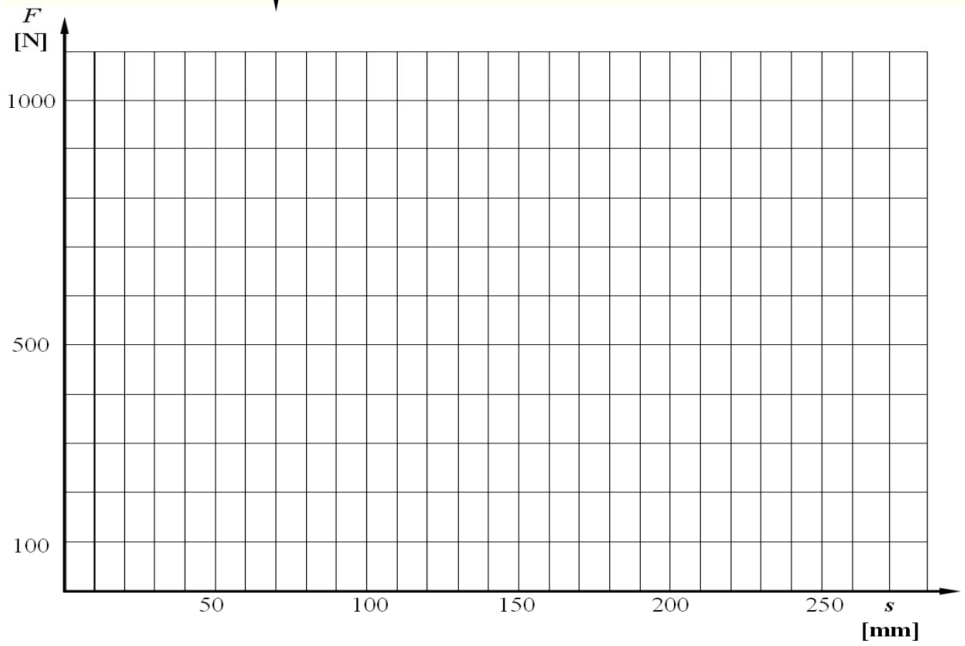
E-FE 4 Wie muss die Federrate von Feder B verändert werden, damit bei gleicher Kraft eine größere Arbeit gespeichert werden kann? Welche konstruktiven Maßnahmen können hierzu ergriffen werden? Der Bauraum soll dabei keine Rolle spielen.

Übungsaufgabe FE 003

Das dargestellte Federpaket wir mit einer Kraft F belastet. Die Federraten der Federn sind $c_1 = 10$ N/mm, $c_2 = 6$ N/mm, und $c_3 = 4$ N/mm. Die Feder 1 hat ein Drahtdurchmesser von 2 mm und 5 Windungen, die Federn 3 haben ein Drahtdurchmesser von 3 mm und 10 Windungen (Federweg)

E-FE 1 Zeichnen Sie die Kennlinien der einzelnen Federn und des gesamten Federsystems in das Diagramm ein.





E-FE 2 Fragen zum Thema Federn

a) Zählen Sie vier Federarten auf.

b) Wozu werden Federn verwendet? (3 Antworten)

c) Welche Kennlinientypen kennen Sie und durch welche Federn werden sie realisiert?

d) Wie lautet die Formel für die Federarbeit einer Feder mit linearer Kennlinie?

e) Wie verhalten sich Kraft und Federwege bei Parallel- bzw. Reihenschaltung?

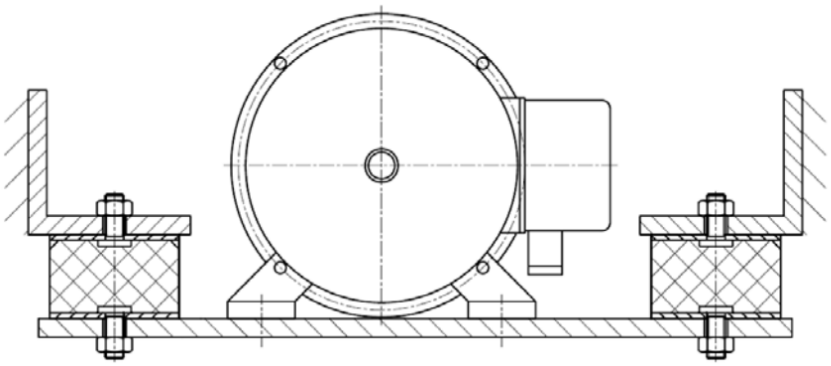
f) Welche Spannungen treten in Schraubenfedern überwiegend auf?

g) Welche Federart wird in einer Reibungskupplung (z.B. in einem KFZ) bevorzugt verwendet? Begründen Sie den Einsatz dieser Federart. Gehen Sie insbesondere auf die folgenden Punkte ein: Bauraum, Federkennlinie, Federweg

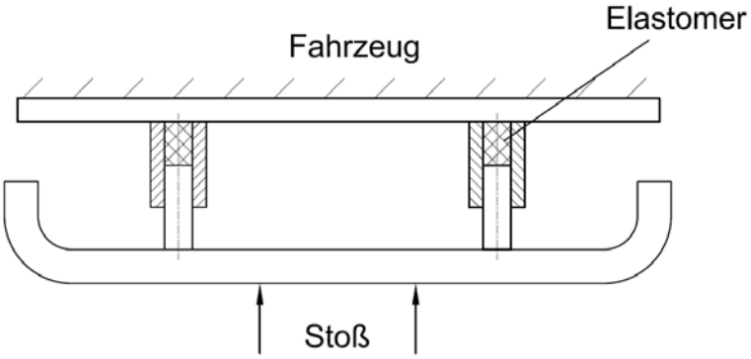
h) Welchen Vorteil haben geschichtete Blattfedern gegenüber Schraubenfedern?

Übungsaufgabe FE 004

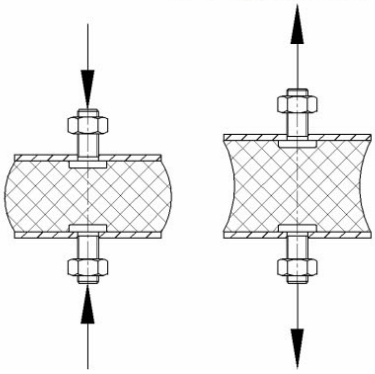
E-FE 1 Ein Motor ist wie in der Zeichnung dargestellt an Gummielementen aufgehängt. Beurteilen Sie diese Konstruktion, welchen Verbesserungsvorschlag können Sie machen?



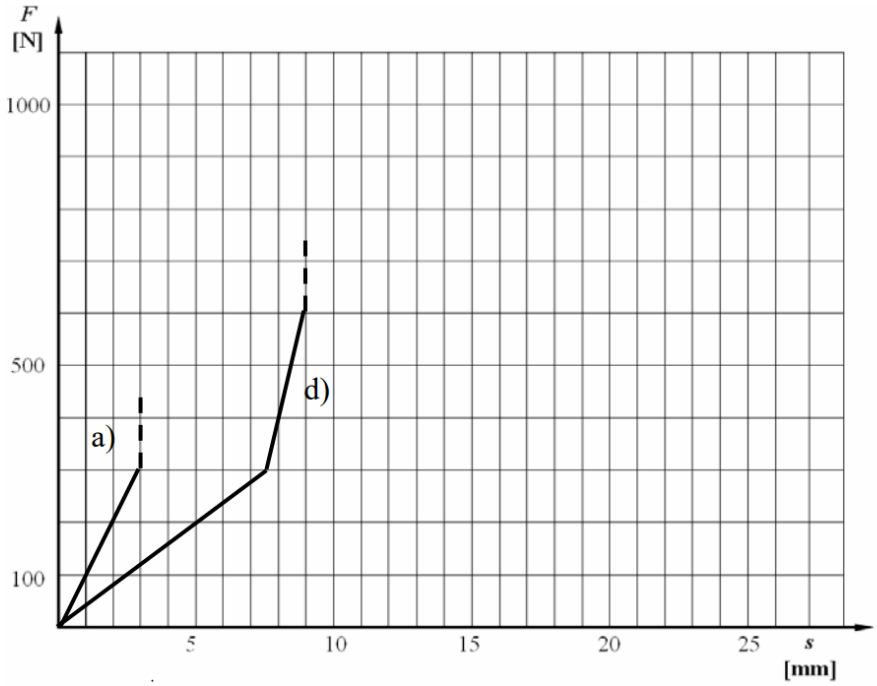
E-FE 2 Durch die folgende, schematisch dargestellte, Konstruktion sollen bei einem Fahrzeug leichte Stöße auf die Stoßstange durch die dargestellten Elastomerfedern gedämpft werden. Beurteilen Sie auch diese dargestellte Konstruktion und geben Sie ggf. Verbesserungsvorschläge.

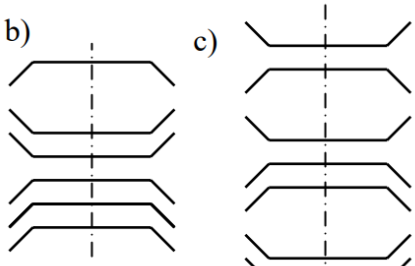


E-FE 3 Angenommen, die Materialkennwerte des Elastomers sind rein linear. Wie verhält sich die Kennlinie des Federelemetes, wenn es wie dargestellt einmal auf Druck und einmal auf Zug belastet wird? (Linear, degressiv oder progressiv)



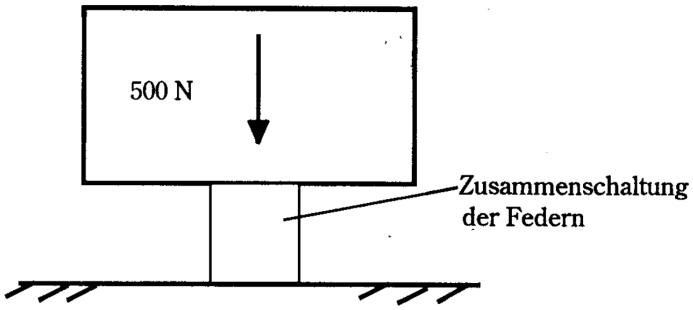
E-FE 4 Zeichnen Sie die Kennlinien der Tellerfederpakete b) und c), wenn eine Tellerfeder die Kennlinie a) besitzt und zeichnen Sie zu der dargestellten Kennlinien d) das Tellerfederpaket.





Übungsaufgabe FE 005

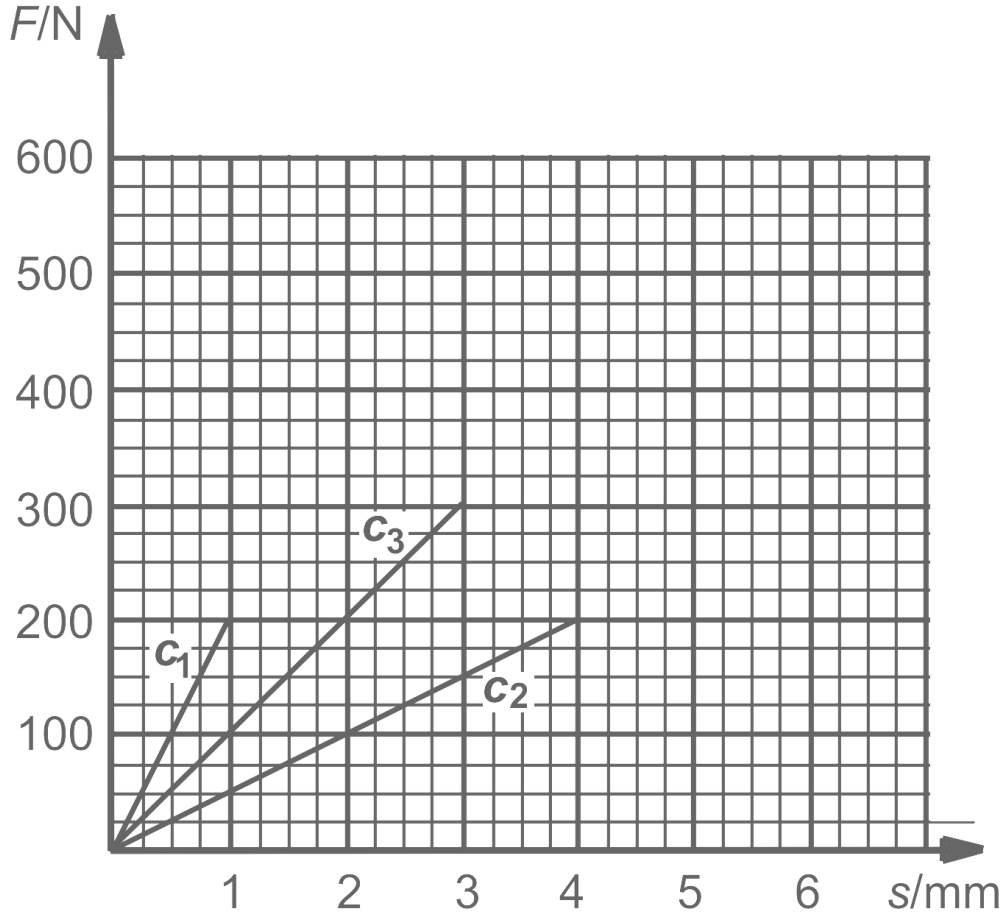
Bei der Reparatur einer Maschine gingen die Tellerfedern verloren. In der Firma werden nur drei Arten von Tellerfedern verwendet, ihre Kennlinien sind in dem Diagramm dargestellt. Das Ende der dargestellten Kennlinie entspricht dem maximalen Federweg der jeweiligen Feder. Das dargestellte Teil wird mit einer Kraft von 500 N belastet und muß dabei um einen Federweg von 6 mm einfedern. Bis zu der Kraft von 500 N muß eine Federung gewährleistet werden.



E-FE1 Geben Sie die Federraten der in dem Diagramm gegebenen Kennlinien an.

E-FE2 Stellen Sie anhand der gebenen Kennlinien ein Federnpaket zusammen, das diese Anforderung erfüllt. Skizzieren Sie die Tellerfedern in Sinnbildern.

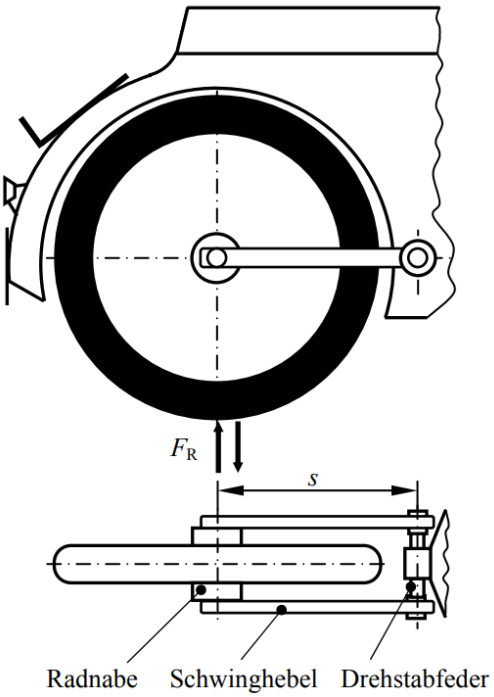
E-FE3



Übungsaufgabe FE 006

Aufgabenstellung

Die unten dargestellte Abbildung zeigt stark vereinfacht die Seiten- und Draufsicht eines alten Motorrollerhecks. Zur Federung ist an diesem Motorroller eine Drehstabfederung vorgesehen, wobei die Drehstabfeder ($\varnothing d = 16$ mm, Werkstoff: 15Cr3) mittig und drehstarr mit der Karosserie verbunden ist. Zwei Schwinghebel (Länge $s = 250$ mm) dienen zur Aufnahme der Hinterradnabe. Über das Rad wird mittig eine Kraft ($F_R = \pm 1000$ N, dyn. Kraftamplitude beim Ein- und Ausfedern) eingeleitet.



Formelsammlung:

$$\varphi = \frac{T \cdot l}{G \cdot I_\varphi} \qquad [\varphi] = \text{rad}$$

$$c = \frac{I_\varphi \cdot G}{l}$$

$$T_{zul} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \cdot \tau_{t\,zul}$$

Kreisquerschnitt

$$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{T^2 \cdot l}{G \cdot I_\varphi} = \eta_A \cdot A \cdot l \cdot \frac{\tau_t^2}{2 \cdot G}$$

T = Torsionsmoment
I_φ = Flächenträgheitsmoment, gegen Torsion
l = Drehfederlänge
c = Federrate
G = Schubmodul
φ = Verdrehwinkel
W = Federarbeit
T = Drehmoment
τ_t = Schubspannung
η_A = Ausnutzungsfaktor

Kennwerte für σ_{Grenz} in N/mm²

Werkstoff	$\sigma_{z\,sch}$	$\sigma_{z\,w}$	$\sigma_{b\,sch}$	$\sigma_{b\,w}$	$\tau_{t\,sch}$	$\tau_{t\,w}$
Ck 15	300	270	420	300	210	180
15Cr3	400	320	560	350	280	210
16MnCr5	600	400	780	450	430	270
15CrNi6	650	500	900	550	450	300
20MnCr5	700	540	980	600	490	340
18CrNi8, 17CrNiMo8	800	580	1060	650	550	410

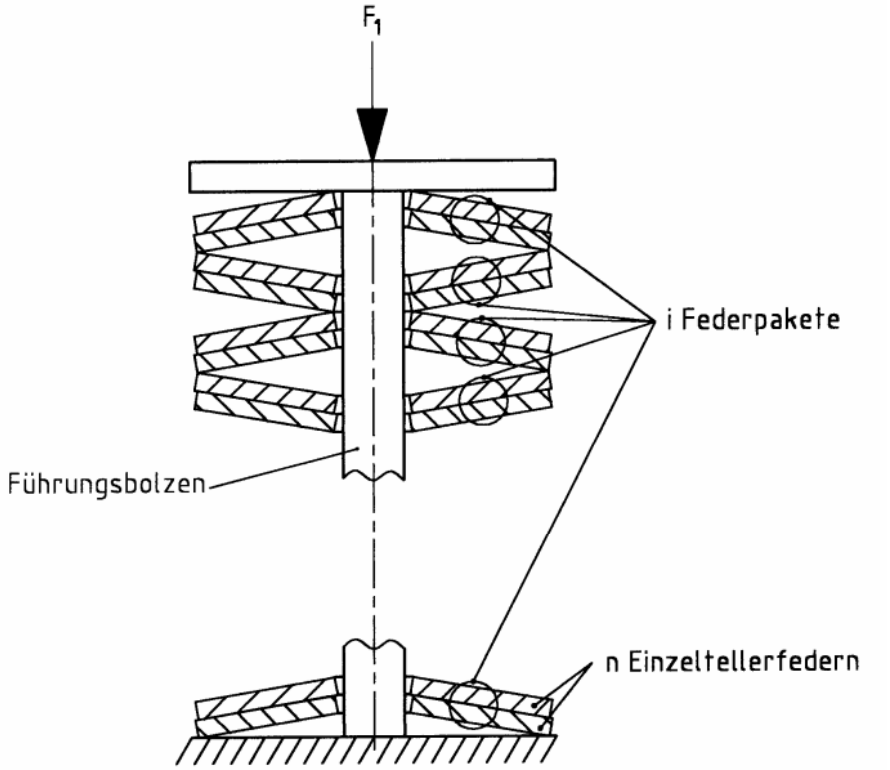
E-FE 1 Berechnen Sie die Torsionsspannung in der Drehstabfeder.

E-FE 2 Ist eine einwandfreie Funktion auch mit einer zusätzlichen Achslast von 500 N möglich?

E- FE 3 Nennen und skizzieren Sie mind. zwei Möglichkeiten zur formschlüssigen Verbindung der Drehfeder mit den Schwinghebeln.

Übungsaufgabe FE 007

Für eine Druckkraft $F_1 = 45.000$ N und einen Federweg $f_1 = 20$ mm (oder geringfügig mehr) ist eine Federsäule aus Tellerfedern zu berechnen. Für den Führungsbolzen ist ein Durchmesser d = 30 mm vorgesehen. Die Federsäule soll den folgenden prinzipiellen Aufbau besitzen.



E-FE 1:

Aus der auf der nächsten Seite gezeigten Tabelle ist eine geeignete Einzeltellerfeder herauszusuchen, wobei die Federrate möglichst hoch sein sollte. Markieren Sie Ihre Auswahl in der Tabelle.

E-FE 2:

Wie groß ist die Anzahl n der Einzelfedern pro Tellerfederpaket, um die Druckkraft F_1 aufnehmen zu können?

E-FE 3:

Wie groß ist die Anzahl i der Federpakete in der Federsäule, um den gewünschten Federweg f_1 realisieren zu können?

E-FE 4:

Wie groß ist die Länge L_0 der unbelasteten Federsäule?

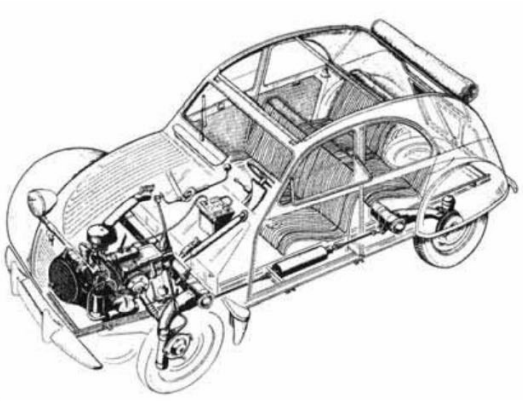
Normen der Original-SCHNORR-Tellerfedern

für harte Federn: $\frac{h}{s} \approx 0{,}4$ und weiche Federn: $\frac{h}{s} \approx 0{,}75$

Größe						Federkraft F in N, Federweg f in mm und Spannung σ in N/mm² bei $f = 0{,}75\,h$				bei $f = h$			
D_a	D_i	s	h	$h+s$	$\frac{h}{s}$	F	f	σ_I	σ_{II}	F	f	σ_I	σ_{II}
8	4,2	0,3	0,25	0,55	0,833	120	0,187	2364	1312	144	0,250	2943	1625
8	4,2	0,4	0,20	0,60	0,500	212	0,150	2188	1199	273	0,200	2796	1516
10	5,2	0,4	0,30	0,70	0,750	212	0,225	2335	1286	260	0,300	2923	1598
10	5,2	0,5	0,25	0,75	0,500	330	0,187	2197	1185	424	0,250	2796	1502
12,5	6,2	0,5	0,35	0,85	0,700	295	0,262	2109	1143	366	0,350	2659	1399
12,5	6,2	0,7	0,30	1,00	0,428	665	0,225	2266	1174	863	0,300	2904	1496
14	7,2	0,5	0,40	0,90	0,800	283	0,300	2011	1109	342	0,400	2522	1373
14	7,2	0,8	0,30	1,10	0,375	804	0,225	2021	1074	1050	0,300	2600	1379
16	8,2	0,6	0,45	1,05	0,750	414	0,337	2041	1117	507	0,450	2560	1388
16	8,2	0,9	0,35	1,25	0,389	1025	0,262	2041	1086	1334	0,350	2629	1391
18	9,2	0,7	0,50	1,20	0,715	574	0,375	2060	1125	709	0,500	2590	1399
18	9,2	1,0	0,40	1,40	0,400	1275	0,300	2060	1097	1654	0,400	2659	1399
20	10,2	0,8	0,55	1,35	0,690	758	0,412	2080	1128	942	0,550	2619	1411
20	10,2	1,1	0,45	1,55	0,409	1536	0,337	2060	1103	1991	0,450	2649	1409
22,5	11,2	0,8	0,65	1,45	0,813	716	0,487	2031	1089	865	0,650	2541	1364
22,5	11,2	1,25	0,50	1,75	0,400	1942	0,375	2060	1066	2541	0,500	2649	1360
25	12,2	0,9	0,70	1,60	0,778	869	0,525	1962	1030	1060	0,700	2453	1280
25	12,2	1,5	0,55	2,05	0,367	2943	0,412	2158	1100	3855	0,550	2786	1409
28	14,2	1,0	0,80	1,80	0,800	1118	0,600	2011	1099	1354	0,800	2511	1355
28	14,2	1,5	0,65	2,15	0,433	2874	0,487	2099	1115	3728	0,650	2698	1419
31,5	16,3	1,25	0,90	2,15	0,720	1933	0,675	2168	1197	2394	0,900	2737	1482
31,5	16,3	1,75	0,70	2,45	0,400	3924	0,525	2060	1107	5101	0,700	2659	1412
35,5	18,3	1,25	1,00	2,25	0,800	1717	0,750	1962	1079	2090	1,000	2462	1333
35,5	18,3	2,00	0,80	2,80	0,400	5258	0,600	2119	1139	6847	0,800	2727	1452
40	20,4	1,5	1,15	2,65	0,767	2649	0,862	2099	1148	3237	1,150	2629	1387
40	20,4	2,25	0,90	3,15	0,400	6553	0,675	2099	1125	8535	0,900	2717	1435
45	22,4	1,75	1,30	3,05	0,744	3679	0,975	2148	1158	4513	1,300	2698	1434
45	22,4	2,5	1,00	3,50	0,400	7799	0,750	2050	1068	10144	1,000	2639	1362
50	25,4	2,0	1,40	3,40	0,700	4807	1,050	2119	1148	5965	1,400	2668	1431
50	25,4	3,0	1,10	4,10	0,367	12106	0,825	2158	1142	15794	1,100	2796	1464
56	28,5	2,0	1,60	3,60	0,800	4513	1,200	2011	1099	5445	1,600	2521	1355
56	28,5	3,0	1,30	4,30	0,433	11527	0,975	2099	1115	14931	1,300	2698	1419
63	31	2,5	1,75	4,25	0,700	7259	1,312	2080	1099	8996	1,750	2619	1371
63	31	3,5	1,40	4,90	0,400	15206	1,050	2050	1059	19718	1,400	2639	1350
71	36	2,5	2,00	4,50	0,800	6798	1,500	1962	1060	8240	2,000	2453	1318
71	36	4,0	1,60	5,60	0,400	20797	1,200	2109	1119	26978	1,600	2717	1427
80	41	3,0	2,30	5,30	0,767	10644	1,725	2099	1148	13008	2,300	2629	1429
80	41	5,0	1,70	6,70	0,340	34041	1,275	2158	1143	44537	1,700	2796	1467
90	46	3,5	2,50	6,00	0,715	14421	1,875	2060	1118	17756	2,500	2590	1403
90	46	5,0	2,00	7,00	0,400	31784	1,500	2060	1097	41398	2,000	2649	1399
100	51	3,5	2,80	6,30	0,800	13224	2,100	1933	1060	16030	2,800	2423	1313
100	51	6,0	2,20	8,20	0,367	48560	1,650	2158	1152	63373	2,200	2796	1476
112	57	4,0	3,20	7,20	0,800	17952	2,400	2011	1167	21778	3,200	2511	1355
112	57	6,0	2,50	8,50	0,417	44145	1,875	2011	1065	57389	2,500	2580	1356
125	64	5,0	3,50	8,50	0,700	30411	2,625	2129	1246	37572	3,500	2678	1445
125	64	8,0	2,60	10,60	0,325	87113	1,950	2148	1138	114188	2,600	2786	1461
140	72	5,0	4,00	9,00	0,800	28253	3,000	2011	1197	34237	4,000	2521	1357
140	72	8,0	3,20	11,20	0,400	86328	2,400	2178	1171	112325	3,200	2806	1494
160	82	6,0	4,50	10,50	0,750	41594	3,375	2041	1197	50816	4,500	2560	1388
160	82	10,0	3,50	13,50	0,350	140283	2,625	2227	1186	183055	3,500	2874	1517
180	92	6,0	5,10	11,10	0,850	38063	3,825	1903	1128	45617	5,100	2374	1289
180	92	10,0	4,00	14,00	0,400	127138	3,000	2060	1097	165495	4,000	2659	1399
200	102	8,0	5,60	13,60	0,700	77499	4,200	2129	1226	95746	5,600	2668	1430
200	102	12,0	4,20	16,20	0,350	185409	3,150	2060	1091	242307	4,200	2649	1396

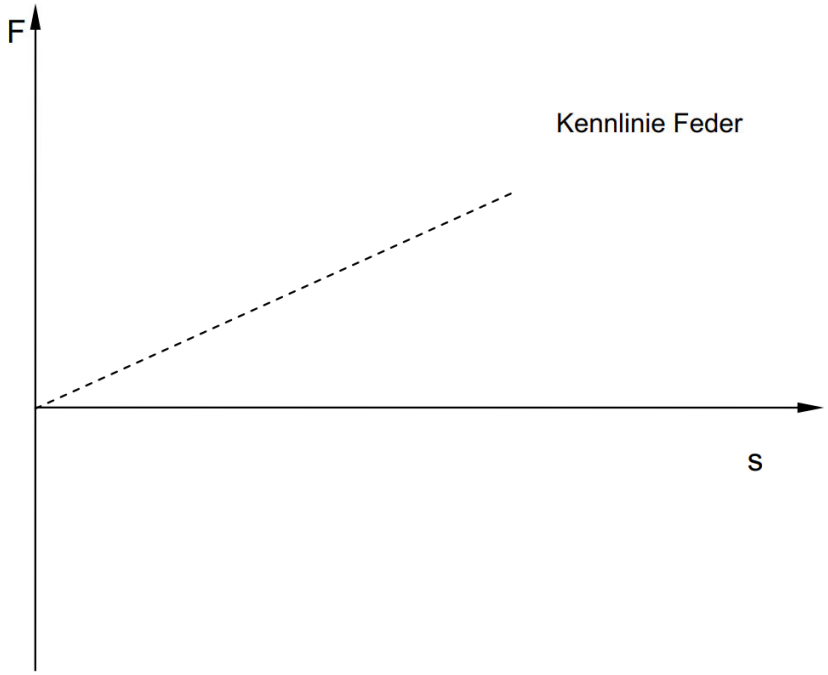
Übungsaufgabe FE 008

Die Aufgabe bei der Entwicklung des 2CV in Frankreich Mitte der 30ger-Jahre bestand darin, ein „Regenschirm auf Rädern“ zu konstruieren, der „einen Zentner Kartoffeln, vier Personen und einen Korb Eier heil auch über Feldwege transportieren kann“. Das Fahrwerk bestand aus einem Längslenkersystem mit zwei unter den Seitenschwellern montierten, in Fahrtrichtung orientierten Federungseinheiten. Die Dämpfer bestanden aus einfachen Reibungsdämpfern, die bei Bewegungen Quietsch-Geräusche erzeugten, was dem Auto in Deutschland die Bezeichnung „Ente“ bescherte.



E-FE 1 Zeichnen Sie den qualitativen Verlauf der Kennlinie eines Feder-Dämpfer-Systems bestehend aus Feder und Reibungsdämpfer in das Diagramm ein, wenn die Feder die dargestellte Kennlinie hat.

E-FE 2 Anhänger von Pkws besitzen häufig eine einfache Elastomerfederung. Welchen Vorteil hat eine Elastomerfeder gegenüber einer Schraubenfeder im Einsatz von Fahrzeugen? Zeichnen Sie ebenfalls den qualitativen Verlauf dieser Kennlinie in das Diagramm.

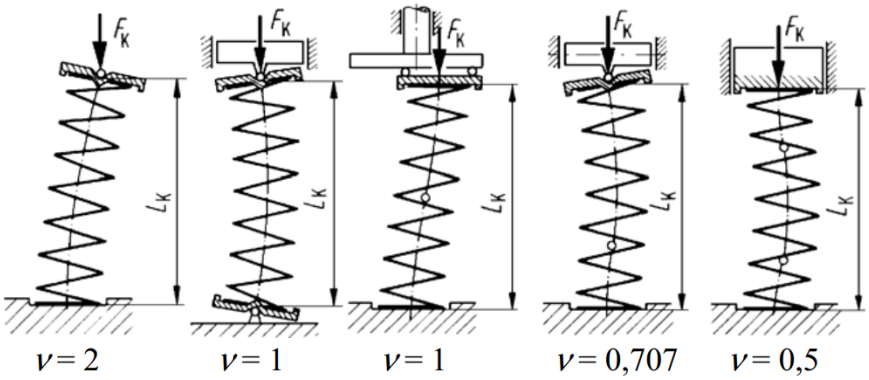


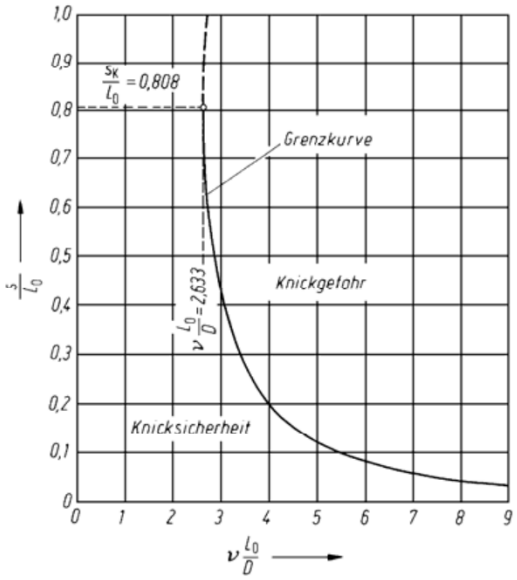
E-FE 3 Ein Tisch mit einem Gewicht der Masse m soll auf vier Schraubenfeder der Länge L_0 = 300 mm und einem mittleren Windungsdurchmesser von 75 mm gemäß neben stehender Zeichnung gelagert werden. Unter der Last des Tisches verkürzen sich die Federn um 120 mm. Kennzeichnen Sie den Knickfall ν und ermitteln Sie, ob eine Knickgefahr für die Federn besteht. Kennzeichnen Sie dies im Diagramm.

Hilfswerte:

$\boxed{\nu \cdot \frac{L_0}{D}}$ und $\boxed{\frac{s}{L_0}}$

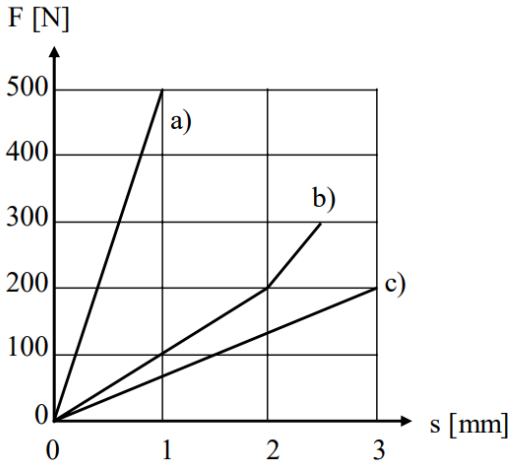
L_0 = ungespannte Länge nach ⑤
D = mittlerer Windungsdurchmesser
s = vorgesehener max. Federweg
ν = Faktor zur Berücksichtigung der Krafteinleitung bzw. Lagerung der Federenden. Ermittlung s. Bild.





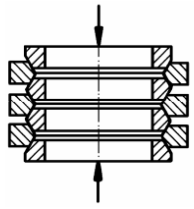
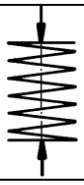
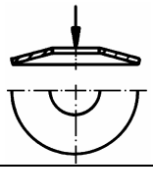
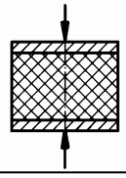
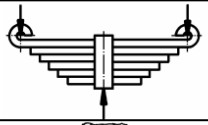
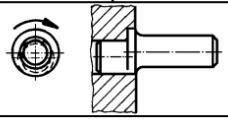
Übungsaufgabe FE 009

E-FE 1 Durch ein Federsystem soll möglichst viel Energie aufgenommen werden. Welche der durch die Kennlinien dargestellten Tellerfederpakete kann am meisten Energie aufnehmen? Berechnen Sie hierfür die maximal mögliche Energieaufnahme der einzelnen Pakete a), b) und c) und vergleichen diese miteinander.



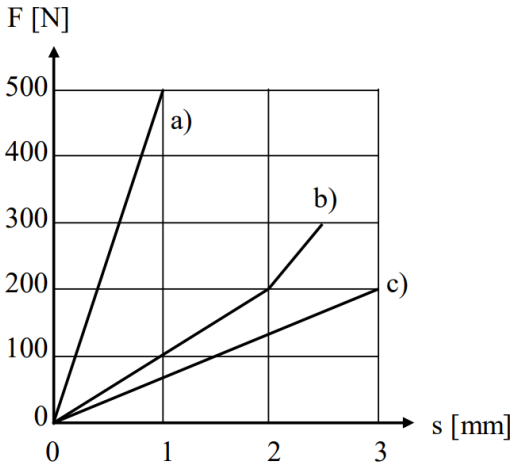
E-FE 2 Nennen Sie jeweils zwei Vor- und Nachteile von Elastomerfedern.

E-FE 3 Bezeichnen Sie die folgenden dargestellten Federn und nennen Sie die innere Beanspruchung dieser Federn.

	Bezeichnung	**Innere Beanspruchung**
		
		
		
		
		
		

LÖSUNG zu Übungsaufgabe FE 009

E-FE 1 Durch ein Federsystem soll möglichst viel Energie aufgenommen werden. Welche der durch die Kennlinien dargestellten Tellerfederpakete kann am meisten Energie aufnehmen? Berechnen Sie hierfür die maximal mögliche Energieaufnahme der einzelnen Pakete a), b) und c) und vergleichen diese miteinander.



Lösung:

$W = \int F\,dx = \int (ax+b)\,dx$
bei linearerem Verlauf → $W = \frac{1}{2} \cdot F \cdot x$

$W_a = \frac{1}{2} \cdot 500\ \text{N} \cdot 1\ \text{mm} = 250\ \text{Nmm} = 250\ \text{mJ}$

$W_b = \frac{1}{2} \cdot 200\ \text{N} \cdot 2\ \text{mm} + \frac{1}{2} \cdot 100\ \text{N} \cdot 0{,}5\ \text{mm} + 200\ \text{N} \cdot 0{,}5\ \text{mm} = 325\ \text{Nmm} = 325\ \text{mJ}$ ← ***max.***

$W_c = \frac{1}{2} \cdot 200\ \text{N} \cdot 3\ \text{mm} = 300\ \text{Nmm} = 300\ \text{mJ}$

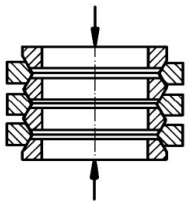
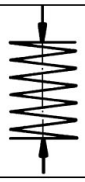
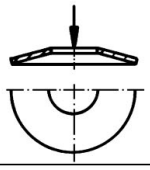
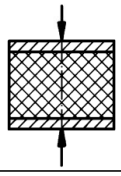
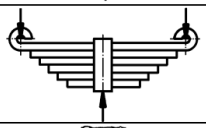
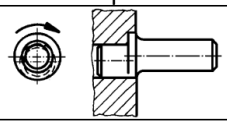
E-FE 2 Nennen Sie jeweils zwei Vor- und Nachteile von Elastomerfedern.

Lösung:

+ Dämpfungsfähigkeit, elektr. Isolierfähigkeit, ggf. progressive Kennlinie

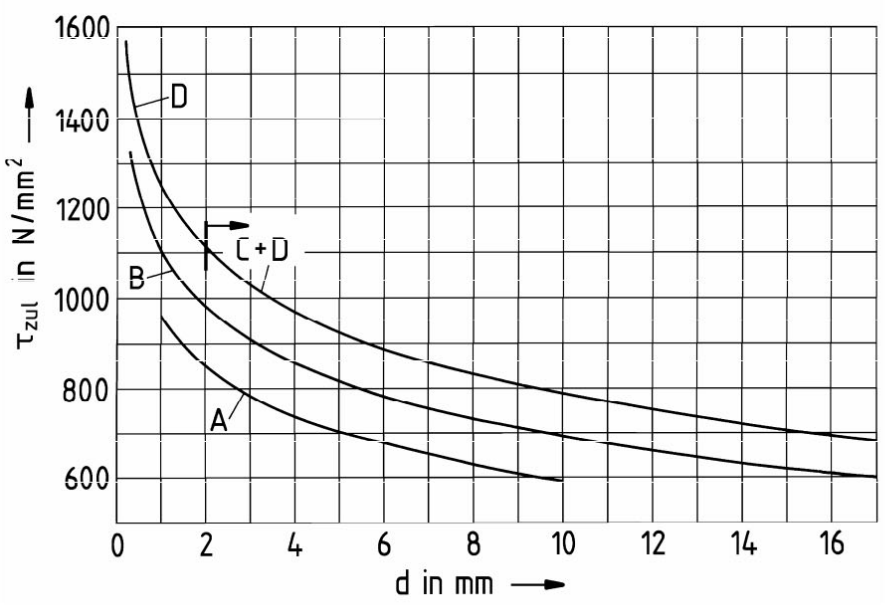
- Umweltanfällig (Sonne, Regen, Wärme), schlecht für Zugbeanspruchung, Wärmeaufbau

E-FE 3 Bezeichnen Sie die folgenden dargestellten Federn und nennen Sie die innere Beanspruchung dieser Federn.

	Bezeichnung	**Innere Beanspruchung**
	*Ringfeder*	*Zug, Druck*
	*Zylindrische Schraubenfedern*	*Torsion*
	*Tellerfeder*	*Biegung*
	*Gummi-Druckfeder*	*Zug, Druck*
	*Blattfeder*	*Biegung*
	*Drehstabfeder*	*Torsion*

Übungsaufgabe FE 010

E-FE 1 Bestimmen Sie anhand des Diagramms die zulässige Schubspannung τ_{zul} für einen Federdraht der Klasse B nach DIN 17223 mit einer Stärke von 8mm! Kennzeichnen Sie die Lösung im Diagramm (ebenso den Zahlenwert).



E-FE 2

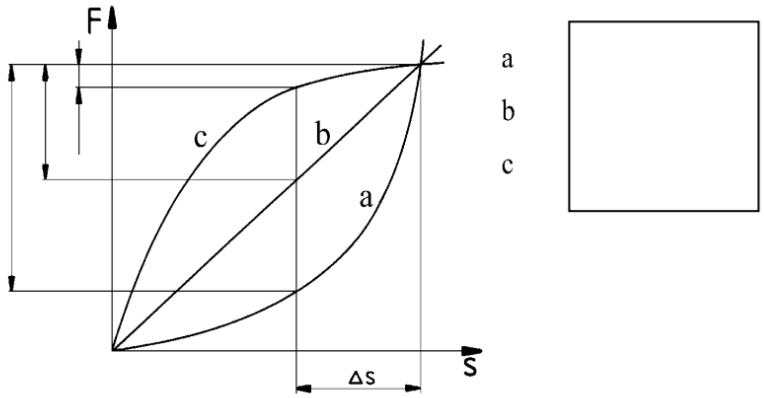
- Warum müssen Druckfedern ab einer gewissen Länge geführt werden?

- Nennen Sie mindestens eine Möglichkeit diese Führung zu realisieren.

- Nennen Sie mindestens einen Vorteil und einen Nachteil von Elastomerfedern.

- Zwei Druckfedern werden in Reihe Geschaltet. Geben sie bitte die resultierende Federsteifigkeit c_{Ges} der Reihenschaltung an.

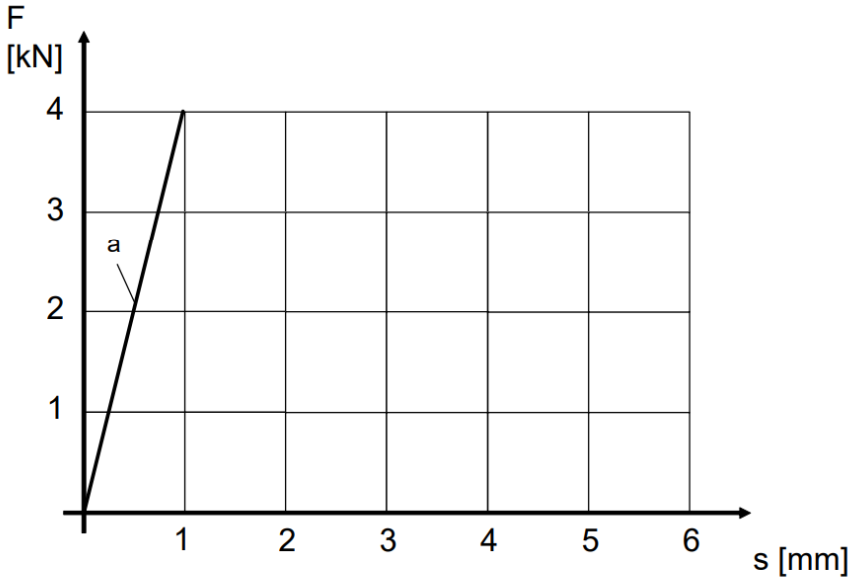
E-FE3 Machen Sie bitte kenntlich, ob es sich um einen linearen, progressiven oder degressiven Kurvenverlauf handelt.

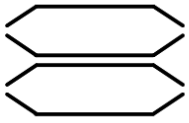


E-FE 4 Gegeben Sei der Kennlinienverlauf eines Federpakets in einem Diagramm:

a) Geben Sie die Federsteifigkeit einer einzelnen Tellerfeder an

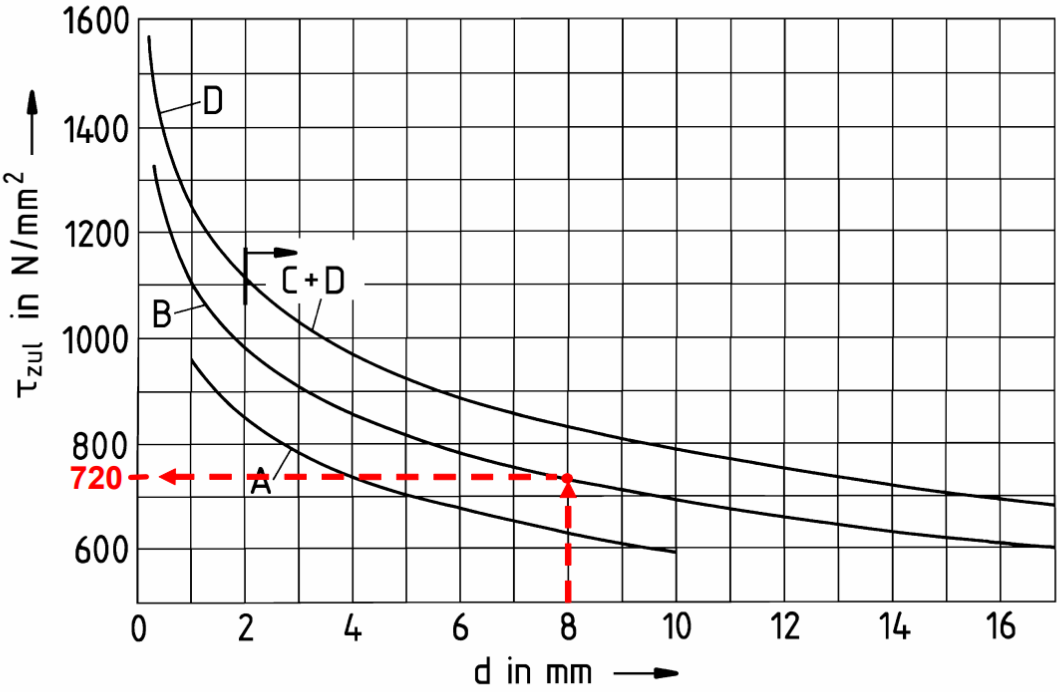
b) Bestimmen Sie die Kennlinienverläufe der übrigen Federpakete b), c) und d) und tragen Sie diese im Diagramm ein.



a	b	c	d
			

LÖSUNG zu Übungsaufgabe FE 010

E-FE 1 Bestimmen Sie anhand des Diagramms die zulässige Schubspannung τ_{zul} für einen Federdraht der Klasse B nach DIN 17223 mit einer Stärke von 8mm! Kennzeichnen Sie die Lösung im Diagramm.



E-FE 2

- Warum müssen Druckfedern ab einer gewissen Länge geführt werden?

  Knickgefahr

- Nennen Sie mindestens eine Möglichkeit diese Führung zu realisieren.

  Hülse / Dorn

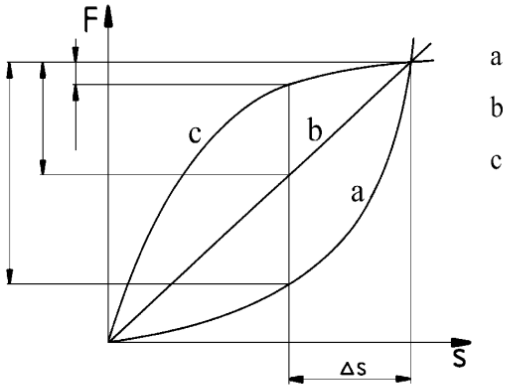
- Nennen Sie mindestens einen Vorteil und einen Nachteil von Elastomerfedern.

  Vorteile: *Schnelldämmfähigkeit, elektrische Isolierfähigkeit*
  Hohe Dämpfungsfähigkeit
  Nachteil: *Frühzeitige Alterung durch Witterung*
  Quellen durch Benzol, Öle und Fette

- Zwei Druckfedern werden in Reihe Geschaltet. Geben sie bitte die resultierende Federsteifigkeit c_{Ges} der Reihenschaltung an.

$$c_{Ges} = \frac{c_1 \cdot c_2}{c_1 + c_2}$$

E-FE3 Machen Sie bitte kenntlich, ob es sich um einen linearen, progressiven oder degressiven Kurvenverlauf handelt.



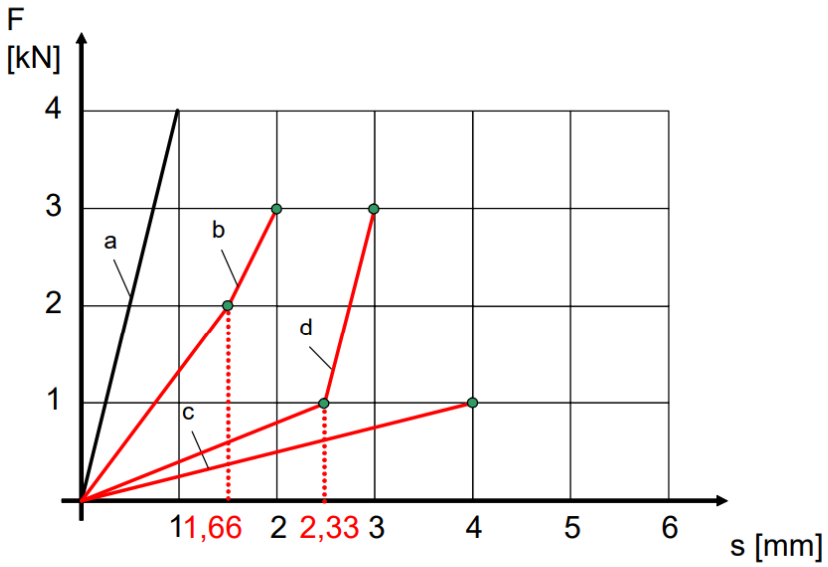
progressiv
linear
degressiv

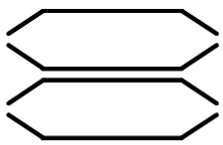
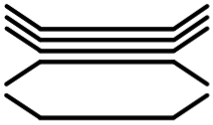
E-FE 4 Gegeben sei der Kennlinienverlauf eines Federpakets in einem Diagramm.

a) Geben Sie die Federsteifigkeit einer einzelnen Tellerfeder an

c_1=1000 N/mm

b) Bestimmen Sie die Kennlinienverläufe der übrigen Federpakete b), c) und d).



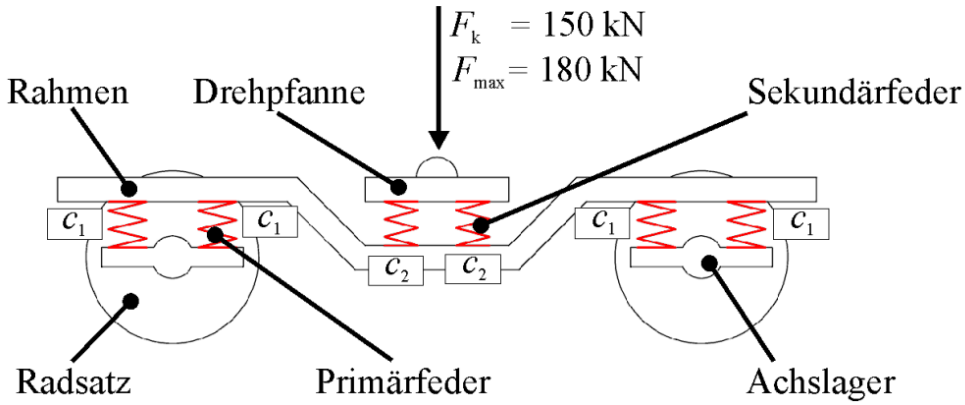
a	b	c	d
			

Übungsaufgabe FE 011

Die Federung einer S-Bahn ist mit Schraubenfedern realisiert. Die untere Skizze zeigt den Aufbau eines Drehgestells schematisch: Die Radsätze werden über die Achslager und die Primärfedern mit dem Rahmen verbunden. Die Drehpfanne verbindet Drehgestell und Waggon. Zwischen Rahmen und Drehpfanne sind zusätzlich Sekundärfedern angeordnet.

E-FE 1

Geben Sie die Formeln für die Ersatzfederraten $\mathbf{c_{1ges}}$ für alle Primärfedern und $\boldsymbol{c_{2ges}}$ für alle Sekundärfedern des gesamten Drehgestells mit zwei Radsätzen an.



E-FE 2

Die Sekundärfedern sind so ausgelegt, dass Sie nur bis $\boldsymbol{F_k}$ = 150 kN (Komfortfall) wirken und bei größerer Kraft „auf Block“ liegen. Geben Sie die Gesamtfederrate für alle dargestellten Federn an:

a) $\boldsymbol{c_{ges\,k}}$ für $\boldsymbol{F < F_k}$

b) $\boldsymbol{c_{ges\,max}}$ für $\boldsymbol{F_k \leq F \leq F_{max}}$

(Hinweis: Beachten Sie für Teil b) nur den weiteren Federweg)

E-FE 3

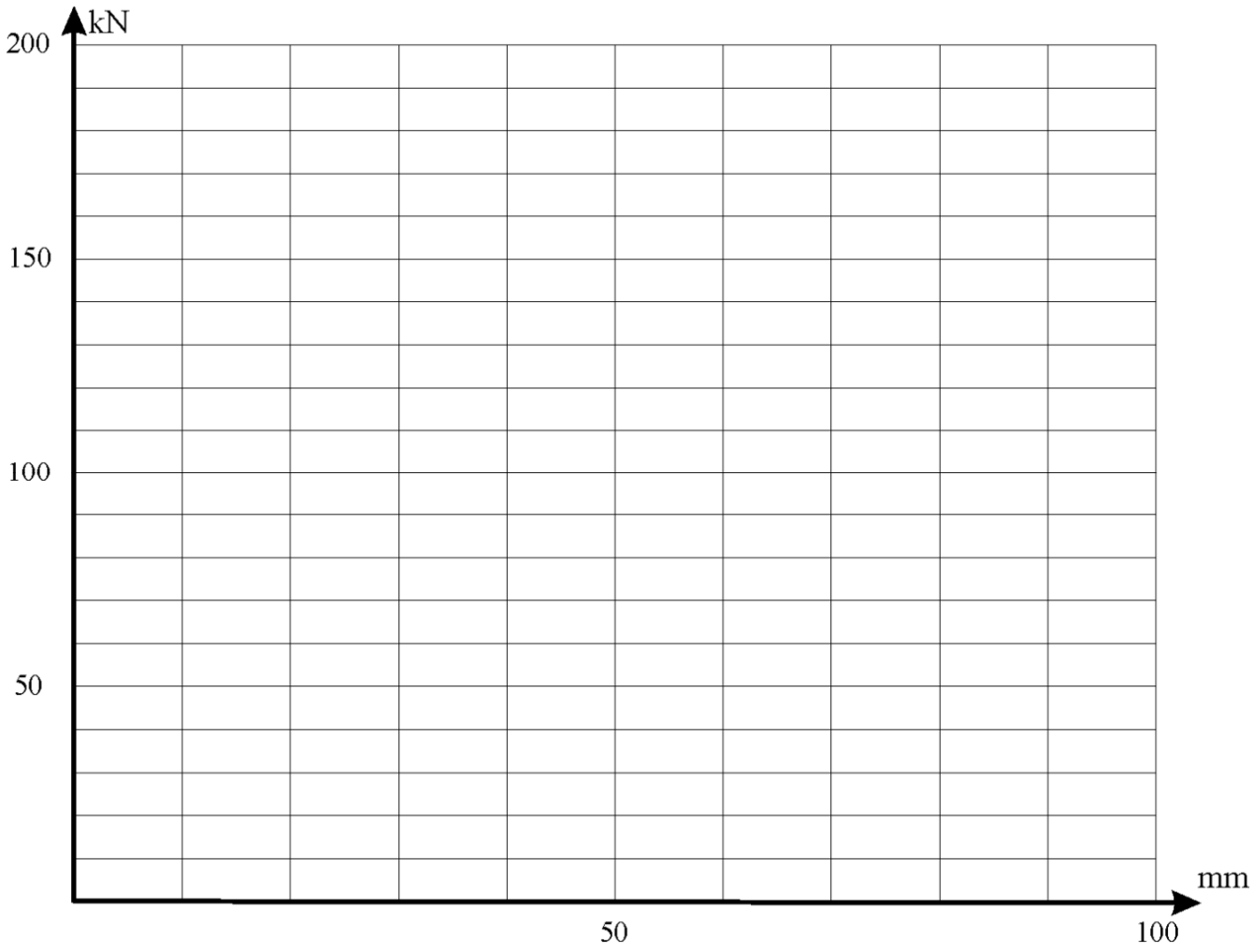
Bei der Maximallast von F_{max} = 180 kN federt die gesamte Anordnung um insgesamt 65 mm ein. Die Sekundärfedern liegen bei F_k = 150 kN auf Block, wobei das Gesamtsystem bei dieser Beanspruchung um 60 mm abgesenkt wird.

a) Zeichnen Sie die Gesamt-Federkennlinie in das Diagramm ein.

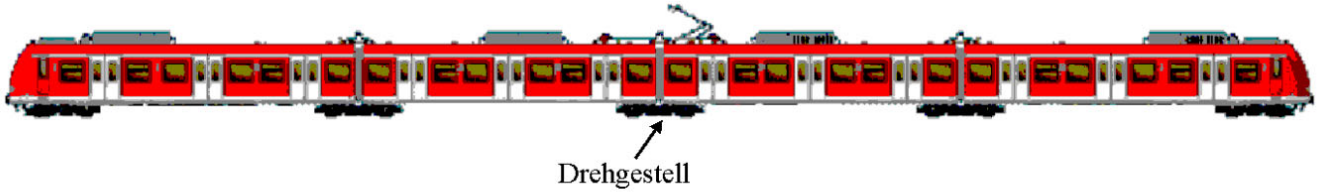
Ermitteln Sie die folgenden Werte rechnerisch unter Berücksichtigung der Werte gemäß Diagramm

b) Welchen Betrag haben die Federraten c_1 und c_2?

c) Wie lang ist der maximale Federweg der Sekundärfedern x_{2max}?



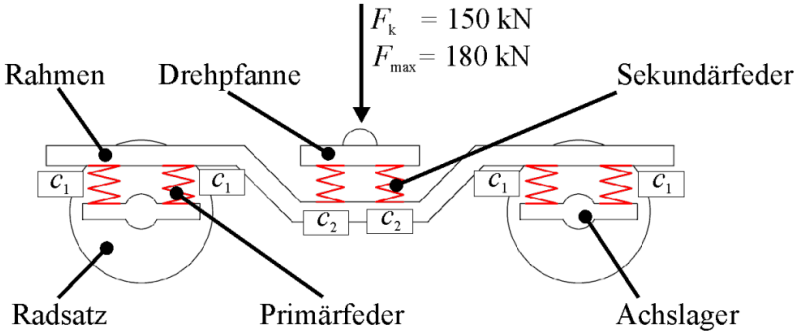
LÖSUNG zu Übungsaufgabe FE 011



Die Federung einer S-Bahn ist mit Schraubenfedern realisiert. Die untere Skizze zeigt den Aufbau eines Drehgestells schematisch: Die Radsätze werden über die Achslager und die Primärfedern mit dem Rahmen verbunden. Die Drehpfanne verbindet Drehgestell und Waggon. Zwischen Rahmen und Drehpfanne sind zusätzlich Sekundärfedern angeordnet.

E-FE 1

Geben Sie die Formeln für die Ersatzfederraten c_{1ges} für alle Primärfedern und c_{2ges} für alle Sekundärfedern des gesamten Drehgestells mit zwei Radsätzen an.



Lösung:

$$c_{1ges} = 4 \cdot c_1$$

$$c_{2ges} = 2 \cdot c_2$$

E-FE 2

Die Sekundärfedern sind so ausgelegt, dass Sie nur bis F_k = 150 kN (Komfortfall) wirken und bei größerer Kraft „auf Block“ liegen. Geben Sie die Gesamtfederrate für alle dargestellten Federn an:

a) $c_{ges\,k}$ für $F < F_k$

b) $c_{ges\,max}$ für $F_k \le F \le F_{max}$

(Hinweis: Beachten Sie für Teil b) nur den weiteren Federweg)

Lösung:

a) Beide Federn wirken in Reihenschaltung

$$c_{ges\,k} = \frac{c_{1ges} \cdot c_{2ges}}{c_{1ges} + c_{2ges}} \qquad \textit{oder} \qquad \frac{1}{c_{ges\,k}} = \frac{1}{c_{1ges}} + \frac{1}{c_{2ges}}$$

b) Sekundärfedern vollständig eingefedert. Nur Primärfeder wirkt.

$$c_{ges\,max} = c_{1ges}$$

E-FE 3

Bei der Maximallast von F_{max} = 180 kN federt die gesamte Anordnung um insgesamt 65 mm ein. Die Sekundärfedern liegen bei F_k = 150 kN auf Block, wobei das Gesamtsystem bei dieser Beanspruchung um 60 mm abgesenkt wird.

a) Zeichnen Sie die Gesamt-Federkennlinie in das Diagramm ein.

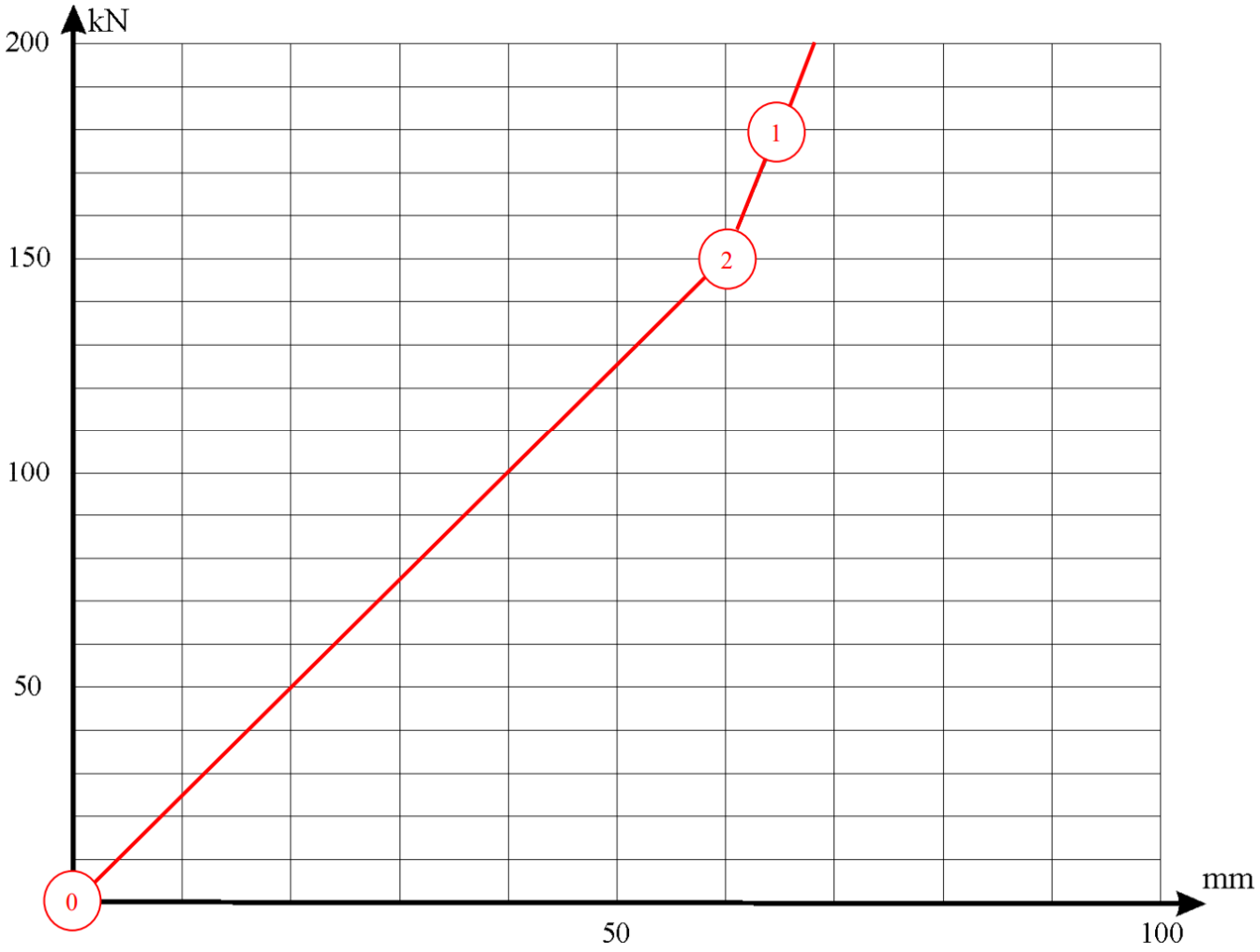
Ermitteln Sie die folgenden Werte rechnerisch unter Berücksichtigung der Werte gemäß Diagramm

b) Welchen Betrag haben die Federraten c_1 und c_2?

c) Wie lang ist der maximale Federweg der Sekundärfedern x_{2max}?

Lösung:

65 mm *Federweg bei* 180 kN → P1 *eintragen*
60 mm *Federweg mit Primär und Sekundärfeder* → P2 *eintragen*



Steigung der Verbindungslinie 2 → 1 *ist* $\boldsymbol{c_1}$

$$F = c \cdot x$$

$$x_{21} = 5\,\text{mm} = \frac{\Delta F}{c_{\text{ges max}}} = \frac{30\,\text{kN}}{c_{1\text{ges}}} \Rightarrow c_{1\text{ges}} = \frac{30\,\text{kN}}{5\,\text{mm}} = 6\,\frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

mit $c_{1\text{ges}} = 4 \cdot c_1$ $\Rightarrow c_1 = \frac{c_{1\text{ges}}}{4} = \frac{6\,\text{kN}}{4\,\text{mm}} = 1{,}5\,\frac{\text{kN}}{\text{mm}}$

Steigung der Verbindungslinie 0 → 2 *ist* $\boldsymbol{c_{\text{ges k}}}$

$$x_{\text{ges k}} = 60\,\text{mm} = \frac{\Delta F}{c_{\text{ges k}}} = \frac{150\,\text{kN}}{c_{\text{ges k}}} \qquad \Rightarrow c_{\text{ges k}} = \frac{150\,\text{kN}}{60\,\text{mm}} = \frac{5}{2}\,\frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

$$\frac{1}{c_{\text{ges k}}} = \frac{1}{c_{1\text{ges}}} + \frac{1}{c_{2\text{ges}}} \qquad \Rightarrow \frac{1}{c_{\text{ges k}}} - \frac{1}{c_{1\text{ges}}} = \frac{1}{c_{2\text{ges}}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\frac{5}{2}\frac{\text{kN}}{\text{mm}}} - \frac{1}{6\frac{\text{kN}}{\text{mm}}} = \frac{1}{c_{2\text{ges}}} \qquad \Rightarrow \frac{1}{c_{2\text{ges}}} = \frac{7}{30\frac{\text{kN}}{\text{mm}}} \Rightarrow c_{2\text{ges}} = \frac{30}{7}\,\frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

mit $c_{2\text{ges}} = 2 \cdot c_2$ $\Rightarrow c_2 = \frac{c_{2\text{ges}}}{2} = \frac{30}{14}\,\frac{\text{kN}}{\text{mm}}$

Federweg der Sekundärfedern

$$F_{\text{k}} = c_{2\text{ges}} \cdot x_{2\,\text{max}}$$

$$\Rightarrow x_{2\,\text{max}} = \frac{F_{\text{k}}}{c_{2\text{ges}}} = \frac{150\,\text{kN} \cdot 7\,\text{mm}}{30\,\text{kN}} = 35\,\text{mm}$$

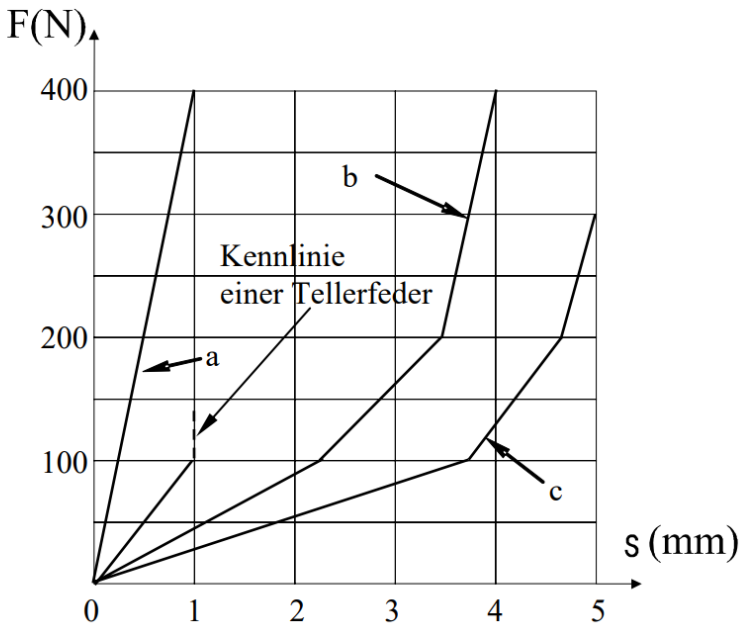
Übungsaufgabe FE 012

E-FE 1 Gegeben ist die in der Skizze dargestellte Anordnung mit drei in Reihe geschalteten Schraubenfedern, wobei gilt $c_1 = c_2 = c_3 = 2$ kN/mm. Nennen Sie eine Möglichkeit durch Neuanordnung der Schraubenfedern die Federrate des Gesamtsystems zu verdoppeln. Skizzieren Sie diese und weisen Sie es mit der entsprechenden Formel nach.

E-FE 2 Geben Sie die drei Beanspruchungsformen, für Elastomerfedern an und geben Sie an, ob sie gut bzw. schlecht für die drei Beanspruchungen geeignet sind.

E-FE 3 Erläutern Sie kurz warum Elastomere Dämpfungseigenschaften haben. Wie nennt man den Effekt?

E-FE 4 Gegeben sind die Kennlinien der Tellerfederpakete, die aus einzelnen Tellerfedern mit der Federrate von 100 N/mm mit einem maximalen Federweg von 1 mm bestehen. Zeichen Sie drei Tellerfederpakete.



LÖSUNG zu Übungsaufgabe FE 012

E-FE 1 Gegeben ist die in der Skizze dargestellte Anordnung mit drei in Reihe geschalteten Schraubenfedern, wobei gilt $c_1 = c_2 = c_3 = 2$ kN/mm. Nennen Sie eine Möglichkeit durch Neuanordnung der Schraubenfedern die Federrate des Gesamtsystems zu verdoppeln. Skizzieren Sie diese und weisen Sie es mit der entsprechenden Formel nach.

Lösung: c_{ges}=2/3 kN/mm

Parallelschaltung von c_1 und c_2

$$\frac{1}{c_{ges}} = \frac{1}{c_1 + c_2} + \frac{1}{c_3} = \frac{1}{2c} + \frac{1}{c} = \frac{1}{4\,\frac{\text{kN}}{\text{mm}}} + \frac{1}{2\,\frac{\text{kN}}{\text{mm}}} = \frac{3}{4\,\frac{\text{kN}}{\text{mm}}} \Rightarrow c_{ges} = \frac{4}{3}\,\frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

E-FE 2 Geben Sie die drei Beanspruchungsformen, für Elastomerfedern an und geben Sie an, ob sie gut bzw. schlecht für die drei Beanspruchungen geeignet sind.

Lösung:

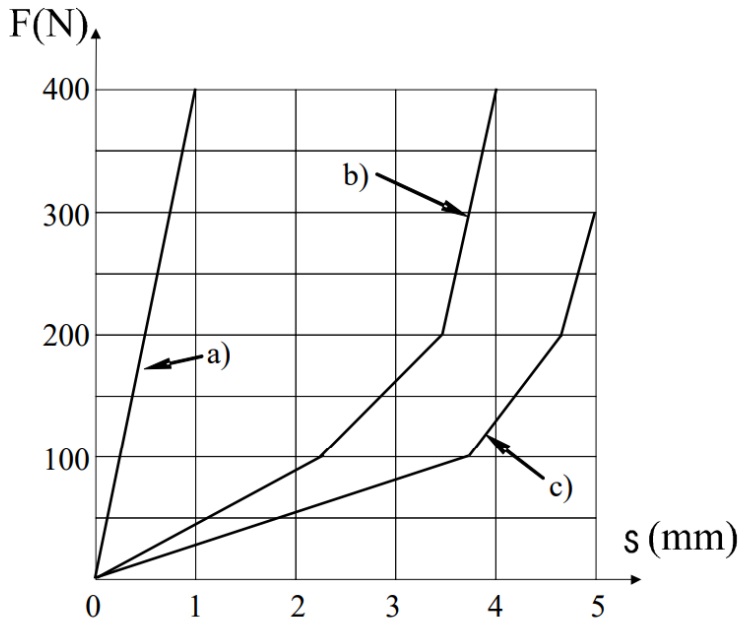
Zugbeanspruchung: *nicht geeignet, da Rissbildung*
Druckbeanspruchung: *sehr gut*
Schubbeanspruchung: *gut*

E-FE 3 Erläutern Sie kurz warum Elastomere Dämpfungseigenschaften haben. Wie nennt man den Effekt?

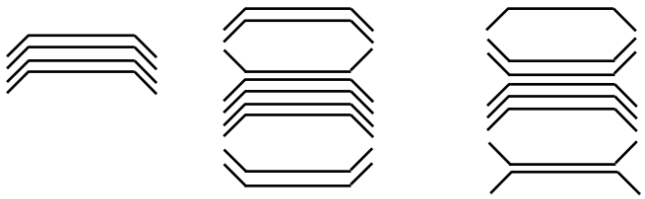
Lösung:

Hysterese: Durch die innere Reibung, wird die wirkende Kraft um den Anteil der Reibarbeit verringert und so gedämpft.

E-FE 4 Gegeben sind die Kennlinien der Tellerfederpakete, die aus einzelnen Tellerfedern mit der Federrate von 100 N/mm mit einem maximalen Federweg von 1 mm bestehen. Zeichen Sie drei Tellerfederpakete.



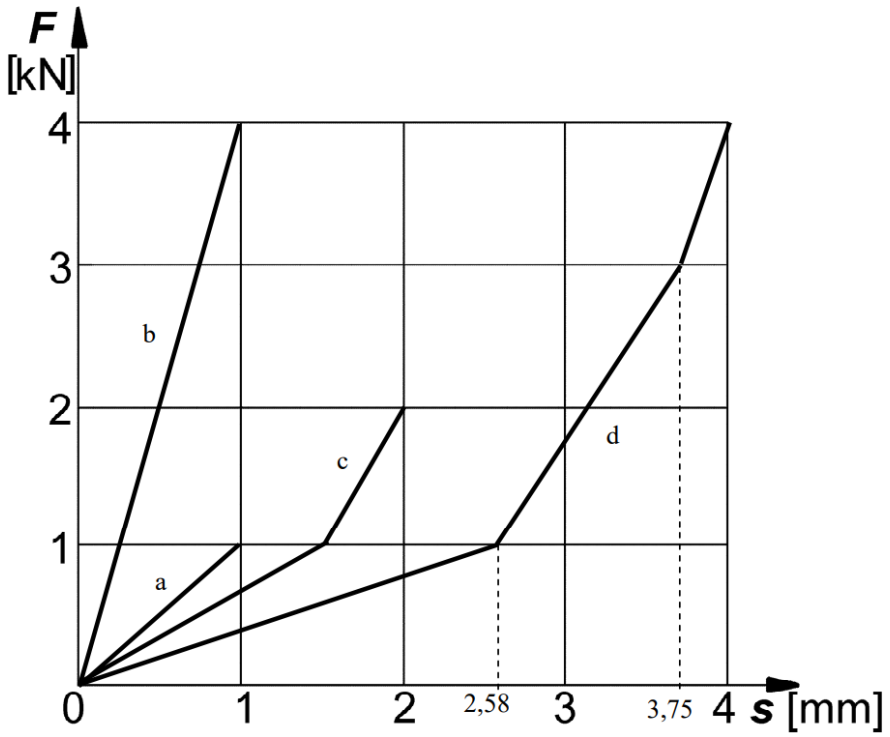
Lösung:



a) b) c)

Übungsaufgabe FE 013

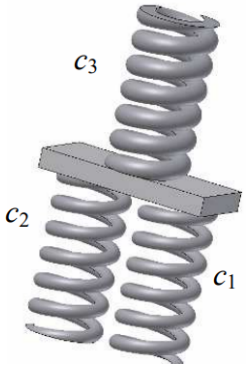
E-FE 1 Zeichnen Sie die Tellerfederpakete b, c, und d wenn eine Tellerfeder die Kennlinie a aufweist.



a	b	c	d

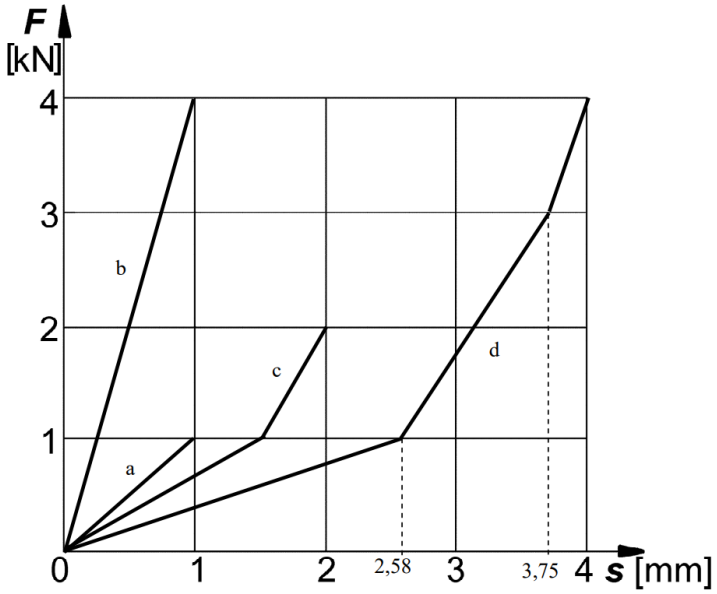
E-FE 2 Wie bezeichnet man die Federcharakteristik des Tellerfederpaketes c und d und wo können diese Sinnvoll eingesetzt werden? Welche weiteren Federcharakteristiken kennen Sie? Nenne Sie auch hier je ein typisches Einsatzgebiet.

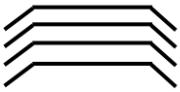
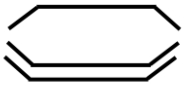
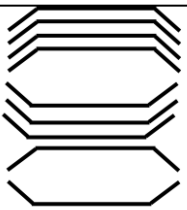
E-FE 3
Berechnen Sie für das dargestellte Federsystem die Gesamtfederrate. $c_1 = 60$ N/mm, $c_2 = 80$ N/mm, $c_3 = 120$ N/mm.



LÖSUNG zu Übungsaufgabe FE 013

E-FE 1 Zeichnen Sie die Tellerfederpakete b, c, und d wenn eine Tellerfeder die Kennlinie aufweist.



a	b	c	d
			

E-FE 2 Wie bezeichnet man die Federcharakteristik des Tellerfederpaketes c und d und wo können diese sinnvoll eingesetzt werden? Welche weiteren Federcharakteristiken kennen Sie? Nenne Sie auch hier je ein typisches Einsatzgebiet.

Lösung:

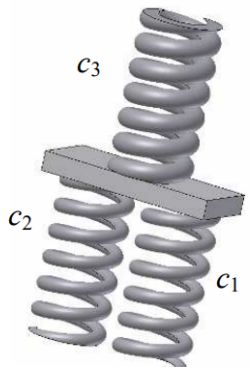
Progressiv: *Endanschlag*

Linear: *Fahrzeugfeder*

Degressiv: *Anpressfeder in Reibkupplung*

E-FE 3

Berechnen Sie für das dargestellte Federsystem die Gesamtfederrate. $c_1 = 60$ N/mm, $c_2 = 80$ N/mm, $c_3 = 120$ N/mm.



Lösung:

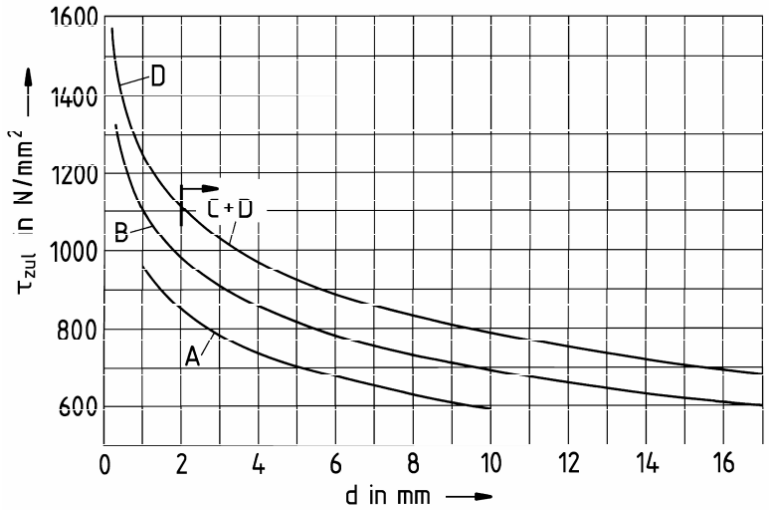
$$c_{ges} = \frac{(c_1 + c_2) \cdot c_3}{(c_1 + c_2) + c_3} = 64{,}6 \ \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Übungsaufgabe FE 014

E-FE 1 Bestimmen Sie anhand des Diagramms und der angegebenen Formeln die Anzahl i_f der federnden Windungen einer Schraubenfeder. Kennzeichnen Sie alle aus dem Diagramm und den Tabellen entnommenen Werte.

Folgende Daten der Schraubenfeder sind bekannt:

- Federdraht der Klasse C nach DIN 17223 mit einer Stärke von 8 mm
- Schubmodul $G = 70.000$ N/mm^2
- Durchmesser $D = 64$ mm
- Federweg $s = 90$ mm



$w = D/d$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	2,05	1,55	1,38	1,29	1,23	1,20	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09

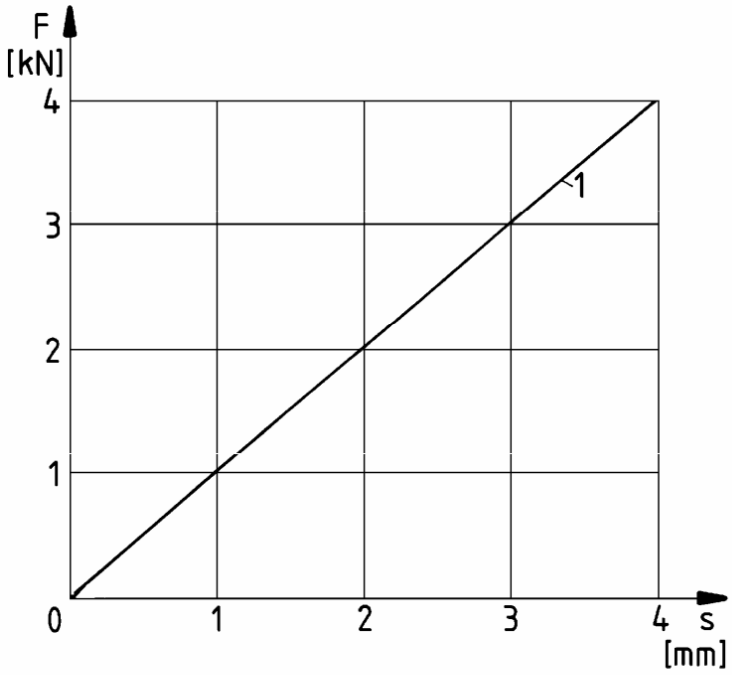
$$k = 1 + \frac{5}{4} \cdot \frac{1}{w} + \frac{7}{8} \cdot \frac{1}{w^2} + \frac{1}{w^3}$$

$$i_f \geq \frac{s \cdot G \cdot d \cdot k}{\pi \cdot D^2 \cdot \tau_{zul}}$$

E-FE2 Von 4 zylindrischen Schraubendruckfedern aus Rundstahldraht sind die unten genannten Daten bekannt. Die Federrate der Feder 1 beträgt $c_1 = 1.000$ N/mm.

$$c = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot i_f \cdot D^3}$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot F \cdot s$$



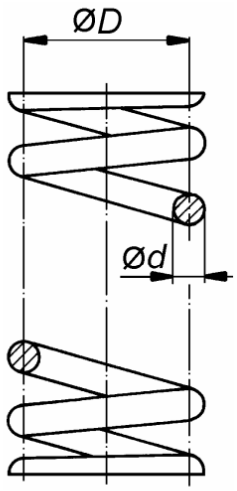
Feder 1:
$d_1 = d$
$D_1 = D$
$i_{f1} = i_f$

Feder 2:
$d_2 = 2 \cdot d$
$D_2 = D$
$i_{f3} = 4 \cdot i_f$

Feder 3:
$d_3 = d$
$D_3 = 1{,}15 \cdot D$
$i_{f3} = 2 \cdot i_f$

Feder 4:
$d_4 = 3 \cdot d$
$D_4 = 3 \cdot D$
$i_{f4} = i_f$

Feder 5:
$d_5 = 2 \cdot d$
$D_5 = 2 \cdot D$
$i_{f5} = 3 \cdot i_f$



a) Wie groß sind die Federraten der übrigen Federn? Die Zahlenwerte sind zu errechnen und die Kennlinien in das Diagramm einzutragen.

b) Jede Feder wird mit der gleichen Kraft F zusammengedrückt. Bei welcher Feder muss dafür die meiste Arbeit geleistet werden? Mit Begründung!

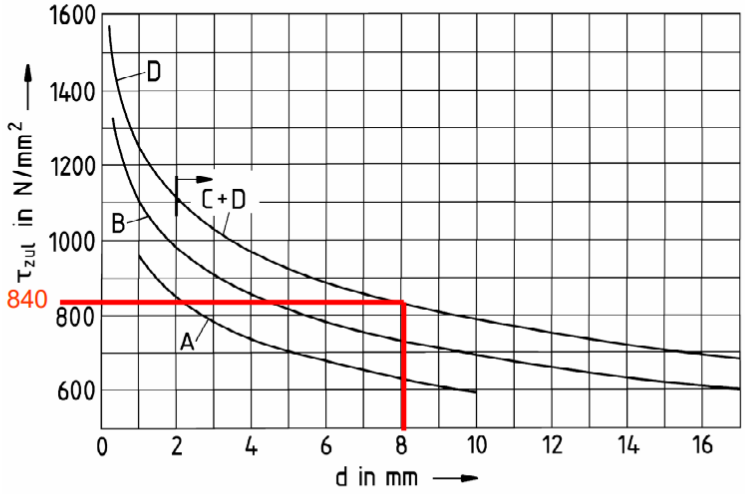
E-FE 3

- Welche Federn sind nach Art der Belastung zu unterscheiden?
- Welchen Zweck hat das Zusammenschalten von Federn?
- Welche Möglichkeiten der Zusammenschaltung von zwei Federn gibt es?
- Geben Sie für jede Möglichkeit der Zusammenschaltung von zwei Federn die Formel zur Berechnung der Gesamtfederrate c_{ges} an.

LÖSUNG zu Übungsaufgabe FE 014

E-FE 1 Bestimmen Sie anhand des Diagramms und der angegebenen Formeln die Anzahl i_f der federnden Windungen einer Schraubenfeder. Kennzeichnen Sie alle aus dem Diagramm und den Tabellen entnommenen Werte.

Folgende Daten der Schraubenfeder sind bekannt:
- Federdraht der Klasse C nach DIN 17223 mit einer Stärke von 8 mm
- Schubmodul $G = 70.000\ \mathrm{N/mm^2}$
- Durchmesser $D = 64$ mm
- Federweg $s = 90$ mm



w = D/d	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k	2,05	1,55	1,38	1,29	1,23	1,20	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09

$$k = 1 + \frac{5}{4}\cdot\frac{1}{w} + \frac{7}{8}\cdot\frac{1}{w^2} + \frac{1}{w^3}$$

$$i_f \geq \frac{s \cdot G \cdot d \cdot k}{\pi \cdot D^2 \cdot \tau_{zul}}$$

Lösung:

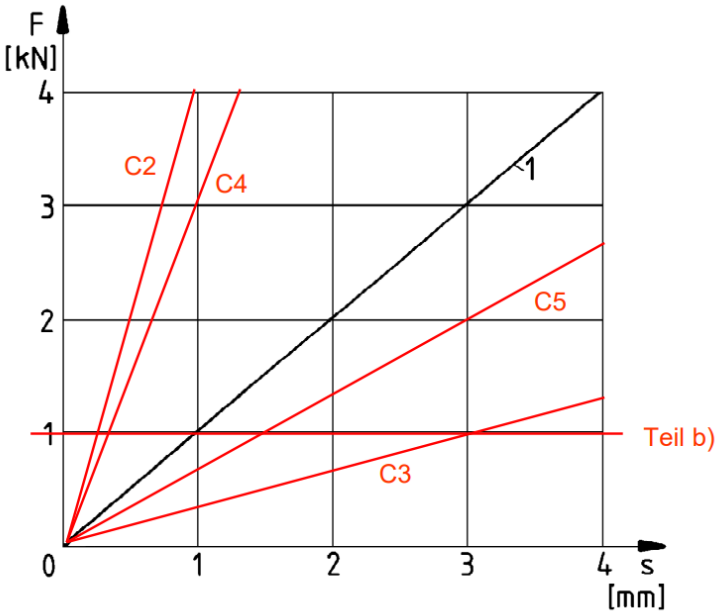
$\tau_{zul} = 840\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{mm^2}}$ *aus Diagramm*

$w = \frac{D}{d} = \frac{64}{8} = 8 \rightarrow k = 1{,}17$ *abgelesen aus Tabelle*

$$i_f = \frac{90\,\mathrm{mm} \cdot 70.000\,\mathrm{N/mm^2} \cdot 8\,\mathrm{mm} \cdot 1{,}17}{\pi \cdot (64^2)\,\mathrm{mm^2} \cdot 840\,\mathrm{N/mm^2}} = 5{,}46 \rightarrow i_f = 5{,}5$$

E-FE2 Von 4 zylindrischen Schraubendruckfedern aus Rundstahldraht sind die unten genannten Daten bekannt. Die Federrate der Feder 1 beträgt $c_1 = 1.000$ N/mm.

$$c = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot i_f \cdot D^3} \qquad W = \frac{1}{2} \cdot F \cdot s$$



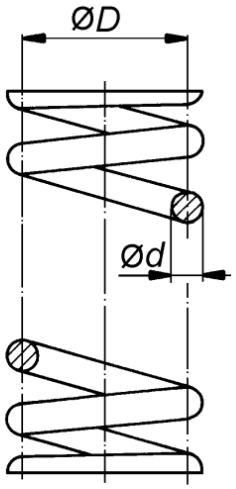
Feder 1:
$d_1 = d$
$D_1 = D$
$i_{f1} = i_f$

Feder 2:
$d_2 = 2 \cdot d$
$D_2 = D$
$i_{f3} = 4 \cdot i_f$

Feder 3:
$d_3 = d$
$D_3 = 1{,}15 \cdot D$
$i_{f3} = 2 \cdot i_f$

Feder 4:
$d_4 = 3 \cdot d$
$D_4 = 3 \cdot D$
$i_{f4} = i_f$

Feder 5:
$d_5 = 2 \cdot d$
$D_5 = 2 \cdot D$
$i_{f5} = 3 \cdot i_f$



a) Wie groß sind die Federraten der übrigen Federn? Die Zahlenwerte sind zu errechnen und die Kennlinien in das Diagramm einzutragen.

b) Jede Feder wird mit der gleichen Kraft F zusammengedrückt. Bei welcher Feder muss dafür die meiste Arbeit geleistet werden? Mit Begründung!

Lösung:

a)

$$c_2 = \frac{G \cdot (2 \cdot d)^4}{8 \cdot 4 \cdot i_f \cdot D^3} = \frac{2^4}{4} \cdot \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot i_f \cdot D^3} = \frac{16}{4} \cdot c_1 = 4 \cdot c_1 = 4.000 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$c_3 = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot 2 \cdot i_f \cdot (1{,}15 \cdot D)^3} = \frac{1}{3} \cdot \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot i_f \cdot D^3} = \frac{1}{3} \cdot c_1 = 333 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$c_4 = \frac{G \cdot (3 \cdot d)^4}{8 \cdot i_f \cdot (3 \cdot D)^3} = \frac{81}{27} \cdot \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot i_f \cdot D^3} = 3 \cdot c_1 = 3.000 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$c_5 = \frac{G \cdot (2 \cdot d)^4}{8 \cdot 3 \cdot i_f \cdot (2 \cdot D)^3} = \frac{16}{24} \cdot \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot i_f \cdot D^3} = \frac{2}{3} \cdot c_1 = 667 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

b) *Bei konstanter Kraft muss bei Feder 3 der größte Weg s zurückgelegt werden und somit die größte Arbeit W geleistet werden. Oder Lösung rechnerisch mit angegebener Formel für W ermitteln.*

E-FE 3 - Welche Federn sind nach Art der Belastung zu unterscheiden?

Lösung:

Zugfedern, Biegefedern, Torsionsfedern, Schubfedern, Kompressionsfedern

- Welchen Zweck hat das Zusammenschalten von Federn?

Lösung:

Veränderung der Federrate, evtl. des Federweges, Veränderung der Kennliniencharakteristik

- Welche Möglichkeiten der Zusammenschaltung von zwei Federn gibt es?

Lösung:

Parallelschaltung, Reihenschaltung

- Geben Sie für jede Möglichkeit der Zusammenschaltung von zwei Federn die Formel zur Berechnung der Gesamtfederrate c_{ges} an.

Lösung:

$$c_{ges} = c_1 + c_2$$

$$c_{ges} = (c_1 \cdot c_2)/(c_1 + c_2)$$

Übungsaufgabe FE 015

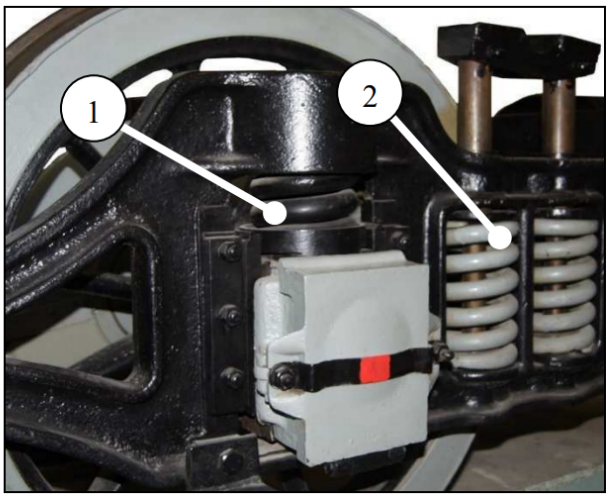


Abb. 1

Abb. 2 (Quelle: ZF.com)

E-FE 1
In Abb. 1 sind die Federn eines Drehgestells dargestellt. Welcher Bauform entsprechen die Federn?

Welche Belastung dieser Federn bildet die Hauptbelastung? (Biegung, Scherung oder Torsion)

Feder 1 hat 5,5 federnde Windungen, einen Drahtdurchmesser von 30 mm und einen mittleren Windungsdurchmesser von 200 mm. Der mittlere Windungsdurchmesser von Feder 2 beträgt 150 mm, der aufgewickelte Federdraht hat einen Durchmesser von 20 mm und die Anzahl federnder Windungen beträgt 6,5. Der Schubmodul beider Federn beträgt 81.500 N /mm². (Beachten Sie die Formelsammlung)

Welche Feder hat die größere Federrate? Berechnen Sie hierzu zunächst den Betrag beider Federraten.

Tragen Sie den Verlauf von Feder 2 qualitativ in das untere F-s Diagramm ein (Abb. 3). Wie wird der Verlauf bezeichnet?

Formelsammlung:

$$\omega_e = \sqrt{\frac{c}{m}}\ ;\quad t_S = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{c}}$$

$$\frac{1}{c_{ges}} = \sum \frac{1}{c_i} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}$$

$$c = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot i_f \cdot D^3}$$

$$\nu \cdot \frac{L_0}{D}$$

E-FE 2
In Abb.2 ist die Kupplungsplatte einer KFZ-Kupplung abgebildet. Zu welcher Bauform gehört diese Feder?

Tragen Sie den Federkennlinienverlauf der Feder qualitativ in das untere F-s-Diagramm ein (Abb. 3).

Wie wird der Kennlinienverlauf bezeichnet?

Warum eignet sich die Feder für den entsprechenden Einsatzzweck bessere als die in Aufgabe E-FE1 betrachteten Federn?

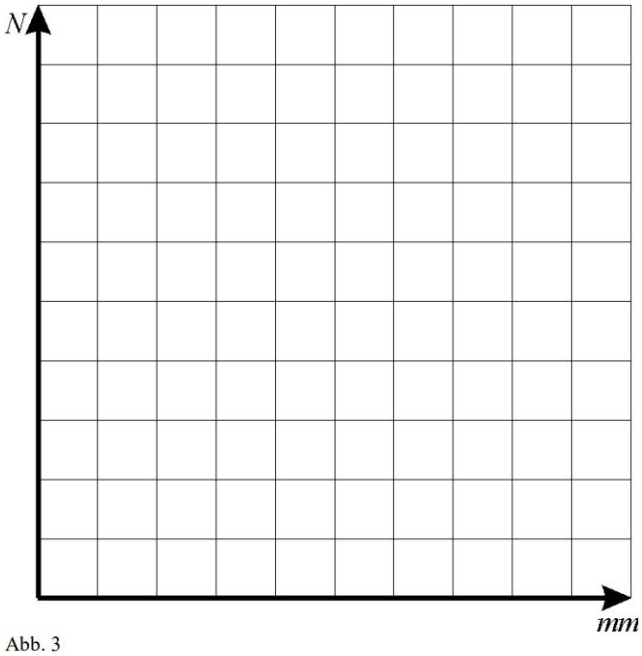


Abb. 3

E-FE 3

In Abb. 3 ist die Vorderradaufhängung eines Trabant P50 (Bj. 1958) dargestellt. Zu welcher Bauart gehört die eingesetzte Feder?

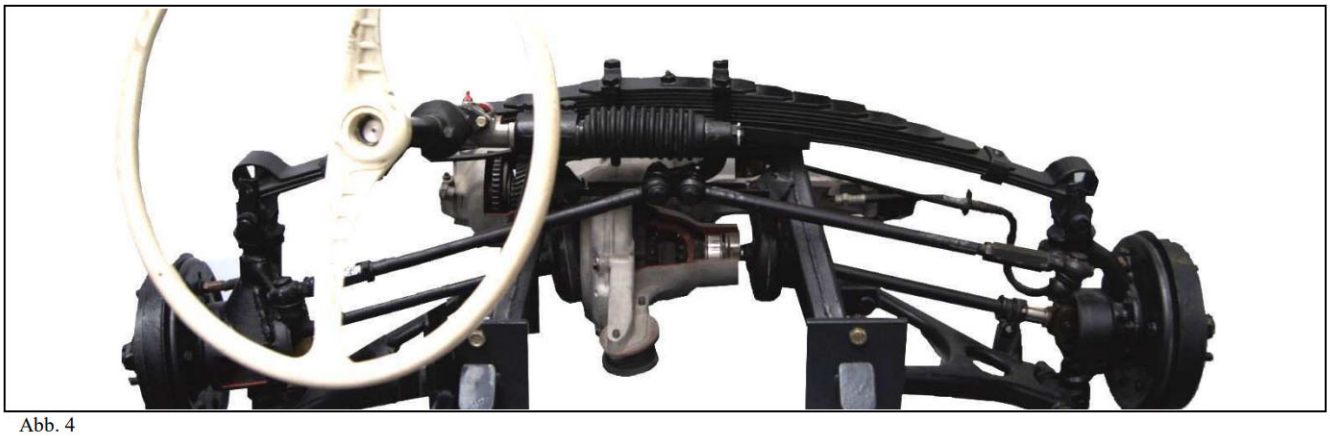


Abb. 4

Welchen Vorteil bietet diese Feder gegenüber den heute eingesetzten Schraubenfedern? Auf welches übliche Bauteil kann dadurch verzichtet werden?

LÖSUNG zu Übungsaufgabe FE 015

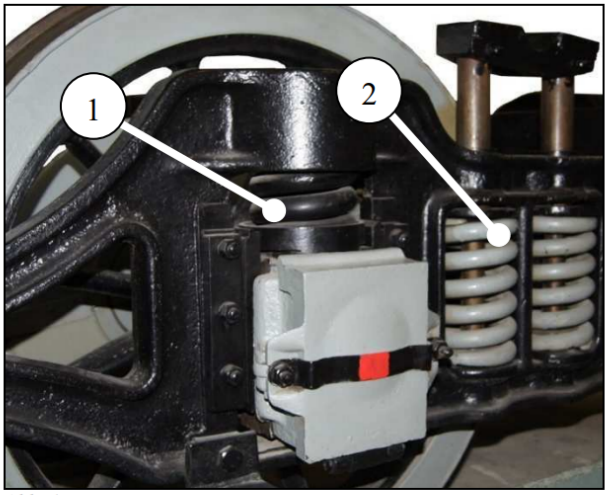


Abb. 1

Abb. 2 (Quelle: ZF.com)

E-FE 1
In Abb. 1 sind die Federn eines Drehgestells dargestellt. Welcher Bauform entsprechen die Federn?

Schraubenfeder

Welche Belastung dieser Federn bildet die Hauptbelastung (Biegung, Scherung oder Torsion?)

Torsionsbelastung

Feder 1 hat 5,5 federnde Windungen, einen Drahtdurchmesser von 30 mm und einen mittleren Windungsdurchmesser von 200 mm. Der mittlere Windungsdurchmesser von Feder 2 beträgt 150 mm, der aufgewickelte Federdraht hat einen Durchmesser von 20 mm und die Anzahl federnder Windungen beträgt 6,5. Der Schubmodul beider Federn beträgt 81.500 N /mm²

Welche Feder hat die größere Federrate? Berechnen Sie hierzu zunächst den Betrag beider Federraten.

Formelsammlung:

$$\omega_e = \sqrt{\frac{c}{m}} \; ; \quad t_S = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{c}}$$

$$\frac{1}{c_{ges}} = \sum \frac{1}{c_i} = \frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}$$

$$c = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot i_f \cdot D^3}$$

$$\nu \cdot \frac{L_0}{D}$$

$$c_1 = \frac{81500N \cdot (30mm)^4}{mm^2 \cdot 8 \cdot 5{,}5 \cdot (200mm)^3} = 187{,}54 \text{ N / mm}$$

$$c_2 = \frac{81500N \cdot (20mm)^4}{mm^2 \cdot 8 \cdot 6{,}5 \cdot (150mm)^3} = 74{,}3 \text{ N / mm}$$

Tragen Sie den Verlauf von Feder 2 qualitativ in das untere F-s Diagramm ein. Wie wird der Verlauf bezeichnet?

linear

E-FE 2

In Abb.2 ist die Kupplungsplatte einer KFZ-Kupplung abgebildet. Zu welcher Bauform gehört diese Feder?

Geschlitzte Tellerfeder

Tragen Sie den Federkennlinienverlauf der Feder qualitativ in das untere F-s-Diagramm ein.

Richtiger Graph

Wie wird der Kennlinienverlauf bezeichnet? *Degressiv*

Warum eignet sich die Feder für den entsprechenden Einsatzzweck bessere als die in Aufgabe E-FE1 betrachteten Federn? *Geringer Vorspannkraftverlust bei Verschleiß der Kupplungsreibbeläge*

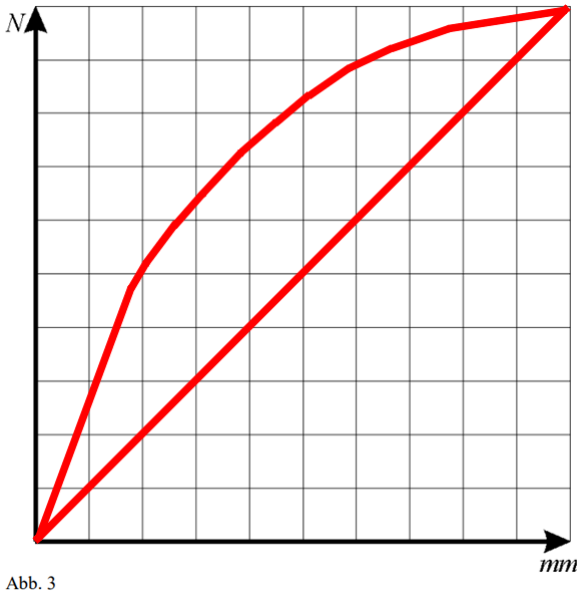
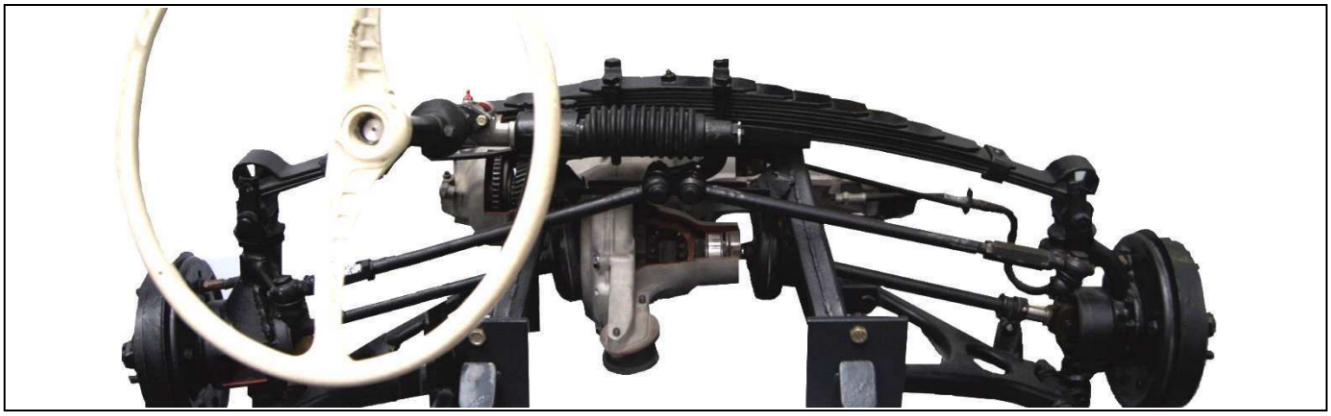


Abb. 3

E-FE 3

In Abb. 3 ist die Vorderradaufhängung eines Trabant P50 (Bj. 1958) dargestellt. Zu welcher Bauart gehört die eingesetzte Feder? *Blattfeder*



Welchen Vorteil bietet diese Feder gegenüber den heute eingesetzten Schraubenfedern? Auf welches übliche Bauteil kann dadurch verzichtet werden? *Dämpfung durch Reibung / Stoßdämpfer*