

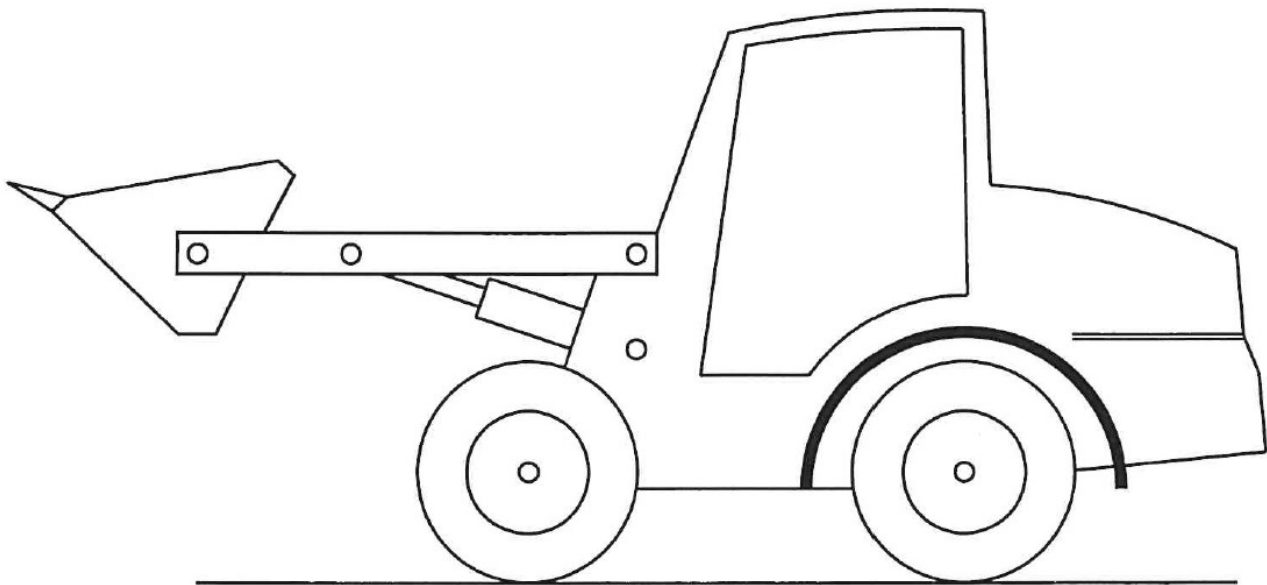


tgtn HP 2023/24-1: Radlader

(Pflichtaufgabe)

Szenario

Die Firma *Wheel Loader* vertreibt den folgend dargestellten Radlader. Die Entwicklung erfolgt in enger Zusammenarbeit mit dem Kunden und einem weltweit tätigen Netz von Zulieferbetrieben. Einer der Zulieferbetriebe ist die *Industrietechnik KG*, welche eine Reihe von Bauteilen liefert.

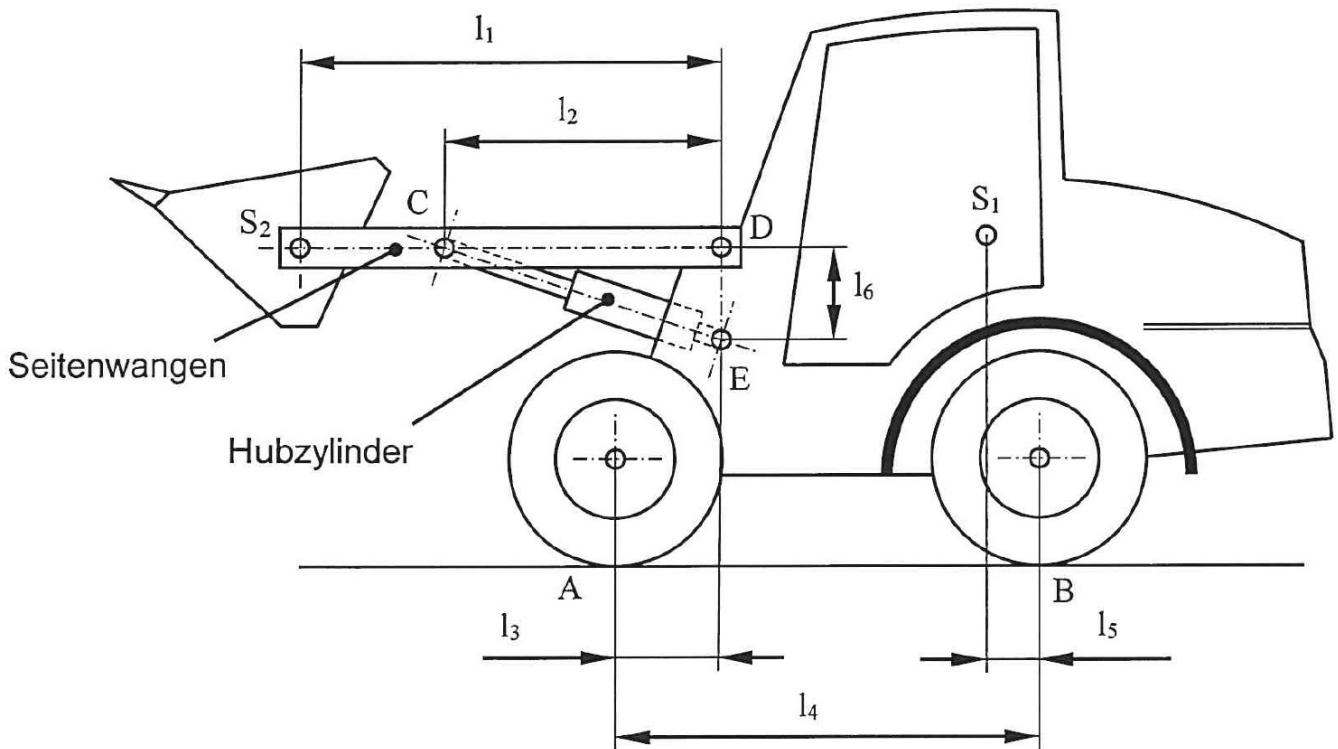


Radlader



1 Radlader

Der Radlader dient zum Transportieren von Schüttgut. Die Hubkinematik wird mittig von einem Hubzylinder betätigt. Seitlich der Schaufel verlaufen beidseitig die Seitenwangen als Flachstahlprofile. Der Radlader steht wie unten dargestellt auf der Ebene. Die Schaufel ist angehoben, so dass sich die beiden Seitenwangen in waagerechter Position befinden.



Darstellung nicht maßstabsgetreu

Daten

Gesamtgewicht Radlader in S_1 :

$$F_{G1} = 19 \text{ kN}$$

Schauffellast in S_2 :

$$F_{G2} = 9,5 \text{ kN}$$

Längen:

$$l_1 = 1600 \text{ mm} \quad l_4 = 1600 \text{ mm}$$

$$l_2 = 1050 \text{ mm} \quad l_5 = 200 \text{ mm}$$

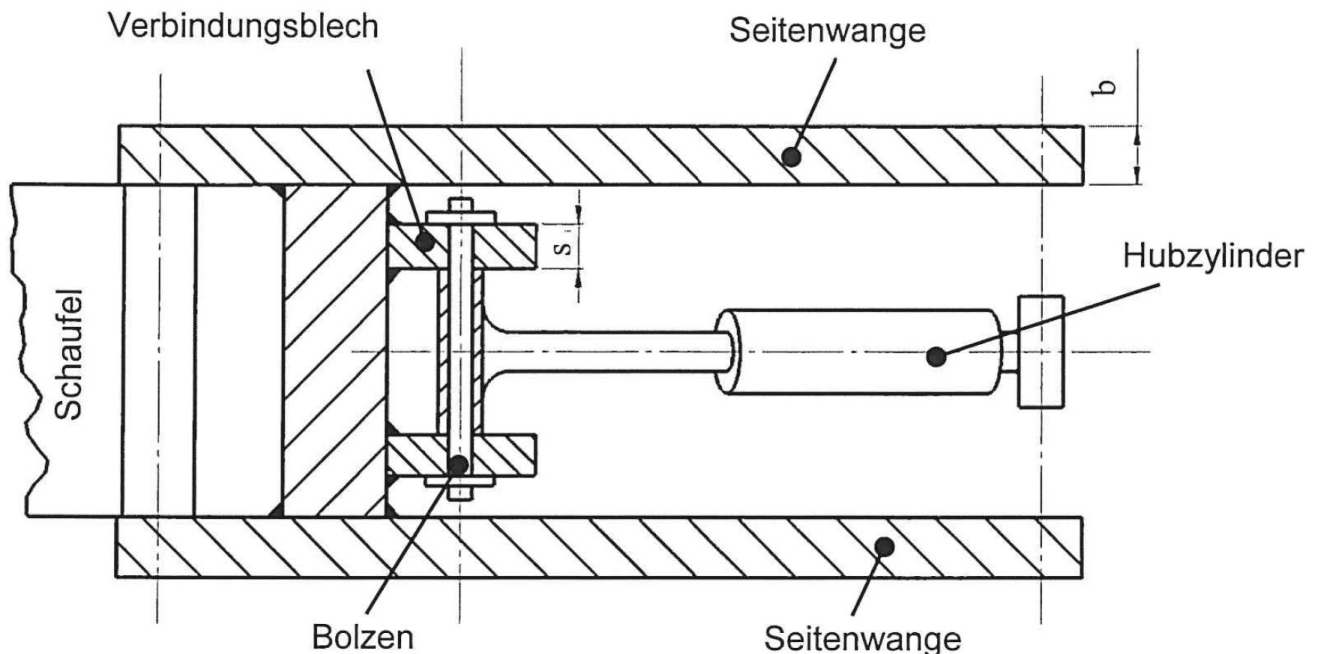
$$l_3 = 700 \text{ mm} \quad l_6 = 350 \text{ mm}$$

- 1.1. Machen Sie den Radlader zur Berechnung der Radkräfte frei. 2,0
- 1.2. Berechnen Sie die Radkräfte F_A und F_B . 5,0
- 1.3. Bestimmen Sie die Sicherheit gegen Kippen bei maximaler Schaufellast. 3,0
- 1.4. Schneiden Sie die Seitenwangen frei und berechnen Sie die Lagerkraft F_C sowie die Lagerkraft F_D . 6,0



2 Hubeinheit

Die Schaufel kann über die Seitenwangen und den Hubzylinder angehoben und abgesenkt werden.



Daten

Dicke der Verbindungsbleche:	s	=	16 mm
Sicherheit gegen Abscherung:	v_a	=	3
zulässige Flächenpressung:	p_{zul}	=	$80 \frac{N}{mm^2}$
Bolzenwerkstoff:	E295		
Kraft im Hubzylinder:	F_c	=	46 kN

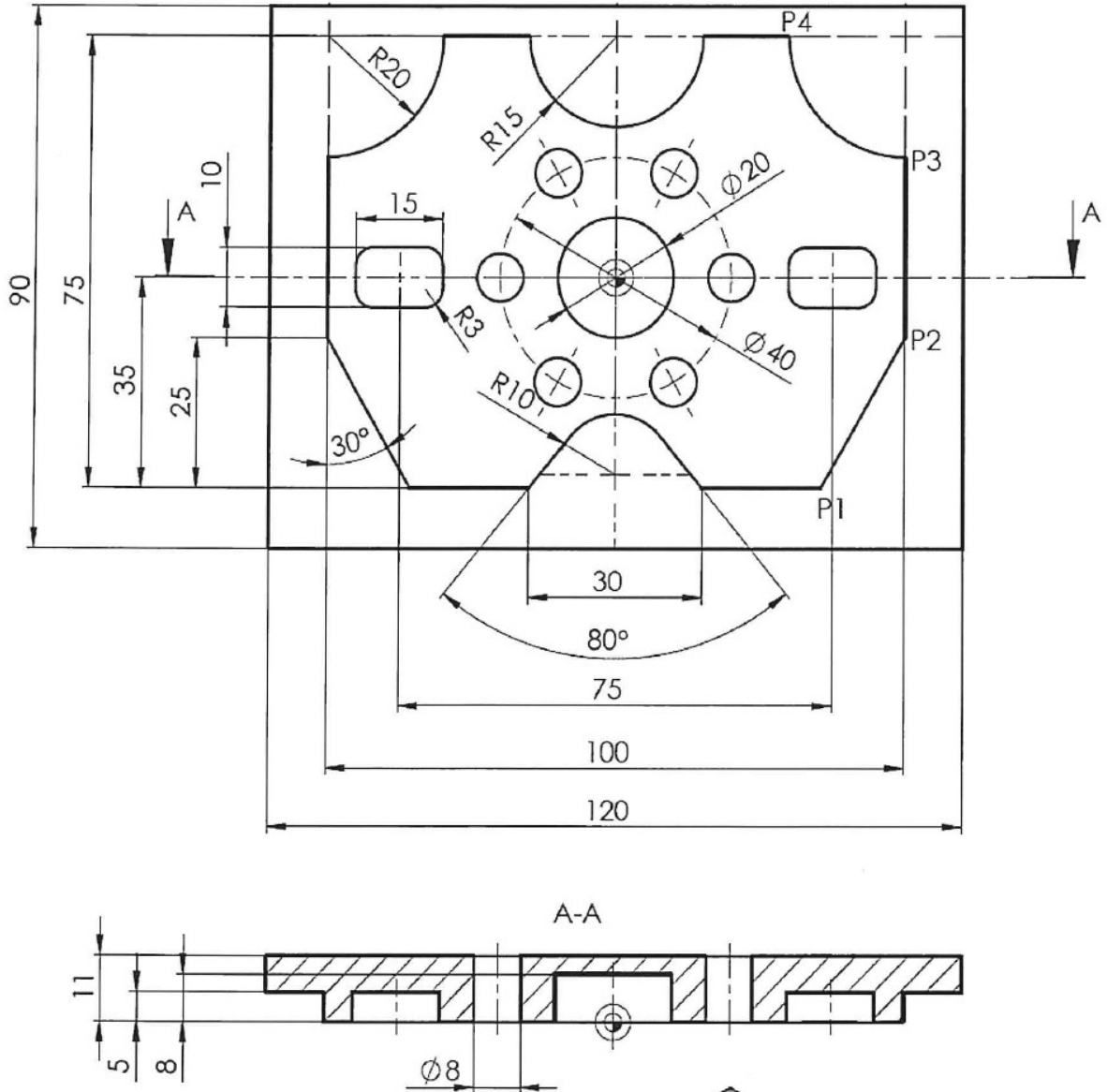
- 2.1. Dimensionieren Sie den Durchmesser d für den Bolzen. 6,0
- 2.2. Skizzieren Sie den Verlauf der Querkraft im Flachstahl-Profil einer Seitenwange, wenn sich die Schaufel in waagerechter Position befindet und begründen Sie anhand der Skizze die Stelle des maximalen Biegemoments M_{bmax} . 3,0
- 2.3. Berechnen Sie das maximale Biegemoment M_{bmax} je Seitenwange. 3,0
- 2.4. Die Seitenwangen der Hubeinheit sollen aus Flachstahlprofilen gefertigt werden. Zur Auswahl stehen die Profilhöhen $h = 80$ mm, 90 mm und 110 mm. 5,0
 - Maximales Biegemoment $M_{bmax} = 3$ kNm
 - Profilwerkstoff S275
 - Sicherheit gegen bleibende Verformung $v_b = 4$
 - Seitenwangen Breite $b = 20$ mm

Berechnen Sie, welches Profil den Anforderungen entspricht.



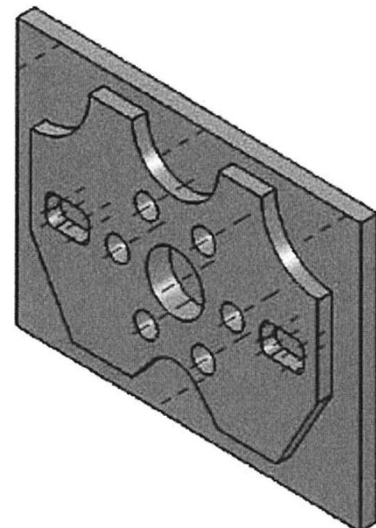
3 Schablone

Auf einer CNC-Senkrecht-Fräsmaschine soll eine Schablone aus 16MnCr5 gefertigt werden.



Schablone

Darstellung nicht maßstabsgetreu





- 3.1. Entschlüsseln Sie die Werkstoffbezeichnung der Schablone und geben Sie die Legierungselemente und deren prozentualen Gehalt an.
- 3.2. Die Schablone soll eine verschleißfeste Oberfläche erhalten. Nennen Sie ein geeignetes Wärmebehandlungsverfahren und beschreiben Sie dieses in kurzen Worten.

Zur Fertigung der Schablone stehen folgende Werkzeuge zur Verfügung:

Werkzeug	Nr.	d [mm]	z	v_c [m/min.]	a_p [mm]	f_z bzw. f [mm]	n [min ⁻¹]	v_f [mm/min.]
Schafffräser	T01	30	6	80	5	0,06	?	?
Schafffräser	T02	15	4	110	4	0,04	1167	187
Bohrnutenfräser	T03	6	2	70	4	0,05	3713	371
NC-Anbohrer 90°	T04	12	-	25	-	0,06	663	40
HSS-Spiralbohrer	T05	8	-	19	-	0,06	889	53

Der Werkzeugwechsellpunkt P0 ist festgelegt: X100; Y-100; Z100.

- 3.3. Bestimmen Sie die fehlenden technologischen Daten (dick umrandete Felder) zur Herstellung der Schablone. 4,0
- 3.4. Erläutern Sie die Lage des Werkstücknullpunkts. 1,0
- 3.5. Bestimmen Sie die Koordinaten für die Punkte P1 bis P4 inklusive Mittelpunktkoordinaten I und J. 4,0
Erstellen Sie für die Ergebnisse eine Tabelle nach folgender Vorlage.
Dokumentieren Sie die Berechnungen für die Konturpunkte, die nicht direkt aus der Zeichnung entnommen werden können.

Punkt	X	Y	Z	I	J
P1					
P2					
...					



- 3.6. Die Außenkontur der Schablone ist bereits vorgeschruppt und soll nun geschlichtet werden. 5,0
Dokumentieren Sie den CNC-Programmteil zur Fertigung der Außenkontur für den Konturteil P1 bis P4.
Entwickeln Sie diesen Teil des CNC-Programms beginnend am Werkzeugwechsellpunkt.
Der Rest der Kontur ist nicht Gegenstand dieser Aufgabe. Das Werkzeug T02 ist eingewechselt, die Schnittdaten sind bereits programmiert.
- 3.7. Entwickeln Sie das Programm für die zwei Rechtecktaschen unter Verwendung eines Zyklus. Das entsprechende Werkzeug ist eingewechselt, alle technologischen Daten sind programmiert. Das Werkzeug befindet sich im Werkzeugwechsellpunkt. 3,0
- 3.8. Die Bohrungen werden mit Hilfe eines Teilkreiszyklus gefertigt. Sie sind zentriert, das entsprechende Werkzeug ist eingewechselt, alle technologischen Daten sind programmiert. Das Werkzeug befindet sich im Werkzeugwechsellpunkt. 4,0
Berechnen Sie die Bohrtiefe t und schreiben Sie das Programm unter Verwendung eines geeigneten Zyklus.

60,0



Lösungen

Statik (16 P): Freimachen und Aufstandskräfte berechnen, Kippsicherheit berechnen, Komplexes Bauteil freischneiden und Lagerkräfte ermitteln. Festigkeit (17 P): Dimensionierung eines Bolzens aufgrund Abscherung und Flächenpresung, Querkraftverlauf und maximales Biegemoment, Dimensionierung Flachprofil aufgrund Biegung. Werkstofftechnik (6P): Stahlnormung, Wärmebehandlung. CNC (13 P): Ermittlung technologischer Daten, Begründung des Werkstücknullpunkts, Ermittlung Koordinaten, Programmierung Außenkontur, Programmierung Rechteckzyklus, Bohrtiefe, Bohrzyklus

2 Radkräfte des Radladers

2.1. LS Radlader

2.2.

$\Sigma F_x = 0$ keine Kräfte in x-Richtung

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

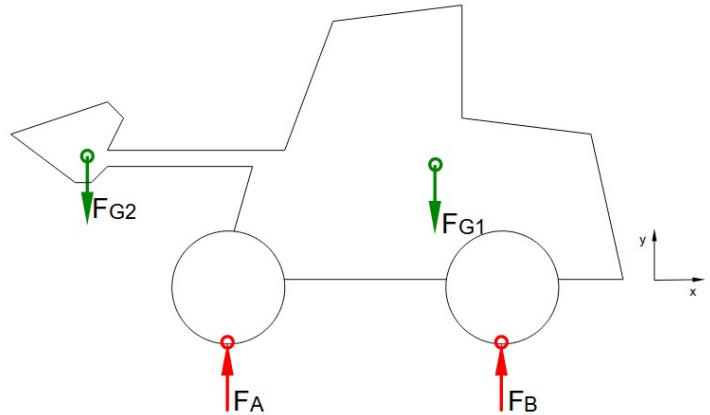
$$\Sigma M_A = 0 = F_{G2} \cdot (l_1 - l_3) - F_{G1} \cdot (l_4 - l_5) + F_B \cdot l_4$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow F_B &= \frac{F_{G1} \cdot (l_4 - l_5) - F_{G2} \cdot (l_1 - l_3)}{l_4} \\ &= \frac{19 \text{ kN} \cdot 1,4 \text{ m} - 9,5 \text{ kN} \cdot 0,9 \text{ m}}{1,6 \text{ m}} \\ &= 11,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$F_{B, \text{Rad}} = \frac{F_B}{2} = \frac{11,28 \text{ kN}}{2} = 5,64 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow F_A &= F_{G1} + F_{G2} - F_B \\ &= 19 \text{ kN} + 9,5 \text{ kN} - 11,28 \text{ kN} = 17,22 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$F_{A, \text{Rad}} = \frac{F_A}{2} = \frac{17,22 \text{ kN}}{2} = 8,61 \text{ kN}$$



2.3. Kippsicherheit

Kippbedingung: $F_B = 0$!

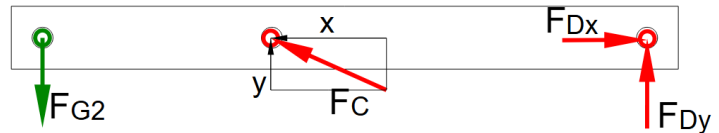
Drehpunkt ist das Vorderrad (Punkt A).

$$v_{\text{kipp}} = \frac{\text{stehendes Drehmoment}}{\text{kippendes Drehmoment}} = \frac{M_{\text{steh}}}{M_{\text{kipp}}} = \frac{F_{G1} \cdot (l_4 - l_5)}{F_{G2} \cdot (l_1 - l_3)} = \frac{19 \text{ kN} \cdot (1,6 \text{ m} - 0,2 \text{ m})}{9,5 \cdot (1,6 \text{ m} - 0,7 \text{ m})} = 3,11$$



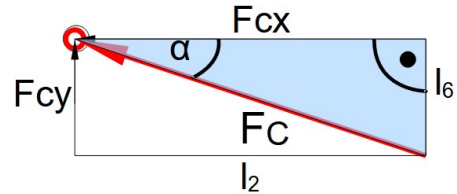
2.4. LS Seitenwange

$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= 0 = -F_{Cx} + F_{Dx} = 0 \\ \Sigma F_y &= 0 = -F_{G2} + F_{Cy} + F_{Dy} + F_B \\ \Sigma M_D &= 0 = F_{G2} \cdot l_1 - F_{Cy} \cdot l_2 = 0\end{aligned}$$



Ermittlung des Richtungswinkel α der Kraft F_C

$$\tan \alpha = \frac{l_6}{l_2} \Rightarrow \alpha = \arctan \frac{l_6}{l_2} = \arctan \frac{0,35 \text{ m}}{1,05 \text{ m}} = 18,43^\circ$$



$$F_{Cy} = \sin \alpha \cdot F_C$$

$$F_{Cx} = \cos \alpha \cdot F_C$$

Aus dem Momentengleichgewicht gilt¹:

$$\begin{aligned}F_{Cy} &= \frac{F_{G2} \cdot l_1}{l_2} = \frac{9,5 \text{ kN} \cdot 1,6 \text{ m}}{1,05 \text{ m}} = 14,48 \text{ kN} \\ \Rightarrow F_C &= \frac{F_{Cy}}{\sin \alpha} = \frac{14,48 \text{ kN}}{\sin 18,43^\circ} = 45,8 \text{ kN}\end{aligned}$$

Aus der Summe aller Kräfte in x-Richtung gilt:

$$F_{Cx} = F_{Dx} = F_C \cdot \cos \alpha = 45,8 \text{ kN} \cdot \cos 18,43^\circ = 43,45 \text{ kN}$$

Aus der Summe aller Kräfte in y-Richtung gilt:

$$F_{Dy} = F_{G2} - F_{Cy} = 9,5 \text{ kN} - 14,48 \text{ kN} = -4,98 \text{ kN}$$

\Rightarrow Kraft wirkt in die entgegengesetzte Richtung!

Für die Kraft F_D gilt:

$$F_D = \sqrt{F_{Dx}^2 + F_{Dy}^2} = \sqrt{(43,45 \text{ kN})^2 + (4,98 \text{ kN})^2} = 43,73 \text{ kN}$$

$$\tan \beta = \frac{F_{Dy}}{F_{Dx}} \Rightarrow \beta = \arctan \frac{4,98 \text{ kN}}{43,45 \text{ kN}} = 6,54^\circ$$

1 Aufgrund der Rundungen kann es in den folgenden Berechnungen zu leichten Abweichungen kommen.



3

3.1. Dimensionierung Bolzendurchmesser:

Gegen Abscheren:

$R_e = 295 \text{ N/mm}^2$ (E295 \rightarrow [EuroTabM] „Unlegierte Baustähle“)

$$\tau_{aF} = 0,6 \cdot R_e = 0,6 \cdot 295 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 177 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\tau_{aF}}{\sqrt{3}} = \tau_{azul} > \tau_a = \frac{F}{2 \cdot S} \Rightarrow \tau_{azul} = \frac{\tau_{aF}}{\sqrt{3}} = \frac{177 \text{ N/mm}^2}{3} = 59 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{erf} = \frac{F_C}{2 \cdot \tau_{azul}} = \frac{46 \text{ kN}}{2 \cdot 59 \text{ N/mm}^2} = 389,83 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow d_{Berf} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 389,83 \text{ mm}^2}{\pi}} = 22,28 \text{ mm}$$

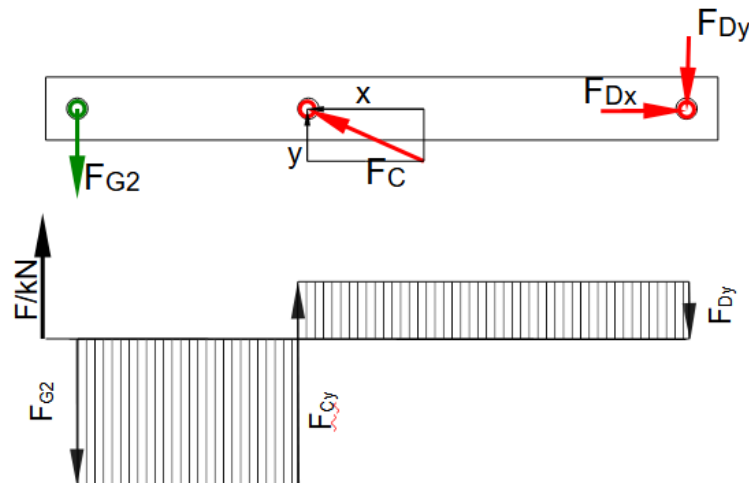
Gegen Flächenpressung:

$$p_{zul} > p = \frac{F}{A} \Rightarrow A_{erf} = \frac{F_C}{p_{zul}} = \frac{46 \text{ kN}}{80 \text{ N/mm}^2} = 575 \text{ mm}^2$$

$$A = d_{erf} \cdot 2 \cdot s \Rightarrow d_{Berf} = \frac{A}{2 \cdot s} = \frac{575 \text{ mm}^2}{2 \cdot 16 \text{ mm}} = 17,97 \text{ mm}$$

\Rightarrow Bolzendurchmesser ergibt sich aus der Abscherbeanspruchung, gewählt $d = 24 \text{ mm}$ (nächstgrößerer Normdurchmesser \rightarrow EuroTabM)

3.2. LS und Querkraftverlauf Seitenwange



3.3. Das maximale Biegemoment liegt am Lager C, da hier der Nulldurchgang der Querkraft liegt.²

Die Kräfte müssen halbiert werden,

da die Schaufel durch zwei Seitenwangen getragen wird.

$$\text{von links: } M_{bmax} = \frac{F_{G2}}{2} \cdot (l_1 - l_2) = 4,75 \text{ kN} \cdot (1,6 \text{ m} - 1,05 \text{ m}) = 2,61 \text{ kNm}$$

$$\text{von rechts: } M_{bmax} = \frac{F_{Dy}}{2} \cdot l_2 = 2,49 \text{ kN} \cdot 1,05 \text{ m} = 2,61 \text{ kNm}$$

² Leichte Abweichung aufgrund von Rundungen in Aufg. 1.4.



3.4. Ermittlung eines geeigneten Flachstahlprofils: (→ [EuroTabM] „Beanspruchung auf Biegung“)

S275

$R_e = 275 \text{ N/mm}^2$ (→ [EuroTabM] „Unlegierte Baustähle“)

$M_{bmax} = 3 \text{ kNm} = 3\,000 \text{ Nm} = 3\,000\,000 \text{ Nmm}$

$v_b = 4$

$$\sigma_{bF} = 1,2 \cdot R_e = 1,2 \cdot 275 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 330 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{bzul} = \frac{\sigma_{bF}}{v} = \frac{330 \text{ N/mm}^2}{4} = 82,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$W_{erf} = \frac{M_{bmax}}{\sigma_{bzul}} = \frac{3\,000\,000 \text{ Nmm}}{82,5 \text{ N/mm}^2} = 36\,363,64 \text{ mm}^3$$

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$\Rightarrow h_{erf} = \sqrt{\frac{6 \cdot W_{erf}}{b}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 36\,363,63 \text{ mm}^3}{20 \text{ mm}}} = 104,45 \text{ mm}$$

⇒ gewählt, Profil mit $h = 110 \text{ mm}$

4

4.1. Stahlnormung

16MnCr5: Einsatzstahl

16: 0,16% Kohlenstoff

Mn5: 1,25% Mangan

Cr: geringer Anteil Chrom

4.2. Ein geeignetes Wärmebehandlungsverfahren ist Einsatzhärten.

1. Schritt: Aufkohlen:

Hierbei wird der der Stahl zunächst mit Kohlenstoff angereichert, bspw. Im Glühofen in einer Koks-Kohle-Packung. Hierbei dringt Kohlenstoff in die Randschicht des Stahls ein und bildet dort das Eisenkarbid Fe_3C . Dies ist nötig, da der Stahl 16MnCr5 zu wenig Kohlenstoff enthält, um in zu härten.

2. Schritt: Härten

Der Stahl wird im Härteofen auf Härtetemperatur (ca. $780^\circ\text{C} - 820^\circ\text{C}$) in den Austenitbereich erwärmt. Dies ist nötig, da sich die Kohlenstoffatome in das kfz-Gitter des Austenits einlagern können. Die Härtetemperatur wird eine Zeit lang gehalten.

3. Schritt: Abschrecken

Der Stahl wird in Öl oder Wasser abgeschreckt. Es entsteht ein Martensitgefüge, da die Kohlenstoffatome beim schlagartigen Abschrecken keine Zeit zur Bildung von Fe_3C haben. Das Martensitgefüge ist hart und spröde.

4. Schritt: Anlassen

Durch erneutes Erwärmen auf niedrigerer Temperatur (ca. $150^\circ\text{C} - 200^\circ\text{C}$) können sich die C-Atome auf günstigeren Zwischengitterplätzen umlagern. Die Neigung zur Rissbildung nimmt hierdurch ab, da die Randschicht weniger spröde ist.

Durch Einsatzhärten entsteht wird der Stahl außen hart und verschleißfest, behält im Kern jedoch seine Zähigkeit bei.



4.3. Technologische Daten des Werkzeugs T01.

$$v = \pi \cdot n \cdot d \Rightarrow n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{80\,000 \text{ mm/min}}{\pi \cdot 30 \text{ mm}} = 849 \frac{1}{\text{min}}$$

$$v_f = n \cdot z \cdot f_z = 849 \frac{1}{\text{min}} \cdot 0,06 \frac{\text{mm}}{\text{U} \cdot \text{Zahn}} \cdot 6 \text{ Zähne} = 306 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

4.4. Der Werkstücknullpunkt befindet sich in der Bauteilmitte und auf der Oberfläche des Werkstückes. Das Werkstück weist eine Symmetrie in der y-Achse auf. Daher ist die Wahl des Werkstücknullpunkts auf die Bauteilmitte sinnvoll, da bei für die Koordinatenberechnung, beispielsweise zur Programmierung der Außenkontur weniger Rechenaufwand geleistet werden muss. Es müssen nur die Koordinaten einer Seite der Außenkontur berechnet werden. Für die andere Seite ergeben sich dann die Koordinaten zur Vorzeichenwechsel.

Auch für die Programmierung der Kreistasche in der Mitte des Bauteils sowie den Bohrkreis erleichtert die Wahl des Werkstücknullpunkts den Rechenaufwand zur Bestimmung der entsprechenden Koordinaten. Der Mittelpunkt der Kreistasche sowie des Bohrkreises liegt dann beides bei X0 Y0 Z0.

Die Wahl des Werkstücknullpunktes in Z-Richtung auf die Werkstückoberfläche ist sinnvoll, da dann mit **-Z** die Zustellung ins Werkstück definiert wird und **+Z** immer bedeutet, dass sich das Werkzeug oberhalb des Werkstückes befindet.

4.5.

Punkt	X	Y	Z	I	J
P1	35,566	-35	-5		
P2	50	-10	-5		
P3	50	20	-5		
P4	30	40	-5	0	20

Ermittlung der Koordinate P1:

$$\tan 30^\circ = \frac{X}{25 \text{ mm}}$$

$$\Rightarrow X = \tan 30^\circ \cdot 25 \text{ mm} = 14,434 \text{ mm}$$

$$P1 X = \frac{100}{2} - 14,434 \text{ mm} = 35,566 \text{ mm}$$

Ermittlung der Koordinate P2:

$$P2 X = \frac{100}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$P2 Y = 35 - 20 = 10 \text{ mm} \rightarrow \text{Koordinate } -10 \text{ mm}$$

Ermittlung der Koordinate P3:

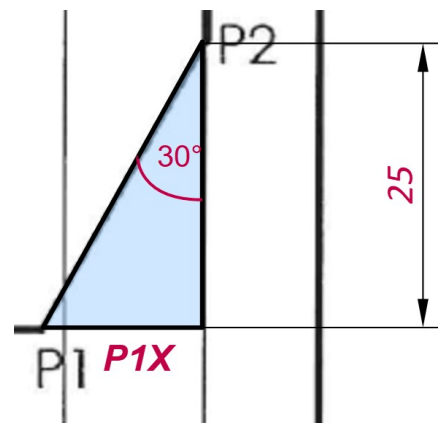
$$P3 X = \frac{100}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$P3 Y = 75 - 35 - R20 = 20 \text{ mm}$$

Ermittlung der Koordinate P4:

$$P4 X = \frac{100}{2} - R20 = 30 \text{ mm}$$

$$P4 Y = 75 - 35 = 40 \text{ mm}$$





4.6. Schichten der Außenkontur von P1 bis P4

N100 G0 X27,5 Y-55 ; Positionieren des Werkzeugs in X und Y
 N110 G0 Z-5 ; Zustellung in Z
 N120 G42 G1 X35,566 Y-35 ; Fräserradiuskorrektur und Anfahren von P1
 N130 G1 X50 Y-10 ; Geradeninterpolation zu P2
 N140 G1 Y20 ; Geradeninterpolation zu P4
 N140 G2 X30 Y40 I0 J20 ; Kreisinterpolation zu P4

Alternativ mit Anfahrstrategie (linear tangential zum Punkt P1)

N100 G0 X27,5 Y-55 ; Positionieren des Werkzeugs in X und Y
 N110 G0 Z-5 ; Zustellung in Z
 N120 G42 ; Fräserradiuskorrektur
 N120 G45 DL20 X35,566 Y35 WV ; linear tangenciales Anfahren mit Abstand 20mm
 und Anfahren von P1
 N130 G1 X50 Y-10 ; Geradeninterpolation zu P2
 N140 G1 Y20 ; Geradeninterpolation zu P4
 N140 G2 X30 Y40 I0 J20 ; Kreisinterpolation zu P4

4.7. Fräsen der Rechtecktaschen:

N200 G72 ZA-5 LP15 BP10 D4 V2 RN3 ; Zyklusdefinition
 N210 G76 X-37,5 Y0 Z0 AS0 D75 O2 ; Zyklusaufwurf auf einer Geraden

Alternativ mit Einzelaufwurf der Zyklen

N200 G72 ZA-5 LP15 BP10 D4 V2 RN3 ; Zyklusdefinition
 N210 G79 X-37,5 Y0 Z0 ; Zyklusaufwurf linke Tasche
 N220 G79 X37,5 Y0 Z0 ; Zyklusaufwurf rechteTasche

Hinweis: Die Adresse RN3 kann auch weggelassen werden, da für die Herstellung der Taschen das Werkzeug T03 (d = 6mm) verwendet wird.

4.8. Bohrtiefe 8 mm Bohrungen

(→ [EuroTabM] „Bohren, Hauptnutzungszeit“)

$$L = l + l_s + l_u = l + 0,3 \cdot d + l_u = 11 \text{ mm} + 0,3 \cdot 8 \text{ mm} + 1 \text{ mm} = 14,4 \text{ mm}$$

Hinweise:

- Für Stahl werden Bohrer des Typs N mit einem Spitzenwinkel von 118° verwendet (→ [EuroTabM] „Bohren, Schnittdaten“), daraus folgt $l_s = 0,3 \cdot d$
- l_a gehört zur Bewegung des Bohrers, aber nicht zur Bohrtiefe
- l_u heißt umgangssprachlich auch „Angstzuschlag“ und wird frei gewählt.

Herstellung der Bohrungen mithilfe eines Zyklus:

N300 G81 ZA-14,4 V2
 N310 G77 Z0 R20 AN0 AI60 O6 IA0 JA0