

Teilaufgaben:

Punkte

1 Von dem abgebildeten Kleinflugzeug sind folgende Daten bekannt:

Daten:

Masse des Motors $m_1 = 90 \text{ kg}$

Masse des Flugzeugs $m_2 = 240 \text{ kg}$

$l_1 = 1350 \text{ mm}$ $l_2 = 1520 \text{ mm}$

$l_3 = 3300 \text{ mm}$ $l_4 = 1480 \text{ mm}$

1.1 Ermitteln Sie die Radaufstandskräfte F_A und F_B bei abgestelltem Motor.

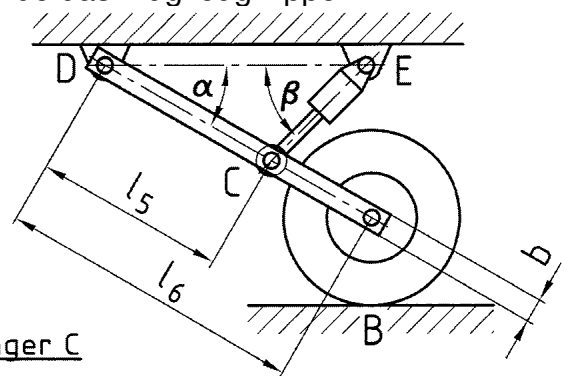
5,0

Beim Start des Motors werden die Vorderräder durch eine Feststellbremse blockiert.

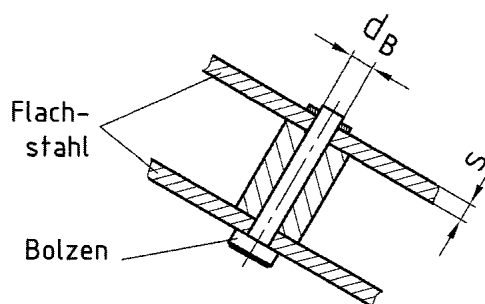
1.2 Bei welcher Vortriebskraft F_P des Propellers würde das Flugzeug kippen?

2,0

2 Das Spornrad (Hinterrad) des Flugzeugs ist mit einer Längsschwinge und einem Feder-Dämpfer-Element aufgehängt.



Schnitt durch Lager C



HP 2010/11-1: Flugzeug

2.1 Ermitteln Sie die Lagerkräfte F_C und F_D .

5,0

Daten:

Radaufstandskraft	$F_B = 650 \text{ N}$
$l_5 = 500 \text{ mm}$	$l_6 = 800 \text{ mm}$
$\alpha = 30^\circ$	$\beta = 45^\circ$

2.2 Dimensionieren Sie den Lagerbolzen bei C.

5,0

Daten:

Bolzenwerkstoff	E360
Flachstahl	$s = 4 \text{ mm}$
Zulässige Flächenpressung	$p_{zul} = 15 \text{ N/mm}^2$
Sicherheit gegen Abscherung	$v = 4$

2.3 Dimensionieren Sie die Längsschwinge und wählen Sie das kleinste erforderliche Profil.

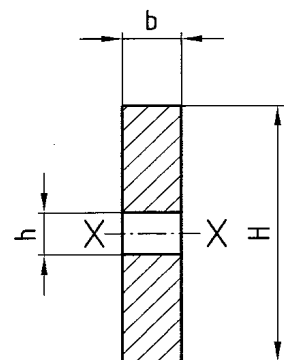
5,0

Die Längsschwinge besteht aus zwei Flachstähen.

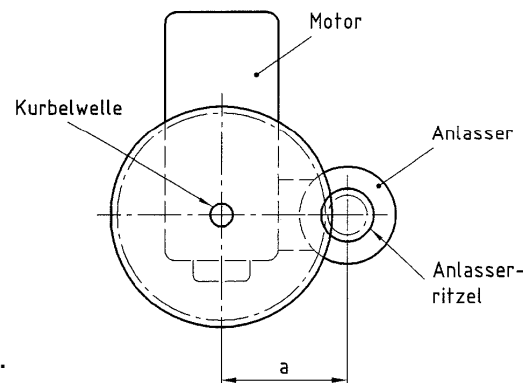
Werkstoff:	E335
Sicherheit:	$v = 4$
Axiales Widerstandsmoment	$W_x = \frac{b(H^3 - h^3)}{6H}$

Zur Auswahl stehen folgende Flachstähle:

FI 28 x 4	FI 32 x 4
FI 36 x 4	FI 40 x 4



3 Der Flugzeugmotor wird mit einem elektrischen Anlasser gestartet, der über einen einstufigen Zahnradtrieb mit der Kurbelwelle verbunden ist. Dazu sind an der Kurbelwelle ein Drehmoment von 22 Nm und eine Drehzahl von 50 min^{-1} erforderlich. Der Anlassermotor liefert bei allen Drehzahlen ein Drehmoment von 3,1 Nm. Auf der Motorwelle des Anlassers sitzt ein Ritzel mit 12 Zähnen und einem Modul von 4 mm. Im Zahnradtrieb entstehen Reibungsverluste von 5%.



3.1 Welche Leistung muss der Anlasser erbringen, um den Motor zu starten?

2,0

3.2 Welche Zähnezahl hat das Zahnrad auf der Kurbelwelle?

2,0

3.3 Welchen Durchmesser muss die Anlasserwelle haben?

3,0

(Wellenwerkstoff 16MnCr5, Sicherheit gegen Verdrehen $v = 8$)

3.4 Wie groß ist der Achsabstand a zwischen Kurbelwelle und Anlasserwelle?

1,0

Alle Teilaufgaben sind unabhängig voneinander lösbar.

$\Sigma=30,0$

HP 2010/11-1: Flugzeug

Lösungsvorschläge

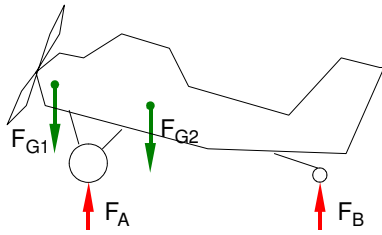
Teilaufgaben:

Punkte

1

1.1 Lageskizze Flugzeug mit stehendem Motor

5,0



Rechnerische Lösung:

$$\Sigma M_A = 0 = F_{G1} \cdot (l_2 - l_1) - F_{G2} \cdot l_1 + F_B \cdot (l_1 + l_3) \rightarrow$$

$$F_B = \frac{-F_{G1} \cdot (l_2 - l_1) + F_{G2} \cdot l_1}{l_1 + l_3}$$

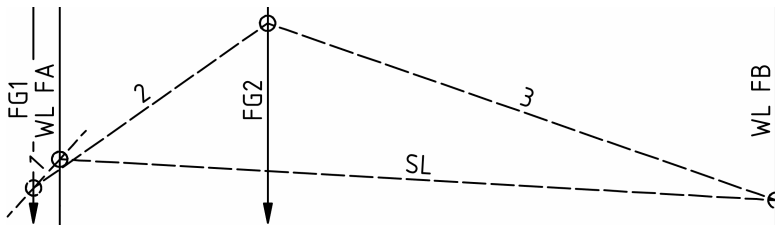
$$= \frac{-900\text{N} \cdot (1520 - 1350)\text{mm} + 2400\text{N} \cdot 1350\text{mm}}{1350\text{mm} + 3300\text{mm}}$$

$$= 664\text{N}$$

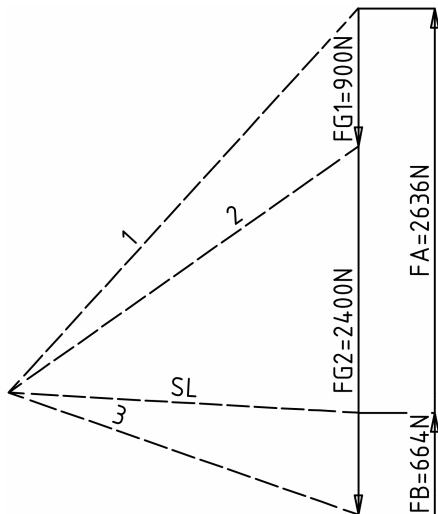
$$\Sigma F_y = 0 = -F_{G1} + F_{G2} - F_B \rightarrow$$

$$F_A = F_{G1} + F_{G2} - F_B = 900\text{N} + 2400\text{N} - 664\text{N} = 2636\text{N}$$

LP $M_L = 3300\text{mm} / 66\text{mm}$



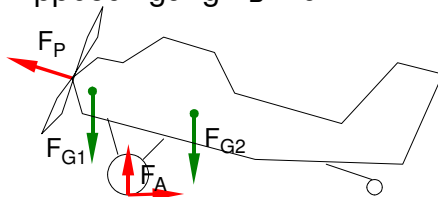
KP $M_K = 2400\text{N} / 48\text{mm}$



Auflagerkräfte: Seileckverfahren oder rechnerisch

1.2 Rechnerische Lösung: Lageskizze des Flugzeugs mit laufendem Motor und der Kippbedingung $F_B = 0$

2,0



Kippbedingung: Schlusslinienverfahren oder rechnerisch

$$\Sigma M_A = 0 = F_P \cdot l_4 + F_{G1} \cdot (l_2 - l_1) - F_{G2} \cdot l_1$$

$$F_P = \frac{-F_{G1} \cdot (l_2 - l_1) + F_{G2} \cdot l_1}{l_4}$$

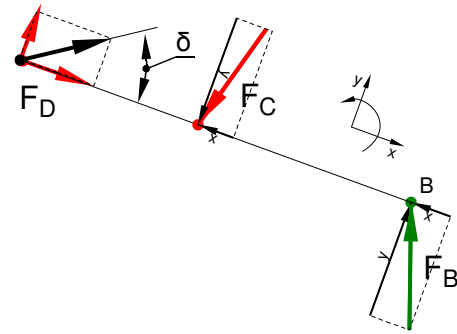
$$= \frac{-900\text{N} \cdot (1520 - 1350)\text{mm} + 2400\text{N} \cdot 1350\text{mm}}{1480\text{mm}}$$

$$= 2085,8\text{N} \text{ oder größer}$$

2

2.1 Lageskizze der Längsschwinge D-C-B:

Der Winkel α ist untertrieben dargestellt, damit leichter erkennbar ist, wo α bei F_B liegt. Die Lage des Winkel δ ist schon eingetragen, obwohl er erst unten berechnet wird.



5,0

Rechnerische Lösung:

$$F_{Bx} = F_B \cdot \sin \alpha = 650 \text{ N} \cdot \sin 30^\circ = 325 \text{ N}$$

$$F_{By} = F_B \cdot \cos \alpha = 650 \text{ N} \cdot \cos 30^\circ = 562,9 \text{ N}$$

$$F_{Cx} = F_C \cdot \sin \epsilon = F_C \cdot \sin (90^\circ - \alpha - \beta) = F_C \cdot \sin (90^\circ - 30^\circ - 45^\circ) = F_C \cdot \sin 15^\circ$$

$$F_{Cy} = F_C \cdot \cos \epsilon = F_C \cdot \cos 15^\circ$$

$$\Sigma M_D = 0 = -F_{Cy} \cdot l_5 + F_{By} \cdot l_6 = -F_C \cdot \cos 15^\circ \cdot l_5 + F_B \cdot \cos 30^\circ \cdot l_6 \Rightarrow$$

$$F_{Cy} = F_{By} \cdot \frac{l_6}{l_5} = 562,39 \text{ N} \cdot \frac{800 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} = 900,7 \text{ N}$$

$$F_C = \frac{F_{Cy}}{\cos 15^\circ} = \frac{900,7 \text{ N}}{\cos 15^\circ} = 932,4 \text{ N}$$

$$\Sigma F_x = 0 = +F_{Dx} - F_{Cx} + F_{Bx} \Rightarrow$$

$$F_{Dx} = +F_C \cdot \sin 15^\circ + F_B \cdot \sin 30^\circ = +932,4 \text{ N} \cdot \sin 15^\circ + 650 \cdot \sin 30^\circ = 566,3 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0 = F_{Dy} - F_{Cy} + F_{By} \Rightarrow$$

$$F_{Dy} = F_{Cy} - F_{By} = 900,7 \text{ N} - 562,9 \text{ N} = 337,7 \text{ N}$$

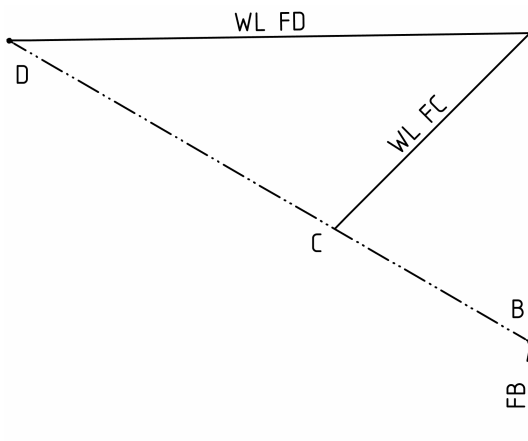
$$F_D = \sqrt{F_{Dx}^2 + F_{Dy}^2} = \sqrt{(566,3 \text{ N})^2 + (337,7 \text{ N})^2} = 659 \text{ N}$$

$$\delta = \arctan \frac{F_{Dy}}{F_{Dx}} = \arctan \frac{337,7 \text{ N}}{566,3 \text{ N}} = 30,8^\circ \text{ (nach rechts oben gegen die Längsschwinge)}$$

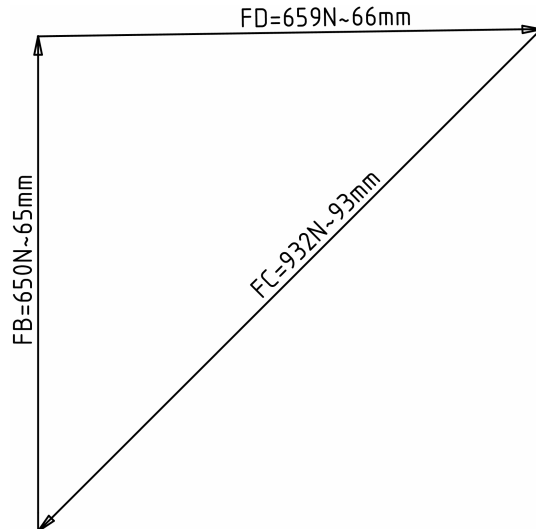
$$\delta_n = 0,8^\circ \text{ (nach rechts oben gegen die Waagerechte, siehe Lageskizze)}$$

Zeichnerische Lösung per 3-Kräfte-Verfahren

LP M_L : 800mm ~ 80mm



KP M_K : 650N ~ 65mm



Statik: 3KV oder rechnerisch

Dimension 1: Durchmesser

Erforderlicher Durchmesser gegen Abscheren

$\tau_{aB} = 550 \text{ N/mm}^2$ (E360 → Tabellenbuch Metall, Europa Verlag, 44. Auflage, S.44)

$$\frac{\tau_{aB}}{V} = \tau_{azul} > \tau_a = \frac{F}{2 \cdot S} \Rightarrow$$

$$\tau_{azul} = \frac{\tau_{aB}}{V} = \frac{550 \text{ N/mm}^2}{4} = 137,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S = \frac{F_c}{2 \cdot \tau_{azul}} = \frac{932,4 \text{ N}}{2 \cdot 137,5 \text{ N/mm}^2} = 3,4 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,4 \text{ mm}^2}{\pi}} = 2,08 \text{ mm}$$

Erforderlicher Durchmesser gegen Flächenpressung:

$$p_{zul} = \frac{F}{2 \cdot A} \Rightarrow A = \frac{F_c}{2 \cdot p_{zul}} = \frac{932,4 \text{ N}}{2 \cdot 15 \text{ N/mm}^2} = 31,08 \text{ mm}^2$$

$$A = d \cdot s \Rightarrow d = \frac{A}{s} = \frac{31,08 \text{ mm}^2}{4 \text{ mm}} = 7,8 \text{ mm}$$

Maßgeblicher Bolzendurchmesser: $d_{\text{Berf}} = 7,8 \text{ mm}$ (der größere der beiden Werte)
 gewählt: $d_B = 8 \text{ mm}$ (der nächstgrößere lieferbare Bolzendurchmesser → TabB)
 BolzenØ

Dimension 2: Bolzenlänge:

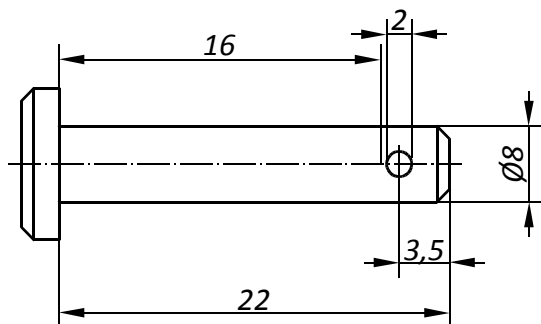
Annahme 1: Um die zulässige Flächenpressung nicht zu überschreiten, muss die Breite des Bolzenauges des Feder-Dämpfer-Elementes (zwischen den Flachstählen) mindestens so breit sein wie die Flachstähle zusammen, also 8 mm.

Annahme 2: Aus Gewichtsgründen ist das Kolbenauge nicht breiter.

Der Bolzen muss zwischen Kopf und Splint also mindestens 16 mm lang sein.

Gewählt: Bolzen ISO 2340 – B – 8 x 22

mit den folgenden Maßen:



- 2.3 Da der Fragetext offen lässt, gegen welche Belastungen gerechnet werden soll, muss man das aus den gegebenen Größen schließen. Die Angabe einer Formel für ein axiales Widerstandsmoment lenkt den Blick auf Biegefestigkeit. Die danebenstehende unbeschriftete Zeichnung enthält die gleichen Größen wie die Formel, da werden sie wohl zusammengehören. Nachdem man auch noch vermuten kann, dass die Zeichnung einen Schnitt durch einen der Flachstäbe der Längsschwinge im Punkt C darstellen könnte, übernimmt man dessen Maße aus der übergeordneten Aufgabe und lässt sich in diesem fortgeschrittenen Stadium der Analyse der Fragestellung auch nicht mehr davon beirren, dass anscheinend innerhalb einer Aufgabe alle Bezeichnungen ausgewechselt wurden:¹

5,0

Die eigentliche Lösung beginnt mit dem maximalen Biegemoment M_b .

Lageskizze zu Aufg. 2.1: Das max. Biegemoment kann nur bei C liegen, von rechts kann man mit gegebenen Werten rechnen.

$$M_{bC} = F_{By} \cdot (l_6 - l_5) = F_B \cdot \cos \alpha \cdot (l_6 - l_5) = 650 \text{ N} \cdot \cos 30^\circ \cdot (800 - 500) \text{ mm} \quad M_{bC} = 168,9 \text{ Nm}$$

Das Biegemoment verteilt sich auf 2 Flachstäbe:

$$M_b = \frac{M_{bC}}{2} = \frac{168,9 \text{ Nm}}{2} = 84,4 \text{ Nm}$$

Damit kann man das erforderliche Widerstandsmoment ermitteln:

$$\frac{\sigma_{bF}}{v} = \sigma_{bzul} > \sigma_b = \frac{M_{bmax}}{W} \Rightarrow$$

$$\sigma_{bzul} = \frac{\sigma_{bF}}{v} = \frac{470 \text{ N/mm}^2}{4} = 117,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_{erf} = \frac{M_{bmax}}{\sigma_{bzul}} = \frac{84,4 \text{ Nm}}{117,5 \text{ N/mm}^2} = 0,719 \text{ cm}^3 = 719 \text{ mm}^3$$

Jetzt noch ein wenig puzzlen:

- $b = 4 \text{ mm}$ (Maß s aus Aufgabe 2)
- $h = 8 \text{ mm}$ (gewählter Durchmesser d_B in der Lösung zu Aufgabe 2.2)

Damit bleibt H die einzige Variable in der gegebenen Gleichung und man kommt zum leichtesten Teil der Aufgabe: Lösung der Gleichung mit dem Taschenrechner (alternativ kann man die Widerstandsmomente der Profile ausrechnen):

$$W = \frac{b \cdot [H^3 - h^3]}{6 \cdot H} \Leftrightarrow 719 \text{ mm}^3 = \frac{4 \text{ mm} \cdot [H^3 - (8 \text{ mm})^3]}{6 \cdot H}$$

mit nur einer positiven Lösung: $H = 33,1 \text{ mm} \rightarrow$ Gewählt: FI 36 x 4 mit $H = 36 \text{ mm}$

Respekt vor jedem Schüler, der solche Aufgaben lösen kann!

Gegen Biegung dimensionieren (!)

¹ An dieser Stelle würde ich nur weitermachen, wenn ich ganz sicher wäre, denn ein Lösungsversuch auf der Basis falscher Annahmen bringt nicht nur keine Punkte, sondern kann auch noch eine Menge Zeit kosten...

HP 2010/11-1: Flugzeug

3

3.1 $P_K = 2\pi \cdot M_K \cdot n_K = 2\pi \cdot 22 \text{ Nm} \cdot 50 \text{ min}^{-1} = 115,2 \text{ W}$ 2,0

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \Rightarrow P_A = \frac{P_K}{\eta} = \frac{115,2 \text{ W}}{0,95} = 121,3 \text{ W}$$

3.2 $i_{ges} \cdot \eta_{ges} = \frac{M_{ab}}{M_{zu}} \Rightarrow i = \frac{M_K}{M_A \cdot \eta_{ges}} = \frac{22 \text{ Nm}}{3,1 \text{ Nm} \cdot 0,95} = 7,47$ 2,0

$$i = \frac{z_2}{z_1} \Rightarrow z_2 = z_1 \cdot i = 12 \cdot 7,47 = 89,6 \quad \text{Gewählt: } z_2 = 90$$

3.3 $\tau_{tF} = 360 \text{ N/mm}^2$ (16MnCr5 → Tabellenbuch Metall, Europa, 44.Auflage, S.44) 3,0

$$\frac{\tau_{tF}}{v} = \tau_{tzul} > \tau_t = \frac{M_A}{W_p} \Rightarrow$$

$$\tau_{tzul} = \frac{\tau_{tF}}{v} = \frac{360 \text{ MPa}}{8} = 45 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_{perf} = \frac{M_t \cdot v}{\tau_{tF}} = \frac{3,1 \text{ Nm} \cdot 8}{360 \text{ MPa}} = 68,9 \text{ mm}^3$$

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{W_{perf} \cdot 16}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{68,9 \text{ mm}^3 \cdot 16}{\pi}} = 7,05 \text{ mm} \quad \text{Gewählt: } d = 8 \text{ mm}$$

3.4 Der Achsabstand hängt mit den Zahnrädern zusammen, deshalb ist auch der Modul angegeben. Die Formel für den Achsabstand a findet man im TabB unter dem Stichwort „Zahnradabmessungen“ 1,0

$$a = \frac{m \cdot (z_1 + z_2)}{2} = \frac{4 \text{ mm} \cdot (12 + 90)}{2} = 204 \text{ mm}$$

Hinweis: Der Modul eines Zahnrades ist das Verhältnis zwischen Durchmesser und Zähnezahl. Man kann sich den Modul auch als Zahnabstand geteilt durch π denken. Zahnräder, die ineinandergreifen, müssen deshalb den gleichen Modul haben.
Zahnradmodul (Achsabstand) (!)