

## Beleg Arbeitswertermittlung beim Fräsen

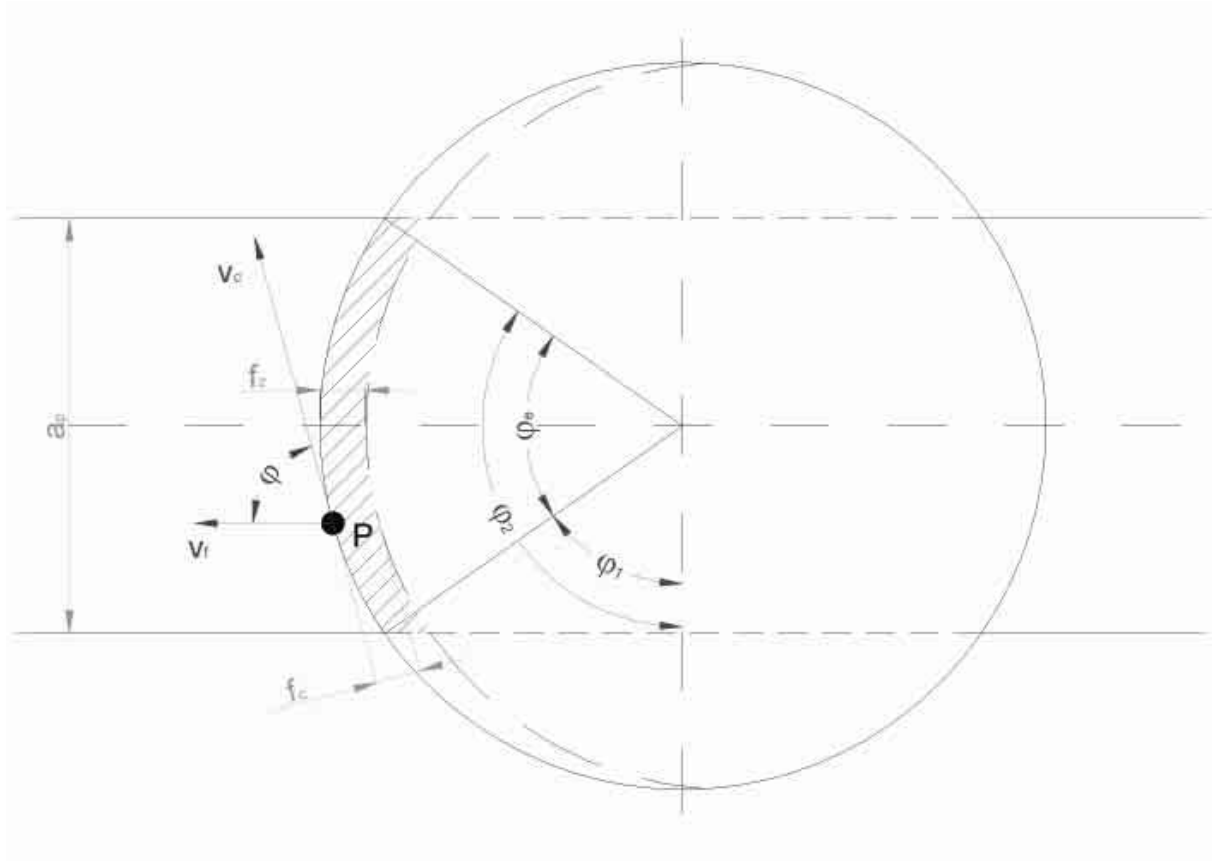
gegebene Werte:

Nummer: 186

Werkstücklänge:	L = 800 mm
Werkstückbreite:	B = 180 mm
Bearbeitungszugabe:	Z = 4 mm
Maschinennummer:	FSS 400 x 1600
Werkstoff – Schneidwerkstoff Paarung:	Ck 45V / HM 5
Werkzeugnummer:	315 – 14 – 42
Werkstück-Werkstoff-Kennwerte:	Ck 45V

## Aufgabe 1] Skizze des Verfahrens

### Geometrie



**Bild 1 Geometrien und Geschwindigkeiten**

- $v_c$     => Schnittgeschwindigkeit
- $v_f$     => Vorschubgeschwindigkeit
- $\varphi_1$    => Eintrittswinkel
- $\varphi_2$    => Austrittswinkel
- $\varphi_e$    => Eingriffswinkel
- $\varphi$     => Vorschubrichtungswinkel
- $a_e$    => Arbeitseingriff
- $a_p$    => Schnitttiefe bzw. Schnittbreite
- $f_z$    => Zahnvorschub
- $f_c$    => Schnittvorschub

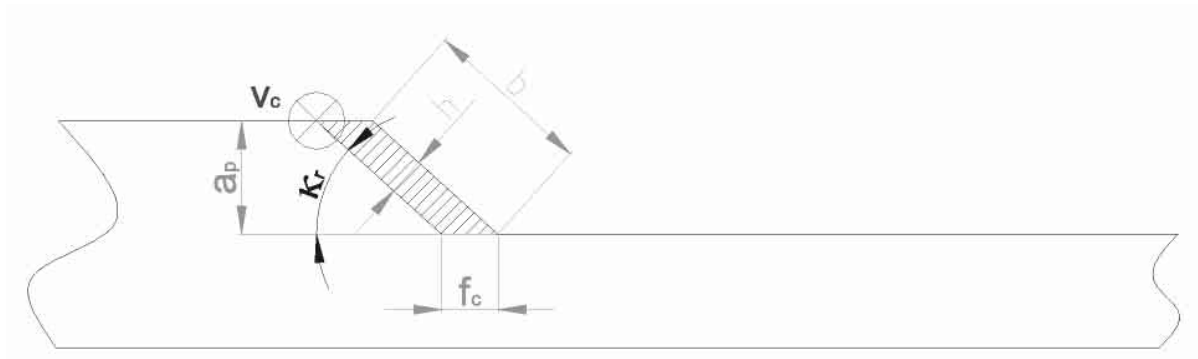


Bild 2 Geometrie Spanungsquerschnitt

$h$     => Spannungsdicke  
 $b$     => Spannungsbreite  
 schraffierte Fläche => Spannungsquerschnitt A

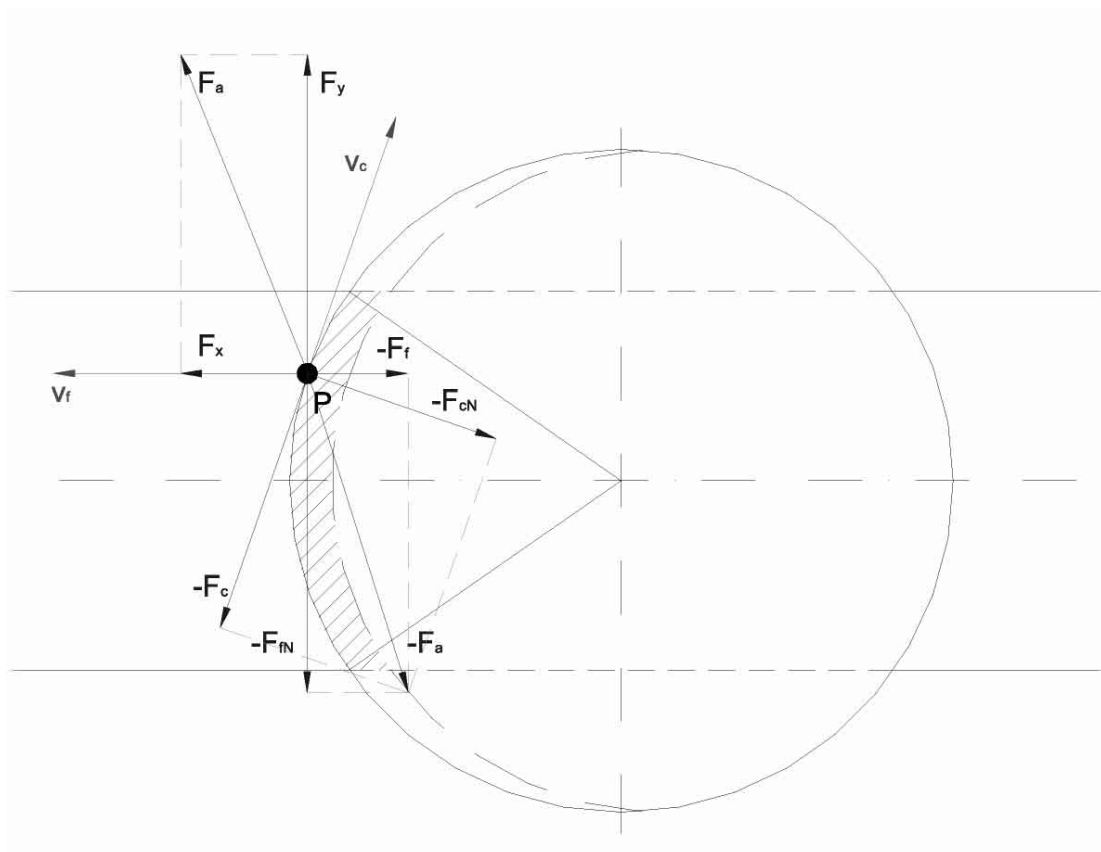


Bild 3 Kräfte

$F_a$     => Aktivkraft  
 $F_x$     =>  $F_f$         => Vorschubkraft  
 $F_y$     =>  $F_{fN}$       => Vorschubnormalkraft  
 $F_c$     => Schnittkraft  
 $F_{cN}$    => Schnittnormalkraft  
 $F_p$     => Passivkraft senkrecht zu Arbeitsebene

## Aufgabe 2] Restriktionen

### -> Restriktion Spanungsdicke

#### 1 Minimale Spanungsdicke $R_{hmin}$

$$h = f_z * \sin \varphi * \sin \kappa_R \quad \text{mit} \quad \varphi = 90^\circ - \frac{\varphi_e}{2}$$

$$f_{zmin} = \frac{h_{min}}{\sin\left(90^\circ - \frac{\varphi_e}{2}\right) * \sin \kappa_R} \quad \text{mit } h_{min} \geq 0,05\text{mm}$$

$$\text{und } \sin \frac{\varphi_e}{2} = \frac{a_e}{d} \quad \Rightarrow \quad \frac{\varphi_e}{2} = \arcsin \frac{180\text{mm}}{315\text{mm}} = 34,85^\circ$$

$$f_{zmin} = \frac{0,05\text{mm}}{\sin(90^\circ - 34,85^\circ) * \sin 42^\circ}$$

$$\underline{\underline{f_{zmin} = 0,091\text{mm}}}$$

#### 2 Maximale Spanungsdicke $R_{hmax}$

$$f_{zmax} = \frac{h_{max}}{\sin\left(90^\circ - \frac{\varphi_e}{2}\right) * \sin \kappa_R}$$

$$f_{zmax} = \frac{2,5\text{mm}}{\sin(90^\circ - 34,85^\circ) * \sin 42^\circ}$$

$$\underline{\underline{f_{zmax} = 4,55\text{mm}}}$$

### -> Restriktion Schnittgeschwindigkeit

#### 3 Minimale Schnittgeschwindigkeit $R_{vcmin}$

$$V_{cmin} = D \circ \pi \circ n = 315\text{mm} \circ \pi * 11,2\text{min}^{-1}$$

$$\underline{\underline{V_{cmin} = 11083,54 \frac{\text{mm}}{\text{min}} = 11,084 \frac{\text{m}}{\text{min}}}}$$

#### 4 Maximale Schnittgeschwindigkeit $R_{vcmax}$

$$v_{c\max} = D \circ \pi \circ n = 315\text{mm} \circ \pi * 560\text{min}^{-1}$$

$$v_{c\max} = 554176,9441 \frac{\text{mm}}{\text{min}} = 554,177 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

-> **Restriktion Vorschubgeschwindigkeit**

### 5 Minimale Vorschubgeschwindigkeit $R_{vf\min}$

$v_f = f_z \circ z \circ n$  nach  $n$  umstellen und in  $v_c = D \circ \pi \circ n$  einsetzen

$$v_c = \frac{v_{f\min} \circ D \circ \pi}{f_z \circ z}$$

$f_z = 0.05$  und  $0,4\text{mm}$

$z = 14$

$$v_{c\min f_z=0,05} = \frac{315\text{mm} \circ 16\text{mm} \circ \pi}{\text{min} \circ 0,05\text{mm} \circ 14} = 22619,467 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \approx 22,62 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$v_{c\min f_z=0,4} = \frac{315\text{mm} \circ 16\text{mm} \circ \pi}{\text{min} \circ 0,4\text{mm} \circ 14} = 2827,434 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \approx 2,83 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

### 6 Maximale Vorschubgeschwindigkeit $R_{vf\max}$

$$v_c = \frac{v_{f\max} \circ D \circ \pi}{f_z \circ z}$$

$f_z = 0.05$  und  $0,4\text{mm}$

$z = 14$

$$v_{c\max f_z=0,05} = \frac{315\text{mm} \circ 800\text{mm} \circ \pi}{\text{min} \circ 0,05\text{mm} \circ 14} = 1130973,355 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \approx 1130,97 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$v_{c\max f_z=0,4} = \frac{315\text{mm} \circ 800\text{mm} \circ \pi}{\text{min} \circ 0,4\text{mm} \circ 14} = 141371,669 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \approx 141,37 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

-> **Restriktion Belastbarkeit der Frässpindel von Moment**

**7 Maximales Frässpindelmoment  $M_{Dmax}$**

$$M_{max} = F_{cmax} \circ \frac{D}{2}$$

$$F_{cmax} = F_{cm1} \circ Z_{Emax}$$

$$Z_E = \frac{z \circ \varphi_E}{360^\circ} = \frac{14 \circ 34,85 \circ 2}{360^\circ} = 2,71 \approx \underline{3}$$

$$F_{cm1} = b \circ h_m \circ k_{cm}$$

$$k_{cm} = K_{1c} \circ h_m^{K_{2c}}$$

Aus Aufgabenstellung Werkstoff CK45V

-  $K_{1C} = 2180$

-  $K_{2C} = -0,14$

$$h_m = \frac{2a_e \circ f_z \circ \sin \kappa_r}{\varphi_e \circ D}$$

$$\varphi_e \text{ in Bogenmaß} = \frac{2\pi \circ \varphi_e}{360^\circ} = \frac{2\pi \circ 34,85 \circ 2}{360^\circ} = \underline{1,2165}$$

$$k_{cm} = K_{1c} \circ \left( \frac{2a_e \circ f_z \circ \sin \kappa_r}{\varphi_e \circ D} \right)^{K_{2c}}$$

$$F_{cm1} = b \circ \left( \frac{2a_e \circ f_z \circ \sin \kappa_r}{\varphi_e \circ D} \right) \circ K_{1c} \circ \left( \frac{2a_e \circ f_z \circ \sin \kappa_r}{\varphi_e \circ D} \right)^{K_{2c}}$$

$$F_{cm1} = b \circ K_{1c} \circ \left( \frac{2a_e \circ f_z \circ \sin \kappa_r}{\varphi_e \circ D} \right)^{1+K_{2c}} \quad \text{mit } b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r}$$

$$F_{cm1} = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \circ K_{1c} \circ \left( \frac{2a_e \circ f_z \circ \sin \kappa_r}{\varphi_e \circ D} \right)^{1+K_{2c}}$$

$$F_{cmax} = \left( \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \circ K_{1c} \circ \left( \frac{2a_e \circ f_z \circ \sin \kappa_r}{\varphi_e \circ D} \right)^{1+K_{2c}} \right) \circ Z_{Emax}$$

$$M_{Dmax} = \left( \left( \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \circ K_{1c} \circ \left( \frac{2a_e \circ f_z \circ \sin \kappa_r}{\varphi_e \circ D} \right)^{1+K_{2c}} \right) \circ Z_{Emax} \right) \circ \frac{D}{2}$$

$$\frac{2 \circ M_{Dmax}}{D \circ Z_{Emax}} = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \circ K_{1c} \circ \left( \frac{2a_e \circ f_z \circ \sin \kappa_r}{\varphi_e \circ D} \right)^{1+K_{2c}}$$

$$\sqrt[1+K_{2c}]{\frac{2 \circ M_{Dmax} \circ \sin \kappa_r}{D \circ Z_{Emax} \circ K_{1c} \circ a_p}} = \frac{2a_e \circ f_z \circ \sin \kappa_r}{\varphi_e \circ D}$$

$$\sqrt[1+K_{2c}]{\frac{2 \circ M_{Dmax} \circ \sin \kappa_r}{D \circ Z_{Emax} \circ K_{1c} \circ a_p}} \circ \frac{\varphi_e \circ D}{2a_e \circ \sin \kappa_r} = f_z$$

## Einheitenvergleich

$${}^{1+K_{2c}}\sqrt{\frac{\circ Nm \circ mm^{2+K_{2c}}}{mm \circ N \circ mm}} \circ \frac{mm}{mm} = f_z \quad {}^{1+K_{2c}}\sqrt{mm \circ mm^{K_{2c}}} = f_z \quad f_z = mm$$

$${}^{1-0,14}\sqrt{\frac{2 \circ 2746000 \circ \sin 42^\circ}{315 \circ 3 \circ 2180 \circ 4}} \circ \frac{1,2165 \circ 315}{2 \circ 180 \circ \sin 42^\circ} = f_z \quad \underline{\underline{f_z = 0,622mm}}$$

-> **Restriktion Maschinenleistung**

### 8 Maximale Maschinenleistung $R_{pmax}$

$$P_e = P_c + P_f$$

- da  $P_f$  wesentlich kleiner als  $P_c$  ist folgt

$$P_e = P_c$$

$$P_c = k_{cm} \cdot Q \text{ mit}$$

$$K_{1c} = 2180 \frac{N}{mm^{2+K_{2c}}} \text{ und } K_2 = -0,14$$

$$h_m = \frac{2 \cdot a_e \cdot f_z \cdot \sin \kappa_r}{\hat{\varphi}_E \cdot D}$$

$$k_{cm} = K_{1c} \cdot \left( \frac{2 \cdot a_e \cdot f_z \cdot \sin \kappa_r}{\hat{\varphi}_E \cdot D} \right)^{K_{2c}}$$

$$Q = A_T \cdot v_f$$

$$Q = a_p \cdot a_e \cdot v_f$$

$$\text{aus } v_f = f_z \cdot z \cdot n$$

$$\text{und } v_c = D \cdot \pi \cdot n \text{ umgestellt } n = \frac{v_c}{D \cdot \pi}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot \frac{v_c}{D \cdot \pi}$$

$$P_{cmax} = P_{Mot} \cdot \eta_{WZM} = K_{1c} \cdot \left( \frac{2 \cdot a_e \cdot f_z \cdot \sin \kappa_r}{\hat{\varphi}_E \cdot D} \right)^{K_{2c}} \cdot a_p \cdot a_e \cdot f_z \cdot z \cdot \frac{v_c}{D \cdot \pi}$$

$$\text{umgestellt folgt: } v_c = \frac{P_{Mot} \cdot \eta_{WZM} \cdot D \cdot \pi}{K_{1c} \cdot \left( \frac{2 \cdot a_e \cdot f_z \cdot \sin \kappa_r}{\hat{\varphi}_E \cdot D} \right)^{K_{2c}} \cdot a_p \cdot a_e \cdot f_z \cdot z}$$

aus Aufgabenstellung:  $P_{MOT}=15kW$ ;  $\eta_{WZM}=0,8$ ;  $f_z=0,05$

$$\underline{\underline{v_{c-fz=0,05} = 399,52 \frac{m}{min}}}$$

aus Aufgabenstellung:  $P_{MOT}=15kW$ ;  $\eta_{WZM}=0,8$ ;  $f_z=0,4$

$$\underline{\underline{v_{c-fz=0,4} = 66,82 \frac{m}{min}}}$$

-> **Restriktion minimale Standzeit**

### 9 Minimale Standzeit $R_{Tmin}$

$$T_{min} = A_3 \circ v_c^{A_2} \circ f_z^{A_4}$$

aus Aufgabenstellung Werte:  $A_3=2,9 \cdot 10^4$   
 $A_2=-1,74$   
 $A_4=-0,97$

$$v_c = A_2 \sqrt[A_4]{\frac{T_{min}}{f_z^{A_4} \circ A_3}} = A_2 \sqrt[0,4^{-0,97}]{\frac{15 * m^{A_2}}{2,9 * 10^4 \text{ min}^{A_2}}}$$

$$\underline{\underline{v_{cfz=0,05} = 411,12 \text{ m/min}}}$$

$$\underline{\underline{v_{cfz=0,4} = 128,97 \text{ m/min}}}$$

### **Aufgabe 3] Drehzahl und Vorschubgeschwindigkeit**

-> **abgelesener Wert  $v_c$  aus Restriktionsdiagramm**

$$v_c = 66,82 \text{ m/min}$$

errechneter Wert

$$v_c = \frac{m}{s}$$

$$v_c = D \circ \pi \circ n$$

$$n_{theor} = \frac{V_{ctheor}}{\pi \circ D}$$

$$\underline{\underline{n_{theor} = 67,522 \text{ min}^{-1}}}$$

-> diese Drehzahl laut Maschinenkenndaten aus Anlage nicht einstellbar, mögliche einstellbare Drehzahlen  $n_{realo} = 71 \text{ min}^{-1}$  und  $n_{realu} = 56 \text{ min}^{-1}$

-> **theoretische Vorschubgeschwindigkeit**

$$v_{ftheor} = f_z \cdot z \cdot n_{theor} = 0,4 \text{ mm} \circ 14 \circ 40,42 \text{ min}^{-1} = \underline{\underline{378,124 \text{ mm/min}}}$$



$$v_c = \frac{P_{\text{Mot}} \cdot \eta_{\text{WZM}} \cdot D \cdot \pi}{K_{1c} \cdot \left( \frac{2 \cdot a_e \cdot f_z \cdot \sin \kappa_r}{\hat{\varphi}_E \cdot D} \right)^{K_{2c}} \cdot a_p \cdot a_e \cdot f_z \cdot z} \rightarrow \text{nach } f_z \text{ umstellen}$$

$$\frac{2 \cdot a_e \cdot \sin \kappa_r}{\hat{\varphi}_E \cdot D} \cdot f_z = {}^{1+K_{2c}}\sqrt{\frac{P_{\text{Mot}} \cdot \eta_{\text{WZM}} \cdot D \cdot \pi}{K_{1c} \cdot z \cdot v_c \cdot a_p \cdot a_e}}$$

$$f_z = \sqrt[{}^{K_{2c}}]{\frac{P_{\text{Mot}} \cdot \eta_{\text{WZM}} \cdot D \cdot \pi}{K_{1c} \cdot z \cdot v_c \cdot a_p \cdot a_e} \cdot \left( \frac{2 \cdot a_e \cdot \sin \kappa_r}{\hat{\varphi}_E \cdot D} \right)^{K_{2c}}}$$

**Einheitenvergleich mit  $v_c$  [m/s]**

$$f_z = {}^{1+K_{2c}}\sqrt{\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mm} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{mm}^{K_{2c}} \circ \text{s}}{\text{s}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^2}}$$

$$f_z = {}^{1+K_{2c}}\sqrt{\text{mm}^{1+K_{2c}}} = \text{mm}$$

$$v_c = D \circ \pi \circ n$$

$$v_{\text{crealo}} = \frac{0,315 \circ \pi \circ 71 \text{min}^{-1}}{60} = \underline{\underline{1,17 \text{m/s}}}$$

$$v_{\text{crealu}} = \frac{0,315 \circ \pi \circ 56 \text{min}^{-1}}{60} = \underline{\underline{0,924 \text{m/s}}}$$

$$f_{\text{zrealo}} = \sqrt[{}^{1-0,14}]{\frac{15000 \cdot 0,8 \cdot 315 \cdot \pi}{2180 \cdot 14 \cdot 0,924 \cdot 4 \cdot 180} \cdot \left( \frac{2 \cdot 180 \cdot \sin 42^\circ}{1,2165 \cdot 315} \right)^{-0,14}}$$

$$\underline{\underline{f_{\text{zrealo}} = 0,378 \text{mm}}}$$

$$f_{\text{zrealu}} = \sqrt[{}^{1-0,14}]{\frac{15000 \cdot 0,8 \cdot 315 \cdot \pi}{2180 \cdot 14 \cdot 0,742 \cdot 4 \cdot 180} \cdot \left( \frac{2 \cdot 180 \cdot \sin 42^\circ}{1,2165 \cdot 315} \right)^{-0,14}}$$

$$\underline{\underline{f_{\text{zrealu}} = 0,497 \text{mm}}}$$

**-> Vorschubgeschwindigkeiten**

$$v_{\text{frealo}} = f_{\text{zrealo}} \circ z \circ n_{\text{realo}}$$

$$v_{\text{frealo}} = 0,378 \text{mm} \circ 14 \circ 71 \text{min}^{-1}$$

$$\underline{\underline{v_{\text{frealo}} = 375,4 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}}$$

$$v_{\text{frealu}} = f_{\text{zrealo}} \circ z \circ n_{\text{realo}}$$

$$v_{\text{frealu}} = 0,4\text{mm} \circ 14 \circ 56\text{min}^{-1}$$

$$v_{\text{frealu}} = \underline{\underline{313,6 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}}$$

-> **Hauptzeit**

$$t_h = \frac{L}{v_f} \quad \text{mit} \quad L = l + l_a + l_v + l_{\dot{u}}$$

$$l = 800\text{mm}$$

$$l_a = \frac{D}{2} - 0,5 \circ \sqrt{D^2 - B^2} = \frac{315}{2} - 0,5 \sqrt{315^2 - 180^2} = \underline{\underline{28,25\text{mm}}}$$

$$l_v + l_{\dot{u}} = 6\text{mm}$$

$$L = \underline{\underline{834,25\text{mm}}}$$

$$t_{\text{ho}} = \frac{L}{v_{\text{fo}}} = \frac{834,25\text{mm} \circ \text{min}}{389,648\text{mm}} = \underline{\underline{2,1\text{min}}}$$

$$t_{\text{hu}} = \frac{L}{v_{\text{fu}}} = \frac{834,25\text{mm} \circ \text{min}}{391,86\text{mm}} = \underline{\underline{2,13\text{min}}}$$

-> **Werkzeugstandzeit**

$$T_{\text{Wo}} = A_3 \circ v_{\text{crealo}}^{A_2} \circ f_{\text{zrealo}}^{A_4}$$

$$T_{\text{Wo}} = 2,9 \cdot 10^4 \frac{\text{min}^{A_2+1}}{\text{m}^{A_2} \text{mm}^{A_4}} \circ 70,2 \frac{\text{m}}{\text{min}}^{-1,74} \circ 0,378\text{mm}^{-0,97}$$

$$T_{\text{Wo}} = \underline{\underline{45,68\text{min}}}$$

$$T_{\text{WOral}} = \frac{T_{\text{Wo}} \circ 360^\circ}{\varphi_e} = \underline{\underline{235,94\text{min}}}$$

$$T_{\text{Wu}} = A_3 \circ v_{\text{crealu}}^{A_2} \circ f_{\text{zrealu}}^{A_4}$$

$$T_{\text{Wu}} = 2,9 \cdot 10^4 \frac{\text{min}^{A_2+1}}{\text{m}^{A_2} \text{mm}^{A_4}} \circ 55,44 \frac{\text{m}}{\text{min}}^{-1,74} \circ 0,622\text{mm}^{-0,97}$$

$$T_{\text{Wu}} = \underline{\underline{65,19\text{min}}}$$

$$T_{\text{WUral}} = \frac{T_{\text{Wu}} \circ 360^\circ}{\varphi_e} = \underline{\underline{336,68\text{min}}}$$

-> **Zeitspannungsvolumen**

$$Q_o = a_p \circ a_e \circ v_{frealo}$$

$$Q_o = 4\text{mm} \circ 180\text{mm} \circ 375,4\text{mm} / \text{min}$$

$$\underline{\underline{Q_o = 270288 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}}}}$$

$$Q_u = a_p \circ a_e \circ v_{frealu}$$

$$Q_u = 4\text{mm} \circ 180\text{mm} \circ 313,6\text{mm} / \text{min}$$

$$\underline{\underline{Q_o = 225792 \frac{\text{mm}^3}{\text{min}}}}$$

-> **spezifische Schinttnergie**

$$e_c = k_{cm}$$

$$k_{cm1} = 2180 \circ \left( \frac{2 \circ 180 \circ 0,378 \circ \sin 42^\circ}{1.2165 \circ 315} \right)^{-0,14}$$

$$\underline{\underline{k_{cm1} = 2665,84 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

$$k_{cm2} = 2180 \circ \left( \frac{2 \circ 180 \circ 0,4 \circ \sin 42^\circ}{1.2165 \circ 315} \right)^{-0,14}$$

$$\underline{\underline{k_{cm2} = 2644,804 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$