

# Übung FT II Zerspan- und Abtragtechnik

## Arbeitswertermittlung beim Fräsen

### Vorgaben:

Werkstücklänge :	l.w=800mm
Werkstückbreite :	a.e=180mm
Bearbeitungszugaben (Schnitttiefe) :	a.p=4mm
Maschinennummer :	1
Werkstoff-Schniedwerkstoff-Paarungsnummer :	108
Werkzeugnummer :	53
Werkstück-Werkstoff-Kennwerte :	GGL20

### Werkstückabmaße:

$$l_w := 800\text{mm} \quad a_e := 180\text{mm} \quad a_p := 4\text{mm}$$

### Maschinendaten Maschine 1:

Typ : Senkrecht-Kreuzschiebetischfräsmaschine

Anschlussleistung :  $P_{\text{mot}} := 22\text{kW}$

Wirkungsgrad :  $\eta_{\text{WZM}} := 0.8$

Vorschubgeschwindigkeit :  $v_{f,\text{min}} := 10 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$

$v_{f,\text{max}} := 3000 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$

$v_f := 10 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \dots 3000 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$

max. zul. Frässpindeldrehmoment:  $M_{d,\text{zul}} := 3600\text{N}\cdot\text{m}$

Drehzahlen :

$$n := \begin{pmatrix} 22.4 \\ 28 \\ 35.5 \\ 45 \\ 56 \\ 71 \\ 90 \\ 112 \\ 140 \\ 180 \\ 224 \\ 280 \\ 355 \\ 450 \\ 560 \\ 710 \\ 900 \\ 1120 \end{pmatrix} \text{min}^{-1}$$

### Werkstoff-Schneidwerkstoff-Paarungen und Standzeiten 108

Werkstoff : GGL 20

Schneidwerkstoff : HM 3

$$A_2 := -4.61 \quad A_4 := -0.42$$

$$A_3 := 1.16 \cdot 10^{13} \cdot \frac{\text{min}^{A_2+1}}{\text{m}^{A_2} \cdot \text{mm}^{A_4}}$$

## Werkzeuge und Werkzeugdaten

Werkzeugnummer :	53
Bezeichnung :	Fräser 315 - 14 -42
Durchmesser :	$D := 315\text{mm}$
min. Spanungsdicke :	$h_{\min} := 0.05\text{mm}$
max. Spanungsdicke :	$h_{\max} := 0.4\text{mm}$
Zähnezahl :	$z := 14$
Einstellwinkel [grad] :	$\kappa_{\text{r.grd}} := 42$
	$\kappa_{\text{r}} := 42 \cdot \frac{\pi}{180}$

## Werkstück - Werkstoff - Kennwerte

$$k_{2c} := -0.25$$
$$k_{1c} := 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^{2+k_{2c}}}$$

## Berechnung

### Eingriffswinkel $\phi_{\text{E}}$

$$\phi_{\text{E.bg}} := 2 \cdot \text{asin} \left( \frac{a_{\text{e}}}{D} \right)$$

$$\phi_{\text{E.bg}} = 1.216$$

$$\phi_{\text{E.grd}} := \phi_{\text{E.bg}} \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi}$$

$$\phi_{\text{E.grd}} = 69.7$$

### **minimaler Vorschub pro Zahn**

bei Eintritt in Werkstück

$$\phi := \frac{\pi}{2} - \frac{\phi_{E.bg}}{2}$$

$$f_{Z.min} := \frac{h_{min}}{\sin(\phi) \cdot \sin(\kappa_r)}$$

$$f_{Z.min} = 0.091 \text{ mm}$$

### **maximaler Vorschub pro Zahn**

in Beginn des Schnittes

$$\phi := \frac{\pi}{2} - \frac{\phi_{E.bg}}{2}$$

$$f_{Z.max} := \frac{h_{max}}{\sin(\phi) \cdot \sin(\kappa_r)}$$

$$f_{Z.max} = 0.728 \text{ mm}$$

maximal möglicher Vorschub 0,4mm folglich Reduktion von h.max

$$f_{Z.max} := 0.4 \text{ mm}$$

$$h_{max} := f_{Z.max} \cdot \sin(\phi) \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}\right)$$

$$h_{max} = 0.328 \text{ mm}$$

Mitte des Schnittes

$$\phi_{mitte} := \frac{\pi}{2}$$

### **minimale Schnittgeschwindigkeit**

$$v_{c.min} := D \cdot \pi \cdot n_1$$

$$v_{c.min} = 22.167 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

### **maximale Schnittgeschwindigkeit**

$$v_{c.max} := D \cdot \pi \cdot n_{18}$$

$$v_{c.max} = 1.108 \times 10^3 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

### **minimale Vorschubgeschwindigkeit**

$$v_{c.min} := \frac{v_{c.min} \cdot D \cdot \pi}{f_{z.min} \cdot z}$$

$$v_{c.min.0.05} := \frac{v_{f.min} \cdot D \cdot \pi}{0.05 \text{mm} \cdot z}$$

$$v_{c.min.0.05} = 14.137 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$v_{c.min.0.4} := \frac{v_{f.min} \cdot D \cdot \pi}{0.4 \text{mm} \cdot z}$$

$$v_{c.min.0.4} = 1.767 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

### **maximale Vorschubgeschwindigkeit**

$$v_{c.max} := \frac{v_{c.max} \cdot D \cdot \pi}{f_{z.max} \cdot z}$$

$$v_{c.max.0.05} := \frac{v_{f.max} \cdot D \cdot \pi}{0.05 \text{mm} \cdot z}$$

$$v_{c.max.0.05} = 4.241 \times 10^3 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$v_{c.max.0.4} := \frac{v_{f.max} \cdot D \cdot \pi}{0.4 \text{mm} \cdot z}$$

$$v_{c.max.0.4} = 530.144 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

## maximal zulässiges Hauptspindeldrehmoment

Vorschub pro Zahn  $f_z := 0.4 \text{ mm}$

Eingriffzähnezahl

$$z_E := \frac{\phi_{E.bg} \cdot Z}{2\pi}$$

$$z_E = 2.711$$

$$z_{E.max} := 3$$

Geometrie im Schnitt

$$b := \frac{a_p}{\sin(\kappa_r)} \quad b = 5.978 \text{ mm}$$

Schnittkraft

$$h_m := \frac{(2 \cdot a_e \cdot f_z \cdot \sin(\kappa_r))}{\phi_{E.bg} \cdot D}$$

$$h_m = 0.251 \text{ mm}$$

mittlere Schnittkraft am Einzelzahn

$$k_{cm} := k_{1c} \cdot h_m^{k_{2c}} \quad k_{cm} = 1.412 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_{cm1} := b \cdot h_m \cdot k_{cm}$$

$$F_{cm1} = 2.123 \times 10^3 \text{ N}$$

mittlere Gesamtschnittkraft

$$F_{cm} := F_{cm1} \cdot z_E$$

$$F_{cm} = 5.754 \times 10^3 \text{ N}$$

maximale Gesamtschnittkraft

$$F_{cm.max} := F_{cm1} \cdot z_{E.max}$$

$$F_{cm.max} = 6.368 \times 10^3 \text{ N}$$

## maximales auftretendes Hauptspindeldrehmoment

bei voller Maschinenlast

$$M_{d,max} := F_{cm,max} \cdot \frac{D}{2}$$

$$M_{d,max} = 1.003 \times 10^3 \text{ N}\cdot\text{m} \quad \text{real auftretendes Moment}$$

$$M_{d,zul} = 3.6 \times 10^3 \text{ N}\cdot\text{m} \quad \text{maximales zulässiges Moment}$$

$$f_{z,Md,zul} := \left( \frac{2 \cdot M_{d,zul} \cdot \sin(\kappa_r)}{D \cdot z_{E,max} \cdot k_{1c} \cdot a_p} \right)^{\frac{1}{1+k_{2c}}} \cdot \frac{\phi_{E,bg} \cdot D}{2 \cdot a_e \cdot \sin(\kappa_r)}$$

$$f_{z,Md,zul} = 2.198 \text{ mm}$$

## Maximale Maschinenleistung

$$P_e := P_c + P_f$$

$$\frac{P_f}{P_e} \ll 1 \quad \text{daher: } P_e := P_c$$

$$P_c := F_{cm1} \cdot z_E \cdot v_c$$

$$v_c := \frac{P_{mot} \cdot \eta_{WZM} \cdot D \cdot \pi}{k_{1c} \cdot \left( \frac{2 \cdot a_e \cdot f_z \cdot \sin(\kappa_r)}{\phi_{E,bg} \cdot D} \right)^{k_{2c}} \cdot a_p \cdot a_e \cdot f_z \cdot z}$$

Vorschub f.z=0.05mm

$$v_{c,P.0.05} := \frac{P_{mot} \cdot \eta_{WZM} \cdot D \cdot \pi}{k_{1c} \cdot \left( \frac{2 \cdot a_e \cdot 0.05 \text{ mm} \cdot \sin(\kappa_r)}{\phi_{E,bg} \cdot D} \right)^{k_{2c}} \cdot a_p \cdot a_e \cdot 0.05 \text{ mm} \cdot z}$$

$$v_{c,P.0.05} = 873.041 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Vorschub f.z=0.4mm

$$v_{c.P.0.4} := \frac{P_{\text{mot}} \cdot \eta_{\text{WZM}} \cdot D \cdot \pi}{k_{1c} \cdot \left( \frac{2 \cdot a_e \cdot 0.4\text{mm} \cdot \sin(\kappa_r)}{\phi_{E.bg} \cdot D} \right)^{k_{2c}} \cdot a_p \cdot a_e \cdot 0.4\text{mm} \cdot z}$$

$$v_{c.P.0.4} = 183.534 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

### **minimale Standzeit**

$$T := A_3 \cdot v_c^{A_2} \cdot f_z^{A_4}$$

$$T_{\text{min}} := 15\text{min}$$

$$v_c := \left( \frac{T_{\text{min}}}{f_z^{A_4} \cdot A_3} \right)^{\frac{1}{A_2}}$$

$$v_{c.0.05} := \left[ \frac{T_{\text{min}}}{(0.05\text{mm})^{A_4} \cdot A_3} \right]^{\frac{1}{A_2}}$$

$$v_{c.0.05} = 8.302 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_{c.0.4} := \left[ \frac{T_{\text{min}}}{(0.4\text{mm})^{A_4} \cdot A_3} \right]^{\frac{1}{A_2}}$$

$$v_{c.0.4} = 6.869 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Standzeit bei } f.z = 0.05\text{mm} : v_{c.0.05} = 498.142 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$\text{Standzeit bei } f.z = 0.4\text{mm} : v_{c.0.4} = 412.17 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$



## Ermittlung theoretischer sowie real einstellbarer Drehzahlen und Vorschübe

$$v_{c,theor} := D \cdot \pi \cdot n$$

$$v_{c,theor} := v_{c,P.0.4} \quad v_{c,theor} = 183.534 \frac{m}{min}$$

$$n_{theor} := \frac{v_{c,theor}}{D \cdot \pi}$$

$$n_{theor} = 185.463 \text{ min}^{-1}$$

real Einstellbar :  $n_{prakt1} := 180 \text{ min}^{-1}$  Drehzahl unterhalb Ideal

$n_{prakt2} := 224 \text{ min}^{-1}$  Drehzahl oberhalb Ideal

$$v_{c,prakt.1} := \pi \cdot D \cdot n_{prakt1}$$

$$v_{c,prakt.2} := \pi \cdot D \cdot n_{prakt2}$$

$$v_{c,prakt.1} = 178.128 \frac{m}{min}$$

$$v_{c,prakt.2} = 221.671 \frac{m}{min}$$

Erreichbare Vorschubgeschwindigkeiten:

theoretisch:

$$f_z := 0.4 \text{ mm}$$

$$v_{f,theor} := f_z \cdot z \cdot n_{theor}$$

$$v_{f,prakt.1} := f_z \cdot z \cdot n_{prakt1}$$

Punkt 1, unterhalb Ideal

$$v_{f,prakt.1} = 1.008 \frac{m}{min}$$

$$v_{f,prakt.2} := f_z \cdot z \cdot n_{prakt2}$$

Punkt 2, oberhalb Ideal

$$v_{f,prakt.2} = 1.254 \frac{m}{min}$$

$$v_{f.ideal} := f_z \cdot z \cdot n_{theor}$$

$$v_{f.ideal} = 1.039 \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad \text{Idealer Arbeitspunkt}$$

$$f_{z.theor} := \left[ \frac{P_{mot} \cdot \eta_{WZM} \cdot D \cdot \pi}{k_{1c} \cdot \left( \frac{2}{\phi_{E.bg} \cdot D} a_e \cdot \sin(\kappa_r) \right)^{k_{2c}} \cdot a_p \cdot a_e \cdot v_{c.theor} \cdot z} \right]^{\frac{1}{1+k_{2c}}}$$

$$f_{z.theor} = 0.4 \text{ mm} \quad (\text{Rückrechnung})$$

### praktisch einstellbar

$$f_{z.real.1} := \left[ \frac{P_{mot} \cdot \eta_{WZM} \cdot D \cdot \pi}{k_{1c} \cdot \left( \frac{2}{\phi_{E.bg} \cdot D} a_e \cdot \sin(\kappa_r) \right)^{k_{2c}} \cdot a_p \cdot a_e \cdot v_{c.prakt.1} \cdot z} \right]^{\frac{1}{1+k_{2c}}}$$

$$f_{z.real.1} = 0.416 \text{ mm}$$

Bei dieser Einstellung würde die maximale Leistung nur bei einer nicht zulässigen Belastung der Schneide erreichbar sein. Folglich muss der Vorschub mit 0.4mm gewählt werden.

$$f_{z.real.1} := 0.4 \text{ mm}$$

$$f_{z.real.2} := \left[ \frac{P_{mot} \cdot \eta_{WZM} \cdot D \cdot \pi}{k_{1c} \cdot \left( \frac{2}{\phi_{E.bg} \cdot D} a_e \cdot \sin(\kappa_r) \right)^{k_{2c}} \cdot a_p \cdot a_e \cdot v_{c.prakt.2} \cdot z} \right]^{\frac{1}{1+k_{2c}}}$$

$$f_{z.real.2} = 0.311 \text{ mm}$$

$$v_{f.real.1} := n_{prakt1} \cdot z \cdot f_{z.real.1}$$

$$v_{f.real.1} = 1.008 \times 10^3 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

$$v_{f.\text{real}.2} := n_{\text{prakt}2} \cdot z \cdot f_{z.\text{real}.2}$$

$$v_{f.\text{real}.2} = 975.247 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

### Hauptzeit

$$t_h := \frac{L}{v_f}$$

$$l_{v.\ddot{u}} := 6 \text{ mm}$$

$$l_a := \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{D^2 - a_e^2}$$

$$l_a = 0.028 \text{ m}$$

$$L := l_{v.\ddot{u}} + l_a + l_w$$

$$L = 0.834 \text{ m}$$

$$t_{h.1} := \frac{l_{v.\ddot{u}} + l_w + \left( \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{D^2 - a_e^2} \right)}{f_{z.\text{real}.1} \cdot z \cdot n_{\text{prakt}1}}$$

$$t_{h.1} = 0.828 \text{ min}$$

$$t_{h.2} := \frac{l_{v.\ddot{u}} + l_w + \left( \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{D^2 - a_e^2} \right)}{f_{z.\text{real}.2} \cdot z \cdot n_{\text{prakt}2}}$$

$$t_{h.2} = 0.855 \text{ min}$$

### Werkzeugstandzeit

T - reine Arbeitszeit

T<sub>real</sub> - Arbeitszeit inkl. gebrochener Schnitt

$$T := A_3 \cdot v_c^{A_2} \cdot f_z^{A_4}$$

$$T_1 := A_3 \cdot v_{c.\text{prakt}.1}^{A_2} \cdot f_{z.\text{real}.1}^{A_4}$$

$$T_1 = 717.322 \text{ min}$$

$$T_{1,\text{real}} := T_1 \cdot 2 \frac{\pi}{\phi_{\text{E.bg}}} \quad T_{1,\text{real}} = 3.705 \times 10^3 \text{ min}$$

$$T_2 := A_3 \cdot v_{\text{c.prakt.2}}^{A_2} \cdot f_{\text{z.real.2}}^{A_4}$$

$$T_2 = 290.932 \text{ min}$$

$$T_{2,\text{real}} := T_2 \cdot 2 \frac{\pi}{\phi_{\text{E.bg}}}$$

$$T_{2,\text{real}} = 1.503 \times 10^3 \text{ min}$$

### Zeitspannungsvolumen

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

$$Q_1 := a_p \cdot a_e \cdot v_{f,\text{real.1}}$$

$$Q_1 = 725.76 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

$$Q_2 := a_p \cdot a_e \cdot v_{f,\text{real.2}}$$

$$Q_2 = 702.178 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = 1.034$$

Arbeitspunkt 1 ist der Produktivere

## spezifische Schnittenergie

$$h_{\max} := f_Z \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot \sin(\kappa_r)$$

$$h_{\max} = 0.268 \text{ mm}$$

$$k_{c.\max} := k_{1c} \cdot h_{\max}^{k_{2c}}$$

$$k_{c.\max} = 1.39 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{cm}^3}$$

$$h_m := f_{Z.\text{real}.2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\phi_{E.\text{bg}}}{2}\right) \cdot \sin(\kappa_r) \quad f_{Z.\text{real}.2} = 0.311 \text{ mm}$$

$$h_m = 0.171 \text{ mm}$$

$$k_{cm} := k_{1c} \cdot h_m^{k_{2c}} \quad k_{cm} = 1.556 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$e := k_{cm} \quad e = 1.556 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{cm}^3}$$

$$h_{m.1} := f_{Z.\text{real}.1} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\phi_{E.\text{bg}}}{2}\right) \cdot \sin(\kappa_r)$$

$$h_{m.1} = 0.22 \text{ mm}$$

$$k_{cm.1} := k_{1c} \cdot h_{m.1}^{k_{2c}} \quad k_{cm.1} = 1.461 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{cm}^3}$$

$$h_{m.2} := f_{Z.\text{real}.2} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\phi_{E.\text{bg}}}{2}\right) \cdot \sin(\kappa_r)$$

$$h_{m.2} = 0.171 \text{ mm}$$

$$k_{cm.2} := k_{1c} \cdot h_{m.2}^{k_{2c}} \quad k_{cm.2} = 1.556 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{cm}^3}$$

maximales Hauptspindeldrehmoment

$$M_{d.\max} := F_{cm.\max} \cdot \frac{D}{2} \quad \frac{M_{d.\max}}{M_{d.\text{zul}}} = 0.279$$

$$M_{d.\max} = 1.003 \times 10^3 \text{ Nm}$$



