

Übungsaufgabe SR 001

Ein 500 mm langer Gewindebolzen (metrisches ISO-Regelgewinde) der Festigkeitsklasse 10.9 wird mit einer ruhenden Längskraft von $F = 100$ kN belastet.

E-SR 1 Wie groß muss der Gewindenenn Durchmesser d mindestens sein, damit der Bolzen nicht überlastet wird? (Markieren Sie verwendete Tabellenwerte!)

E-SR 2 Es wurde ein Gewindebolzen M 24 gewählt. Wie weit verlängert sich dieser Bolzen elastisch?

Auszüge aus dem Vorlesungsumdruck:

Abmessungen am metrischen ISO-Gewinde (Regelgewinde) nach DIN 13 T1, Reihe 1 (Auszug):

Nenn Durchmesser	d	M 3	M 4	M 5	M 6	M 8	M 10	M 12	(M14)	M 16	M 20	M 24
Steigung	P	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	3
Flankendurchmesser	$d_2 = D_2$	2,675	3,545	4,480	5,350	7,188	9,026	10,863	12,700	14,701	18,376	22,051
Kern-Ø Bolzen	d_3	2,387	3,141	4,019	4,773	6,466	8,160	9,853	11,546	13,546	16,933	20,319
Kern-Ø Mutter	D_1	2,459	3,242	4,134	4,917	6,647	8,376	10,106	11,835	13,835	17,294	20,752
Gewindetiefe Bolzen	h_3	0,307	0,429	0,491	0,613	0,767	0,920	1,074	1,227	1,227	1,534	1,840
Gewindetiefe Mutter	H_1	0,271	0,379	0,433	0,541	0,677	0,812	0,947	1,083	1,083	1,353	1,624
Nennquerschnitt	A_N	7,069	12,6	19,6	28,3	50,3	78,5	113	154	201	314	452
Kernquerschnitt	A_{d_3}	4,48	7,75	12,7	17,9	32,8	52,3	76,3	105	144	225	324
Spannungsquerschnitt	A_S	5,03	8,78	14,2	20,1	36,6	58,0	84,3	115	157	245	352
Bohrungsmaße												
Kernlochdurchmesser	d_{14}	2,5	3,3	4,2	5	6,8	8,5	10,2	12	14	17,5	21
Durchgangsloch mittel H13	d_h	3,4	4,5	5,5	6,6	9	11	13,5	15,5	17,5	22	26

M 14 ist eine zu vermeidende Gewindegröße, sie gehört nicht zur Reihe 1

Elastische Nachgiebigkeit δ (Kehrwert der Federsteifigkeit c):

$$\delta = \frac{1}{c} = \frac{f}{F} = \frac{l}{E \cdot A}$$

Übungsaufgabe SR 002

- E-SR 1** Welche Zugkraft kann eine Sechskantschraube M 12 8.8 maximal aushalten, ohne plastisch verformt zu werden? Markieren Sie benötigte Tabellenwerte!
- E-SR 2** Welches Anziehmoment ist aufzubringen, um eine solche Schraube auf 20 kN vorzuspannen? Gehen Sie von einer geölten Schraubenverbindung aus, deren Reibwert sowohl am Kopf als auch im Gewinde bei $\mu_K = \mu_G = 0,12$ liegt. Markieren Sie benötigte Tabellenwerte!

Auszüge aus dem Vorlesungsumdruck:

$$\tan \varphi = \frac{P_h}{\pi \cdot d_2}$$

Bei eingängigen Gewinden: $P_h = P$

$$M_G = F_V \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\varphi \pm \rho')$$

M_G = Gewindemoment
 $\rho' \approx 1,155 \cdot \mu_G$ für metrisches Gewinde mit $\beta = 60^\circ$
Das „+“ gilt beim Festdrehen, das „-“ beim Lösen

$$M_R = \mu_K \cdot F_V \cdot \frac{d_K}{2}$$

M_R = Reibmoment
 μ_K = Reibbeiwert an der Auflagefläche
 d_K = mittlerer Reibdurchmesser der Schraubenkopf- bzw. Mutterauflage:
 $d_K/2 = (d_w + d_h)/4$; $d_K/2 \approx 0,65 \cdot d$ bei Sechskantschrauben

$$M_A = F_V \cdot \left[\frac{d_2}{2} \cdot \tan(\varphi + \rho') + \mu_K \cdot \frac{d_K}{2} \right]$$

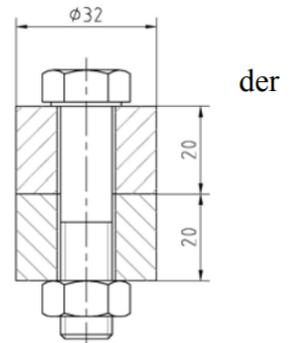
Anziehmoment

Abmessungen am metrischen ISO-Gewinde (Regelgewinde) nach DIN 13 T1, Reihe 1 (Auszug):

Neendurchmesser	d	M 3	M 4	M 5	M 6	M 8	M 10	M 12	(M14)	M 16	M 20	M 24
Steigung	P	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	3
Flankendurchmesser	$d_2 = D_2$	2,675	3,545	4,480	5,350	7,188	9,026	10,863	12,700	14,701	18,376	22,051
Kern-Ø Bolzen	d_3	2,387	3,141	4,019	4,773	6,466	8,160	9,853	11,546	13,546	16,933	20,319
Kern-Ø Mutter	D_1	2,459	3,242	4,134	4,917	6,647	8,376	10,106	11,835	13,835	17,294	20,752
Gewindetiefe Bolzen	h_3	0,307	0,429	0,491	0,613	0,767	0,920	1,074	1,227	1,227	1,534	1,840
Gewindetiefe Mutter	H_1	0,271	0,379	0,433	0,541	0,677	0,812	0,947	1,083	1,083	1,353	1,624
Nennquerschnitt	A_N	7,069	12,6	19,6	28,3	50,3	78,5	113	154	201	314	452
Kernquerschnitt	A_{d_3}	4,48	7,75	12,7	17,9	32,8	52,3	76,3	105	144	225	324
Spannungsquerschnitt	A_S	5,03	8,78	14,2	20,1	36,6	58,0	84,3	115	157	245	352
Bohrungsmaße												
Kernlochdurchmesser	d_{14}	2,5	3,3	4,2	5	6,8	8,5	10,2	12	14	17,5	21
Durchgangsloch mittel H13	d_h	3,4	4,5	5,5	6,6	9	11	13,5	15,5	17,5	22	26

Übungsaufgabe SR 003

Die Verbindung zweier Platten aus C45 soll wie nebenstehend abgebildet als Schraubenverbindung mit einer Sechskantschraube nach der Norm ISO 4014 in Festigkeitsklasse 8.8 ausgeführt werden. Die Betriebskraft wirkt axial und zentrisch und schwankt zwischen 4 kN und 16 kN. Die Schraube (leicht geölt, schwarz) wird von Hand mit einem Drehmomentschlüssel angezogen.



E-SR 1 Bestimmen Sie für die oben dargestellte Schraubverbindung den erforderlichen Schraubendurchmesser. Geben Sie abschließend die Normkurzbezeichnung der von Ihnen ausgewählten Schraube an.

Grobdimensionierung nach VDI-Richtlinie 2230

Kraft in N $F_{A,Q}$	Nenn- ϕ in mm		
	Festigkeitsklasse		
	12.9	10.9	8.8
250			
400			
630			
1.000			
1.600	3	3	3
2.500	3	3	4
4.000	4	4	5
6.300	4	5	5
10.000	5	6	8
16.000	6	8	8
25.000	8	10	10
40.000	10	12	14
63.000	12	14	16
100.000	16	16	20
160.000	20	20	24
250.000	24	27	30
400.000	30	36	
630.000	36		

<p>statische oder dynamische Querkraft (+ 4 Schritte)</p>	<p>dynamische und ex- zentrische Axialkraft (+ 2 Schritt)</p>
<p>dynamische und zentrische Axialkraft (+ 1 Schritt)</p>	<p>statische und ex- zentrische Axialkraft (+ 1 Schritt)</p>

Berücksichtigung des Anziehverfahrens:

- + 1 Schritt bei Anziehen mit Drehmomentschlüssel oder Präzisionsschrauber, der mit Drehmoment- oder Längenmessung arbeitet
- + 2 Schritte, wenn die Schraube mit einem einfachen Drehmomentschrauber mit einstellbarem Nachziehmoment angezogen wird

Anziehfaktor und Anziehverfahren

$$\alpha_A = \frac{F_{V \max}}{F_{V \min}} > 1$$

Anziehverfahren	Anziehfaktor α_A	Streuung in [%] ⁴⁾
Streckgrenzgesteuertes Anziehen motorisch / manuell	(1) ¹⁾	± 5 ... ± 12
Drehwinkelgesteuertes Anziehen motorisch / manuell	(1) ¹⁾	± 5 ... ± 12
Hydraulisches Anziehen	1,2 ... 1,6	± 9 ... ± 23
Drehmomentgesteuertes Anziehen mit Drehmomentschlüssel, signalgebendem Schlüssel oder Präzisionsdreherschrauber mit dynamischer Drehmomentmessung	1,4 ... 1,6 ²⁾	± 17 ... ± 23
	1,6 ... 1,8 ³⁾	± 23 ... ± 28
Drehmomentgesteuertes Anziehen mit Dreherschrauber	1,7 ... 2,5	± 26 ... ± 43
Impulsgesteuertes Anziehen mit Schlagschrauber	2,5 ... 4	± 43 ... ± 60

¹⁾ α_A ist größer als 1; zur Dimensionierung wird $\alpha_A = 1$ gesetzt (Begründung siehe unten)

²⁾ Sollanziehmoment versuchsmäßig am Original-Verschraubungsteil bestimmt

³⁾ Sollanziehmoment durch Schätzen der Reibung bestimmt

⁴⁾ Streuung der Vorspannkraft bezogen auf den Mittelwert:

$$(F_{V \max} - F_{V \min}) / (F_{V \max} + F_{V \min})$$

Zul. Spannkraft F_{Sp} und Anziehmoment M_A

Nenndurchmesser	d	M 4	M 5	M 6	M 8	M 10	M 12	(M 14)	M 16	M 20	M 24	
$\mu = 0,12$	F_{Sp} in kN	8.8	4,05	6,6	7,0	17,2	27,5	40,0	55,0	75,0	121	175
		10.9	6,0	9,7	13,7	25,0	40,0	59,0	80,0	111	173	249
		12.9	7,0	11,4	16,1	29,5	47,0	69,0	94,0	130	202	290
	M_A in Nm	8.8	2,8	5,5	9,5	23	46	79	125	195	390	670
		10.9	4,1	8,1	14,0	34	68	117	185	280	560	960
		12.9	4,8	9,5	16,5	40	79	135	215	330	650	1120
$\mu = 0,14$	F_{Sp} in kN	8.8	3,9	6,4	9,0	16,5	26,0	38,5	53,0	72,0	117	168
		10.9	5,7	9,3	13,2	24,2	38,5	46,0	77,0	106	166	239
		12.9	6,7	10,9	15,4	28,5	45,0	66,0	90,0	124	194	280
	M_A in Nm	8.8	3,1	6,1	10,4	25	51	87	140	215	430	740
		10.9	4,5	8,9	15,5	37	75	130	205	310	620	1060
		12.9	5,3	10,4	18,0	43	87	150	240	370	720	1240

Schrauben- und Gewindeabmessungen (metrisches ISO-Gewinde)

Neendurchmesser	d	M 3	M 4	M 5	M 6	M 8	M 10	M 12	(M14)	M 16	M 20	M 24
Steigung	P	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	3
Flankendurchmesser	$d_2 = D_2$	2,675	3,545	4,480	5,350	7,188	9,026	10,863	12,700	14,701	18,376	22,051
Kern-Ø Bolzen	d_3	2,387	3,141	4,019	4,773	6,466	8,160	9,853	11,546	13,546	16,933	20,319
Kern-Ø Mutter	D_1	2,459	3,242	4,134	4,917	6,647	8,376	10,106	11,835	13,835	17,294	20,752
Gewindetiefe Bolzen	h_3	0,307	0,429	0,491	0,613	0,767	0,920	1,074	1,227	1,227	1,534	1,840
Gewindetiefe Mutter	H_1	0,271	0,379	0,433	0,541	0,677	0,812	0,947	1,083	1,083	1,353	1,624
Nennquerschnitt	A_N	7,069	12,6	19,6	28,3	50,3	78,5	113	154	201	314	452
Kernquerschnitt	A_{d_3}	4,48	7,75	12,7	17,9	32,8	52,3	76,3	105	144	225	324
Spannungsquerschnitt	A_S	5,03	8,78	14,2	20,1	36,6	58,0	84,3	115	157	245	352
Sechskantschrauben												
Eckenmaß	e	6,01	7,66	8,79	11,05	14,38	17,77	20,03	23,36	26,75	33,53	39,98
Schlüsselweite	s	5,5	7	8	10	13	16	18	21	24	30	36
Kopfhöhe $\approx 0,7 \cdot d$	k	2	2,8	3,5	4	5,3	6,4	7,5	8,8	10	12,5	15
Gewindelänge für $l < 125$ für $125 \leq l \leq 200$ für $l > 200$	b	12	14	16	18	22	26	30	34	38	46	54
	b	-	-	-	-	-	-	-	40	44	52	60
	b	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73
Nennlänge: DIN EN 24014	l	20 - 30	25 - 40	25 - 50	30 - 60	40 - 80	45 - 100	50 - 120	60 - 140	65 - 200	80 - 200	90 - 240
Nennlänge: DIN EN 24017	l	6 - 30	8 - 40	10 - 50	12 - 60	16 - 80	20 - 100	25 - 120	30 - 140	30 - 150	40 - 200	50 - 200
Sechskantmuttern												
Mutterhöhe $\approx 0,8 \cdot d$	m	2,4	3,2	4,7	5,2	6,8	8,4	10,8	12,8	14,8	18	21,5
Durchgangslöcher für Schrauben												
mittel H13	d_h	3,4	4,5	5,5	6,6	9	11	13,5	15,5	17,5	22	26

Nennlänge	8	10	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90	100
DIN 7991	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Beanspruchung der Schraube, Flächenpressung

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma_V^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \leq 0,9 \cdot R_{p0,2}$$

$$\sigma_V = \frac{F_V}{A_S} = \frac{F_V}{\frac{\pi}{4} \cdot d_S^2}$$

$$\tau_t = \frac{M_G}{W_t} = \frac{F_V \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\varphi + \rho')}{\pi \cdot \frac{d_S^3}{16}}$$

W_t = Widerstandsmoment gegen Torsion

$$F_{Sp} = \sigma_{V \text{ zul}} \cdot A_S$$

σ_{red} = Vergleichsspannung

σ_V = Zugspannung infolge F_V

τ_t = Torsionsspannung infolge von M_G

d_S = Spannungsdurchmesser = $(d_2 + d_3)/2$

bei Dehnschrauben $A_S = A_{\text{Schaft}}$ bzw. für $d_S = d_{\text{Schaft}}$

$$\sigma_{V \text{ zul}} = \frac{0,9 \cdot R_{p0,2}}{\sqrt{1 + 3 \cdot \left[\frac{2 \cdot d_2 \cdot \tan(\varphi + \rho')}{d_S} \right]^2}}$$

$\sigma_{V \text{ zul}}$ = zulässige Montagezugspannung

F_{Sp} = Spannkraft

$$F_{Sp} \approx \frac{0,9 \cdot R_{p0,2} \cdot A_S}{\sqrt{1 + 3 \cdot \left[\frac{4}{d_S} \cdot (0,16 \cdot P + 0,58 \cdot \mu_G \cdot d_2) \right]^2}}$$

Flächenpressung an der Auflagefläche

$$p = \frac{F_{Sp} + \Phi \cdot F_A}{A_p} \approx \frac{F_{Sp} / 0,9}{A_p} \leq p_G$$

$$\Phi = n \cdot \frac{\delta_p}{\delta_p + \delta_s}$$

$$A_p = \frac{\pi}{4} \cdot (d_w^2 - d_a^2)$$

für $d_h < d_a$ p = Flächenpressung unter der Auflagefläche
 $d_w \approx$ Schlüsselweite

p_G = Grenzflächenpressung, s. unten

A_p = Auflagefläche

$$A_p = \frac{\pi}{4} \cdot (d_w^2 - d_h^2)$$

für $d_h > d_a$ $F_{Sp} + \Phi \cdot F_A = F_{S \max}$ = max. Schraubenkraft

d_a = Innendurchmesser der ebenen Kopfauf-
lage \approx Durchgangsloch

Werkstoff	p_G N/mm ²	Werkstoff	p_G N/mm ²
St37	260	GG-15	600
St50	420	GG-25	800
C45	700	GG-35	900
42CrMo4	850	GG-40	1100
30CrNiMo8	750	GGG-35.3	480
X5CrNiMo18.10	210	GD MgAl9	220
X10CrNiMo18.9	220	GK MgAl9	140
Titan, unlegiert	300	GK AlSi6Cu4	200
Ti-6Al-4V	1000	AlZnMg Cu0,5	370
C15 einsatzgehärtet	1400	Al 99	140
Rostfreie, ausscheidungs- härtende Wst.	1000	GFK - Verbundwst.	120
	- 1250	CFK - Verbundwst.	140

Elastische Nachgiebigkeit des Verbindungselements

$$\delta_s = \delta_{K_0} + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 + \delta_G + \delta_M$$

δ_s = Elastische Nachgiebigkeit der Schraube
 δ_{K_0} = dto. des Schraubenkopfes
 δ_i = dto. eines Elementes
 δ_G = dto. des eingeschraubten Gewindes
 δ_M = dto. der Mutterschiebung

Schraubenkopflänge $l_{K_0} \approx 0,4 \cdot d$; Ersatzquerschnitt $\pi \cdot d^2/4$

Freies Gewinde l_4 ; Ersatzquerschnitt A_s

Eingeschraubtes Gewinde $l_G \approx 0,5 \cdot d$; Ersatzquerschnitt A_s

Mutterschiebung $l_M \approx 0,4 \cdot d$; Ersatzquerschnitt $\pi \cdot d^2/4$

$$\delta_s = \frac{1}{E_s} \left(\frac{0,4 \cdot d}{A_N} + \frac{l_1}{A_1} + \frac{l_2}{A_2} + \frac{l_3}{A_3} + \frac{l_4}{A_s} + \frac{0,5 \cdot d}{A_s} + \frac{0,4 \cdot d}{A_N} \right)$$

$E_s = 205000$ N/mm²

l_i = Länge des Einzelelementes

A_i = Querschnitt des Einzelelementes

d = Nenndurchmesser des Gewindes

A_N = Nennquerschnitt der Schraube = $\pi \cdot d^2/4$

A_s = Spannungsquerschnitt des Gewindes

Elastische Nachgiebigkeit der Platten δ_p :

$$\delta_p = \frac{l_K}{E_p \cdot A_{Ers}}$$

δ_p = Elastische Nachgiebigkeit der verspannten Platten

E_p = Elastizitätsmodul der verspannten Teile (Platten)

$$A_{Ers} = \frac{\pi}{4}(d_w^2 - d_h^2) + \frac{\pi}{8}d_w(D_A - d_w)[(x+1)^2 - 1]$$

mit $x = \sqrt[3]{\frac{l_K \cdot d_w}{D_A^2}}$

A_{Ers} = Ersatzquerschnitt, Ermittlung siehe unten

d_w = Kopfauflegedurchmesser; bei Zylinderschrauben
≈ Kopfdurchmesser, bei Sechskantschrauben =
Schlüsselweite

d_h = Durchmesser des Durchgangsloches

D_A = Außendurchmesser der verspannten Teile, Gültigkeitsbe-
reich siehe unten; für nicht kreisförmige Fugenflächen
sollte man den Durchmesser des Innenkreises nehmen

l_K = Klemmlänge der verspannten Teile

Angreifende Betriebskräfte

$$F_{Kl} = F_V - F_{PA}$$

F_{Kl} = (Rest-)Klemmkraft

F_V = Vorspannkraft

F_{PA} = Entlastungskraft der Platten

$$F_S = F_V + F_{SA} = F_A + F_{Kl}$$

F_S = gesamte Schraubenkraft

F_{SA} = Schraubenzusatzkraft

F_A = in Längsrichtung wirkende Betriebskraft

$$\Phi = \frac{\delta_p}{\delta_p + \delta_S}$$

Φ = Kraftverhältnis; Gleichung links gilt bei Kräfteinleitung in der Schrau-
benkopf- und Mutterauflage

Zusatzkraft der Schraube:

$$F_{SA} = \frac{\delta_p}{\delta_p + \delta_S} \cdot F_A = \Phi \cdot F_A$$

Entlastung der Platten:

$$F_{PA} = (1 - \Phi) \cdot F_A = \frac{\delta_S}{\delta_S + \delta_p} \cdot F_A$$

Dynamische Betriebskräfte

$$F_{SAa} = \Phi \cdot \frac{F_{Ao} - F_{Au}}{2}$$

F_{SAa} = Schwingkraftausschlag

F_{Ao} = oberer Grenzwert von F_A

F_{Au} = unterer Grenzwert von F_A

F_{Sm} = ruhend gedachte Mittelkraft

$$F_{Sm} = F_V + \Phi \cdot \frac{F_{Ao} + F_{Au}}{2}$$

Querkräfte

$$F_{Kl} = \frac{F_Q}{\mu \cdot z}$$

F_Q = wirkende Gesamtquerkraft

μ = Reibungszahl der Teile in der Trennfuge

z = Anzahl der Schrauben, die die Kraft aufnehmen

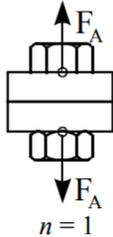
Einfluss der Krafteinleitung

$$\Phi = n \cdot \Phi_K$$

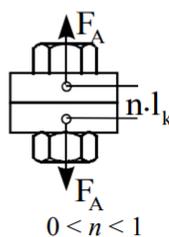
n = Krafteinleitungsfaktor

Φ_K = Kraftverhältnis für Krafteinleitung in der Schraubenkopf- und Mutterauflage: $\Phi_K = \delta_p / (\delta_p + \delta_s)$

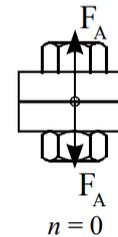
Fall 1 ($n = 1$)
(Grenzfall):



Fall 2 ($0 < n < 1$) (Praktischer Fall):



Fall 3 ($n = 0$)
(Grenzfall):



Setzverhalten der Verbindung

$$F_Z = \frac{f_Z}{\delta_S + \delta_P} = \frac{f_Z \cdot \Phi_K}{\delta_P} = \frac{f_Z}{\delta_S} (1 - \Phi_K)$$

$\Phi_K = \delta_p / (\delta_p + \delta_s)$, siehe vorn

F_Z = Vorspannkraftverlust

f_Z = Setzbetrag, siehe unten

$$f_Z \approx 3,29 \cdot \left(\frac{l_K}{d}\right)^{0,34} \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

$$f_Z \approx 3,16 \cdot (l_K \cdot \delta_S \cdot E_S)^{0,17} \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Hauptdimensionierungsformel

$$F_{V \max} = \alpha_A \cdot F_{V \min} = \alpha_A \cdot [F_{Kl \text{ erf}} + (1 - \Phi) \cdot F_A + F_Z]$$

$F_{Kl \text{ erf}}$ = erforderliche Klemmkraft \leq Klemmkraft F_{Kl}

$$F_{SA} = \Phi \cdot F_A \leq 0,1 \cdot R_{p0,2} \cdot A_S$$

$R_{p0,2}$ = Mindestdehn- bzw. -streckgrenze des Schraubenwerkstoffes

A_S = Spannungsquerschnitt der Schraube = $(\pi/4) \cdot [(d_2 + d_3)/2]^2$; bei Dehnschrauben A_S durch den Schaftquerschnitt A_{Sch} ersetzen

Dauerhaltbarkeit

$$\sigma_a = \Phi \cdot \frac{F_{SAa}}{A_{d3}} = \Phi \cdot \frac{F_{A0} - F_{Au}}{2 \cdot A_{d3}} \leq \sigma_A$$

σ_a = Dauerschwingbeanspruchung der Schraube

σ_A = Spannungsamplitude für die Dauerhaltbarkeit

$$\frac{\sigma_{ASV}}{\text{N/mm}^2} \approx 0,75 \cdot \left(\frac{180}{d/\text{mm}} + 52\right)$$

σ_{ASV} für schlussvergütetes Gewinde, Normalfall

$$\sigma_{ASG} \approx \left(2 - \frac{F_V}{F_{0,2}}\right) \cdot \sigma_{ASV}$$

σ_{ASG} für schlussgewalztes Gewinde (= kaltverfestigt), teuer

$F_{0,2} = A_S \cdot R_{p0,2}$ = Schraubenkraft an der Mindestdehngrenze

Übungsaufgabe SR 004

E-SR 1 Skizzieren Sie den Querschnitt eines Trapez-, Säge-, Rund- und Spitzgewindes. Nennen Sie für jedes dieser vier Gewinde einen typischen Anwendungsfall.

E-SR 2 Erläutern Sie die Bezeichnung M 20 x 2 LH.

M:

20:

2:

LH:

E-SR 3 Warum sollte die Festigkeit der Mutter mindestens so groß sein wie die der zugehörigen Schraube?

E-SR 4 Eine Schraube M 10 der Festigkeitsklasse 8.8 wird mit einer ruhenden Kraft von $F = 40$ kN belastet. Wie groß ist die Sicherheit, dass die Verbindung hält?

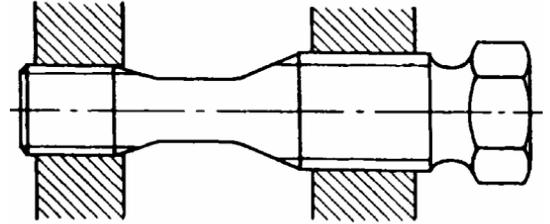
Auszug aus dem Skript:

Metrisches ISO-Gewinde

Nenn Durchmesser	d	M 3	M 4	M 5	M 6	M 8	M 10	M 12	(M14)	M 16	M 20	M 24
Steigung	P	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	3
Flankendurchmesser	$d_2 = D_2$	2,675	3,545	4,480	5,350	7,188	9,026	10,863	12,700	14,701	18,376	22,051
Kern-Ø Bolzen	d_3	2,387	3,141	4,019	4,773	6,466	8,160	9,853	11,546	13,546	16,933	20,319
Kern-Ø Mutter	D_1	2,459	3,242	4,134	4,917	6,647	8,376	10,106	11,835	13,835	17,294	20,752
Gewindetiefe Bolzen	h_3	0,307	0,429	0,491	0,613	0,767	0,920	1,074	1,227	1,227	1,534	1,840
Gewindetiefe Mutter	H_1	0,271	0,379	0,433	0,541	0,677	0,812	0,947	1,083	1,083	1,353	1,624
Nennquerschnitt	A_N	7,069	12,6	19,6	28,3	50,3	78,5	113	154	201	314	452
Kernquerschnitt	A_{d_3}	4,48	7,75	12,7	17,9	32,8	52,3	76,3	105	144	225	324
Spannungsquerschnitt	A_S	5,03	8,78	14,2	20,1	36,6	58,0	84,3	115	157	245	352
Bohrungsmaße												
Kernlochdurchmesser	d_{14}	2,5	3,3	4,2	5	6,8	8,5	10,2	12	14	17,5	21
Durchgangsloch mittel H13	d_h	3,4	4,5	5,5	6,6	9	11	13,5	15,5	17,5	22	26

Übungsaufgabe SR 005

Das dargestellte Differenzgewinde besteht aus einer Schraube und zwei Platten mit je einem Gewindeloch. Die Platten sind parallel zueinander geführt, so dass sie sich beim Drehen der Schraube nicht gegeneinander verdrehen können. Die Schraube der Festigkeitsklasse 12.9 besitzt metrische ISO-Regelgewinde M 12 (am Schraubenende) und M 16 (am Kopf). Der Schaft dazwischen hat einen Durchmesser von 9 mm.



- E-SR 1** Was passiert, wenn der Schraubenkopf im Uhrzeigersinn gedreht wird (bitte ankreuzen)?
- Die Platten bewegen sich voneinander weg
 - Die Platten bewegen sich aufeinander zu
- E-SR 2** Wie weit bewegen sich die Platten relativ zueinander bei jeder Schraubenkopfumdrehung? Kennzeichnen Sie evtl. benötigte Tabellenwerte!
- E-SR 3** Die beiden Platten seien ideal starr und fest miteinander verbunden. Für den belasteten Teil der Schraube wurde eine Nachgiebigkeit von $s = 5 \cdot 10^{-6}$ mm/N ermittelt (inkl. eingeschraubter Gewindeanteile). Wie stark verändert sich die Schraubenkraft bei einer Schraubenkopfumdrehung mit Zugwirkung auf die Schraube?
(Wenn Sie Aufgabe E-SR2 nicht gelöst haben, nehmen Sie als Zwischenergebnis 0,1 mm an!)
- E-SR 4** Wie viele solcher Umdrehungen aus dem unbelasteten Zustand heraus sind erforderlich, um den Schraubenschaft zu zerstören?

Auszug aus dem Vorlesungsumdruck:

Abmessungen am metrischen ISO-Gewinde (Regelgewinde) nach DIN 13 T1, Reihe 1 (Auszug): s. Tabelle

Nenn Durchmesser	d	M 12	M 16
Steigung	P	1,75	2
Flankendurchmesser	$d_2 = D_2$	10,863	14,701
Kern-Ø Bolzen	d_3	9,853	13,546
Kern-Ø Mutter	D_1	10,106	13,835
Gewindetiefe Bolzen	h_3	1,074	1,227
Gewindetiefe Mutter	H_1	0,947	1,083
Nennquerschnitt	A_N	113	201
Kernquerschnitt	A_{d_3}	76,3	144
Spannungsquerschnitt	A_S	84,3	157

Übungsaufgabe SR 007

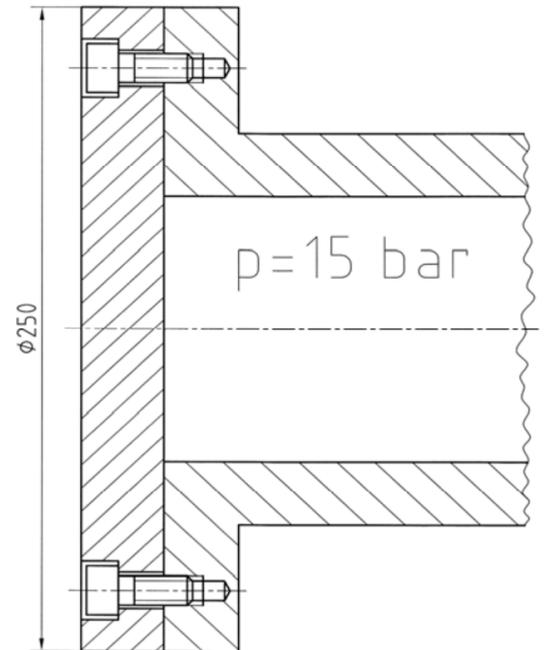
E-SR 1 Durch welche zwei Verfahren können die Gewinde von Schrauben prinzipiell hergestellt werden?

E-SR 2 Welches dieser beiden Verfahren ist bei Standardschrauben üblich?

E-SR 3 Eine Schraube ist mit „11.9“ gekennzeichnet. Was bedeutet diese Beschriftung?

E-SR 4 Ein Rohrsystem ist mit einem Deckel abgedichtet, der mit 6 Schrauben befestigt wird. Im Rohrsystem befindet sich ein konstanter Druck von 15 bar. Um die Dichtwirkung zu gewährleisten, soll der Deckel immer mit einer Klemmkraft von mindestens 1000 N versehen sein. Berechnen Sie die Kraft, mit welcher jede einzelne Schraube vorgespannt werden muss, um diese Bedingung zu erfüllen. Gehen Sie dabei vereinfachend davon aus, dass der Druck von 15 bar auf die gesamte Fläche des Deckels wirkt. Die Nachgiebigkeit der Schraube (inklusive eingeschraubter Gewindeanteile) beträgt $\delta_s = 5,65 \cdot 10^{-6}$ mm/N. Die Nachgiebigkeit der Platten $\delta_p = 1,95 \cdot 10^{-6}$ mm/N.

Bemerkung: 1 bar = 100.000 N/m²



Auszug aus dem Skript:

$$\Phi = \frac{\delta_p}{\delta_p + \delta_s}$$

Φ = Kraftverhältnis; Gleichung links gilt bei Krafteinleitung in der Schraubenkopf- und Mutterauflage

Zusatzkraft der Schraube:

$$F_{SA} = \frac{\delta_p}{\delta_p + \delta_s} \cdot F_A = \Phi \cdot F_A$$

Entlastung der Platten:

$$F_{PA} = (1 - \Phi) \cdot F_A = \frac{\delta_s}{\delta_s + \delta_p} \cdot F_A$$

Übungsaufgabe SR 008

- E-SR 1** Zwei Stahlschrauben mit gleicher Geometrie sind mit 8.8 bzw. 12.9 gekennzeichnet.
Um wie viel Prozent unterscheiden sich die Mindeststreckgrenzen?
Um wie viel Prozent unterscheiden sich die elastischen Längenänderungen bei gleicher Belastung?

LÖSUNG zu Übungsaufgabe SR 008

- E-SR 1** Zwei Stahlschrauben mit gleicher Geometrie sind mit 8.8 bzw. 12.9 gekennzeichnet.
Um wie viel Prozent unterscheiden sich die Mindeststreckgrenzen?
Um wie viel Prozent unterscheiden sich die elastischen Längenänderungen bei gleicher Belastung?

Lösung:

$$8.8: \quad R_{m1} = 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$R_{el1} = 640 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$12.9: \quad R_{m2} = 1.200 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$R_{el2} = 1.080 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\rightarrow \frac{R_{el2}}{R_{el1}} = \frac{1.080}{640} = 1,688 \rightarrow \text{Steigerung um } 68 \%$$

Unterschied elastische Längenänderung: 0%

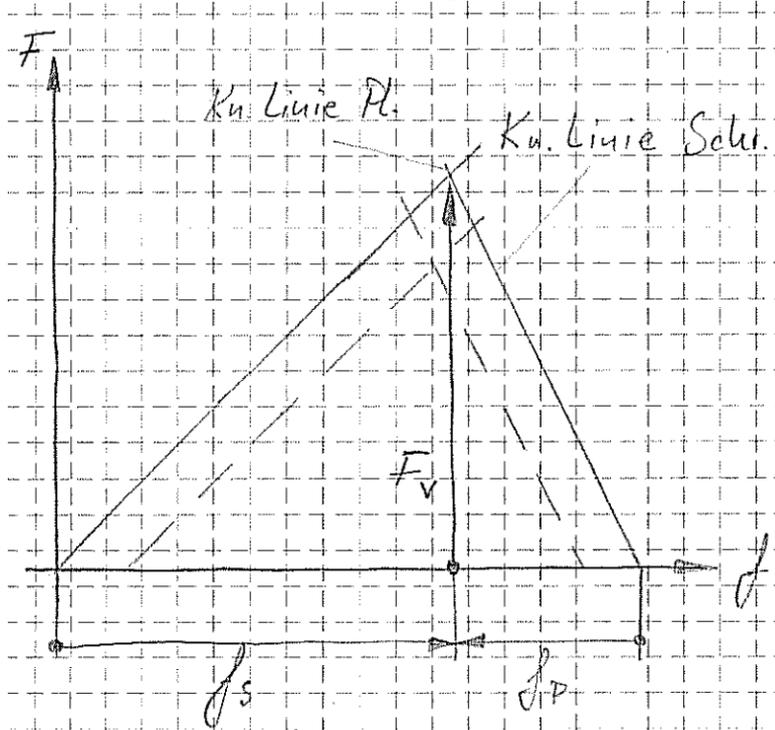
Sie ist vom E-Modul abhängig. Der liegt jedoch bei beiden bei etwa 210.000 N/mm²

Übungsaufgabe SR 009

- E-SR 1** Zeichnen Sie das Verspannungsschaubild (Kraft abhängig von Längenänderung) für eine Schraube, die zwei elastische Platten miteinander verbindet. Kennzeichnen Sie die Kennlinie der Schraube und der beiden verspannten Platten. Zeichnen Sie in das Diagramm die Vorspannkraft der Schraube ein.
- E-SR 2** Was wird durch den Begriff „Setzverhalten“ gekennzeichnet? Welche Ursachen sind dafür verantwortlich? Kennzeichnen Sie die Wirkung im Verspannungsschaubild (s. o.).

Lösung zu Übungsaufgabe SR 009

E-SR 1 Zeichnen Sie das Verspannungsschaubild (Kraft abhängig von Längenänderung) für eine Schraube, die zwei elastische Platten miteinander verbindet. Kennzeichnen Sie die Kennlinie der Schraube und der beiden verspannten Platten. Zeichnen Sie in das Diagramm die Vorspannkraft der Schraube ein.



E-SR 2 Was wird durch den Begriff „Setzverhalten“ gekennzeichnet? Welche Ursachen sind dafür verantwortlich? Kennzeichnen Sie die Wirkung im Verspannungsschaubild (s. o.).

Lösung:

Setzen = Vorspannkraftverlust durch plastische Verformung

- *Einebnen der Rauigkeit der Auflagefläche und der Gewindeflanken*
- *Setzbeträge = Summe aller Glättungstiefen*
- *Klemmkraft verringert sich; falls $F_{Kl}=0 \rightarrow$ Verbindung locker; Teile liegen aufeinander*

Übungsaufgabe SR 010

- E-SR 1** Zwei Stahlschrauben mit gleicher Geometrie sind mit 8.8 bzw. 10.9 gekennzeichnet. Um wie viel Prozent unterscheiden sich die Mindeststreckgrenzen?
Um wie viel Prozent unterscheiden sich die elastischen Längenänderungen bei gleicher Belastung?
- E-SR 2** Zeichnen Sie das Verspannungsschaubild (Kraft abhängig von Längenänderung) für eine Schraube, die zwei elastische Platten miteinander verbindet. Kennzeichnen Sie die Kennlinie der Schraube und der beiden verspannten Platten. Zeichnen Sie in das Diagramm die Vorspannkraft der Schraube ein.

LÖSUNG zu Übungsaufgabe SR 010

- E-SR 1** Zwei Stahlschrauben mit gleicher Geometrie sind mit 8.8 bzw. 10.9 gekennzeichnet.
Um wie viel Prozent unterscheiden sich die Mindeststreckgrenzen?
Um wie viel Prozent unterscheiden sich die elastischen Längenänderungen bei gleicher Belastung?

Lösung:

$$\begin{array}{ll}
 \text{8.8:} & R_{m1} = 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\
 & R_{el1} = 640 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\
 \text{10.9:} & R_{m2} = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\
 & R_{el2} = 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}
 \end{array}$$

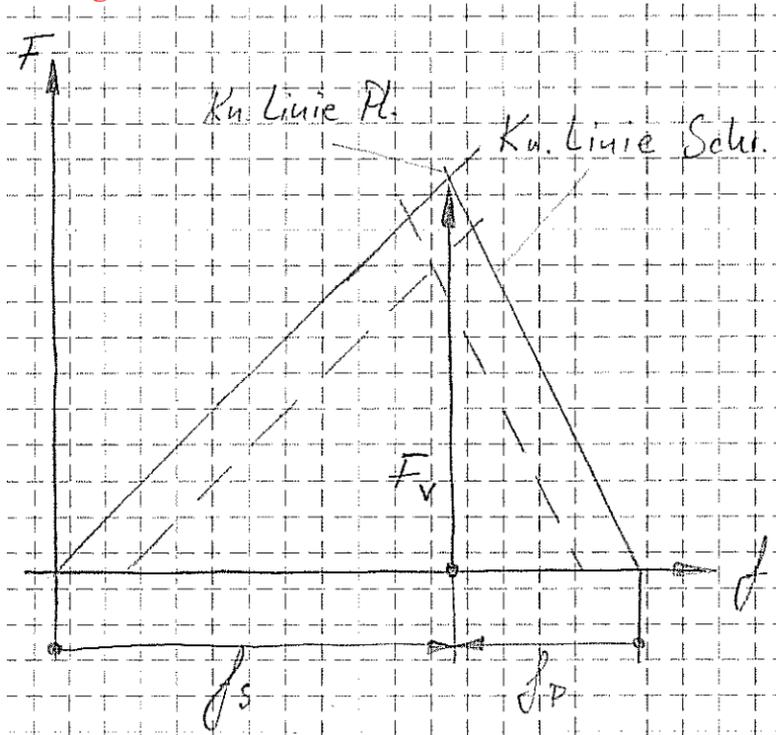
$$\rightarrow \frac{R_{el2}}{R_{el1}} = \frac{900}{640} = 1,406 \rightarrow \text{Steigerung um 41 \%}$$

Unterschied elastische Längenänderung: 0%

Sie ist vom E-Modul abhängig. Der liegt jedoch bei beiden bei etwa 210.000 N/mm²

- E-SR 2** Zeichnen Sie das Verspannungsschaubild (Kraft abhängig von Längenänderung) für eine Schraube, die zwei elastische Platten miteinander verbindet. Kennzeichnen Sie die Kennlinie der Schraube und der beiden verspannten Platten. Zeichnen Sie in das Diagramm die Vorspannkraft der Schraube ein.

Lösung:



Übungsaufgabe SR 011

- E-SR 1** Durch welche zwei Verfahren können die Gewinde von Schrauben prinzipiell hergestellt werden?
- E-SR 2** Welches dieser beiden Verfahren ist bei Standardschrauben üblich?
- E-SR 3** Skizzieren Sie den Querschnitt eines Trapez-, Säge-, Rund- und Spitzgewindes. Nennen Sie für jedes dieser vier Gewinde einen typischen Anwendungsfall.

LÖSUNG zu Übungsaufgabe SR 011

- E-SR 1** Durch welche zwei Verfahren können die Gewinde von Schrauben prinzipiell hergestellt werden?

Lösung:

- *Spangebend („Gewinde schneiden“)*
- *Umformend (kalt oder warm)*

- E-SR 2** Welches dieser beiden Verfahren ist bei Standard-schrauben üblich

Lösung:

Umformend (kalt oder warm)

- E-SR 3** Skizzieren Sie den Querschnitt eines Trapez-, Säge-, Rund- und Spitzgewindes. Nennen Sie für jedes dieser vier Gewinde einen typischen Anwendungsfall.

Lösung:



Trapezgewinde

Bewegungsgewinde für Spindeln usw. Für unbestimmte Kraftrichtung.



Sägegewinde

Bewegungsgewinde für einseitig wirkende Kräfte, z. B. Hub- und Druckspindeln von Pressen.



Rundgewinde

Befestigungsgewinde für z. B. Fahrzeugkupplungen, Elektrogewinde

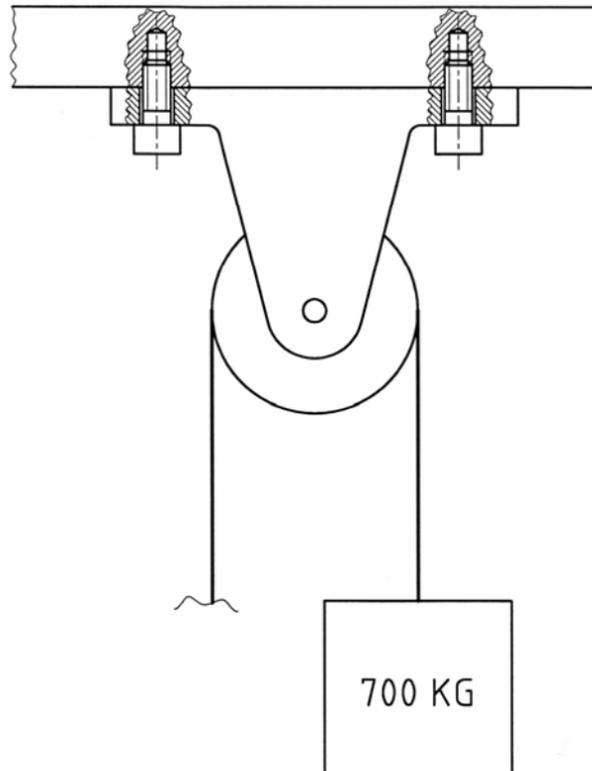


Spitzgewinde

Metrisches ISO-Gewinde (Regelgewinde DIN 13 T1, Feingewinde T2 bis T11): Befestigungsgewinde. Wegen großer Reibung am geeignetsten.

Übungsaufgabe SR 012

- E-SR 1** In der folgenden Skizze ist eine Anordnung dargestellt, in welcher eine Umlenkrolle mit insgesamt **4 Schrauben** befestigt ist. Über die Umlenkrolle ist ein Seil geführt, das eine maximale Last von 700 kg tragen soll. Die Schrauben sind vor Aufbringen der Belastung mit jeweils 5.000 N vorgespannt worden. Wie groß ist die maximale Kraft, die in dieser Anordnung auf die Schrauben wirken kann?
- Die Nachgiebigkeit der Schraube (inklusive eingeschraubter Gewindeanteile) beträgt $\delta_s = 6,85 \cdot 10^{-6}$ mm/N. Die Nachgiebigkeit der verschraubten Platten $\delta_p = 2,15 \cdot 10^{-6}$ mm/N.



Auszug aus dem Skript:

$$\Phi = \frac{\delta_p}{\delta_p + \delta_s}$$

Zusatzkraft der Schraube:

$$F_{SA} = \frac{\delta_p}{\delta_p + \delta_s} \cdot F_A = \Phi \cdot F_A$$

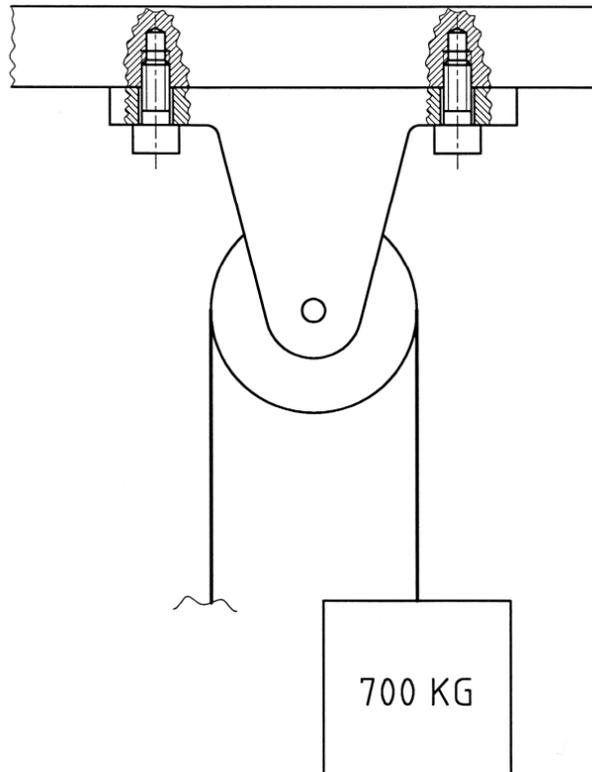
Entlastung der Platten:

$$F_{PA} = (1 - \Phi) \cdot F_A = \frac{\delta_s}{\delta_s + \delta_p} \cdot F_A$$

LÖSUNG zu Übungsaufgabe SR 012

E-SR 1 In der folgenden Skizze ist eine Anordnung dargestellt, in welcher eine Umlenkrolle mit insgesamt **4 Schrauben** befestigt ist. Über die Umlenkrolle ist ein Seil geführt, das eine maximale Last von 700 kg tragen soll. Die Schrauben sind vor Aufbringen der Belastung mit jeweils 5.000 N vorgespannt worden. Wie groß ist die maximale Kraft, die in dieser Anordnung auf die Schrauben wirken kann?

Die Nachgiebigkeit der Schraube (inklusive eingeschraubter Gewindeanteile) beträgt $\delta_s = 6,85 \cdot 10^{-6}$ mm/N. Die Nachgiebigkeit der verschraubten Platten $\delta_p = 2,15 \cdot 10^{-6}$ mm/N.



Auszug aus dem Skript:

$$\Phi = \frac{\delta_p}{\delta_p + \delta_s}$$

Zusatzkraft der Schraube:

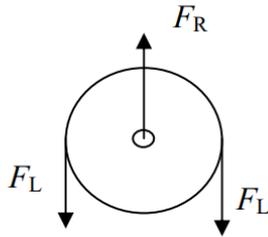
$$F_{SA} = \frac{\delta_p}{\delta_p + \delta_s} \cdot F_A = \Phi \cdot F_A$$

Entlastung der Platten:

$$F_{PA} = (1 - \Phi) \cdot F_A = \frac{\delta_s}{\delta_s + \delta_p} \cdot F_A$$

Lösung:

Belastung auf die Rolle



$$F_L = 700 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N/kg} = 6.867 \text{ N}$$

$$F_R = 2 \cdot F_L = 13.734 \text{ N}$$

$$F_S = F_V + F_{SA}$$

$$F_V = 5.000 \text{ N}$$

$$F_{SA} = \frac{\delta_p}{\delta_p + \delta_s} \cdot F_A$$

$$F_A = \frac{1}{4} \cdot F_R = 3.433,5 \text{ N}$$

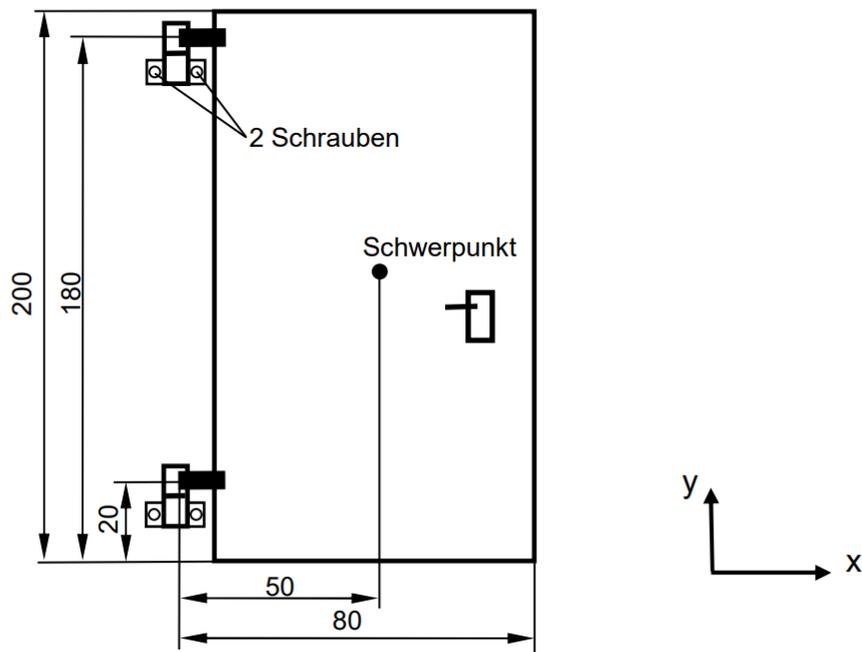
$$F_{SA} = \frac{2,15 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}}{2,15 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N} + 6,85 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}} \cdot 3.433,5 \text{ N} = 820,23 \text{ N}$$

$$F_S = F_V + F_{SA} = 5.000 \text{ N} + 820,23 \text{ N} = 5.820,23 \text{ N}$$

Übungsaufgabe SR 013

Eine 150 kg schwere Tür ist über zwei Scharniere mit der Zarge verbunden. Jedes Scharnier ist dabei mit zwei Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 befestigt. Gehen Sie davon aus, dass entweder das obere oder das untere Scharnier Kräfte in vertikaler Richtung (y -Richtung) aufnimmt, da aufgrund von Fertigungsgenauigkeiten immer ein Scharnier Spiel hat.

E-SR 1 Zeichnen Sie das Freikörperbild und berechnen Sie die Kräfte auf die beiden Scharniere (einzelne Schrauben nicht freischneiden). Betrachten Sie alle Kräfte nur in einer Ebene (Tür ist (fast) verschlossen). Ist es kritischer, wenn das obere oder untere Scharnier die vertikale Kraft übernimmt? Welches Scharnier ist höher belastet?



E-SR 2 Gehen Sie davon aus, dass die Kräfte eines Scharniers über die jeweils 2 Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 gleichmäßig ausgeleitet werden. Durch das Scharnier möglicherweise erzeugte Biegemomente werden vernachlässigt. Führen Sie die Grobdimensionierung der Schraube nach der DIN 2230 durch (Formeln auf der nächsten Seite). Die Befestigung erfolgt mit einem einfachen Drehschrauber. Wie lautet die normgerechte Bezeichnung einer 30 mm langen Schraube mit dem entsprechenden Durchmesser?

Grobdimensionierung nach VDI-Richtlinie 2230

Gegeben: angreifende Betriebskraft; Durchlaufen folgender Schritte:

Kraft in N $F_{A,Q}$	Nenn- \varnothing in mm		
	Festigkeitsklasse		
	12.9	10.9	8.8
250			
400			
630			
1.000			
1.600	3	3	3
2.500	3	3	4
4.000	4	4	5
6.300	4	5	5
10.000	5	6	8
16.000	6	8	8
25.000	8	10	10
40.000	10	12	14
63.000	12	14	16
100.000	16	16	20
160.000	20	20	24
250.000	24	27	30
400.000	30	36	
630.000	36		

I	II
statische oder dynamische Querkraft	dynamische und exzentrische Axialkraft
III a	III b
dynamische und zentrische Axialkraft	statische und exzentrische Axialkraft

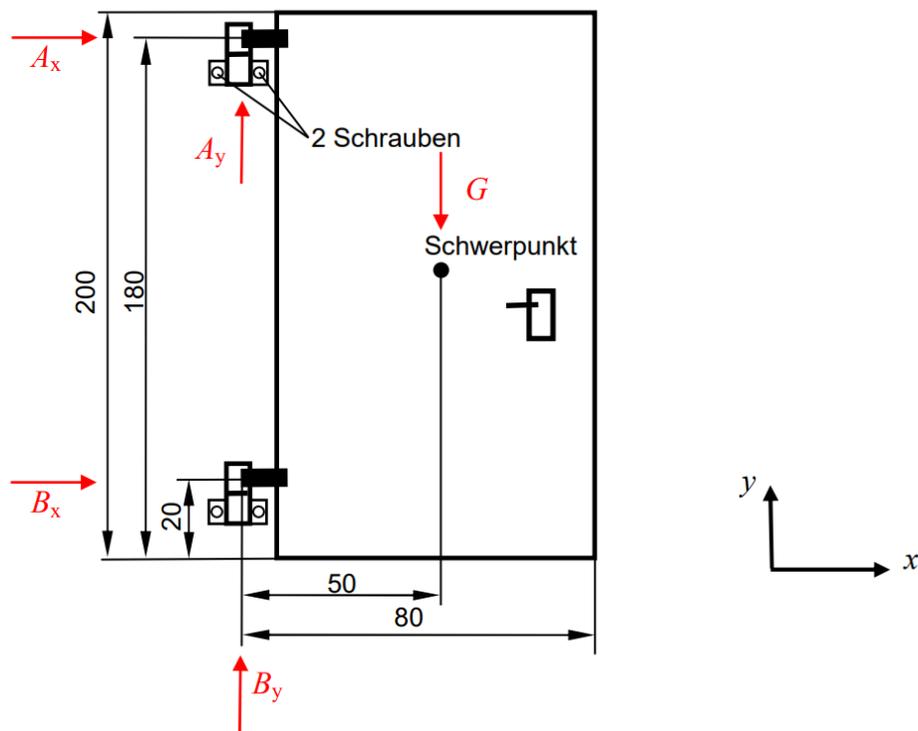
Bilder zur Grobdimensionierung

- ① In der ersten Spalte der Tabelle die Zeile für die nächst größere Kraft $F_{A,O}$ wählen
- ② Diese gewählte Mindestvorspannkraft gilt für eine statische und zentrisch angreifende Kraft. Für andere Fälle ist von dieser Zahl ausgehend x Zeilen weiter zu gehen, und zwar
 - 1 Schritt für den Fall III a (dynamische und zentrische Axialkraft) bzw. Fall III b (statische und exzentrische Axialkraft)
 - 2 Schritte für Fall II (dynamische und exzentrische Axialkraft)
 - 4 Schritte für Fall I (statische oder dynamische Querkraft)
- ③ Wenn das Anziehen der Schraube durch Winkel- oder Streckgrenzkontrolle per Computer überwacht wird, ist dies die maximale Vorspannkraft. Bei anderen Anziehverfahren wird um x Zeilen weitergegangen:
 - 1 Zeile bei Anziehen mit Drehmomentschlüssel oder Präzisionsschrauber, der mit Drehmoment- oder Längsmessung arbeitet
 - 2 Zeilen, wenn die Schraube mit einem einfachen Drehschrauber mit einstellbarem Nachziehmoment angezogen wird
- ④ In der so gefundenen Zeile steht in Spalte 2 bis 4 der erforderliche Schraubendurchmesser für die gewählte Festigkeitsklasse.

LÖSUNG zu Übungsaufgabe SR 013

Eine 150 kg schwere Tür ist über zwei Scharniere mit der Zarge verbunden. Jedes Scharnier ist dabei mit zwei Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 befestigt. Gehen Sie davon aus, dass entweder das obere oder das untere Scharnier Kräfte in vertikaler Richtung (y -Richtung) aufnimmt, da aufgrund von Fertigungsungenauigkeiten immer ein Scharnier Spiel hat.

E-SR 1 Zeichnen Sie das Freikörperbild und berechnen Sie die Kräfte auf die beiden Scharniere (einzelne Schrauben nicht freischneiden). Betrachten Sie alle Kräfte nur in einer Ebene (Tür ist (fast) verschlossen). Ist es kritischer, wenn das obere oder untere Scharnier die vertikale Kraft übernimmt? Welches Scharnier ist höher belastet?



Lösung:

$$G = 150 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 1.471,5 \text{ N}$$

1. Fall: oberes Scharnier übernimmt vollständige Kräfte

$$\Sigma F_x = 0 = A_x + B_x \Leftrightarrow A_x = -B_x$$

$$\Sigma F_y = 0 = A_y - G = 0 \Leftrightarrow A_y = G = 1.471,5 \text{ N}$$

$$\Sigma M_A = 0 = B_x \cdot 160 \text{ mm} - G \cdot 50 \text{ mm}$$

$$\Leftrightarrow B_x = 459,85 \text{ N} \quad \Rightarrow A_x = -459,85 \text{ N}$$

2. Fall: unteres Scharnier übernimmt vollständige Kräfte

$$\Sigma F_y = 0 = B_y - G = 0 \Leftrightarrow B_y = G = 1.471,5 \text{ N}$$

$$\Sigma M_B = 0 = A_x \cdot 160 \text{ mm} + G \cdot 50 \text{ mm}$$

$$\Leftrightarrow A_x = -459,85 \text{ N} \quad \Rightarrow B_x = 459,85 \text{ N}$$

→ Die beiden Fälle sind identisch. Das Scharnier, welches die Kraft in y -Richtung übernimmt, ist das höher Belastete.

E-SR 2

Gehen Sie davon aus, dass die Kräfte eines Scharniers über die jeweils 2 Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 gleichmäßig ausgeleitet werden. Durch das Scharnier möglicherweise erzeugte Biegemomente werden vernachlässigt. Führen Sie die Grobdimensionierung der Schraube nach der DIN 2230 durch (Formeln auf der nächsten Seite). Die Befestigung erfolgt mit einem einfachen Drehschrauber. Wie lautet die normgerechte Bezeichnung einer 30 mm langen Schraube mit dem entsprechenden Durchmesser?

Lösung:

Resultierende Kräfte:

$$\vec{A} = \sqrt{(-459,85\text{N})^2 + (1.471,5\text{N})^2} = 1.541,68\text{ N}$$

Auswahl aus Tabelle: Wert 3

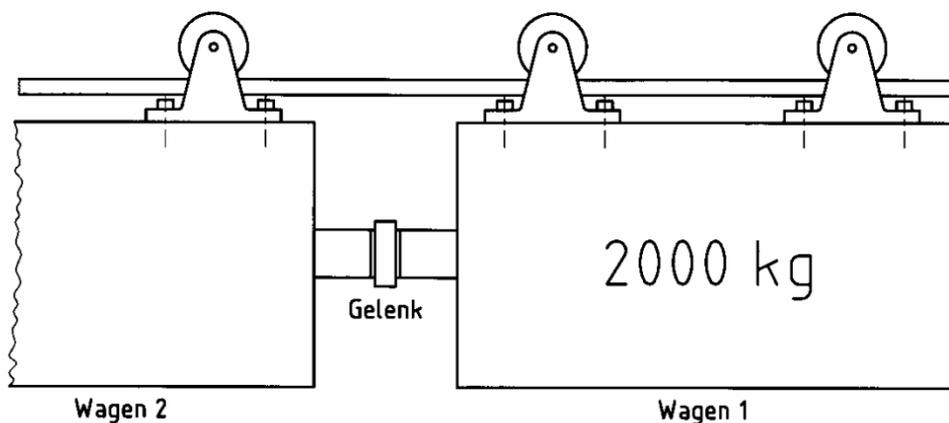
Erhöhung aufgrund Anziehen mit einfachen Drehschrauber: Wert 5

Bezeichnung der Schraube: M5 x 30 – 8.8

Übungsaufgabe SR 014

E-SR 1 Durch welche zwei Verfahren können die Gewinde von Schrauben prinzipiell hergestellt werden?

Bei einem Hängebahnsystem ist das Fahrwerk jeweils über zwei Schrauben mit dem eigentlichen Wagen verbunden. Das Gesamtgewicht eines Wagens (ohne das Fahrwerk) soll 2000 kg betragen. Gehen Sie vereinfacht davon aus, dass sich die Kraft gleichmäßig auf die Schrauben verteilt und dynamische Kräfte aufgrund der Fahrbewegung vernachlässigt werden können. Die Nachgiebigkeit der Schraube (inklusive eingeschraubter Gewindeanteile) beträgt $\delta_s = 5,65 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}$. Die Nachgiebigkeit des Fahrwerks beträgt $\delta_p = 1,95 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}$.



E-SR 2 Wie hoch ist bei einer Vorspannung von 5.000 N die maximale Kraft, die auf eine Schraube wirken kann? (Beachten Sie dabei das elastische Verhalten der Verbindung.)
Einige Formel sind auf der übernächsten Seite angegeben!

E-SR 3 Welchen Nenndurchmesser muss eine Schraube mit der Festigkeitsklasse 8.8 bei einer Sicherheit von 2 mindestens aufweisen, damit sie der Belastung standhält?
Einige Formel sind auf der nächsten Seite angegeben!

Auszug aus dem Skript:

$$F_{\text{Kl}} = F_{\text{V}} - F_{\text{PA}}$$

F_{Kl} = (Rest-)Klemmkraft
 F_{V} = Vorspannkraft
 F_{PA} = Entlastungskraft der Platten

$$F_{\text{S}} = F_{\text{V}} + F_{\text{SA}} = F_{\text{A}} + F_{\text{Kl}}$$

F_{S} = gesamte Schraubenkraft
 F_{SA} = Schraubenzusatzkraft
 F_{A} = in Längsrichtung wirkende Betriebskraft

Zusatzkraft der Schraube:

$$F_{\text{SA}} = \frac{\delta_{\text{P}}}{\delta_{\text{P}} + \delta_{\text{S}}} \cdot F_{\text{A}} = \Phi \cdot F_{\text{A}}$$

Entlastung der Platten:

$$F_{\text{PA}} = (1 - \Phi) \cdot F_{\text{A}} = \frac{\delta_{\text{S}}}{\delta_{\text{S}} + \delta_{\text{P}}} \cdot F_{\text{A}}$$

Neendurchmesser	d	M 3	M 4	M 5	M 6	M 8	M 10	M 12	(M14)	M 16	M 20	M 24
Steigung	P	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	3
Flankendurchmesser	$d_2 = D_2$	2,675	3,545	4,480	5,350	7,188	9,026	10,863	12,700	14,701	18,376	22,051
Kern-Ø Bolzen	d_3	2,387	3,141	4,019	4,773	6,466	8,160	9,853	11,546	13,546	16,933	20,319
Kern-Ø Mutter	D_1	2,459	3,242	4,134	4,917	6,647	8,376	10,106	11,835	13,835	17,294	20,752
Gewindetiefe Bolzen	h_3	0,307	0,429	0,491	0,613	0,767	0,920	1,074	1,227	1,227	1,534	1,840
Gewindetiefe Mutter	H_1	0,271	0,379	0,433	0,541	0,677	0,812	0,947	1,083	1,083	1,353	1,624
Nennquerschnitt	A_{N}	7,069	12,6	19,6	28,3	50,3	78,5	113	154	201	314	452
Kernquerschnitt	A_{d_3}	4,48	7,75	12,7	17,9	32,8	52,3	76,3	105	144	225	324
Spannungsquerschnitt	A_{S}	5,03	8,78	14,2	20,1	36,6	58,0	84,3	115	157	245	352
Bohrungsmaße												
Kernlochdurchmesser	d_{14}	2,5	3,3	4,2	5	6,8	8,5	10,2	12	14	17,5	21
Durchgangsloch mittel H13	d_{h}	3,4	4,5	5,5	6,6	9	11	13,5	15,5	17,5	22	26

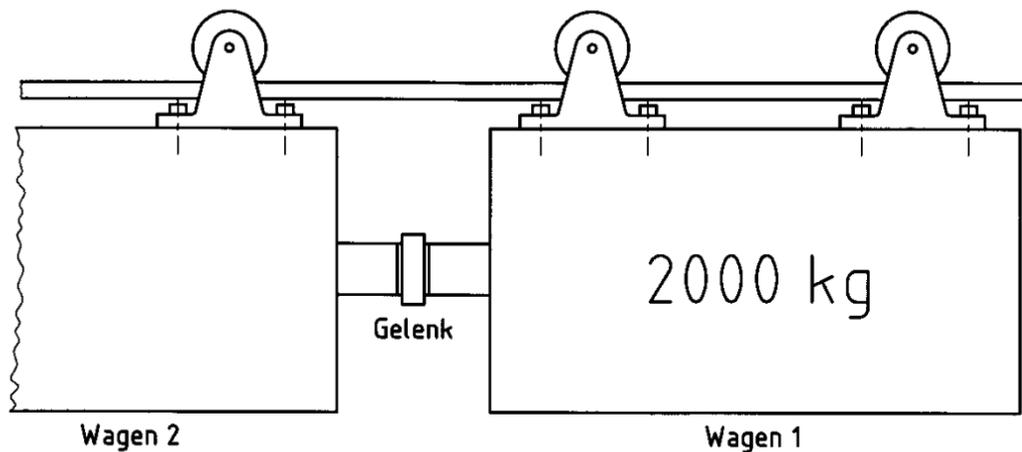
LÖSUNG zu Übungsaufgabe SR 014

E-SR 1 Durch welche zwei Verfahren können die Gewinde von Schrauben prinzipiell hergestellt werden?

Lösung:

- Spanende Verfahren (Drehen)
- Umformende Verfahren (Walzen, Rollen)

Bei einem Hängebahnsystem ist das Fahrwerk jeweils über zwei Schrauben mit dem eigentlichen Wagen verbunden. Das Gesamtgewicht eines Wagens (ohne das Fahrwerk) soll 2000 kg betragen. Gehen Sie vereinfacht davon aus, dass sich die Kraft gleichmäßig auf die Schrauben verteilt und dynamische Kräfte aufgrund der Fahrbewegung vernachlässigt werden können. Die Nachgiebigkeit der Schraube (inklusive eingeschraubter Gewindeanteile) beträgt $\delta_S = 5,65 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}$. Die Nachgiebigkeit des Fahrwerks beträgt $\delta_P = 1,95 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}$.



E-SR 2 Wie hoch ist bei einer Vorspannung von 5.000 N die maximale Kraft, die auf eine Schraube wirken kann? (Beachten Sie dabei das elastische Verhalten der Verbindung.)
Einige Formeln sind auf der übernächsten Seite angegeben!

Lösung:

Berechnung der axialen Kraft pro Schraube:

$$F_A = 2000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot \frac{1}{4} = 4.905 \text{ N}$$

$$F_S = F_V + F_{SA} = 5000 \text{ N} + \frac{1,95 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}}}{1,95 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mm}}{\text{N}} + 5,65 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\text{mm}}{\text{N}}} \cdot 4905 \text{ N} = \underline{\underline{6258,52 \text{ N}}}$$

E-SR 3 Welchen Nenndurchmesser muss eine Schraube mit der Festigkeitsklasse 8.8 bei einer Sicherheit von 2 mindestens aufweisen, damit sie der Belastung standhält?
Einige Formeln sind auf der nächsten Seite angegeben!

Lösung:

$$\text{Festigkeitsklasse 8.8} \rightarrow R_{p0,2} = 0,8 \cdot 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 640 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{R_{p0,2}}{S} = \sigma_{zul} = \frac{F}{A_S}$$

$$320 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \frac{6258,52 \text{ N}}{A_S}$$

$$A_S = \frac{6258,52 \text{ N}}{320 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$A_S = 19,558 \text{ mm}^2$$

→ Schraube M6, da Spannungsquerschnitt 20,1 mm²

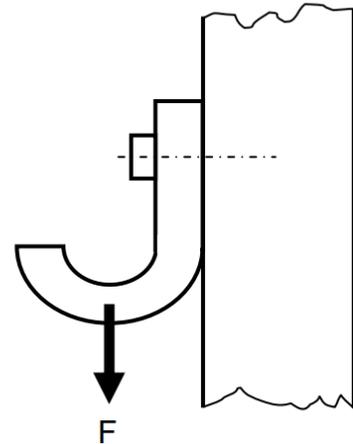
Nenndurchmesser	<i>d</i>	M 3	M 4	M 5	M 6	M 8	M 10	M 12	(M14)	M 16	M 20	M 24
Steigung	<i>P</i>	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	3
Flankendurchmesser	<i>d</i> ₂ = <i>D</i> ₂	2,675	3,545	4,480	5,350	7,188	9,026	10,863	12,700	14,701	18,376	22,051
Kern-Ø Bolzen	<i>d</i> ₃	2,387	3,141	4,019	4,773	6,466	8,160	9,853	11,546	13,546	16,933	20,319
Kern-Ø Mutter	<i>D</i> ₁	2,459	3,242	4,134	4,917	6,647	8,376	10,106	11,835	13,835	17,294	20,752
Gewindetiefe Bolzen	<i>h</i> ₃	0,307	0,429	0,491	0,613	0,767	0,920	1,074	1,227	1,227	1,534	1,840
Gewindetiefe Mutter	<i>H</i> ₁	0,271	0,379	0,433	0,541	0,677	0,812	0,947	1,083	1,083	1,353	1,624
Nennquerschnitt	<i>A</i> _N	7,069	12,6	19,6	28,3	50,3	78,5	113	154	201	314	452
Kernquerschnitt	<i>A</i> _{d3}	4,48	7,75	12,7	17,9	32,8	52,3	76,3	105	144	225	324
Spannungsquerschnitt	<i>A</i> _S	5,03	8,78	14,2	20,1	36,6	58,0	84,3	115	157	245	352
Bohrungsmaße												
Kernlochdurchmesser	<i>d</i> ₁₄	2,5	3,3	4,2	5	6,8	8,5	10,2	12	14	17,5	21
Durchgangsloch mittel H13	<i>d</i> _h	3,4	4,5	5,5	6,6	9	11	13,5	15,5	17,5	22	26

Übungsaufgabe SR 015

E-SR 1 Welche zwei Gewindeprofilformen sind für Bewegungsschrauben gut geeignet?

Ein Haken ist mit einer Schraube M6 der Festigkeitsklasse 8.8 an einer Wand befestigt. Die Teile sollen sich nicht gegeneinander verschieben. Der Reibbeiwert zwischen Haken und Schraube beträgt 0,3.
Auf der nächsten Seite sind einige Formeln und Werte angegeben.

E-SR 2 Wie groß ist die Streckgrenze der Schraube?



E-SR 3 Wie groß ist die mögliche Klemmkraft, wenn dabei die Streckgrenze der Schraube zu 50 % ausgenutzt wird?

E-SR 4 Wie groß darf die Kraft F am Haken werden, ohne dass sich die Teile relativ zueinander verschieben können?

Auszug aus dem Skript:

Metrisches ISO-Gewinde

Nenn Durchmesser	d	M 3	M 4	M 5	M 6	M 8	M 10	M 12	(M14)	M 16	M 20	M 24
Steigung	P	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	3
Flankendurchmesser	$d_2 = D_2$	2,675	3,545	4,480	5,350	7,188	9,026	10,863	12,700	14,701	18,376	22,051
Kern-Ø Bolzen	d_3	2,387	3,141	4,019	4,773	6,466	8,160	9,853	11,546	13,546	16,933	20,319
Kern-Ø Mutter	D_1	2,459	3,242	4,134	4,917	6,647	8,376	10,106	11,835	13,835	17,294	20,752
Gewindetiefe Bolzen	h_3	0,307	0,429	0,491	0,613	0,767	0,920	1,074	1,227	1,227	1,534	1,840
Gewindetiefe Mutter	H_1	0,271	0,379	0,433	0,541	0,677	0,812	0,947	1,083	1,083	1,353	1,624
Nennquerschnitt	A_N	7,069	12,6	19,6	28,3	50,3	78,5	113	154	201	314	452
Kernquerschnitt	A_{d_3}	4,48	7,75	12,7	17,9	32,8	52,3	76,3	105	144	225	324
Spannungsquerschnitt	A_S	5,03	8,78	14,2	20,1	36,6	58,0	84,3	115	157	245	352
Bohrungsmaße												
Kernlochdurchmesser	d_{14}	2,5	3,3	4,2	5	6,8	8,5	10,2	12	14	17,5	21
Durchgangsloch mittel H13	d_h	3,4	4,5	5,5	6,6	9	11	13,5	15,5	17,5	22	26

Querschnitte sind in mm^2 angegeben.

$$F_{\text{Kl}} = \frac{F_Q}{\mu \cdot z}$$

F_Q = wirkende Gesamtquerkraft

μ = Reibungszahl der Teile in der Trennfuge

z = Anzahl der Schrauben, die die Kraft aufnehmen

LÖSUNG zu Übungsaufgabe SR 015

E-SR 1 Welche zwei Gewindeprofilformen sind für Bewegungsschrauben gut geeignet?

Lösung:

- Trapezgewinde
- Sägewinde

Ein Haken ist mit einer Schraube M6 der Festigkeitsklasse 8.8 an einer Wand befestigt. Die Teile sollen sich nicht gegeneinander verschieben. Der Reibbeiwert zwischen Haken und Schraube beträgt 0,3. Auf der nächsten Seite sind einige Formeln und Werte angegeben.

E-SR 2 Wie groß ist die Streckgrenze der Schraube?

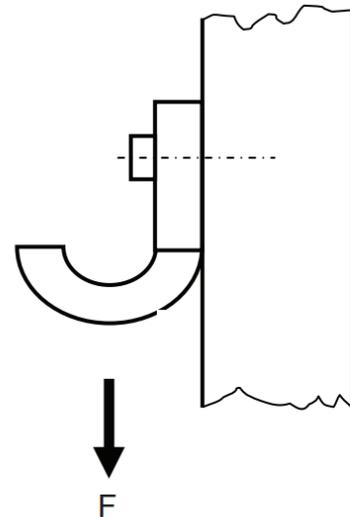
Lösung:

8.8:

8 → Mindestzugfestigkeit beträgt 800 N/mm²

8 → Mindeststreckgrenze beträgt

$$0,8 \cdot 800 \text{ N/mm}^2 = 640 \text{ N/mm}^2$$



E-SR 3 Wie groß ist die mögliche Klemmkraft, wenn dabei die Streckgrenze der Schraube zu 50 % ausgenutzt wird?

Lösung:

$$F_{Kl} = 0,5 \cdot 640 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 20,1 \text{ mm}^2 = 6.432 \text{ N}$$

E-SR 4 Wie groß darf die Kraft F am Haken werden, ohne dass sich die Teile relativ zueinander verschieben können?

$$F_{Kl} = \frac{F_Q}{m \cdot z} \Leftrightarrow 6.432 \text{ N} = \frac{F_Q}{0,3 \cdot 1} \Leftrightarrow F_Q = 1.929,6 \text{ N}$$

Metrisches ISO-Gewinde

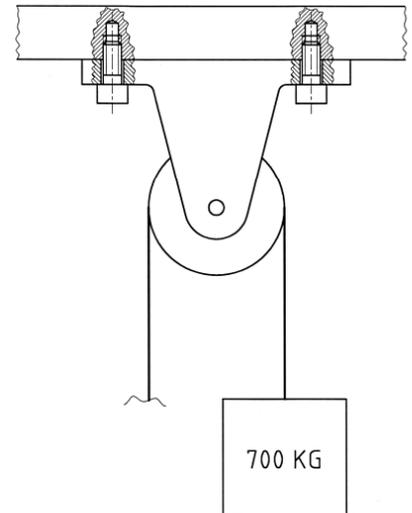
Nenn Durchmesser	d	M 3	M 4	M 5	M 6	M 8	M 10	M 12	(M14)	M 16	M 20	M 24
Kernquerschnitt	A _{d3}	4,48	7,75	12,7	17,9	32,8	52,3	76,3	105	144	225	324
Spannungsquerschnitt	A _s	5,03	8,78	14,1	20,1	36,6	58,0	84,3	115	157	245	352
Bohrungsmaße												

Übungsaufgabe SR 016

E-SR 1 Zeichnen Sie das Verspannungsschaubild (Kraft abhängig von Längenänderung) für eine Schraube, die zwei elastische Platten miteinander verbindet. Kennzeichnen Sie die Kennlinie der Schraube und der beiden verspannten Platten. Zeichnen Sie in das Diagramm die Vorspannkraft der Schraube ein.

E-SR 2 Die im Schnitt dargestellten Schrauben dehnen sich unter Belastung plastisch. Beurteilen Sie mit kurzer Erläuterung, ob die folgenden vorgeschlagenen Verbesserungsmöglichkeiten sinnvoll sind:

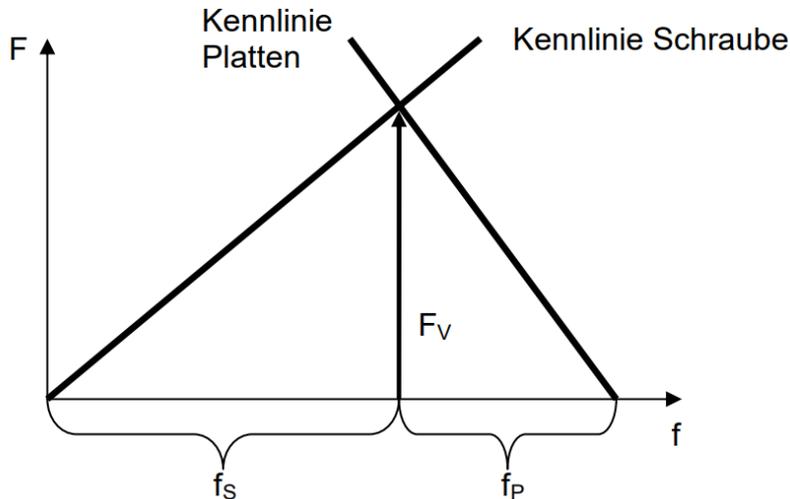
- Verwenden längerer Schrauben:
- Verwendung von Schrauben mit höherer Festigkeit:
- Verwendung von Schrauben mit größerem Durchmesser:
- Herabsetzen der Vorspannkraft
- Verwendung von Schrauben mit höherem E-Modul



LÖSUNG zu Übungsaufgabe SR 016

E-SR 1 Zeichnen Sie das Verspannungsschaubild (Kraft abhängig von Längenänderung) für eine Schraube, die zwei elastische Platten miteinander verbindet. Kennzeichnen Sie die Kennlinie der Schraube und der beiden verspannten Platten. Zeichnen Sie in das Diagramm die Vorspannkraft der Schraube ein.

Lösung:



*Korrekte
Abszisse /
Ordinate: 1 P*

E-SR 2 Die im Schnitt dargestellten Schrauben dehnen sich unter Belastung plastisch. Beurteilen Sie mit kurzer Erläuterung, ob die folgenden vorgeschlagenen Verbesserungsmöglichkeiten sinnvoll sind:

- Verwenden längerer Schrauben:
Kein Einfluss, da Spannung auf Querschnitt wirkt.
- Verwendung von Schrauben mit höherer Festigkeit:
Sinnvolle Maßnahme.
- Verwendung von Schrauben mit größerem Durchmesser:
Sinnvolle Maßnahme.
- Herabsetzen der Vorspannkraft
Könnte sinnvoll sein, wenn Vorspannkraft danach ausreichend.
- Verwendung von Schrauben mit höherem E-Modul
Kein Einfluss, beeinflusst nur die elastische Verformung

