Universität Stuttgart

Institut für Materialprüfung, Werkstoffkunde und Festigkeitslehre

Bachelor-Teilprüfung

EINFÜHRUNG IN DIE FESTIGKEITSLEHRE

Prüfer: Prof. Dr. rer. nat. Dr. h. c. S. Schmauder

Datum: 29.05.2020

Hilfsmittel: 1 Blatt (2 Seiten) handschriftliche Formelsammlung, nicht programmierbarer Taschenrechner laut Positivliste, ausgeteiltes Formelblatt

Prüfungsdauer: 60 min

Die Prüfungsergebnisse werden voraussichtlich ab KW*) in C@mpus bekannt gegeben.
Die Prüfungseinsicht wird voraussichtlich in KW*) stattfinden.
Wiederholerinnen und Wiederholer sind verpflichtet, die Prüfungsergebnisse einzusehen und sich nötigenfalls bis spätestens KW*) für die mündliche Fortsetzungsprüfung am IMWF zu melden. Die Fortsetzungsprüfungen finden ab KW*) statt.
KW*) … Die genauen Daten werden rechtzeitig über die Homepage des IMWF bekannt gegeben.

Name	Matrikelnummer	Unterschrift
Studiengang		
Wiederholerin / Wiederholer	☐ nein	☐ ja

Nur die auf dem Aufgabenblatt eingetragenen Lösungen und Rechenwege werden eingesammelt und bewertet!

Viel Erfolg!

Diese Tabelle darf nur von den Korrektoren ausgefüllt werden!

1a	1b	1c	1d	1e	1f	1g	1h	1	Bonus

2a	2b	2c	2d	2e	2f	2g	~~2h~~	2	

Aufgabe 1: (30,0 Punkte)

Bei einem Helikopter kann die Anbindung der Rotorblätter an den Rotorkopf vereinfacht wie in Bild 1.1 dargestellt werden. Im Flug wird das Verbindungsstück zwischen Rotorkopf und Rotorblatt aufgrund der Fliehkräfte auf Zug beansprucht. Untersucht werden soll der Punkt P im Querschnittsübergang, auf der Oberseite des Verbindungsstückes mittig liegend. Das Verbindungselement sei aus dem duktilen Stahl **42CrMo4** gefertigt.

42CrMo4: $R_{p0,2} = 900\,\text{MPa}$; $R_m = 1100\,\text{MPa}$; $E = 210000\,\text{MPa}$; $\mu = 0{,}3$; $A_5 = 11\%$

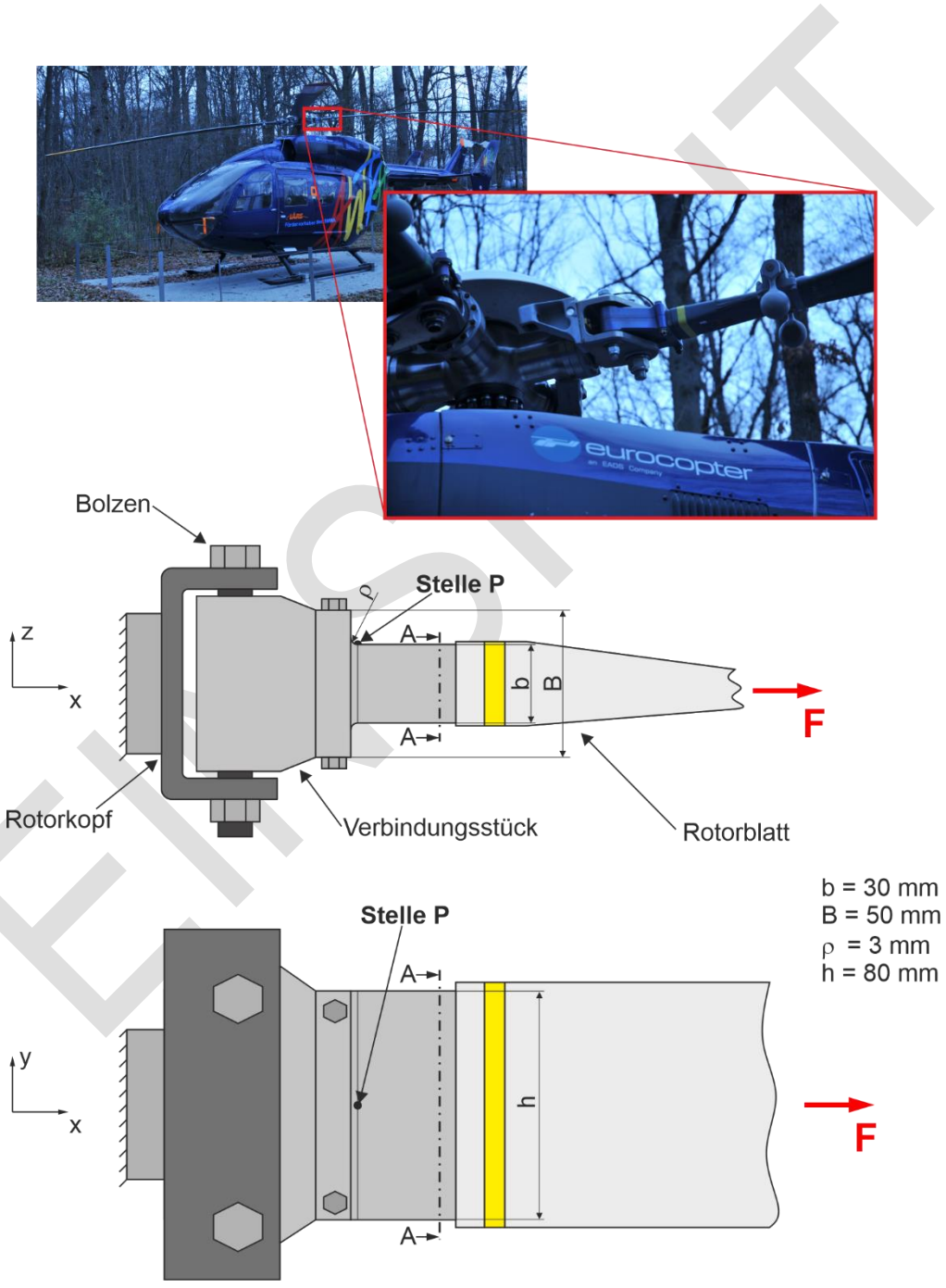


Bild 1.1: Helikopter.

ENSIGHT

a) Bestimmen Sie für eine statische Zugkraft von F = 350 kN die im Querschnitt A-A (ungekerbter Bereich) wirkende Spannung. **(2,0 P.)**

Rechenweg	
	$\sigma_z = \frac{F}{A}$ $A = b \cdot h = 30\,mm \cdot 80\,mm = 2400\,mm^2$ $\sigma_z = 145{,}83\,MPa$

Lösung	**Ergebnis**
Spannung im Querschnitt A-A	$\sigma_z = 145{,}83\,MPa$

b) Bestimmen Sie die Formzahl α_k (Lastfall Zug) für den Querschnittsübergang an der Stelle P. Es darf näherungsweise das Formzahldiagramm für einen Flachstab verwendet werden. **(2,0 P.)**

Rechenweg	
	$\frac{B}{b} = 1{,}67$ $\frac{\rho}{b} = 0{,}1$ $\alpha_k = 2{,}07 \quad (2{,}0 \div 2{,}15)$

Lösung	**Ergebnis**
Formzahl Zug α_k	$\alpha_k = 2{,}07$

EINSICHT

c) Berechnen Sie an der Stelle P für eine statische Zugkraft von F = 350 kN die Sicherheiten gegen Versagen? Sind diese ausreichend? **(4,0 P.)**

Hinweis: Sollten Sie Aufgabenteil a) nicht gelöst haben, verwenden Sie eine Zugnennspannung von $\sigma_{z,n}$ = 150 MPa. Sollten Sie Aufgabenteil b) nicht gelöst haben, verwenden Sie eine Formzahl von α_k = 2,2.

Rechenweg

Festigkeitsbedingung: $\sigma_{z,max} \leq \sigma_{zul}$

$$\sigma_{z,max} = \alpha_k \cdot \sigma_{z,n} = 2{,}07 \cdot 145{,}83\,\text{MPa} = 302{,}18\,\text{MPa}$$

Fließen: $\sigma_{zul} = \frac{R_{p0,2}}{S_F}$

$$S_F = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_{z,max}} = 2{,}98$$

Bruch: $\sigma_{zul} = \frac{R_m}{S_B}$

$$S_B = \frac{R_m}{\sigma_{z,max}} = 3{,}64 \quad \textbf{oder} \quad S_B = \frac{R_m}{\sigma_n} = 7{,}54$$

$S_F > 1{,}2$ und $S_B > 2{,}0$ → **Sicherheiten ausreichend**

Lösung	Ergebnis
Sicherheiten	$S_F = 2{,}98$ und $S_B = 3{,}64$
Sicherheiten ausreichend?	**ja**

EINSICHT

d) Wie in Bild 1.1 zu erkennen, ist das Verbindungsstück über 2 Bolzen mit dem Rotorkopf verbunden. Die Bolzen haben jeweils einen Durchmesser von d_{Bolzen} = 20 mm. Die Abscherfestigkeit des Bolzenwerkstoffes beträgt τ_{aB} = 650 MPa. Bei welcher Kraft F würde es zu einem Abscheren der beiden Bolzen kommen? **(3,0 P.)**

Hinweis: Die Zugkraft F verteilt sich gleichmäßig auf beide Bolzen. Eine mögliche, zusätzliche Biegung muss nicht berücksichtigt werden.

Rechenweg

Versagensbedingung: $\tau = \tau_{aB}$

Schubspannung: $\tau = \frac{F}{A}$

$$A = 4 \cdot \frac{\pi}{4} \left(d_{Bolzen}\right)^2 = 1256{,}64\,mm^2$$

$$F = \tau_{aB} \cdot A = 816814{,}1N = 816{,}8\,kN$$

Lösung	**Ergebnis**
Abscherkraft Bolzen	$F = 816{,}8\,kN$

EINSICHT

Während eines Helikopterfluges stellt sich der zeitliche Verlauf der Zugkraft F entsprechend Bild 1.2 dar.

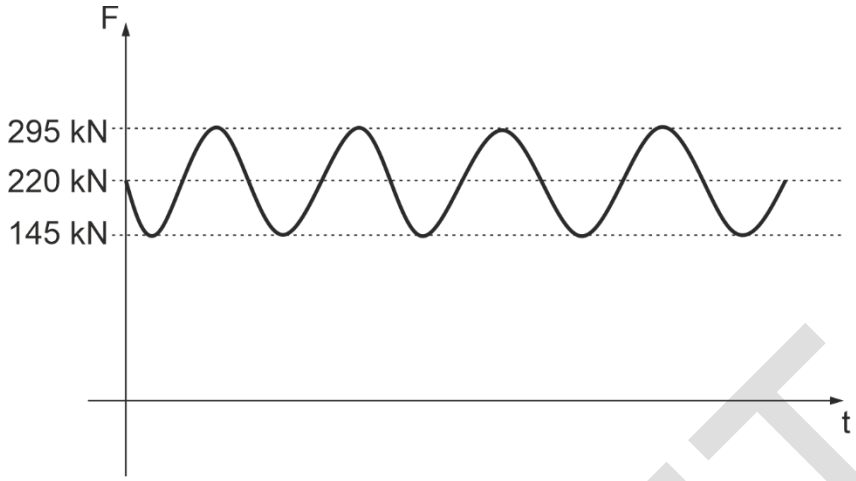


Bild 1.2: Zeitlicher Verlauf Zugkraft F während des Helikopterflugs.

e) Wie groß ist die wirkende Spannungsamplitude $\sigma_{a,max}$ an der Stelle P während des Flugs des Helikopters. **(3,0 P.)**

Hinweis: Sollten Sie Aufgabenteil b) nicht gelöst haben, verwenden Sie eine Formzahl von $\alpha_k = 2{,}2$. Zur Berechnung der Kerbwirkungszahl kann die Formel nach Dietmann verwendet werden.

Rechenweg

$$\sigma_{a,max} = \beta_k \cdot \sigma_{a,n}$$

Kerbwirkungszahl: $\beta_k = \dfrac{\alpha_k}{1 + \dfrac{55}{R_{p0,2}\sqrt{\rho}}} = 1{,}97$

Nennspannungsamplitude: $\sigma_{a,n} = \dfrac{F_a}{A} = 31{,}25\,\text{MPa}$

$A = 2400\,\text{mm}^2$ **(Aufgabenteil a))**

$\sigma_{a,max} = 61{,}68\,\text{MPa}$

Lösung	**Ergebnis**
wirkende Spannungsamplitude	$\sigma_{a,max} = 61{,}68\,\text{MPa}$

EINSICHT

f) Berechnen Sie die ertragbare Spannungsamplitude σ_A für eine Belastung entsprechend Bild 1.2. Wie hoch ist die Sicherheit gegen Dauerbruch S_D an der Stelle P für den zeitlichen Kraftverlauf entsprechend Bild 1.2? **(5,5 P.)**

Hinweis: Die Oberfläche an der Stelle P ist geschliffen. Sollten Sie Aufgabenteil b) nicht gelöst haben, verwenden Sie eine Formzahl von $\alpha_k = 2{,}2$. Sollten Sie Aufgabenteil e) nicht gelöst haben, verwenden Sie eine wirkende Spannungsamplitude von $\sigma_{a,max} = 70$ MPa.

Rechenweg

Mittelspannung: $\sigma_m = \alpha_k \cdot \frac{F_m}{A} = 189{,}94\ \text{MPa}$

$A = 2400\ \text{mm}^2$ **(Aufgabenteil a))**

Oberflächenfaktor f: $f = 0{,}9 \quad (0{,}88 \div 0{,}92)$

Wechselfestigkeit poliert: $\sigma_{W,pol} = 450\ \text{MPa} \quad (440 \div 460)$

ertragbare Spannungsamplitude:

$$\sigma_A = \sigma_{W,pol} \cdot f \cdot \sqrt{1 - \frac{\sigma_m}{R_m}} = 368{,}38\ \text{MPa}$$

Festigkeitsbedingung: $\sigma_{a,max} \le \sigma_{a,zul}$

$$\sigma_{a,zul} = \frac{\sigma_A}{S_D}$$

$$S_D = \frac{\sigma_A}{\sigma_{a,max}} = 5{,}97$$

Lösung	Ergebnis
ertragbare Spannungsamplitude	$\sigma_A = 368{,}38\ \text{MPa}$
Sicherheit gegen Dauerbruch	$S_D = 5{,}97$

EINSICHT

g) Am Rotorkopf (Oberfläche) sollen die Spannungen experimentell mittels Dehnungsmessstreifen (DMS) ermittelt werden (siehe Bild 1.3). DMS 1 misst eine Dehnung von ε_{DMS1} = 0,135 %, DMS 2 eine Dehnung von ε_{DMS2} = 0,082 %. Außerdem konnte eine Schiebung von γ_{xy} = 0,124 % experimentell ermittelt werden. Wie groß sind die Normalspannungen σ_x und σ_y in x- und y-Richtung, wie groß ist die Schubspannung τ_{xy}? Berechnen Sie die Vergleichsspannung σ_v für diesen Spannungszustand. **(6,0 P.)**

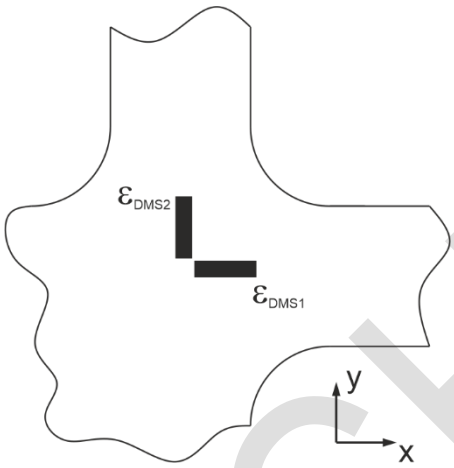


Bild 1.3: Rotorkopf (Werkstoff **42CrMo4**) mit Dehnungsmessstreifen.

Rechenweg

2-achsiger Spannungszustand

Spannung in x-Richtung: $\sigma_x = \frac{E}{1-\mu^2}\left(\varepsilon_x + \mu \cdot \varepsilon_y\right) = 368{,}31\,\text{MPa}$

Spannung in y-Richtung: $\sigma_y = \frac{E}{1-\mu^2}\left(\varepsilon_y + \mu \cdot \varepsilon_x\right) = 282{,}69\,\text{MPa}$

Schubmodul: $G = \frac{E}{2\cdot(1+\mu)} = 80769\,\text{MPa}$

Schubspannung: $\tau_{xy} = G \cdot \gamma_{xy} = 100{,}15\,\text{MPa}$

duktiler Werkstoff: SH oder GEH

$$\sigma_v(\text{SH}) = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{\left(\sigma_x - \sigma_y\right)^2 + 4\tau_{xy}^2} = 434{,}42\,\text{MPa}$$

$$\sigma_v(\text{GEH}) = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2} = 376{,}22\,\text{MPa}$$

Lösung	**Ergebnis**
Spannungen σ_x, σ_y und τ_{xy}	$\sigma_x = 368{,}31\,\text{MPa}$ $\sigma_y = 282{,}69\,\text{MPa}$ $\tau_{xy} = 100{,}15\,\text{MPa}$
Vergleichsspannung σ_v	$\sigma_v(\text{SH}) = 434{,}42\,\text{MPa}$ $\sigma_v(\text{GEH}) = 376{,}22\,\text{MPa}$

EINSICHT

h) Zu einem anderen Zeitpunkt betragen die experimentell ermittelten Spannungen am Rotorkopf σ_x = 300 MPa, σ_y = 200 MPa und τ_{xy} = 100 MPa. Zeichnen Sie den zugehörigen Mohr'schen Spannungskreis in Bild 1.4 und beschriften Sie die Achsen des Diagramms. Wie groß ist der Winkel zwischen x-Richtung und erster Hauptspannungsrichtung (σ_1-Richtung)? **(4,5 P.)**

Rechenweg

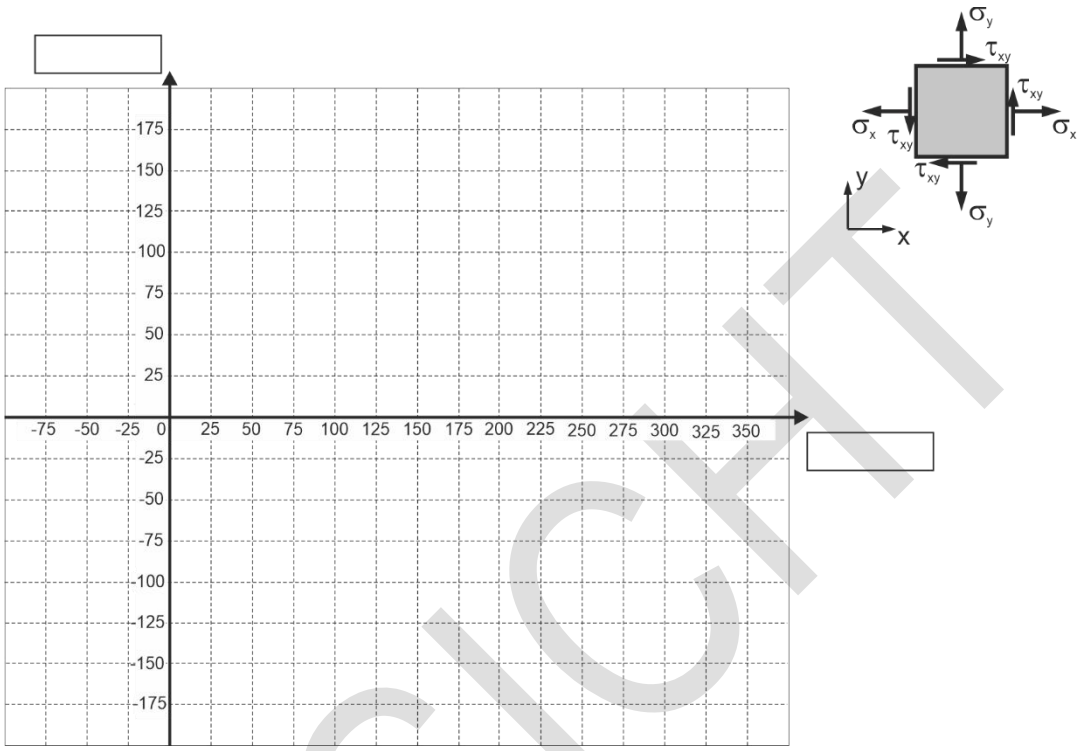
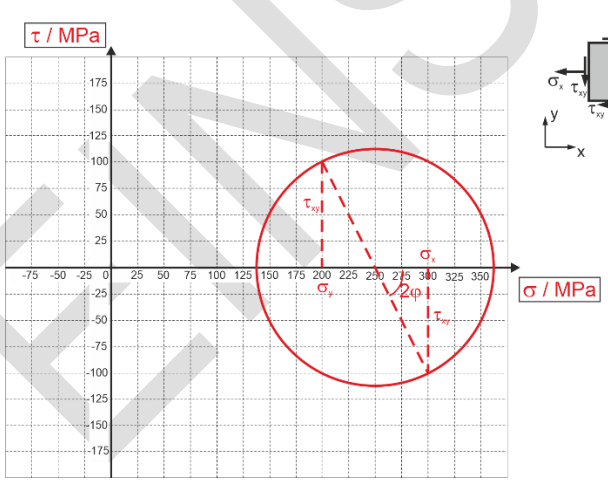


Bild 1.4: Mohr'scher Spannungskreis.



Winkel φ: $\varphi = 31{,}72^\circ \quad \left(26^\circ \div 38^\circ\right)$

Lösung	Ergebnis
Winkel	$\varphi = 31{,}72^\circ$

EINSICHT

Aufgabe 2: (30,0 Punkte)

Ein neues Taubenhaus soll im Stadtpark der Universität aufgebaut werden (siehe Bild 2.1).

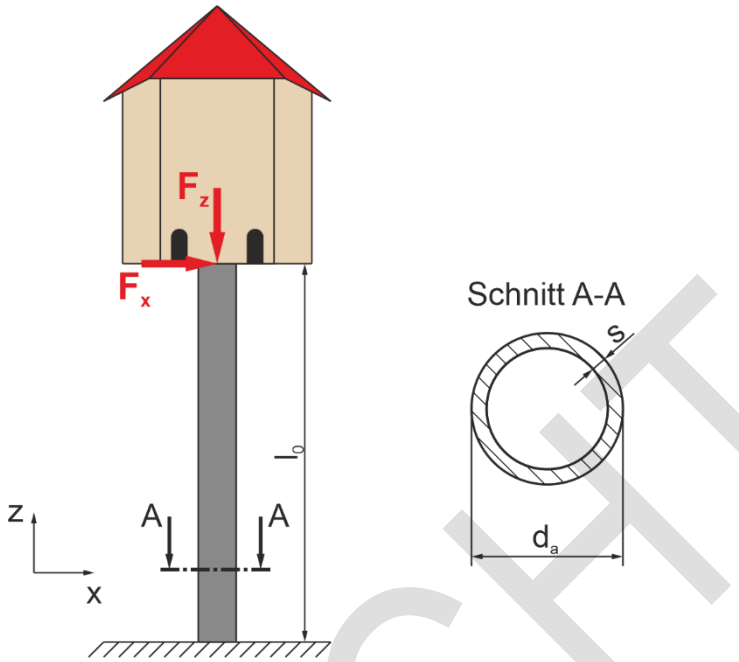


Bild 2.1: Neues Taubenhaus der Universität Stuttgart.

Das vom Architekten projektierte Ständerrohr (d_a = 1000 mm, s = 5 mm, l_0 = 10 m) ist aus dem Stahl **S235JR** gefertigt.

S235JR: $R_e = 235\,\text{MPa}$; $R_m = 400\,\text{MPa}$; $E = 210000\,\text{MPa}$; $\mu = 0{,}3$; $A_5 = 25\,\%$

Hinweis: Falls erforderlich, verwenden Sie bitte die Schubspannungshypothese (SH).

EINSICHT

a) In einer ersten Überschlagsrechnung soll nur die durch das Taubenhaus verursachte Kraft F_z = 15000 N berücksichtigt werden. Kann Fließen für die Last F_z mit Sicherheit ausgeschlossen werden? **(4,0 P.)**

Rechenweg

Festigkeitsbedingung: $|\sigma_d| \leq \sigma_{zul}$

$$\sigma_d = (-)\frac{F_z}{A}$$

$$A = \frac{\pi}{4}\left(d_a^2 - d_i^2\right) = \frac{\pi}{4}\left((1000\,\text{mm})^2 - (990\,\text{mm})^2\right) = 15629{,}4\,\text{mm}^2$$

$$\sigma_d = (-)0{,}96\,\text{MPa}$$

Fließen: $\sigma_{zul} = \frac{R_e}{S_F}$

Variante 1: $\sigma_{zul} = \frac{235\,\text{MPa}}{1{,}2} = 195{,}83\,\text{MPa}$

$0{,}96\,\text{MPa} < 195{,}83\,\text{MPa}$ → **Fließen mit Sicherheit ausgeschlossen**

Variante 2: $S_F = \frac{R_e}{|\sigma_d|} = 244{,}86$

$S_F > 1{,}2$ → **Fließen mit Sicherheit ausgeschlossen**

Lösung	Ergebnis
Fließen mit Sicherheit ausgeschlossen?	**ja**

EINSICHT

b) Am Standort ist das Taubenhaus zusätzlich durch die Windlast F_x = 20000 N belastet. Berechnen Sie für die kombinierte Belastung aus F_z und F_x die Sicherheit gegen Fließen an der höchstbeanspruchten Stelle. **(4,5 P.)**

Hinweis: Sollten Sie Aufgabenteil a) nicht gelöst haben, verwenden Sie für die aus dem Eigengewicht des Taubenhauses resultierende Druckspannung einen Wert von σ_d = -1,5 MPa.

Rechenweg

Festigkeitsbedingung: $|\sigma_{min}| \leq \sigma_{zul}$

Fließen: $\sigma_{zul} = \frac{R_e}{S_F}$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$M_b = F_x \cdot l_0 = 200000\,\text{Nm}$$

$$W_b = \frac{\pi}{32}\frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a} = 3868477{,}7\,\text{mm}^3$$

$$\sigma_b = 51{,}70\,\text{MPa}$$

$$\sigma_{min} = \sigma_d - \sigma_b = -52{,}66\,\text{MPa}$$

$$S_F = \frac{R_e}{|\sigma_{min}|} = 4{,}46$$

Lösung	Ergebnis
Sicherheit gegen Fließen	$S_F = 4{,}46$

EINSICHT

c) Denkmalschützer wollen den Taubenbestand in Stuttgart in einer Nachtaktion massiv reduzieren. Dafür besteigen Sie in einer windstillen Nacht (F_x = 0 N) mit einer Strickleiter das Taubenhaus und verursachen im Abstand l_y = 1500 mm die Last F_T = 2400 N. Kann Fließen mit Sicherheit ausgeschlossen werden (nach wie vor muss das Eigengewicht des Taubenhauses mit F_z = 15000 N berücksichtigt werden)? **(4,5 P.)**

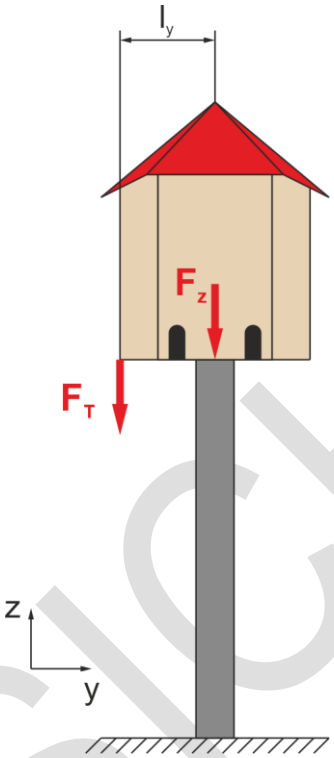


Bild 2.2: Last durch Strickleiter an Taubenhaus.

Hinweis: Sollten Sie Aufgabenteil a) nicht gelöst haben, verwenden Sie für die aus dem Eigengewicht des Taubenhauses resultierende Druckspannung einen Wert von σ_d = -1,5 MPa.

EINSICHT

Fortsetzung Aufgabenteil c)

Rechenweg

Festigkeitsbedingung: $|\sigma_{min}| \leq \sigma_{zul}$

Fließen: $\sigma_{zul} = \frac{R_e}{S_F}$

$$\sigma_d = -\frac{F_z}{A} - \frac{F_T}{A} = -0{,}96\,\text{MPa} - 0{,}15\,\text{MPa} = -1{,}11\,\text{MPa}$$

$A = 15629{,}4\,\text{mm}^2$ **(Aufgabenteil a))**

$$\sigma_{bF_T} = \frac{M_{bF_T}}{W_b} = 0{,}93\,\text{MPa}$$

$M_{bF_T} = F_T \cdot l_y = 3600\,\text{Nm}$

$W_b = 3868477{,}7\,\text{mm}^3$ **(Aufgabenteil b))**

$$|\sigma_{min}| = |\sigma_d - \sigma_{bF_T}| = 2{,}04\,\text{MPa}$$

Variante 1: $\sigma_{zul} = \frac{235\,\text{MPa}}{1{,}2} = 195{,}83\,\text{MPa} > 2{,}04\,\text{MPa}$

Variante 2: $S_F = \frac{R_e}{|\sigma_{min}|} = 115{,}20 > 1{,}2$

EINSICHT

Lösung	Ergebnis
Fließen mit Sicherheit ausgeschlossen?	**ja**

Die Kraft F_T braucht in allen weiteren Aufgabenteilen nicht berücksichtigt werden, da die Denkmalschützer inhaftiert wurden.

d) Bei starkem Wind überlagert sich auch noch zusätzlich ein Torsionsmoment um die Ständerrohrachse mit M_z = 100000Nm (es wirken außerdem F_z = 15000 N und F_x = 20000 N). Kann Fließen immer noch mit Sicherheit ausgeschlossen werden? **(4,5 P.)**

Hinweis: Sollten Sie Aufgabenteil a) und b) nicht gelöst haben, verwenden Sie eine Druckspannung von σ_d = -1,5 MPa (aus Eigengewicht des Taubenhauses F_z) und eine Biegespannung von σ_b = 55 MPa (aus Windlast F_x).

Rechenweg

Festigkeitsbedingung: $\sigma_v \leq \sigma_{zul}$

Fließen: $\sigma_{zul} = \frac{R_e}{S_F}$

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_t}$$

$$W_t = \frac{\pi}{16}\frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a} = 7736955{,}3\ mm^3$$

$$\tau_t = 12{,}92\ MPa$$

$$\sigma_v(SH) = \sqrt{(\sigma_d - \sigma_b)^2 + 4\cdot\tau_t^2} = 58{,}7\ MPa$$

Variante 1: $\sigma_{zul} = \frac{235\ MPa}{1{,}2} = 195{,}83\ MPa > 58{,}7\ MPa$

Variante 2: $S_F = \frac{R_e}{\sigma_v} = 4{,}01 > 1{,}2$

Lösung	**Ergebnis**
Fließen mit Sicherheit ausgeschlossen?	**ja**

EINSICHT

e) Um Werkstoff zu sparen soll der Außendurchmesser d_a verkleinert werden (Wandstärke s = 5 mm bleibt konstant). Wie groß muss d_a mindestens sein, dass Fließen mit $S_F = 1{,}5$ ausgeschlossen ist? Es wirken nur die Kräfte $F_z = 15000$ N und $F_x = 20000$ N. **(4,5 P.)**

Hinweis: Zur Berechnung der Fläche muss die Näherung $A = \pi \cdot d_a \cdot s$ verwendet werden, bei der Berechnung des Widerstandsmoments gegen Biegung muss die Näherung $d_a^4 - d_i^4 = 8 \cdot d_a^3 \cdot s$ verwendet werden!

Rechenweg

Festigkeitsbedingung: $|\sigma_{min}| \leq \sigma_{zul}$

Fließen: $\sigma_{zul} = \frac{R_e}{S_F} = \frac{235\,\text{MPa}}{1{,}5} = 156{,}67\,\text{MPa}$

Druckspannung: $\sigma_d = \frac{-F_z}{\pi \cdot d_a \cdot s}$

Biegespannung: $\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{F_x \cdot l_0}{\frac{\pi}{32}\frac{8 \cdot d_a^3 \cdot s}{d_a}} = \frac{4 \cdot F_x \cdot l_0}{\pi \cdot d_a^2 \cdot s}$

$$\sigma_{zul} = \left| \frac{-F_z}{\pi \cdot d_a \cdot s} - \frac{4 \cdot F_x \cdot l_0}{\pi \cdot d_a^2 \cdot s} \right|$$

$$d_a = \frac{\frac{F_z}{\pi \cdot s} \pm \sqrt{\left(\frac{F_z}{\pi \cdot s}\right)^2 - 4 \cdot \sigma_{zul} \cdot \left(-\frac{4 \cdot F_x \cdot l_0}{\pi \cdot s}\right)}}{2 \cdot \sigma_{zul}} = 573{,}22\,\text{mm}$$

Lösung	Ergebnis
Außendurchmesser d_a	$d_a = 573{,}22\,\text{mm}$

EINSICHT

f) Kann bei verringertem d_a (Ergebnis aus Aufgabenteil e)) Knicken mit Sicherheit ausgeschlossen werden? Es wirkt nach wie vor $F_z = 15000\ N$, die Kraft F_x braucht hier nicht berücksichtigt werden. **(4,0 P.)**

Hinweis: Sollten Sie Aufgabenteil e) nicht gelöst haben, verwenden Sie $d_a = 600\ mm$.

Rechenweg

Festigkeitsbedingung: $\frac{F_z}{A} = \sigma_K \le \sigma_{K,zul} = \frac{F_K}{S_K \cdot A}$ **oder** $F_z \le \frac{F_K}{S_K}$

Knickfall 1: $F_K = \frac{\pi^2}{4}\frac{E \cdot I}{L^2}$

$$I = \frac{\pi}{64}\left(d_a^4 - d_i^4\right) = 360257526{,}9\ mm^4$$

$$F_K = 1866689{,}6\ N = 1866{,}69\ kN$$

Variante 1: $\frac{F_K}{S_K} = \frac{1866{,}69\ kN}{2{,}5} = 746{,}68\ kN > 15\ kN$

Variante 2: $S_K = \frac{F_K}{F_z} = 124{,}45 > 2{,}5$

Lösung	Ergebnis
Knicken mit Sicherheit ausgeschlossen?	**ja**

EINSICHT

g) Am Original-Ständerrohr (d_a = 1000 mm) wurde bisher nur die Windlast F_x berücksichtigt, die aus dem Strömungswiderstand des Vogelhauses resultiert. In Realität greift aber auch am Masten eine Windlast an (siehe Bild 2.3). Wie groß ist die verbleibende Sicherheit gegen Fließen? **(4,0 P.)**

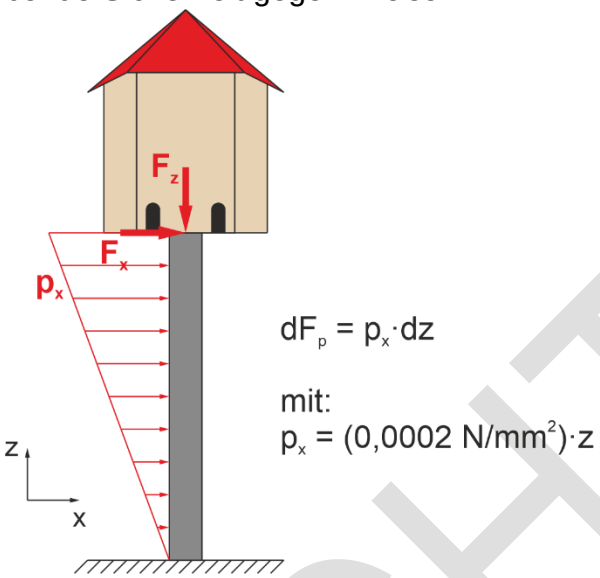


Bild 2.3: Taubenhaus mit Windlast am Ständerrohr.

Hinweis: Sollten Sie Aufgabenteil a) und b) nicht gelöst haben, verwenden Sie eine Druckspannung von σ_d = -1,5 MPa (resultierend aus F_z) und eine Biegespannung von σ_b = 55 MPa (resultierend aus F_x).

Rechenweg

Festigkeitsbedingung: $|\sigma_{min}| \leq \sigma_{zul}$

Fließen: $\sigma_{zul} = \frac{R_e}{S_F}$

$$M_b(z) = \int z \cdot dF_p \cdot dz = \int 0{,}0002 \frac{N}{mm^2} \cdot z^2 \cdot dz$$

$$M_b(z = l_0) = \left[0{,}0002 \frac{N}{mm^2} \cdot \frac{z^3}{3} \right]_0^{l_0} = 66666{,}7\ Nm$$

$$\sigma_{b,p} = \frac{M_b(z = l_0)}{W_b} = 17{,}23\ MPa$$

$$\sigma_{min} = \sigma_d - \sigma_b - \sigma_{b,p} = -69{,}89\ MPa$$

$$S_F = \frac{R_e}{|\sigma_{min}|} = 3{,}36$$

Lösung	Ergebnis
Sicherheit gegen Fließen	$S_F = 3{,}36$

EINSICHT