

Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure

Bearbeitet von
Reinhard Koether, Alexander Sauer

5., überarbeitete und erweiterte Auflage 2017. Buch. 492 S. Softcover
ISBN 978 3 446 44831 5
Format (B x L): 18 x 27 cm

[Weitere Fachgebiete > Technik > Produktionstechnik](#)

Zu [Leseprobe](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

The logo for beck-shop.de features the text "beck-shop.de" in a bold, red, sans-serif font. Above the "i" in "shop" are three red dots of increasing size. Below the main text, the words "DIE FACHBUCHHANDLUNG" are written in a smaller, red, all-caps, sans-serif font.

beck-shop.de
DIE FACHBUCHHANDLUNG

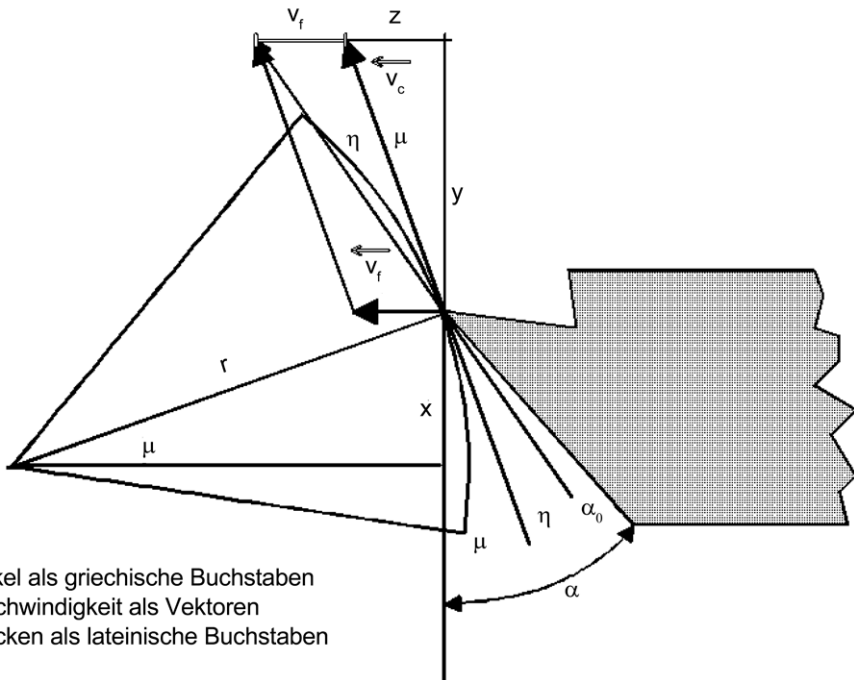
Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

Lösungen zu Übungsaufgaben

■ Lösungen spanende Fertigungsverfahren

Aufgabe 13.1-1

a)



b) Abstechen mit Meißel über Drehmitte, ohne Berücksichtigung von Vorschub und Schnittgeschwindigkeit (Wirkbewegung), d. h. $\eta = 0$

$$\alpha_0 = \alpha - \mu$$

$$\sin \mu = x/r$$

Meißel (Freifläche) drückt an Werkstück, wenn $\alpha_0 = 0$ für $\alpha = \mu$

r (mm)	1,7211
$d = 2 \cdot r$ (mm)	3,4421
x (mm)	0,15
μ (°)	5,0000
$\sin \mu$	0,0872
Vorschub f (mm)	0

c) Abstechen mit Meißel über Drehmitte, mit Berücksichtigung von Vorschub und Schnittgeschwindigkeit

$$\alpha_0 = \alpha - (\mu + \eta)$$

Meißel (Freifläche) drückt an Werkstück, wenn $\alpha_0 = 0$ für $\alpha = \mu + \eta$

$$\tan (\mu + \eta) = (z + v_f)/y$$

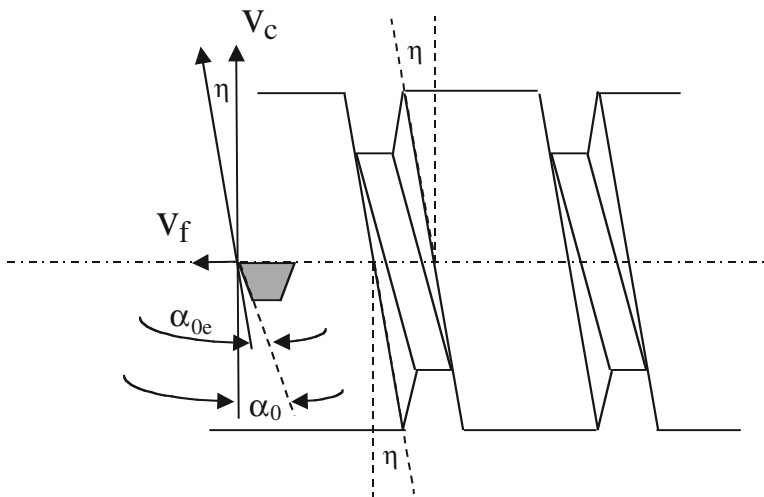
$$\sin \mu = z/v_c = x/r \Rightarrow z = v_c \cdot x/r$$

$$v_f = f \cdot n = (f \cdot v_c)/(2 \cdot r \cdot \pi)$$

$$y^2 + z^2 = v_c^2 \Rightarrow y^2 = v_c^2 - x^2 \cdot v_c^2 / r^2 \Rightarrow y = v_c \cdot \sqrt{1 - x^2 / r^2}$$

r (mm)	2,0837
$d = 2 \cdot r$ (mm)	4,167
x (mm)	0,15
μ (°)	4,1281
$\sin \mu$	0,0720
f (mm)	0,20
n (1/min)	3818,97
v_f (mm/min)	763,79
v_c (mm/min)	50 000,00
y (mm/min)	49 870,28
z (mm/min)	3599,29
$\tan (\eta + \mu)$	0,0875
$\mu + \mu$ (°)	5,000000
Wirkrichtungswinkel η (°)	0,8719

Aufgabe 13.1-2



- Wirkseitenfreiwinkel $\alpha_{0e} = \alpha_0 - \eta = 5^\circ - 5,5^\circ = -0,5^\circ$
- Rolle des Vorschubs: $\tan \eta = v_f/v_c$
- Grundsätzliches Problem ist, dass der Wirkseitenfreiwinkel $\alpha_{0e} < 0$, d.h., die Seitenfreifläche des Gewindemeißels beschädigt die Gewindeflanke.
- Ein Gewindemeißel mit größerem Seitenfreiwinkel α_0 oder ein Kippen des Gewindemeißels um den Steigungswinkel kann dieses Problem lösen. Allerdings verändert sich durch Kippen des Meißels die Form des Gewindeprofils, sodass bei der Auswahl des Gewindemeißels klar sein muss, ob er gekippt eingespannt werden muss.
- Der neue Seitenfreiwinkel α_0 sollte größer als $5,5^\circ + 5^\circ = 10,5^\circ$ sein.

Aufgabe 13.1-3

a) und b) **Berechnung der Schnittkraft**

Werkstoff	1.1191	C 45E	Stahl
γ (°)	12	$k_{c1.1}$ (N/mm ²)	1765
κ_r (°)	60	m_c	0,25
λ (°)	0	$M(\gamma)$	0,91
Schnitttiefe a_p (mm)	1	$M(\lambda)$	0,94
Vorschub f (mm/U)	0,20	$\sin \kappa_r$	0,8660
M (Verfahren)	1	Spanungsbreite b (mm)	1,1547
M (Schneidstoff)	1	Spanungsdicke h (mm)	0,1732
		Schnittkraft F_c (N)	468,06

Aufgabe 13.1-4

a) Berechnung der theoretisch erforderlichen Schnittkraft

Werkstoff	1.1221	C 60E	Stahl
γ (°)	3	$k_{c1.1}$ (N/mm ²)	1835
κ_r (°)	65	m_c	0,22
λ (°)	-4	$M(\gamma)$	1,045
Schnitttiefe pro Schnitt a_p (mm)	2	$M(\lambda)$	1
Vorschub f (mm/U)	0,3	$\sin \kappa_r$	0,906308
M (Verfahren)	1	Spanungsbreite b (mm)	2,206756
M (Schneidstoff)	1,2	Spanungsdicke h (mm)	0,271892
		Schnittkraft F_c (N)	1838,728

b) + c) Schnittkraft mit geändertem Spanwinkel, der Vorschub kann erhöht werden

Werkstoff	1.1221	C 60E	Stahl
γ (°)	6	$k_{c1.1}$ (N/mm ²)	1835
κ_r (°)	65	m_c	0,22
λ (°)	-4	$M(\gamma)$	1
Schnitttiefe pro Schnitt a_p (mm)	2	$M(\lambda)$	1
Vorschub f (mm/U)	0,31742	$\sin \kappa_r$	0,906308
M (Verfahren)	1	Spanungsbreite b (mm)	2,206756
M (Schneidstoff)	1,2	Spanungsdicke h (mm)	0,287677
		Schnittkraft F_c (N)	1838,728

Aufgabe 13.1-5

b) Auswahl der Drehzahl

Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	160	Drehzahl n (min ⁻¹) theoretisch	553,58
Durchmesser D (mm)	92	nächste Drehzahl	560,00

a), c) und d)

Werkstoff	1.0050	E 295	Stahl
γ (°)	4	$k_{c1.1}$ (N/mm ²)	1750
κ_r (°)	70	m_c	0,27
λ (°)	0	$M(\gamma)$	1,03
Schnitttiefe pro Schnitt a_p (mm)	4	$M(\lambda)$	0,94
Vorschub f (mm/U)	0,6	$\sin \kappa_r$	0,939693
M (Verfahren)	1	Spanungsbreite b (mm)	4,256711
M (Schneidstoff)	1	Spanungsdicke h (mm)	0,563816
		Schnittkraft F_c (N)	4746,87
Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	161,855	Drehzahl n (1/min)	560,00

Werkstoff	1.0050	E 295	Stahl
Durchmesser D (mm)	92		
Antriebswirkungsgrad	70 %	Schnittleistung P_c (W)	12 805,07
		Antriebsleistung P_a (W)	18 292,95
		Antriebsleistung nach Abstumpfung P_a (W)	22 866,19

Aufgabe 13.1-6

a) und b) Berechnung von Schnittkraft und Antriebsleistung

Werkstoff	1.1221	C 60E	Stahl
γ (°)	8	$k_{c1.1}$ (N/mm ²)	1835
κ_r (°)	60	m_c	0,22
λ (°)	0	$M(\gamma)$	0,97
Schnitttiefe pro Schnitt a_p (mm)	1,5	$M(\lambda)$	0,94
Vorschub f (mm/U)	0,25	$\sin \kappa_r$	0,866025
M (Verfahren)	1	Spanungsbreite b (mm)	1,732051
M (Schneidstoff)	1	Spanungsdicke h (mm)	0,216506
		Schnittkraft F_c (N)	878,5437
Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	100	Drehzahl n (min ⁻¹)	397,89
Durchmesser D (mm)	80	Schnittleistung P_c (W)	1464,24
Antriebswirkungsgrad	70 %	Antriebsleistung P_a (W)	2091,77
		Antriebsleistung nach Abstumpfung P_a (W)	2719,30

Aufgabe 13.1-7

a) bis d) Berechnung der Drehzahl, der Schnittkraft, des maximalen Vorschubs und der Hauptzeit

Werkstoff	1.1191	C 45E	Stahl
γ (°)	12	$k_{c1.1}$ (N/mm ²)	1765
κ_r (°)	60	m_c	0,25
λ (°)	0	$M(\gamma)$	0,91
Schnitttiefe pro Schnitt a_p (mm)	3	$M(\lambda)$	0,94
Vorschub f (mm/U)	0,3750	$\sin \kappa_r$	0,8660254
M (Verfahren)	1	Spanungsbreite b (mm)	3,4641016
M (Schneidstoff)	1	Spanungsdicke h (mm)	0,324766
		Schnittkraft F_c (N)	2250,00
Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	100	Drehzahl n (min ⁻¹)	454,73
Durchmesser D (mm)	70		

Werkstoff	1.1191	C 45E	Stahl
Bearbeitungsweg L (mm) ohne Sicherheitsabstand	100	Vorschubgeschwindigkeit v_f (mm/min)	170,53
Sicherheitsabstand (mm)	10	Hauptzeit t_h (min)	0,6451
		Schnittleistung P_c (W)	3750,00
Antriebswirkungsgrad	75 %	Antriebsleistung P_a (W)	5000,00

Aufgabe 13.1-8

a) bis c) **Berechnung von Schnittkraft, Schnittleistung und Antriebsleistung**

Werkstoff	0.6025	EN-GJL-250	Guss
γ (°)	8	$k_{c1.1}$ (N/mm ²)	1140
κ_r (°)	75	m_c	0,26
λ (°)	-4	$M(\gamma)$	0,91
Schnitttiefe pro Schnitt a_p (mm)	4	$M(\lambda)$	1
Vorschub f (mm/U)	0,5	$\sin \kappa_r$	0,965926
M (Verfahren)	1,2	Spanungsbreite b (mm)	4,141105
M (Schneidstoff)	1	Spanungsdicke h (mm)	0,482963
		Schnittkraft F_c (N)	3008,43
Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	235,62	Drehzahl n (min ⁻¹)	500,00
Antriebswirkungsgrad	72 %	Schnittleistung P_c (W)	11814,08
		Antriebsleistung P_a (W)	16408,44

Aufgabe 13.1-9

a) und b) **Berechnung von Schnittkraft und Sicherheit**

Werkstoff	1.0060	E 335	Stahl
γ (°)	10	$k_{c1.1}$ (N/mm ²)	1940
κ_r (°) (immer 90° für Räumen)	90	m_c	0,17
λ (°)	0	$\sin \kappa_r$	1
		Spanungsbreite b (mm)	15
		Spanungsdicke h (mm)	0,06
$M(\gamma)$	0,94	Schnittkraft F_c (N)	3882,74
$M(\lambda)$	0,94	Schnittkraft der 6 Zähne (N)	23296,5
M (Verfahren + Schneidstoff)	1,3	Klemmkraft (N)	32 000
Verschleißfaktor	1,2	Sicherheit	1,37

Aufgabe 13.1-10

a) und b) Berechnung von Antriebsleistung und Ausnutzungsgrad

Werkstoff	1.0070	E 360	Stahl
γ (°)	4	$k_{c1.1}$ (N/mm ²)	1960
κ_r (°) 1/2 Spitzenwinkel	59	m_c	0,3
λ (°)	0	$M(\gamma)$	1,03
Vorschub f (mm)	0,35	$M(\lambda)$	0,94
Vorschub f_z (mm/Schneide)	0,175	$\sin \kappa_r$	0,8571673
M (Verfahren)	1	Spanungsdicke h (mm)	0,150
M (Schneidstoff) Bohren mit H	0,95		
Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	65	k_c	3185,03
Durchmesser D (mm)	16	Schnittleistung P_c (kW)	4,83
Zähnezahl z	2	Antriebsleistung P_a (kW)	6,7
Antriebswirkungsgrad	72 %	Ausnutzung des Antriebs mit 10 kW	67 %

Aufgabe 13.1-11

a) und b) Berechnung von Antriebsleistung und Ausnutzungsgrad

Werkstoff	0.6025	EN-GJL-250	Guss
γ (°)	2	$k_{c1.1}$ (N/mm ²)	1140
κ_r (°) (immer 90° für Walzenfräsen)	90	m_c	0,26
Drallwinkel λ (°)	30	$M(\gamma)$	1
Schnittbreite a_p (mm)	80	$M(\lambda)$	0,49
Schnitttiefe a_e (mm)	10	$\sin \kappa_r$	1
Vorschub f_z (mm/Zahn)	0,10	Spanungsbreite b (mm)	80
M (Verfahren)	1,3	Spanungsdicke h (mm)	0,035355
M (Schneidstoff)	1,2	Drehzahl n (1/min)	238,73
Zunahme F_c durch Verschleiß	30 %	Vorschubgeschwindigkeit v_f (mm/min)	238,73
Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	60	Schnittleistung P_c (kW)	6,61
Durchmesser D (mm)	80	Schnittleistung P_c mit Verschleiß (kW)	8,6
Zähnezahl z	10	P_a incl. Verschleißzuschlag (kW)	12,28
Antriebswirkungsgrad	70 %	Ausnutzung des Antriebs mit 16 kW	77 %

Aufgabe 13.1-12a) bis d) **Bearbeitungsweg, Drehzahl, Vorschubgeschwindigkeit und Hauptzeit**

Schnitttiefe pro Schnitt a_p (mm)	6		
Vorschub f_z (mm/Zahn)	0,06	Vorschubgeschwindigkeit v_f (mm/min)	53,71
Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	25	Drehzahl n (min^{-1})	49,74
Durchmesser D (mm)	160		
Zähnezahl z	18		
Werkstücklänge, ohne Anlauf und Überlauf (mm)	300	Anstellweg Scheibenfräser (mm)	30,39737
Anlauf l_a (mm)	5	Bearbeitungsweg (mm)	340,397
Überlauf l_u (mm)	5	Hauptzeit t_h (min)	6,3371

Aufgabe 13.1-13a) **Berechnung von Fräserweg, Drehzahl, Vorschubgeschwindigkeit und Hauptzeit für Schruppen**

Vorschub f_z (mm/Zahn)	0,15		
Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	80	Drehzahl n (min^{-1})	404,20
Durchmesser D (mm)	63		
Zähnezahl z	8		
Bearbeitungsweg L (mm) ohne Sicherheitsabstand = Werkstücklänge + 1/2 Fräserdurchmesser – Anschnittlänge	407,2	Vorschubgeschwindigkeit v_f (mm/min)	485,04
Sicherheitsabstand (mm)	10	Hauptzeit t_h (min)	0,86

b) **Berechnung von Fräserweg, Drehzahl, Vorschubgeschwindigkeit und Hauptzeit für Schlichten**

Vorschub f_z (mm/Zahn)	0,08		
Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	130	Drehzahl n (min^{-1})	656,83
Durchmesser D (mm)	63		
Zähnezahl z	8		
Bearbeitungsweg L (mm) ohne Sicherheitsabstand = Werkstücklänge + 2 · 1/2 Fräserdurchmesser	463	Vorschubgeschwindigkeit v_f (mm/min)	420,37
Sicherheitsabstand (mm)	10	Hauptzeit t_h (min)	1,1252

Aufgabe 13.1-14

a) bis c) Berechnung von Vorschub/Zahn, Schnittgeschwindigkeit und Hauptzeit

Vorschubgeschwindigkeit v_f (mm/min)	225
Zähnezahl z	4
Vorschub f_z (mm/Zahn)	0,1125
Hauptzeit t_h (min)	0,667
Drehzahl n (1/min)	500
Durchmesser D (mm)	63
Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	99
Vorschubgeschwindigkeit v_f (mm/min)	375
Zähnezahl z	4
Vorschub f_z (mm/Zahn)	0,1875
Hauptzeit t_h (min)	0,40
Vorschubgeschwindigkeit v_f (mm/min)	600
Zähnezahl z	4
Vorschub f_z (mm/Zahn)	0,3
Hauptzeit t_h (min)	0,25

Aufgabe 13.1-15

a) bis e) Berechnung von Schnitttiefe, Vorschub, Hauptzeit und Kosten pro Stück

Maschine 1

Werkstoff	1.0070	E 360	Stahl
γ (°)	10	$k_{c1.1}$ (N/mm ²)	1960
κ_r (°)	60	m_c	0,3
λ (°)	0	$M(\gamma)$	0,94
Schnitttiefe pro Schnitt a_p (mm)	3	$M(\lambda)$	0,94
Vorschub f (mm/U)	0,586375	$\sin \kappa_r$	0,8660254
M (Verfahren)	1	Spanungsbreite b (mm)	3,4641016
M (Schneidstoff)	1	Spanungsdicke h (mm)	0,5078158
Schnitttiefe/Vorschub a_p/f	5,12	Schnittkraft F_c (N) (arbeitsscharfes Werkzeug)	3733,33

Maschine 1

Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	180	Drehzahl n (min^{-1})	868,12
Durchmesser D (mm)	66		
Bearbeitungsweg L (mm) ohne Sicherheitsabstand	300	Vorschubgeschwindigkeit v_f (mm/min)	509,04
Sicherheitsabstand (mm)	10	Hauptzeit t_h (min)	1,2180
		Bearbeitungszeit (min)	1,4180
Anzahl Schnitte	2	Schnittleistung P_c (W)	11 200,00
Antriebswirkungsgrad	70 %	Antriebsleistung P_a (W)	16 000,00
gesamte Schnitttiefe (mm)	6	P_a (W) mit Verschleiß	20 000,00
		Kosten pro Stück	1,06 1

- c) Für Maschine 2 ergibt sich bei der Antriebsleistung P_a 12,5 kW mit Berücksichtigung des Verschleißzuschlags von 25 % ein Vorschub von 0,53473 mm, der nicht mehr zulässig ist ($a_p/f = 3,74$). Als Vorschub wird deshalb 0,5 mm gewählt.

Maschine 2

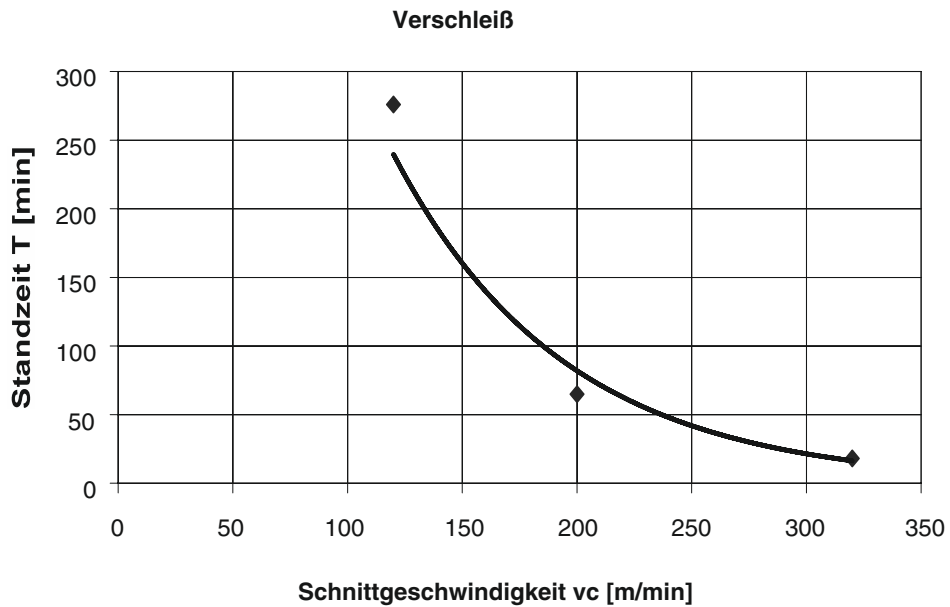
Werkstoff	1.0070	E 360	Stahl
γ (°)	10	$k_{cl,1}$ (N/mm^2)	1960
κ_r (°)	60	m_c	0,3
λ (°)	0	$M(\gamma)$	0,94
Schnitttiefe je Schnitt a_p (mm)	2	$M(\lambda)$	0,94
Vorschub f (mm/U)	0,5	$\sin \kappa_r$	0,8660254
M (Verfahren)	1	Spanungsbreite b (mm)	2,3094011
M (Schneidstoff)	1	Spanungsdicke h (mm)	0,4330127
Schnitttiefe/Vorschub a_p/f	4,00	Schnittkraft F_c (N) (arbeitsscharfes Werkzeug)	2226,19
Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	180	Drehzahl n (min^{-1})	868,12
Durchmesser D (mm)	66		
Bearbeitungsweg L (mm) ohne Sicherheitsabstand	300	Vorschubgeschwindigkeit v_f (mm/min)	434,06
Sicherheitsabstand (mm)	10	Hauptzeit t_h (min)	2,1426
		Bearbeitungszeit (min)	2,4426
Anzahl Schnitte	3	Schnittleistung P_c (W)	6678,56
Antriebswirkungsgrad	70 %	Antriebsleistung P_a (W)	9540,80
gesamte Schnitttiefe (mm)	6	P_a (W) mit Verschleiß	11 926,00
		Kosten pro Stück	1,02 1

Aufgabe 13.1-16

a) b) und c) Hauptzeiten der Versuche 2 und 3

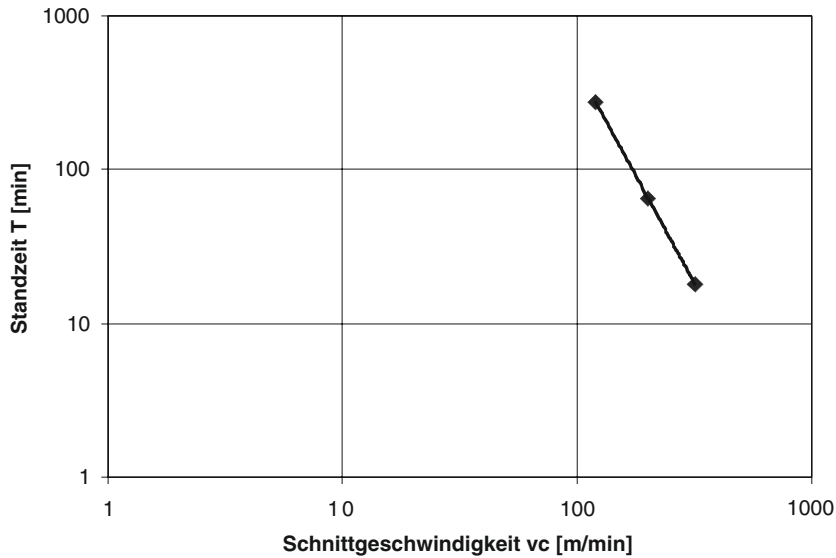
	Versuch 1 (langsam)	Versuch 2	Versuch 3 (schnell)
Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	120	200	320
Standmenge (Stück)	46	18	8
Hauptzeit pro Stück (min)	6,00	3,60	2,25
Standzeit (min)	276,00	64,80	18,00

b) Verschleißkurve



Verschleißkurve im doppeltlogarithmischen Maßstab

Taylor-Gerade



a), b) und e) Parameter der Verschleißgeraden

Steigung $-k$ berechnet aus Versuch 1 und 3	-2,7834
Abschnitt C	903,9348

a) und f) Berechnung der Standzeit und Standmenge

gegebene v_c	250
Standzeit T (min)	35,78323
Hauptzeit (min)	2,88
Standmenge theoretisch	12,4247323
Standmenge tatsächlich	12

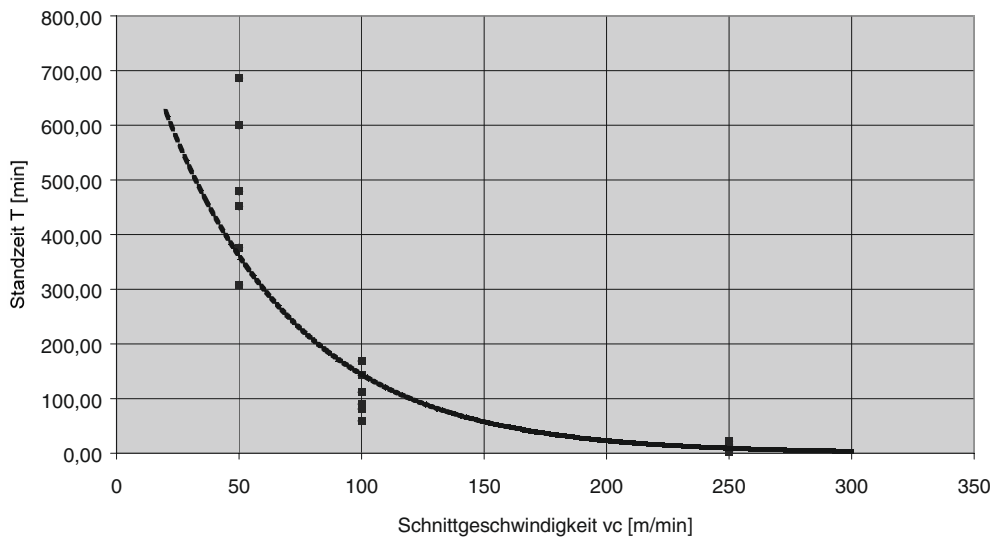
Aufgabe 13.1-17

a) Berechnung der Standzeiten

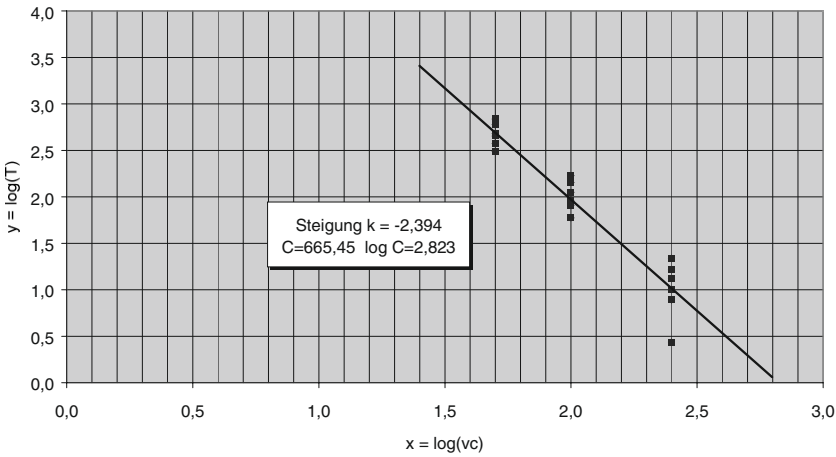
v_c (m/min)		50		100		250
t_h (min)		2,28		1,14		0,456
$E(T)$ (min)		483,36		108,87		12,008
	Stand- menge M_{50}	Standzeit T_{50}	Stand- menge M_{100}	Standzeit T_{100}	Stand- menge M_{250}	Standzeit T_{250}
Versuch 1	135	307,80	52	59,28	6	2,74
Versuch 2	165	376,20	71	80,94	17	7,75
Versuch 3	198	451,44	79	90,06	22	10,03
Versuch 4	210	478,80	98	111,72	29	13,22
Versuch 5	263	599,64	125	142,50	36	16,42
Versuch 6	301	686,28	148	168,72	48	21,89
Durch- schnitt	212	483,36	95,5	108,87	26,33	12,01

Standzeitkurve

Ergebnisse Standzeitversuch



Standzeitkurve im doppeltlogarithmischen Maßstab
Ergebnisse Standzeitversuch



b) Berechnung der Standzeitgeraden mit Regression

v_c	T	$\log v_c$	$\log T$	Regressionskoeffizient	-0,95887
50	307,80	1,6990	2,4883	Steigung $-k$	-2,39432
50	376,20	1,6990	2,5754	y-Abschnitt	-6,75944
50	451,44	1,6990	2,6546	C	665,45362
50	478,80	1,6990	2,6802		
50	599,64	1,6990	2,7779	$\log v_c$	0,00000
50	686,28	1,6990	2,8365	$\log T (v_c = 0)$	6,75944
100	59,28	2,0000	1,7729		
100	80,94	2,0000	1,9082	$\log T$	0,00000
100	90,06	2,0000	1,9545	$\log v_c (T = 0) = \log C$	2,82312
100	111,72	2,0000	2,0481		
100	142,50	2,0000	2,1538		
100	168,72	2,0000	2,2272		
250	2,74	2,3979	0,4371		
250	7,75	2,3979	0,8894		
250	10,03	2,3979	1,0014		
250	13,22	2,3979	1,1214		
250	16,42	2,3979	1,2153		
250	21,89	2,3979	1,3402		

c) Berechnung der Standzeiten

	Versuch 1 (langsam)	Versuch 2	Versuch 3 (schnell)
Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	50	100	250
Standzeit (min)	483,36	108,87	12,01

Berechnung der Taylorgleichung aus schnellstem und langsamstem Versuch

Steigung $-k$	2,2959
Abschnitt C	738,0793

d) Zuverlässigere Berechnung

Zuverlässiger ist die Regression, weil mehr Daten verarbeitet werden. Sie macht wegen der größeren Datenmenge und der komplizierteren Berechnung aber auch mehr Mühe. Mit einer Tabellenkalkulation lassen sich die Auswertungen jedoch vereinfachen.

Aufgabe 13.1-18

a) und b) Berechnung der zeit- und kostenoptimalen Standzeit

Standzeitgerade aus Aufgabe 13.1-17:	
Steigung $-k$	2,2959
Abschnitt C	738,0793

Werkzeugkosten	
Kosten Wendeplatte	4,70 €
Anzahl Platten	1
Anzahl Schneiden je Platte	6
Kosten des Halters	45,00 €
Lebensdauer des Halters (Standzeiten)	600
Kosten für Ersatzteile	6,75 €
Lebensdauer der Ersatzteile (Schneiden)	600
Werkzeugkosten geklemmt	0,87 €
Werkzeugwechselzeit t_w (min)	3
Maschinen- und Lohnkosten	
Lohnkosten (€/h)	12,00 €
Lohnnebenkosten €/h)	9,00 €
Maschinenstundensatz (€/h)	28,00 €
Restfertigungsgemeinkosten (€/h)	17,40 €
Maschinen- und Lohnkosten (1/h)	66,40 1

optimale Standzeit

	Standzeit T (min)	Schnittgeschw. v_c (m/min)
zeitoptimale Standzeit T_{ot}	3,89	408,56
kostenoptimale Standzeit T_{ok}	4,91	369,21

Aufgabe 13.1-19**a) und b) Berechnung der Standzeiten**

	Versuch 1 (langsam)	Versuch 2 (schnell)
Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	58	150
Standmenge (Stück)	52	5
Hauptzeit pro Stück (min)	5,2000	2,0107
Standzeit (min)	270,40	10,05

Berechnung der Standzeitgeraden

Steigung $-k$	3,4646
Abschnitt C	292,0082

c) Berechnung der Kosten für Werkzeuge mit geklemmten Wendepplatten

Kosten Negativ-Wendepplatte	4,60 €
Anzahl Platten	1
genutzte Schneiden je Platte	$8 \cdot 0,75 = 6$
Kosten des Halters	40,90 €
Lebensdauer des Halters (Standzeiten)	600
Kosten für Ersatzteile	8,18 €
Lebensdauer der Ersatzteile (Schneiden)	600
Werkzeugkosten geklemmt	0,85 l

d) Berechnung von Maschinen- und Lohnkosten sowie der zeit- und kostenoptimalen Standzeit

Werkzeugwechselzeit t_w	3
Maschinen- und Lohnkosten	
Lohnkosten (€/h)	20,00 €
Lohnnebenkosten (€/h)	-
Maschinenstundensatz (€/h)	29,00 €
Restfertigungsgemeinkosten (€/h)	17,90 €
Maschinen- und Lohnkosten (l/h)	66,90 l

optimale Standzeit	Standzeit T (min)	Schnittgeschw. v_c (m/min)
zeitoptimale Standzeit T_{ot}	7,39	163,91
kostenoptimale Standzeit T_{ok}	9,30	153,43

Aufgabe 13.1-20

a) Berechnung der Standzeitgleichung

	Versuch 1 (langsam)	Versuch 2 (schnell)
Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	120	240
Standmenge (Stück)	18	6
Hauptzeit pro Stück (min)	12,0000	6,0000
Standzeit (min)	216,00	36,00

Standzeitgerade

Steigung $-k$	2,5850
Abschnitt C	960,0000

b) Standzeit und Standmenge für $v_c = 150$ m/min

gegebene Schnittgeschwindigkeit v_c (m/min)	150,00
Standzeit T (min)	121,3235
Hauptzeit t_h (min)	9,6
Standmenge (Stück)	(12,6) 12

c) Berechnung der zeit- und kostenoptimalen Standzeit und Schnittgeschwindigkeit

Maschinen- und Lohnkosten	
Lohnkosten (€/h)	11,50 €
Lohnnebenkosten (€/h)	9,20 €
Restfertigungsgemeinkosten (€/h)	17,25 €
Maschinen- und Lohnkosten (€/h)	37,95 €
Werkzeugkosten nachschleifbar	
Neuwert des Werkzeugs (€)	8,00 €
Restwert des Werkzeugs (€)	-
Anzahl Nachschliffe n_s	10
Kosten je Nachschliff (€)	2,30 €
Kosten Voreinstellung (€)	-
Werkzeugkosten nachschleifbar (€)	3,10 €
Werkzeugwechselzeit t_w (min)	6

optimale Standzeit	Standzeit T (min)	Schnittgeschw. v_c (m/min)
zeitoptimale Standzeit T_{ot}	9,51	401,66
kostenoptimale Standzeit T_{ok}	17,27	318,9

d) Berechnung der Standmenge

optimale Standzeit	Standzeit T (min)	Schnittgeschw. v_c (m/min)	Standmenge (Stück)
kostenoptimale Standzeit T_{ok}	17,27	318,9	(3,8) 3

Werkstückwechsel nach 3 Werkstücken

e) Schnittgeschwindigkeit mit geringeren Kosten als unter d) berechnet

Bei höherer Schnittgeschwindigkeit, z. B. $v_c = 350$ m/min verkürzt sich die Hauptzeit ohne die Nebenzeit zu verkürzen, denn nach jedem dritten Werkstück muss weiterhin das Werkzeug gewechselt werden.

■ Lösungen spanlose Fertigungsverfahren

Aufgabe 13.2-1

a) bis d) Berechnung von Werkstückgeschwindigkeit, Umformgrad und Arbeitshub beim Strangpressen

Durchmesser des Blocks D_0 (mm)	80
Länge des Blocks l_0 (mm) = h_0	500
Anfangsfläche A_0 (mm ²)	5026,55
Endfläche A_1 (mm ²)	255
Umformgrad φ_h	298 %
Kolbengeschwindigkeit (m/s)	0,08
Werkstückgeschwindigkeit (m/s)	1,58
Werkstücklänge h_1 (mm)	9856
Reibkoeffizient μ_w	0,2
Umformwirkungsgrad η	50 %
Formänderungsfestigkeit k_f (N/mm ²)	280,00
Umformkraft (kN)	15 428,92

Aufgabe 13.2-2

a) Herstellverfahren für Schraubenkopf und Gewinde

Teil	Herstellverfahren
Schraubenkopf	Stauchen
Gewinde	Rollen

b) Berechnung von Umformkraft und Arbeitsvermögen beim Stauchen

Durchmesser Rohteil d_0 (mm)	10,00
Anfangsfläche A_0 (mm ²)	78,54
Anfangshöhe h_0 (mm)	20,39
Umformwirkungsgrad η	60 %
Endfläche A_1 (mm ²)	250,27
Endhöhe h_1	6,40
Umformgrad φ	116 %
Formänderungsfestigkeit k_f (N/mm ²)	700
bezogene Formänderungsarbeit w (N/mm ³)	640
Umformkraft (kN)	292
Umformarbeit (kNm)	1708,6

Aufgabe 13.2-3

a) bis e) Berechnung von Drahtdurchmesser, Drahtlänge, Stauchverhältnis, Umformgrad und Umformkraft

Stauchverhältnis maximal	2,6
Volumen (mm ³)	7238,23
Durchmesser theoretisch Rohteil d_0 (mm)	15,25
Durchmesser gewählt Rohteil d_0 (mm)	16,00
Anfangsfläche A_0 (mm ²)	201,06
Anfangshöhe h_0 (mm)	36,00
Stauchverhältnis tatsächlich	2,25
Umformwirkungsgrad η	0,8
Endfläche A_1 (mm ²)	452,39
Umformgrad φ_h	81 %
Formänderungsfestigkeit k_f (N/mm ²)	920
Umformkraft (kN)	520,3

Aufgabe 13.2-4**a) Berechnung der gestreckten Länge**

	r_b bis $0,5 \cdot b_1$	b_3 bis h_1
Länge 1 l_1 (mm)	0	15
Biegeradius r_w (mm)	30	0
Blechdicke s (mm)	2	2
r_w/s	15	0
Korrekturfaktor e	1	0
Biegewinkel ($^\circ$)	90	90
Länge 2 l_2 (mm)	20	48
gestreckte Länge (mm)	68,69	63
gesamte gestreckte Länge (mm)	263,39	

a) und c) Berechnung des Gesenk winkels für $s = 2$ mm und $s = 3$ mm Blechstärke

Blechstärke s (mm)	2	3
Biegradus nach Rückfederung r_w (mm)	30	30
r_w/s	15	10
Rückfederungsfaktor k	0,94	0,95
Biegewinkel vor Rückfederung α_i	95,74	94,74
Biegewinkel nach Rückfederung α_w	90	90
Gesenkwinkel β_i	84,26	85,26

Aufgabe 13.2-5**a) und b) Berechnung der Schnittkraft**

Abscherbruchfestigkeit (N/mm ²)	300
Blechstärke (mm)	2
Blechbreite (mm)	25
Drückender Schnitt:	
Schnittkraft drückender Schnitt (kN)	15
Kreuzender Schnitt:	
Neigungswinkel der Schneide ($^\circ$)	6
Schnittkraft kreuzender Schnitt (kN)	5,7

c) Berechnung der gestreckten Länge

Länge 1 l_1 (mm)	60
Biegeradius r_w (mm)	20
Blechdicke s (mm)	2
r_w/s	10

Korrekturfaktor e	1
Biegewinkel ($^{\circ}$)	90
Länge $2 l_2$ (mm)	60
gestreckte Länge (mm)	153

d) Berechnung des Gesenk winkels

Blechstärke s (mm)	2
Biegradus nach Rückfederung r_w (mm)	20
r_w/s	10
Rückfederungsfaktor k	0,95
Biegewinkel vor Rückfederung α_i	94,74
Biegewinkel nach Rückfederung α_w	90
Gesenkwinkel β_i	85,26

Aufgabe 13.2-6

b) Berechnung des Rondendurchmessers

Maße Fertigteil	
Außendurchmesser d_2 (mm)	80
Napfinnendurchmesser d_1 (mm)	40
Höhe h (mm)	90
Rondendurchmesser D (mm)	144,22

c) und d) Schnittkraft

Scherfestigkeit (N/mm ²)	290
Blechdicke s (mm)	1
Schnittfläche (mm ²)	453,1
Schnittkraft (drückend) (kN)	131,4
Zur Schnittkraftreduzierung	kreuzender Schnitt

e) Ziehverhältnis und Ziehstufen

Rondendurchmesser D (mm)	144,22
Napfinnendurchmesser d_1 (mm)	40
Ziehverhältnis β gesamt	3,605
Möglichkeit A: ohne Zwischenglühen	
1. Ziehstufe	1,65
2. Ziehstufe	1,25
3. Ziehstufe	1,25
4. Ziehstufe	1,25
5. Ziehstufe	1,118

Möglichkeit B: mit Zwischenglühen	
1.Ziehstufe (nach 1. Ziehstufe	1,65
2.Ziehstufe Zwischenglühen)	1,65
3. Ziehstufe	1,25
4. Ziehstufe	1,059

f) und g) **Werkzeugmaschinen und Werkzeuge**

Für Ronde stanzen	Exzenterpresse, Hydraulische Presse
Für Tiefziehen des Napfes	Hydraulische Presse, Komplettfertigung im Folgeverbundwerkzeug

■ Lösungen Werkzeugmaschinen

Aufgabe 13.3-1

Drehzahlbereich und Drehzahlen für arithmetische Stufung und für geometrische Stufung

Drehzahlbereich	31,1
min Drehzahl	180
max Drehzahl	5600

Stufung	geometrisch		arithmetisch
Drehzahlen	theoretisch	gerundet	
n_1	180	180	180
n_2	358	355	1264
n_3	712	710	2348
n_4	1416	1400	3432
n_5	2816	2800	4516
n_6	5600	5600	5600
Stufensprung	1,9888	2,0	1084

Die Drehzahlen der geometrischen Stufung entsprechen der Normzahlreihe R20/6 mit Stufensprung $\varphi = 1,12^6 \approx 2$

Aufgabe 13.3-2

a) bis d) **Drehzahlbereich und Riemenübersetzung**

Drehzahlbereich	200
min. Antriebs-Drehzahl	9
max. Abtriebs-Drehzahl	1800
Antriebsdrehzahl	2800
Riemenübersetzung	0,64

Drehzahlen

geometrische Stufung	theoretisch	Normdrehzahlen R 20/2
Drehzahlen		
n_1	9	9
n_2	11,3	11,2
n_3	14,3	14
n_4	18,0	18
n_5	22,6	22,4
:	:	:
Stufensprung	1,2590	1,25

Aufgabe 13.3-3

a) **Stufung:** geometrische Stufung mit Stufensprung

$$\varphi = (465/47)^{1/5} = 1,5815 \approx 1,6 \approx 1,12^4$$

b) **Normreihe:** Normreihe R20/4

c), d) und e) **Berechnung der Drehzahlbereiche**

Drehmaschine	Getriebe	Motor	gesamter Antrieb
Drehzahlbereich	9,89	7,10	70,21
min. Antriebs-Drehzahl	47	465	47
max. Abtriebs-Drehzahl	465	3300	3300
Anzahl Stufen	6	stufenlos	

Aufgabe 13.3-4

a) **Berechnung der minimalen und maximalen Drehzahlen der Bohrmaschine**

Drehzahlen (min^{-1})	$d_{\min} = 10 \text{ mm}$	$d_{\max} = 300 \text{ mm}$
$v_{\text{cmin}} = 25 \text{ m/min}$	795,77	26,53
$v_{\text{cmax}} = 150 \text{ m/min}$	4774,65	159,15

b) und c) Drehzahlbereich und Stufensprung

	Getriebe	Motor	gesamt
Drehzahlbereich	9,00	20	180,00
min. Antriebs-Drehzahl			26,53
max. Abtriebs-Drehzahl			4774,65
Anzahl Stufen	6,00	stufenlos	6
geometrische Stufung	theoretisch	Normzahlreihe R20/4	
Stufensprung	1,5518	1,60	

Der Stufensprung φ der Normzahlreihe R20/4 = $1,6 \approx 1,12^4$