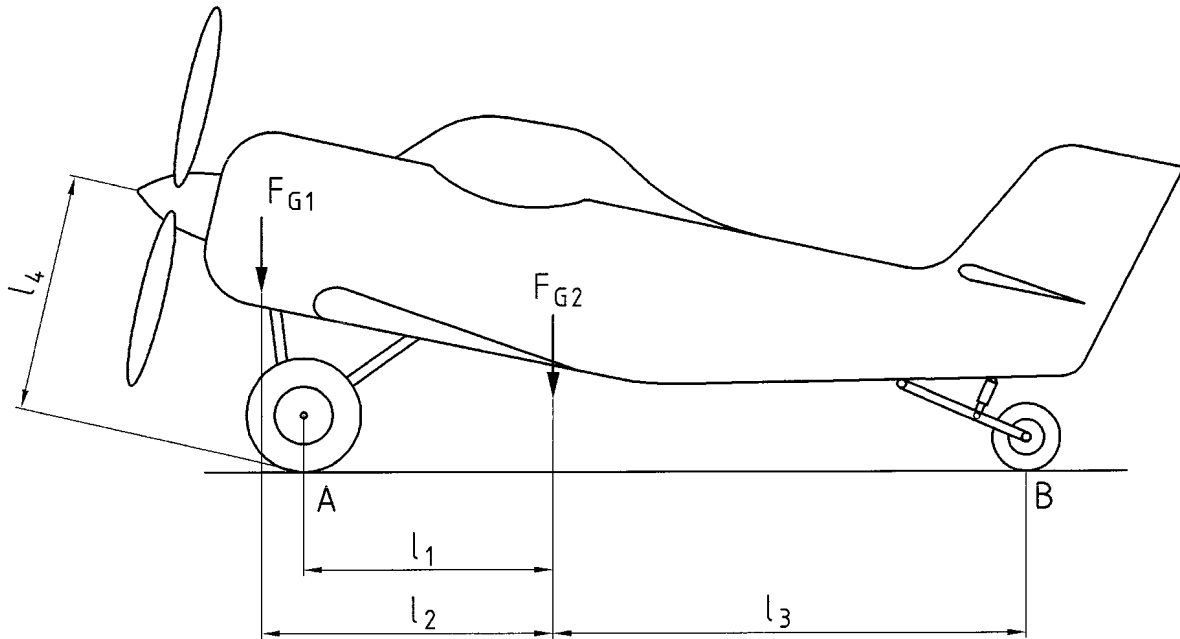




tgt HP 2010/11-1: Flugzeug



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.

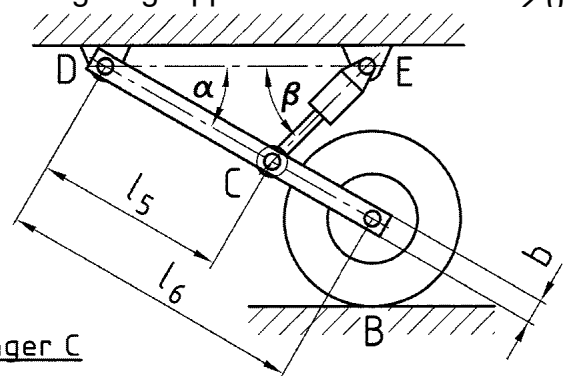
5,0

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

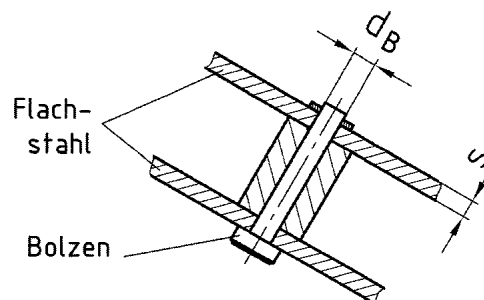
1.2 Bei welcher Vortriebskraft F_P des Propellers würde das Flugzeug kippen?

2,0

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



Schnitt durch Lager C





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 $v = 4$

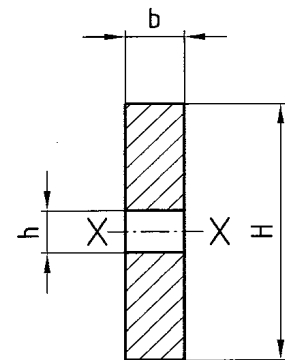
2.3 Dimensionieren Sie die Längsschwinge und wählen Sie das kleinste erforderliche Profil. 5,0

Die Längsschwinge besteht aus zwei Flachstähen.

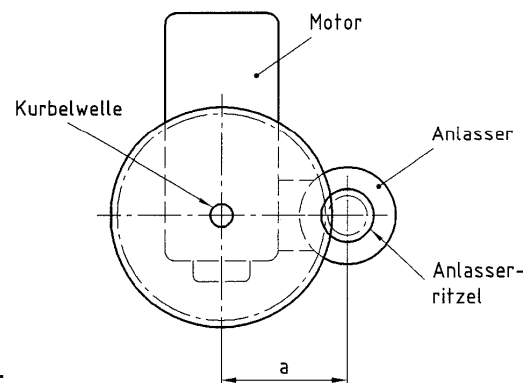
Werkstoff: E335
 Sicherheit: $v = 4$
 Axiales Widerstandsmoment $W_x = \frac{b(H^3 - h^3)}{6H}$

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 $3,1 \text{ Nm}$. 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. $\Sigma = 30,0$



Lösungsvorschläge

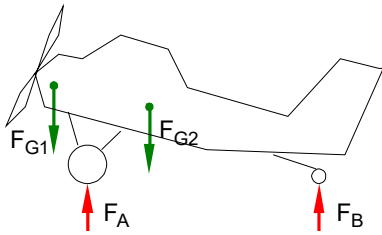
Teilaufgaben:

Punkte

1

1.1 Lageskizze Flugzeug mit stehendem Motor

5,0



Rechnerische Lösung:

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

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

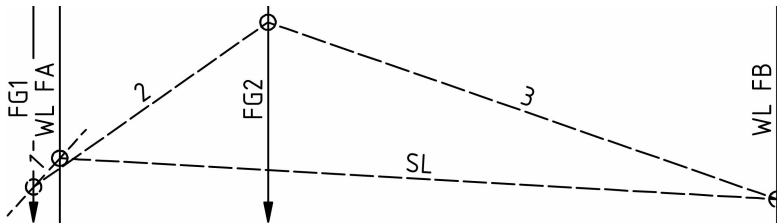
$$= \frac{-900\text{N} \cdot (1520 - 1350)\text{mm} + 2400\text{N} \cdot 1350\text{mm}}{1350\text{mm} + 3300\text{mm}}$$

$$= 664\text{ N}$$

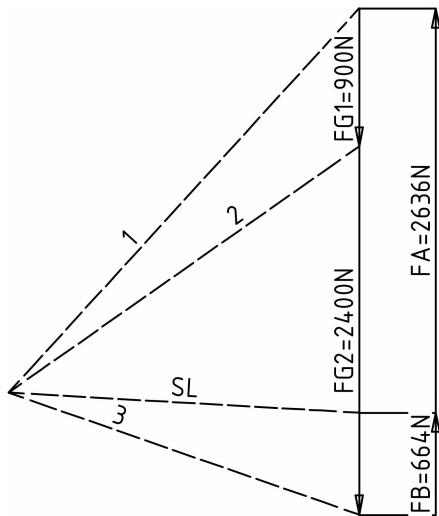
$$\sum F_y = 0 = -F_{G1} + F_{G2} - F_B \rightarrow$$

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

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



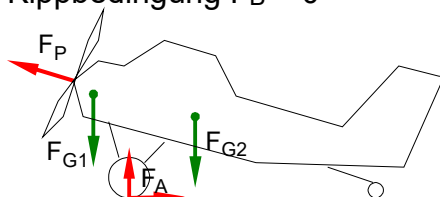
KP $M_K = 2400\text{N} / 48\text{mm}$



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

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

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

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

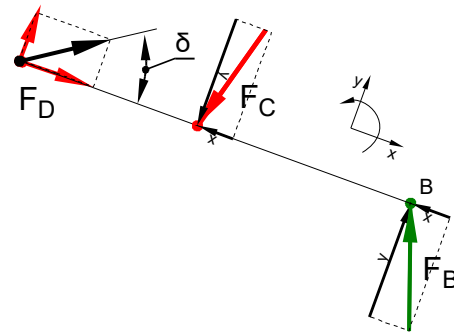
$$= 2085,8\text{ N oder größer}$$



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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

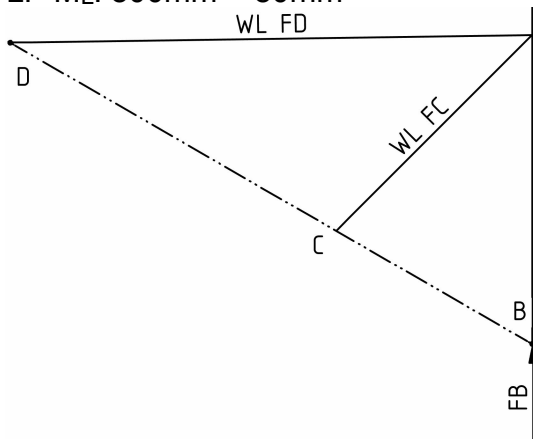
$$F_D = \sqrt{F_{Dx}^2 + F_{Dy}^2} = \sqrt{(566,3 \text{ N})^2 + (337,7 \text{ N})^2} = 659 \text{ N}$$

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

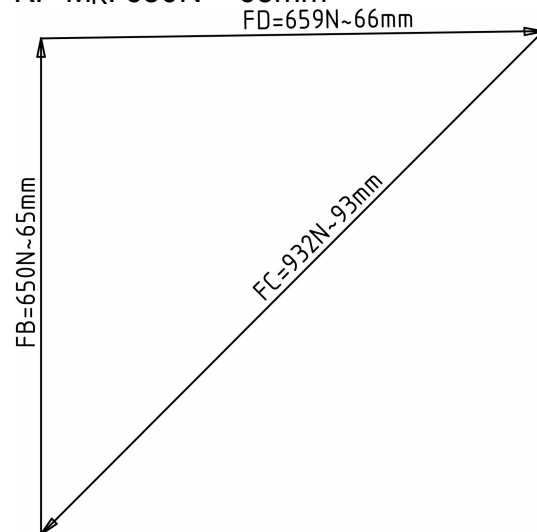
$$\delta_n = 0,8^\circ \text{ (nach rechts oben gegen die Waagerechte, siehe Lageskizze)}$$

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: $d_{Berf} = 7,8 \text{ mm}$ (der größere der beiden Werte)

gewählt: $d_B = 8 \text{ mm}$ (der nächstgrößere lieferbare Bolzendurchmesser → TabB)

BolzenØ

Dimension 2: Bolzenlänge:

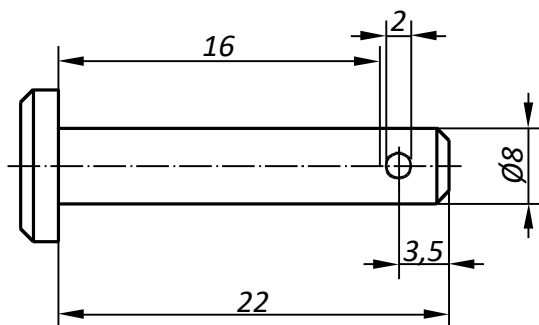
Annahme 1: Um die zulässige Flächenpressung nicht zu überschreiten, muss die Breite des Bolzenauges des Feder-Dämpfer-Elementes (zwischen den Flachstählen) mindestens so breit sein wie die Flachstähle zusammen, also 8 mm.

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 Flachstähle 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 Flachstähle:

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

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: Fl 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...



3

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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) (!)



Anlage 4: Kreditangebot der Hausbank:

....können wir Ihnen folgendes Kreditangebot unterbreiten:

Darlehensarten:

Abzahlungsdarlehen	Zinssatz 5 %, Auszahlung 100 %, Kreditlaufzeit 4 Jahre, Zinsbindung 4 Jahre fest jährliche Tilgung am Jahresende
Annuitätendarlehen	Zinssatz 5 %, Auszahlung 100 %, Kreditlaufzeit 4 Jahre, Zinsbindung 4 Jahre fest, Tilgung im 1.Jahr 97.444,97 €.

Zu Aufgabe 4.5.1:

Abzahlungsdarlehen

Jahr	Kreditsumme am Jahresanfang in €	Tilgung in €	Zinsen in €	Mittelabfluss / Liquiditätsbelastung in €
	Summe In €			

Annuitätendarlehen

Jahr	Kreditsumme am Jahresanfang in €	Tilgung in €	Zinsen in €	Mittelabfluss / Liquiditätsbelastung in €
	Summe In €			



Lösungen

CNC (20 P): Einstellwerte aus vorgegebenen Schnittdaten, Werkzeugauswahl, Arbeitsplan für Sonderfall, Teilkreiszyklus, Unterprogramm für Kontur

1 Einstelldaten

$$v = \pi \cdot n \cdot d \Rightarrow n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{70 \text{ m/min}}{\pi \cdot 80 \text{ mm}} = 278 \frac{1}{\text{min}}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,1 \frac{\text{mm}}{\text{U} \cdot \text{Zahn}} \cdot 12 \text{ Zahn} \cdot 278 \frac{\text{U}}{\text{min}} = 334 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

2 Gewinde

2.1 Werkzeuge (→ [EuroTabM] „Gewinde“)

T05: d = 14 mm (= BohrerØ für Gewindekernloch M16)

T07: f = 2 mm (= Steigung eines Gewindes M16)

2.2 Arbeitsplan

Normalfall	Sonderfall HM-Spiralbohrer und 90°-Senker (ist gegeben)
1) Zentrieren + Ansenken mit T08 Senker 2) Vorbohren Ø14 mit T05 Spiralbohrer 3) Gewindebohren M16 mit T07	1) Vorbohren Ø14 mit T05 2) Zentrieren mit T08 3) Gewindebohren M16 mit T07

Hinweis 1: Hartmetall-Spiralbohrer vertragen sich nicht mit 90°-Senkungen, deshalb wird bei dieser Kombination ohne Zentrieren vorgebohrt und danach gesenkt.

Ein Korrektor sollte m.E. die Bedeutung solchen fachspezifischen Spezialwissens für die Allgemeine Hochschulreife in die Bewertung einfließen lassen.

2.3 Gewindebohrung

N.. G00 X-150 Y-150 Z-150 T08 S509 F71 M3 ; 90°-Kegelsenker
 N.. G00 X50 Y80 ; etwa 1. Bohrung
 N.. G00 ;
 ; Z2 ;
 N.. G81 ZA-10 V2 ; Bohrzyklus
 N.. G77 Z0 R55 AN115 AP205 AI45 O3 IA100 JA100 ; Teilkreiszyklusaufruf

N.. G00 X-150 Y-150 Z-150 T07 S219 F2 M3 ; Gewindebohrer
 N.. G00 X50 Y80 ; etwa 1. Bohrung
 N.. G00 ;
 ; Z2 ;
 N.. G84 ZA-20 V2 ; Gewindebohrzyklus
 N.. G77 Z0 R55 AN115 AP205 AI45 O3 IA100 JA100 ; Teilkreiszyklusaufruf

N.. G00 X-150 Y-150 Z-150 M15 ; Heimflug

Bemerkungen:

Im Teilkreiszyklus G77 entfällt eine der Adressen AN205, AP115, AI45 oder O3. Statt des Teilkreiszyklus G77 kann man die Zyklen auch einzeln aufrufen:

Polare Zyklusaufrufe:

N.. G78 IA100 JA100 Z0 RP55 AP205
 N.. G78 IA100 JA100 Z0 RP55 AP160
 N.. G78 IA100 JA100 Z0 RP55 AP115

Kartesische Zyklusaufrufe (Koordinaten müssen berechnet werden):

N.. G79 X50,153 Y77,756 Z0
 N.. G79 X48,317 Y118,811 Z0
 N.. G79 X76,756 Y149,847 Z0



- 3 Grundsätzlich sind für die Rechtecktasche 40x60 mit den Ecken R8 die Bohrnutenfräser Ø6 und der Schafffräser Ø12 geeignet. Die Bohrnutenfräser haben den Vorteil, dass sie senkrecht eintauchen können, aber das ist in der Rechtecktasche nicht zwingend erforderlich.

Das Werkzeug T04 aus HM erlaubt wegen der 2,7fach möglichen Vorschubgeschwindigkeit v_f etwas schnelleres Arbeiten als T02 Schafffräser mit dem doppelten Durchmesser, die kleinere Schnitttiefe spielt hier keine Rolle. Für T03 und insbesondere T02 sprechen der geringere Preis der Werkzeuge.

Hinweis 2: Bei solchen Fragen kommt es nicht darauf an, die einzig richtige Antwort zu geben, sondern eine vernünftige Begründung für seine Wahl zu finden, die mit der Aufgabe zusammenhängt. Welches die wirklich beste Wahl ist, stellt sich auch in der Praxis oft erst dann heraus, wenn die realen Probleme auftreten ...

4 Außenkontur

4.1 $P3_x = 100 + R70 \cdot \cos 46,40^\circ = 148,273 \text{ mm}$

$P3_y = 100 + R70 \cdot \sin 46,40^\circ = 150,692 \text{ mm}$

4.2

Hauptprogramm

```
N.. G00 X-10 Y-45 ; Verlängerung P1-P2
N.. G00 Z1 ;
N.. G22 L100 H2 ; ruft 2x das Unterprogramm L100 auf
```

Unterprogramm L100 (hier in absoluten Werten, ist auch inkremental möglich)

```
N.. G41 ; Bahnkorrektur links
N.. G00 ZI-13 ; In 2 Schnitten von ZA1 auf ZA-25
N.. G01 X30 Y40 ; P1
N.. G01 Y100 ; P2
N.. G02 X148,273 Y150,692 R70 ; P3
N.. G01 X170 Y130 ; P4
N.. G01 Y40 ; P5
N.. G01 X-2 ; P6 und weiter
N.. G01 X-10 Y45 ; Startpunkt
N.. G40
N.. M17 ; Unterprogramm Ende
```