EUROPA-FACHBUCHREIHE
für Metallberufe

Thomas Apprich
Josef Brenner
Michael Dambacher
Franz Dreher
Georg Fischer
Gerd Greiner
Burkhard Heine
Armin Hochstatter
Sven Holzberger
Fabian Holzwarth
Harald Kaiser
Thomas Liesch
Alexander Pflug
Dietmar Schmid
Taghi Tawakoli
Rainer Vogel

Tabellenbuch für Zerspantechnik

5. Auflage

Europa-Nr.: 14733

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL • Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 • 42781 Haan-Gruiten

Autoren:

Apprich, Thomas	Dipl. Ing. (FH), Studiendirektor	Aalen
Brenner, Josef	Dipl. Ing. (FH), Studienrat	Dorfmerkingen
Dambacher, Michael	Dipl. Ing., Studiendirektor	Aalen
Dreher, Franz	Technischer Oberlehrer i. R.	Denkingen
Fischer, Georg	Dipl. Ing. (FH), Studiendirektor	Neresheim
Greiner, Gerd	Dipl. Ing. (FH), Studienrat	Rosenberg
Heine, Burkhard	Dr. rer. nat., Prof.	Aalen
Hochstatter, Armin	Technischer Lehrer	Neresheim
Holzberger, Sven	Dipl. Wirt. Ing. (FH), Studienrat	Kornwestheim
Holzwarth, Fabian	Dr.- Ing., Prof.	Adelmannsfelden
Kaiser, Harald	Dr.- Ing., Prof.	Heubach
Liesch, Thomas	Dipl. Ing. (FH), Oberstudienrat	Westhausen
Pflug, Alexander	Dipl. Ing., Oberstudienrat	Schwäbisch Gmünd
Schmid, Dietmar	Dr.- Ing., Prof.	Essingen
Tawakoli, Taghi	Dr.- Ing., Prof.	Freiburg
Vogel, Rainer	Oberstudienrat	Aalen

Lektorat und Leitung des Arbeitskreises: Michael Dambacher

Bildbearbeitung: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Betreuung der Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

Alle Bilder im Buch ohne Quellenangabe wurden vom Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern oder von den Autoren erstellt und bearbeitet.

Die Angaben in diesem Tabellenbuch beziehen sich auf die neuesten Ausgaben der Normblätter, Regelwerke und Herstellerempfehlungen. Es sind jedoch nur auf das Wesentliche beschränkte, ausgewählte Teile der originalen Dokumentationen. Verbindlich für die Anwendung sind nur die Original-Normblätter mit dem Ausgabedatum des DIN (Deutsches Institut für Normung e.V.) selbst oder entsprechende Herstellerunterlagen. DIN-Blätter können durch die Beuth Verlag GmbH bezogen werden.

Das vorliegende Tabellenbuch wurde mit aller gebotenen Sorgfalt erarbeitet. Dennoch übernehmen die Autoren, der Herausgeber und der Verlag für die Richtigkeit der Angaben sowie für eventuelle Satz- und Druckfehler keine Haftung.

5. Auflage 2022
Druck 5 4 3 2 1
Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-7585-1315-2

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.
© 2022 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar
Umschlag: Grafische Produktionen Neumann, 97222 Rimpar
Umschlagfoto: Autorenfoto an der Technischen Schule Aalen
Druck: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

Die Zerspantechnik ist ein innovativer Produktionsbereich, der einem beständigen Wandel unterliegt. Moderne Bearbeitungsstrategien, Werkzeug- und Schneidstoffentwicklungen werden in der praktischen Anwendung und in wissenschaftlichen Untersuchungen verbessert und weiterentwickelt. Die dynamische Wettbewerbssituation auf dem Markt führt zu verbesserten Produkten, Bearbeitungstechnologien und Produktionsalternativen.

Die vorliegende **5. Auflage** wurde komplett überarbeitet, der Informationsgehalt weiter verdichtet und insbesondere im Kapitel Technische Kommunikation mit den aktuellen Normen, z. B. zur Geometrischen Produktspezifikation (GPS) überarbeitet und ergänzt. Das Buch schließt damit die Lücke zwischen den überwiegend theorieorientierten Lehrbüchern und den mit meist geringen theoretischen Grundlagen für die Praxis geschriebenen Nachschlage- und Tabellenwerken. Die Autoren haben sich zum Ziel gesetzt, die allgemeinen, physikalischen und technischen Grundlagen gemäß dem heutigen Wissensstand darzustellen. Zur intensiven Beschäftigung mit den Technologien sind eine große Anzahl von Schaubildern, Berechnungsgleichungen, Diagrammen und Tabellen zusammengestellt. In dieser 5. Auflage sind Ergänzungen und Erweiterungen aus dem Einsatz in Theorie und Praxis und aus den Rückmeldungen der Leserschaft berücksichtigt worden.

Das Buch richtet sich an alle, die Werkstücke aus metallischen Werkstoffen durch spanende Fertigungsverfahren professionell herstellen. Lernende und Lehrende in Ausbildung, Beruf und Weiterbildung finden hier Größengleichungen, Formeln, Diagramme, Tabellenwerte und Berabeitungstechnologien, die zum Bearbeiten von technischen Grundlagen und angewandten Fertigungsverfahren notwendig sind. Die relevanten Themen aus Physik, Mathematik, Werkstofftechnik, Elektrotechnik, Mechanik, Festigkeitslehre, Maschinentechnik, Steuerungs- und CNC-Technik und Qualitätstechnik sind im Buch ebenso zu finden, wie Hinweise auf Zeichnungsnormen, Arbeits- und Umweltschutz, Produktivität, Wirtschaftlichkeit, Betriebsstoffe und Wartung von Maschinen und Anlagen. Damit ist dieses Buch neben der beruflichen Ausbildung auch für Meister, Techniker und Ingenieure in der praktischen Umsetzung und Anwendung besonders geeignet, da die ausführlichen Darstellungen der Themengebiete zur Lösung einer speziellen Aufgabenstellung schnell zugeordnet werden können.

Die angegebenen Einsatzrichtwerte sind abhängig vom verwendeten Schneidstoff, der Schneidengeometrie, der Werkstückgeometrie und von den Zerspanungsbedingungen. Von den Werkzeugherstellern werden für die verschiedenen Werkstoffgruppen und Bearbeitungsbedingungen eine Vielzahl von Wendeschneidplattensorten, Hartstoffbeschichtungen und optimierten Schneidengeometrien angeboten. Deshalb dienen die Richtwerte in den Tabellen als erste Orientierung für den jeweiligen Einsatzbereich und sind an die tatsächlichen Zerspanungsbedingungen anzupassen.

Die mechanischen Werkstoffkennwerte sind von der Erzeugnisdicke, dem Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren, vom Wärmebehandlungszustand und von der jeweiligen Legierungsgruppe abhängig. Demzufolge sind Abweichungen von den Kennwerten möglich.

Herbst 2022 Autoren und Verlag

Inhaltsverzeichnis

A Arbeits- und Umweltschutz 5

A1 Arbeits- und Gesundheitsschutz 5
A2 Umweltschutz 18
A3 Erste Hilfe 20

G Grundlagen 21

G1 Allgemeine Grundlagen 21
G2 Mathematische Grundlagen 25
G3 Physikalische Grundlagen 41
G4 Elektrotechnische Grundlagen 53
G5 Festigkeitsberechnungen 61

K Technische Kommunikation und Maschinenelemente 69

K1 Grundlagen 70
K2 Zeichnungsangaben 75
K3 Maschinenelemente 112

W Werkstofftechnik 137

W1 Stoffeigenschaften 138
W2 Werkstoffprüftechnik 140
W3 Wärmebehandlung 146
W4 Halbzeuge 150
W5 Zerspanbarkeit 156
W6 Stahlwerkstoffe 164
W7 Gusseisenwerkstoffe 182
W8 Nichteisenmetalle 187
W9 Sintermetalle 201
W10 Kunststoffe 203

F Fertigungs- und Betriebstechnik 207

F1 Grundlagen der Zerspantechnik . . . 208
F2 Schneidstoffe und Beschichtungen . 224
F3 Bohren und Senken 236
F4 Reiben 249
F5 Sägen 252
F6 Biegen 255
F7 Frästechnik 256
F8 Drehtechnik 283
F9 Automatendrehtechnik 310
F10 Gewindeherstellung 314
F11 Räumen 321
F12 Fertigungstechnologien 323
F13 Schleiftechnik 328
F14 Läppen, Honen 343

Betriebstechnik 345
B1 Wartung und Instandhaltung 345
B2 Betriebsstoffe 348
B3 Werkzeugmaschinen 356
B4 Werkzeugspanntechnik 367
B5 Werkstückspanntechnik 371
B6 Unwucht 375
B7 Anschlagmittel 378

Q Produktions- und Qualitätsmanagement 383

Q1 Produktionsplanung und Produktionssteuerung 384
Q2 Qualitätsmanagement 393
Q3 Geometrische Messtechnik 414

S Steuerungs- und Regelungstechnik 425

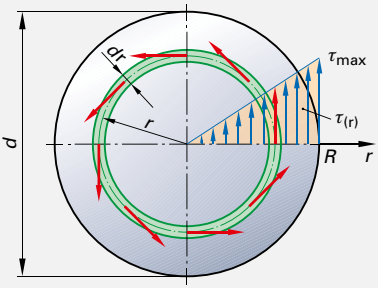
S1 Steuerungstechnik 426
S2 Regelungstechnik 437
S3 CNC-Antriebs- und Wegmess-systeme 442
S4 Robotertechnik 445
S5 Numerische Steuerungen 447
CNC-Programmiersystem Drehen . 447
CNC-Programmiersystem Fräsen . 461

Normen- und Sachwortverzeichnis 476

Grundbelastungsfälle

Beanspruchung auf Torsion

Ein Dreh- oder Torsionsmoment auf ein Bauteil versucht radiale Querschnittsebenen gegeneinander zu verschieben. Dadurch entsteht in den Querschnittsebenen eine Beanspruchung auf Schub und damit Schubspannungen $\tau_t(r)$. Der Index t steht für Torsion. Die Schubspannungen verlaufen in Umfangsrichtung in konzentrischen Kreisen um die Mittelachse und bewirken die Verformung des Bauteils.



τ_t Schubspannung in N/mm²
M_t Torsionsmoment in Nmm
W_t Polares Widerstandsmoment in mm³
P Leistung in W (Nm/s)
ω Kreisfrequenz in rad/s
n Drehzahl in min⁻¹
F Kraft in N
α Abstand Kraftangriff in mm

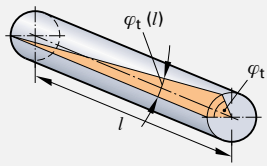
Torsionsspannung

$$\tau_t = \frac{M_t}{W_t}$$

Torsionsmoment

$$M_t = \frac{P}{\omega} = \frac{P \cdot 1000\ \text{mm/m} \cdot 60\ \text{s/min}}{2 \cdot \pi \cdot n} = F \cdot \alpha$$

Verdrehwinkel



φ_t Verdrehwinkel in Grad
M_t Torsionsmoment in Nmm
l Bauteillänge in mm
I_p Polares Trägheitsmoment in mm³
G Schubmodul in N/mm²

Verdrehwinkel

$$\varphi_t = \frac{180°}{\pi} \cdot \frac{M_t \cdot l}{I_p \cdot G}$$

Zulässige Torsionsspannung

Das Werkstoffverhalten unter Torsionsbelastung wird an zylindrischen Stäben in einem genormten Prüfverfahren untersucht. Aus dem Moment bei Fließbeginn M_{tF} bzw. dem höchsten ertragbaren Moment M_{tmax} bestimmt man die Torsionsfließgrenze τ_{tF} und die Torsionsfestigkeit τ_{tB}.

Torsionsfließgrenze

$$\tau_t = \frac{M_{tF}}{W_t}$$

Näherungsweise kann mit folgenden Umrechnungsformeln gerechnet werden:

Für Stahl gilt: $\tau_{tB} \approx 0{,}58$ bis $0{,}6 \cdot R_e$

Für Stahl und Grauguss gilt: $\tau_{tB} \approx R_m$

Torsionsfestigkeit

$$\tau_{tB} = \frac{M_{tmax}}{W_t}$$

Als Versagensart kommen bei zähen Werkstoffen das Fließen und der Bruch, bei spröden Werkstoffen der Bruch in Betracht.

Mit den Sicherheitskennwerten $\nu_F = 1{,}5$ gegen Fließen und $\nu_B = 2$ bis 4 gegen Bruch lassen sich die zulässige Torsionsfließgrenze τ_{tFzul} und die zulässige Torsionsfestigkeit τ_{tBzul} bestimmen.

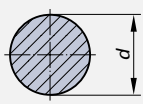
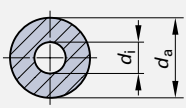
Torsionsfließgrenze

$$\tau_{tFzul} = \frac{\tau_{tF}}{\nu_F}$$

Torsionsfestigkeit

$$\tau_{tFzul} = \frac{\tau_{tB}}{\nu_B}$$

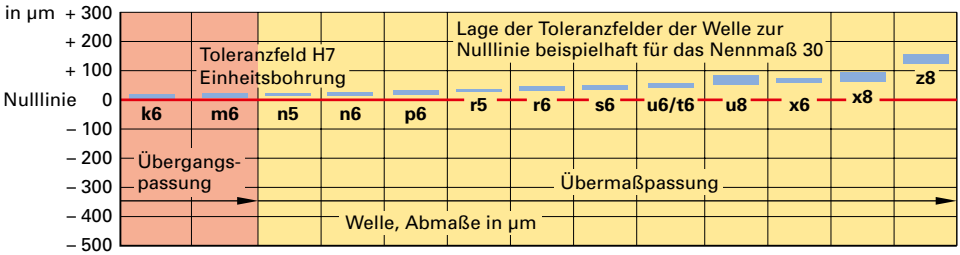
Polare Flächenträgheitsmomente I_p und axiale Widerstandmomente W_t

Querschnittsform		Polares Trägheitsmoment	Widerstandsmoment
Kreis-querschnitt		$I_p = \frac{\pi}{32} \cdot d^4$	$W_t = \frac{\pi}{16} \cdot d^3$
Kreisring-querschnitt		$I_p = \frac{\pi}{32} \cdot (d_a^4 - d_i^4)$	$W_t = \frac{\pi}{16} \cdot \left(\frac{d_a^4 - d_i^4}{d_a}\right)$

ISO-Passungen

Grundabmaße für Außenabmessungen (Wellen)

vgl. DIN ISO 286-1 (2010-11)



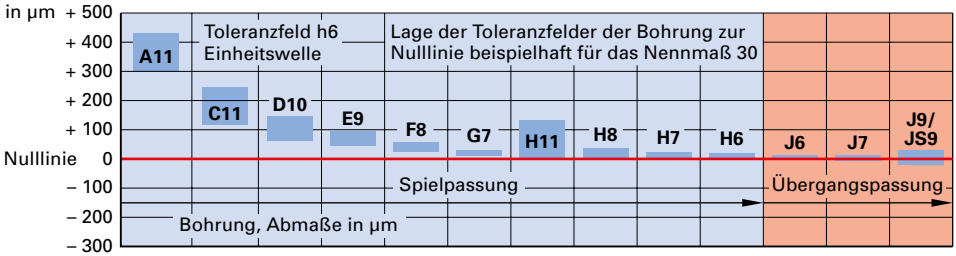
K

Nennmaße über ... bis	k6	m6	n5	n6	p6	r5	r6	s6	u6/t6	u8	x6	x8	z8
bis 3	+ 6 + 0	+ 8 + 2	+ 8 + 4	+ 10 + 4	+ 12 + 6	+14 +10	+ 16 + 10	+ 20 + 14	+ 24 + 18	+ 32 + 18	+ 26 + 20	+ 34 + 20	–
3 ... 6	+ 9 + 1	+ 12 + 4	+ 13 + 8	+ 16 + 8	+ 20 + 12	+ 20 + 15	+ 23 + 16	+ 27 + 19	+ 31 + 23	+ 41 + 23	+ 36 + 28	+ 46 + 28	–
6 ... 10	+ 10 + 1	+ 15 + 6	+ 16 + 10	+ 19 + 10	+ 24 + 15	+ 25 + 19	+ 28 + 19	+ 32 + 23	+ 37 + 28	+ 50 + 28	+ 43 + 34	+ 56 + 34	+ 74 + 52
10 ... 14	+ 12 + 1	+ 18 + 7	+ 20 + 12	+ 23 + 12	+ 29 + 18	+ 31 + 23	+ 34 + 23	+ 39 + 28	+ 44 + 33	+ 60 + 33	+ 51 + 40	+ 67 + 40	+ 91 + 64
14 ... 18											+ 56 + 45	+ 72 + 45	+ 104 + 77
18 ... 24	+ 15 + 2	+ 21 + 8	+ 24 + 15	+ 28 + 15	+ 35 + 22	+ 37 + 28	+ 41 + 28	+ 48 + 35	+ 54 + 41	+ 74 + 41	+ 67 + 54	+ 87 + 54	+ 131 + 98
24 ... 30										+ 81 + 48	+ 77 + 64	+ 97 + 64	+ 151 + 118
30 ... 40	+ 18 + 2	+ 25 + 9	+ 28 + 17	+ 33 + 17	+ 42 + 26	+ 45 + 34	+ 50 + 34	+ 59 + 43	+ 64 + 48	+ 99 + 60	+ 96 + 80	+ 119 + 80	+ 187 + 148
40 ... 50									+ 70 + 54	+ 109 + 70	+ 113 + 97	+ 136 + 97	+ 219 + 180
50 ... 65	+ 21 + 2	+ 30 + 11	+ 33 + 20	+ 39 + 20	+ 51 + 32	+ 54 + 41	+ 60 + 41	+ 72 + 53	+ 85 + 66	+ 133 + 87	+ 141 + 122	+ 168 + 122	+ 272 + 226
65 ... 80						+ 56 + 43	+ 62 + 43	+ 78 + 69	+ 94 + 75	+ 148 + 102	+ 165 + 146	+ 192 + 146	+ 320 +274
80 ... 100	+ 25 + 3	+ 35 + 13	+ 38 + 23	+ 45 + 23	+ 59 + 37	+ 66 + 51	+ 73 + 51	+ 93 + 71	+ 116 + 91	+ 178 + 124	+ 200 + 178	+ 232 + 178	+ 389 + 335
100 ... 120						+ 69 + 54	+ 76 + 54	+ 101 + 79	+ 126 + 104	+ 198 + 144	+ 232 + 210	+ 264 + 210	–
120 ... 140	+ 28 + 3	+ 40 + 15	+ 45 + 27	+ 52 + 27	+ 68 + 43	+ 81 + 63	+ 88 + 83	+ 117 + 92	+ 147 + 122	+ 233 + 170	+ 273 + 248	+ 311 + 248	–
140 ... 160						+ 83 + 65	+ 90 + 65	+ 125 + 100	+ 134 + 171	+ 253 + 190	+ 305 + 280	+ 343 + 280	–
160 ... 180						+ 86 + 68	+ 93 + 68	+ 133 + 108	+ 171 + 146	+ 273 + 210	+ 335 + 310	+ 373 + 310	–
180 ... 200	+ 33 + 4	+ 46 + 17	+ 51 + 31	+ 60 + 31	+ 79 + 50	+ 97 + 77	+ 106 + 77	+ 151 + 122	+ 195 + 166	+ 308 + 236	+ 379 + 350	+ 422 + 350	–
200 ... 225						+ 100 + 80	+ 108 + 80	+ 159 + 130	–	+ 330 + 258	+ 414 + 385	+ 457 + 385	–
225 ... 250						+ 104 + 84	+ 113 + 84	+ 169 +140	–	+ 356 + 284	+ 454 + 425	+ 497 + 425	–
250 ... 280	+ 36 + 4	+ 52 + 20	+ 57 + 34	+ 66 + 34	+ 88 + 56	+ 117 + 94	+ 128 + 94	+ 190 + 158	–	+ 396 + 315	+ 507 + 475	+ 556 + 475	–
280 ... 315						+ 121 + 98	+ 130 + 98	+ 202 + 170	–	+ 431 + 350	+ 557 + 525	+ 608 + 525	–
315 ... 355	+ 40 + 4	+ 57 + 21	+ 62 + 37	+ 73 + 37	+ 98 + 62	+ 133 + 108	+ 144 + 108	+ 226 + 190	–	+ 479 + 390	+ 626 + 590	+ 679 + 590	–
355 ... 400						+ 139 + 114	+ 150 + 114	+ 244 + 208	–	+ 524 + 435	+ 696 + 660	+ 749 + 860	–

ISO-Passungen

Grundabmaße für Innenabmessungen (Bohrungen)

vgl. DIN ISO 286-1 (2010-11)



Nennmaße über ... bis	A11	C11	D10	E9	F8	G7	H11	H8	H7	H6	J6	J7	J9/ JS9
bis 3	+ 330 + 270	+ 120 + 60	+ 60 + 20	+ 39 + 14	+ 20 + 6	+ 12 + 2	+ 60 0	+14 0	+ 10 0	+ 6 0	+ 2 – 4	+ 4 – 6	+ 12,5 – 12,5
3 ... 6	+ 345 + 270	+ 145 + 70	+ 78 + 30	+ 50 + 20	+ 28 + 10	+ 16 + 4	+ 75 0	+ 18 0	+ 12 0	+ 8 0	+ 5 – 3	+ 6 – 6	+ 15 – 15
6 ... 10	+ 370 + 280	+ 170 + 80	+ 98 + 40	+ 61 + 25	+ 35 + 13	+20 + 5	+ 90 0	+ 22 0	+ 15 0	+ 9 0	+ 5 – 4	+ 8 – 7	+ 18 – 18
10 ... 18	+ 400 + 290	+ 205 + 95	+ 120 + 50	+ 75 + 32	+ 43 + 16	+ 24 + 6	+ 110 0	+ 27 0	+ 18 0	+ 11 0	+ 6 – 5	+ 10 – 8	+ 21,5 – 21,5
18 ... 30	+ 430 + 300	+ 240 + 110	+ 149 + 65	+ 92 + 40	+ 53 + 20	+ 28 +7	+ 130 0	+ 33 0	+ 21 0	+ 13 0	+ 8 – 5	+ 12 – 9	+ 26 – 26
30 ... 40	+ 470 + 310	+ 280 + 120	+ 180 + 80	+ 112 + 50	+ 64 + 25	+ 34 + 9	+ 160 0	+ 39 0	+ 25 0	+ 16 0	+ 10 – 6	+ 14 – 11	+ 31 – 31
40 ... 50	+ 480 + 320	+ 290 + 130											
50 ... 65	+ 530 + 340	+ 330 + 140	+ 220 + 100	+ 134 + 60	+ 76 + 30	+ 40 + 10	+ 190 0	+ 46 0	+ 30 0	+ 19 0	+ 13 – 6	+ 18 – 12	+ 37 – 37
65 ... 80	+ 550 + 360	+ 340 + 150											
80 ... 100	+ 600 + 380	+ 390 + 170	+ 260 + 120	+159 + 72	+ 90 + 36	+ 47 + 12	+ 220 0	+ 54 0	+ 35 0	+ 22 0	+ 16 – 6	+ 22 – 13	+ 43,5 – 43,5
100 ... 120	+ 630 + 410	+ 400 + 180											
120 ... 140	+ 710 + 460	+ 450 + 200	+ 305 + 145	+ 185 + 85	+ 106 + 43	+ 54 + 14	+ 250 0	+ 63 0	+ 40 0	+ 25 0	+ 18 – 7	+ 26 – 14	+ 50 – 50
140 ... 160	+ 770 + 520	+ 460 + 210											
160 ... 180	+ 820 + 580	+ 480 + 230											
180 ... 200	+ 950 + 660	+ 530 + 240	+ 355 + 170	+ 215 + 100	+ 122 + 50	+ 61 + 15	+ 290 0	+ 72 0	+ 46 0	+ 29 0	+ 22 – 7	+ 30 – 16	+ 57,5 – 57,5
200 ... 225	+ 1030 + 740	+ 550 + 260											
225 ... 250	+ 1110 + 820	+ 570 + 280											
250 ... 280	+ 1240 + 920	+ 620 + 300	+ 400 + 190	+ 240 + 110	+ 137 + 56	+ 69 + 17	+ 320 0	+ 81 0	+ 52 0	+ 32 0	+ 25 7	+ 36 – 16	+ 65 – 65
280 ... 315	+ 1370 + 1050	+ 650 + 330											
315 ... 355	+ 1560 + 1200	+ 720 + 360	+ 440 + 210	+ 268 + 125	+ 151 + 62	+ 75 + 18	+ 360 0	+ 89 0	+ 57 0	+ 36 0	+ 29 7	+ 39 – 18	+ 70 – 70
355 ... 400	+ 1710 + 1350	+ 760 + 400											

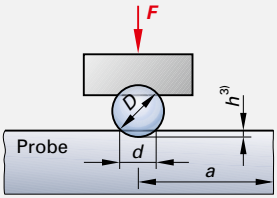
Werkstoffprüfung

Härteprüfung nach Brinell[1]

vgl. DIN EN ISO 6506-1, 10003

Bei der Härteprüfung nach Brinell wird eine Hartmetallkugel aus Wolframkarbid mit genormtem Durchmesser von ***D*** = 10 mm, 5 mm, 2,5 mm oder 1 mm eingesetzt. Die Kugel wird mit einer genormten Prüfkraft senkrecht und stoßfrei für die Dauer von 10 bis 15 Sekunden (Normzeit), bei weichen Werkstoffen von mindestens 30 Sekunden, in die Werkstückoberfläche eingedrückt. Dadurch bildet sich im Werkstück ein messbarer Abdruck mit dem Durchmesser ***d*** aus.

[1] *J. A. Brinell*, schwedischer Ingenieur 1849-1925



Belastungsgrad	Kugeldurchmesser ø*D* in mm			
	10	5	2,5	1
	Prüfkraft *F* in N			
30,0	29420	7355	1839	294,2
10,0	9807	2452	612,9	89,1
5,0	4903	1226	306,5	49,0
2,5	2452	612,9	153,5	24,5
1,0	980,7	245,2	62,3	9,8

Belastungsgrad		Werkstoffe	Brinellhärte
Werkstoffhärte zunehmend ↑	**30,0**	Gusseisen, Stahl	> 140
		Kupferlegierungen	> 200
	10,0	Gusseisen	< 140
		Kupferlegierungen	35 … 200
		Leichtmetalllegierungen	> 80
	5,0	Kupferlegierungen	< 35
		Leichtmetalllegierungen	35 … 80
	2,5	Leichtmetalllegierungen	< 35
	1,0	Blei, Zinn	< 35

Härtewert nach Brinell

270 HBW 10/ 1000 / 20

- 20 → Einwirkdauer der Prüfkraft in s[2)]
- 1000 → 9,807 × Prüfkraftkennziffer = Prüfkraft [N]
- 10 → Kugeldurchmesser [mm]
- HBW → Kurzzeichen für Brinellhärte mit Hartmetallkugel
- 270 → Werte der Brinellhärte

[2] Die Angabe kann bei Einwirkdauer nach Norm (10...15 s) entfallen.

[3] Prüfbedingungen

$0{,}2 \cdot D \leq d \leq 0{,}7 \cdot D$
Mindestprobendicke $s \geq 10 \cdot h$
Randabstand $a \geq 2{,}5 \cdot d$
Oberfläche metallisch blank
Abstand Prüfstelle $> 3 \cdot d$

Auswertungstabelle für HBW-Härtewert 10/1000 und ø*d* Eindruckdurchmesser

ø*d*	HBW	ø*d*	HBW	ø*d*	HBW	ø*d*	HBW	ø*d*	HBW
2,30	712	**2,57**	568	**2,88**	451	**3,35**	331	**3,90**	241
2,30	698	**2,60**	555	**2,91**	440	**3,40**	321	**3,95**	235
2,35	682	**2,63**	542	**2,95**	429	**3,45**	311	**4,00**	229
2,37	668	**2,66**	530	**3,00**	415	**3,50**	302	**4,05**	223
2,40	653	**2,69**	517	**3,05**	401	**3,60**	285	**4,10**	217
2,43	639	**2,72**	507	**3,10**	388	**3,65**	277	**4,15**	212
2,45	624	**2,75**	495	**3,15**	376	**3,70**	269	**4,20**	207
2,48	611	**2,78**	485	**3,20**	363	**3,75**	262	**4,25**	201
2,51	595	**2,81**	473	**3,25**	353	**3,80**	255	**4,30**	197
2,54	582	**2,85**	462	**3,30**	341	**3,85**	248	**4,35**	192

Berechnung des Brinellhärtewertes

F Prüfkraft in N
D Durchmesser der Prüfkugel in mm
d Mittlerer Eindruckdurchmesser in mm

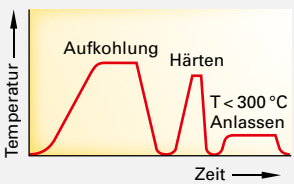
$$HBW = 0{,}102 \cdot \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Wärmebehandlung

Härteverfahren für Stahlwerkstoffe

Verfahren	Beschreibung
Härteverfahren	
Härten	Unter Härten versteht man eine Wärmebehandlung bestehend aus Austenitisieren und Abkühlen. Unter solchen Bedingungen, dass eine Härtezunahme durch mehr oder weniger vollständige Umwandlung des Austenits in der Regel in Martensit erfolgt. Im Prinzip ist jeder Stahl mehr oder weniger gut härtbar. Die Härtbarkeit ist aber entscheidend von der chemischen Zusammensetzung des Stahls abhängig. Der Begriff „Härtbarkeit“ beinhaltet die Höhe sowie die Verteilung der Härtezunahme im Werkstück.
Vergüten	Das Vergüten ist ein kombiniertes Wärmebehandlungsverfahren von Härten mit nachfolgendem Anlassen bei höheren Temperaturen. Geeignet sind alle härtbaren Stähle, besonders Vergütungsstähle.
Induktiv-härten und Flamm-härten	Unter **Randschichthärten** versteht man das örtlich begrenzte Erwärmen (Austenitisieren) und Abschrecken der Bauteile. Beim Flammhärten wird die Wärme mit Gasbrennern auf das Werkstück übertragen. Bei der induktiven Erwärmung wird durch mittel- oder hochfrequenten elektrischen Wechselstrom über einen, an die zu härtende Kontur angepassten, Induktor ein Induktionsstrom im Werkstück erzeugt, wodurch die Wärme entsteht. Fast alle Vergütungsstähle ab einem Kohlenstoffgehalt von > ca. 0,30 %; Gusswerkstoffe sowie hochlegierte Werkstoffe (mit ausreichend freiem Kohlenstoff) lassen sich ebenfalls Randschichthärten.
Diffusionsverfahren	
Einsatz-härten	Bei diesem Verfahren wird die Randschicht mit einem Kohlenstoff abgebenden Medium bei 880 °C bis 980 °C aufgekohlt und anschließend abgeschreckt. Hierdurch werden die mechanischen Eigenschaften der Bauteilrandschicht (z. B. Verschleiß) verbessert. Einsatzstähle sind Baustähle mit verhältnismäßig niedrigem Kohlenstoffgehalt, die für Bauteile verwendet werden und deren Randschicht vor dem Härten üblicherweise aufgekohlt wird. Einsatzhärtestähle liegen im Kohlenstoffgehalt unter dem der Vergütungsstähle, also unter 0,25 %.
Carbo-nitrieren	Beim Carbonitrieren wird die Randschicht mit Kohlen- und Stickstoff angereichert und die mechanischen Eigenschaften der Bauteilrandschicht (z. B. Verschleiß) verbessert. Es nimmt die Mittelstellung zwischen dem Einsatzhärten und dem Nitrieren ein. Die Carbonitriertemperaturen (760 °C und 900 °C) sind niedriger als die bei der Einsatzhärtung, jedoch höher als die Nitriertemperaturen. Es eignen sich unlegierte und niedrig legierte Einsatzstähle sowie Automaten- und Baustähle. Dies sind im allgemeinen Stähle mit Kohlenstoffgehalten unter 0,2 %.
Nitrieren	Nitrieren mit Stickstoff: Gasnitrieren, Plasmanitrieren, Vakuumnitrieren Nitrieren mit Stickstoff und Kohlenstoff: Gasnitrocarburieren, Plasmanitrocarburieren, Salzbadnitrocarburieren; Je länger die Nitrierdauer, desto größer die Nitrierhärtetiefe (Nht). Je höher die Temperatur gewählt wird (Temperaturspannen von 350 °C – 630 °C), desto tiefer kann der Stickstoff bei gleicher Zeiteinheit eindringen. Es können alle gebräuchlichen Stahl-, Guss- und Sinterwerkstoffe behandelt werden. Geeignet sind sowohl unlegierte als auch niedrig und hochlegierten Stähle. Die Messung der Härte erfolgt nach EN ISO 6507 in HV (Vickers). Die Messung der Nitrierhärteteife (Nht) nach DIN 50190, Teil 3.

Härtbare Stahlwerkstoffe (Auswahl)

Werkstoff-Nr.	Bezeichnung	Härteverfahren	Härte HRC	Härtetemperatur in °C	Härteverlauf und Eigenschaften
Einsatzstahl					
1.1141	**C15E**	Einsatzhärten	58 ... 62	780 ... 820	
1.5715	**16NiCrS4**	Einsatzhärten	58 ... 62	780 ... 820	
1.6523	**20NiCrMo2-2**	Einsatzhärten	58 ... 62	780 ... 820	
1.6587	**18CrNiMo7-6**	Einsatzhärten	58 ... 62	780 ... 820	
1.7139	**16MnCrS5**	Einsatzhärten	58 ... 62	780 ... 820	
1.7147	**20MnCr5**	Einsatzhärten	58 ... 62	780 ... 820	
Federstahl					
1.8153	**60SiCrV7**	Härten Vergüten	58 ... 62 40 ... 46	830 ... 860	Gute Zähigkeit, Vorzügliche Federungseigenschaften
1.7701	**52CrMoV4**	Härten Randschichthärten	60 ... 64	820 ... 860	ähnliche Eigenschaften wie 1.8561
1.8159	**51CrV4**	Härten Randschichthärten	60 ... 64	820 ... 850	Hochschlagfest, sehr gut zum Randschicht- und Induktionshärten

Vergütungsstähle

Niedrig legierte Vergütungsstähle

vgl. DIN EN 10083, EN 10132-4

Chemische Zusammensetzung

Werkstoff-Nr.	DIN-Bezeichnung	C in % max.	Si in % max.	Mn in % max.	P in % max.	S in % max.	Cr in % max.	Mo in % max.	Ni in % max.	V in % max.	B in % max.
1.7003	38Cr2	0,38	0,40	0,80	0,025	0,035	0,60	–	–	–	–
1.7006	46Cr2	0,46	0,40	0,80	0,025	0,035	0,60	–	–	–	–
1.7033	34Cr4	0,34	0,40	0,90	0,025	0,035	1,20	–	–	–	–
1.7037	34CrS4					0,040					
1.7034	37Cr4	037	0,40	0,90	0,025	0,035	1,20	–	–	–	–
1.7038	37CrS4					0,040					
1.7035	41CrS4	0,41	0,40	0,90	0,025	0,040	1,20	–	–	–	–
1.7220	34CrMo4	0,34	0,40	0,90	0,025	0,035	1,20	0,30	–	–	–
1.7226	34CrMoS4					0,040					
1.7225	42CrMo4	0,42	0,40	0,90	0,025	0,035	1,20	0,30	–	–	–
1.7227	42CrMoS4					0,040					
1.6582	34CrNiMo6	0,34	0,40	0,80	0,025	0,035	1,70	0,30	1,70	–	–
1.6580	30CrNiMo8	0,30	0,40	0,80	0,025	0,035	2,20	0,50	2,20	–	–
1.6773	36NiCrMo16	0,36	0,40	0,80	0,025	0,035	2,00	0,45	4,10	–	–
1.8159	51CrV4	0,51	0,40	1,10	0,025	0,035	1,20	–	–	0,025	–
1.5531	30MnB5	0,30	0,40	1,45	0,025	0,035	–	–	–	–	0,005
1.7182	27MnCrB5-2	0,27	0,40	1,40	0,025	0,035	0,60	–	–	–	0,005
1.7185	33MnCrB5-2	0,33	0,40	1,50	0,025	0,035	0,60	–	–	–	0,005

Mechanische Kennwerte nach dem Vergüten +QT

Werkstoff-Nr.	DIN-Bezeichnung	Streckgrenze R_{eH} in N/mm² bei Nenndicke in mm			Zugfestigkeit R_m in N/mm² bei Nenndicke in mm		Bruchdehnung A_5 in % bei Nenndicke in mm		
		< 16	16 ... 40	< 100	< 40	< 100	< 16	16 ... 40	< 100
1.7003	38Cr2	550	450	350	700 ... 850	600 ... 750	14	15	17
1.7006	46Cr2	650	550	400	800 ... 950	650 ... 800	12	14	15
1.7033	34Cr4	700	590	460	800 ... 950	700 ... 850	12	14	15
1.7037	34CrS4								
1.7034	37Cr4	750	630	510	850 ... 1000	750 ... 900	11	13	14
1.7038	37CrS4								
1.7035	41CrS4	800	660	560	900 ... 1100	800 ... 950	11	12	14
1.7039	41CrS4								
1.7218	25CrMo4	700	600	450	800 ... 950	700 ... 850	12	14	15
1.7213	25CrMoS4								
1.7220	34CrMo4	800	650	550	900 ... 1100	800 ... 950	11	12	14
1.7226	34CrMoS4								
1.7225	42CrMo4	900	750	650	1000 ... 1200	900 ... 1100	10	11	12
1.7227	42CrMoS4								
1.7228	50CrMo4	900	780	700	1000 ... 1200	900 ... 1100	9	10	12
1.6582	34CrNiMo6	1000	900	800	1100 ... 1300	1000 ... 1200	9	10	11
1.6580	30CrNiMo8	1050	1050	900	1250 ... 1450	1000 ... 1300	9	9	10
1.5815	35NiCr6	740	740	640	880 ... 1080	780 ... 980	12	14	15
1.6773	36NiCrMo16	1050	1050	900	1250 ... 1450	1100 ... 1300	9	9	10
1.6510	39NiCrMo3	785	735	685	930 ... 1130	880 ... 1080	11	11	12
1.6747	30NiCrMo16-6	880	880	880	1080 ... 1230	1080 ... 1230	10	10	10
1.8159	51CrV4	900	800	700	900 ... 1100	850 ... 1000	9	10	12
1.5530	20MnB5	700	600	550	750 ... 900	700 ... 950	14	15	–
1.5531	30MnB5	800	650	600	800 ... 950	750 ... 900	13	13	–
1.5532	38MnB5	900	700	600	850 ... 1050	800 ... 950	12	12	–
1.7182	27MnCrB5-2	800	750	700	900 ... 1150	800 ... 1000	14	14	15
1.7185	33MnCrB5-2	850	800	750	950 ... 1200	900 ... 1100	13	13	13
1.7189	39MnCrB6-2	900	850	800	1050 ... 1250	1000 ... 1200	12	12	12

Sintermetalle

Mechanische Eigenschaften von Sintermetallen

vgl. DIN EN 30910

Werkstoff		Kurzzeichen Sint-	Bereiche: Dichte ϱ in g/cm³	Zugfestigkeit R_m in N/mm²	Streckgrenze $R_{p0,1}$ in N/mm²	Bruchdehnung A in %	Härte HB	E-Modul $E \cdot 10^3$ in N/mm²
Sintereisen		C 00	6,4 ... 6,6	120	60	3	40	100
		D 00	6,8 ... 7,2	170	80	8	50	130
		E 00	> 7,2	240	120	14	60	160
Sinterstahl	C-haltig	C 01	6,4 ... 6,8	240	170	2	75	100
		D 01	6,8 ... 7,2	300	200	2	90	130
	Cu-haltig	C 10	6,4 ... 6,8	200	140	2	55	100
		D 10	6,8 ... 7,2	250	180	3	80	130
		E 10	> 7,2	340	240	5	110	160
	Cu- und C-haltig	C 11	6,4 ... 6,8	390	290	1	115	100
		D 11	6,8 ... 7,2	460	370	2	130	130
		C 21	6,4 ... 6,8	470	360	< 1	140	100
	Cu-, Ni- und Mo-haltig	C 30	6,4 ... 6,8	360	290	2	100	100
		D 30	6,8 ... 7,2	460	330	2	125	130
		E 30	> 7,2	570	390	4	160	160
	Mo-haltig	C 31	6,4 ... 6,8	320	220	1	100	100
		D 31	6,8 ... 7,2	380	260	2	120	130
		E 31	> 7,2	460	320	3	150	160
	Mo- und C-haltig	C 32	6,4 ... 6,8	400	370	< 1	140	100
		D 32	6,8 ... 7,2	520	480	1	180	130
	P-haltig	C 35	6,4 ... 6,8	290	180	9	80	100
		D 35	6,8 ... 7,2	310	210	10	85	130
	Cu- und P-haltig	C 36	6,4 ... 6,8	330	270	4	90	100
		D 36	6,8 ... 7,2	350	300	5	95	130
	Cu-, Ni-, Mo-, und C-haltig	C 39	6,4 ... 6,8	480	350	1	140	100
		D 39	6,8 ... 7,2	560	380	2	160	130
Rostfreier Sinterstahl	AISi 316	C 40	6,4 ... 6,8	330	250	1	110	100
		D 40	6,8 ... 7,2	400	320	2	135	130
	AISi 430	C 42	6,4 ... 6,8	420	330	1	170	100
	AISi 410	C 43	6,4 ... 6,8	510	370	1	180	100
Sinterbronze		C 50	7,2 ... 7,7	150	90	4	40	50
		D 50	7,7 ... 8,1	220	120	6	55	70

Schnittkraft

Schnittkraftberechnung

Hauptschnittkraft

F_c Hauptschnittkraft in N
A Spanungsquerschnitt in mm²
b Spanungsbreite in mm
h Spanungsdicke in mm
a_p Schnitttiefe in mm
f Vorschub in mm
k_c Spezifische Schnittkraft in N/mm²
$k_{c1.1}$ Hauptwert der spez. Schnittkraft in N/mm²
m_c Werkstoffkonstante

Bestimmung von k_c siehe ab **Seite 215**

Hauptschnittkraft

$$F_c = A \cdot k_c$$

Spezifische Schnittkraft

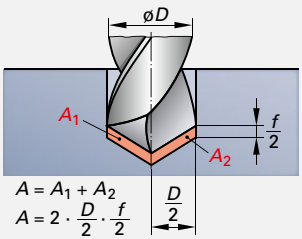
$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^{mc}}$$

Spanungsquerschnitt

$$A = b \cdot h \qquad A = a_p \cdot f$$

Spanungsquerschnitt

Bohren



$A = A_1 + A_2$

$A = 2 \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{f}{2}$

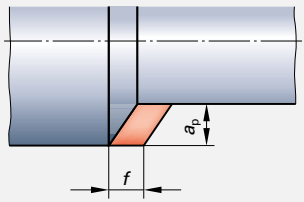
Spanungsquerschnitt

$$A = \frac{D \cdot f}{2}$$

Für zweischneidigen Wendelbohrer
a_p Schnitttiefe in mm
f Vorschub in mm

Weitere Bestimmungsgleichungen für Bohren siehe ab **Seite 236, 240**.

Drehen



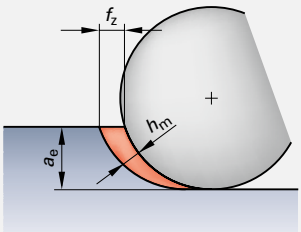
Spanungsquerschnitt

$$A = a_p \cdot f$$

a_p Schnitttiefe in mm
f Vorschub in mm

Weitere Bestimmungsgleichungen für Drehen siehe ab **Seite 283**.

Fräsen



Spanungsquerschnitt

$$A = a_e \cdot h_m$$

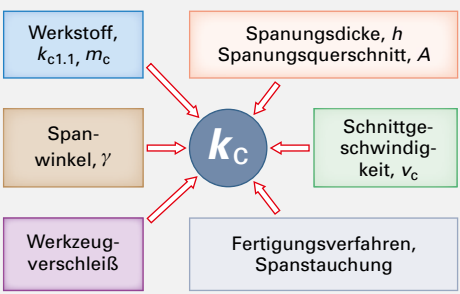
a_e Fräsbreite in mm
h_m Mittlere Spanungsdicke in mm

Weitere Bestimmungsgleichungen für Fräsen siehe ab **Seite 256**.

Spezifische Schnittkraft

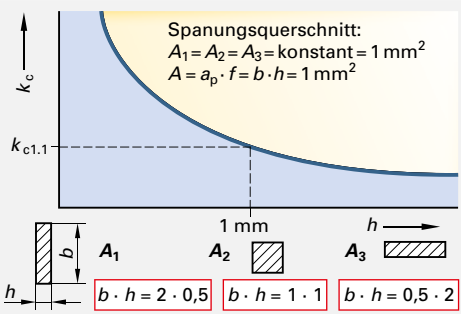
Einflüsse auf die spezifische Schnittkraft

Die spezifische Schnittkraft k_c ist erforderlich, um den Spanungsquerschnitt A = 1 mm² eines Werkstoffs zu zerspanen.



Form des Spanungsquerschnitts

Die geometrische Form des Spanungsquerschnitts ($A = b \cdot h$) beeinflusst die spezifische Schnittkraft k_c.



F

Spezifische Schnittkraft

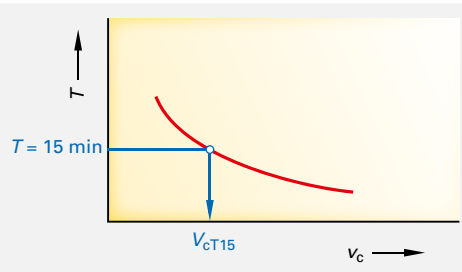
Richtwerte für die spezifische Schnittkraft, Tabelle 2

Werkstoff-bezeichnung	$k_{c1.1}$ in N/mm²	m_c	Tabellenwert k in N/mm² für Spanungsdicke h in mm									
			0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80
Rostfreier Stahl												
X46Cr13	**1820**	**0,26**	3966	3312	2980	2766	2610	2489	2310	2179	2079	1929
X30Cr13	**1820**	**0,26**	3966	3312	2980	2766	2610	2489	2310	2179	2079	1929
NiCr20TiAl	**2088**	**0,29**	4978	4071	3620	3330	3121	2961	2724	2553	2421	2228
X5CrNi18-10	**2350**	**0,21**	4408	3811	3500	3295	3144	3026	2849	2718	2616	2463
X10CrNiMoNb18-1	**2550**	**0,18**	4372	3860	3588	3407	3273	3167	3007	2889	2796	2655
X5CrNiMo17-12-2	**2600**	**0,19**	4594	4027	3728	3530	3383	3268	3094	2966	2865	2713
Gusseisen												
GJS-350	**1000**	**0,25**	2115	1778	1607	1495	1414	1351	1257	1189	1136	1057
GJS-400	**1080**	**0,23**	2151	1834	1671	1564	1486	1425	1333	1267	1215	1137
GJS-500	**1135**	**0,21**	2129	1841	1691	1591	1519	1462	1376	1313	1264	1189
GJS-600	**1480**	**0,17**	2463	2189	2043	1946	1873	1816	1729	1665	1614	1537
GJL-250	**1160**	**0,26**	2528	2111	1900	1763	1663	1586	1472	1389	1325	1229
GJL-400	**1470**	**0,26**	3203	2675	2407	2234	2108	2010	1865	1760	1679	1558
Stahlguss												
GS-45	**1600**	**0,17**	2663	2367	2209	2104	2025	1963	1870	1800	1745	1662
GS-52	**1780**	**0,17**	2962	2633	2457	2340	2253	2184	2080	2003	1941	1849
Temperguss												
GTW-40	**2060**	**0,19**	3640	3191	2954	2797	2681	2589	2452	2350	2270	2149
GTS-65	**1180**	**0,24**	2422	2051	1860	1736	1646	1575	1470	1394	1334	1245
Aluminiumgusslegierung (AC)												
AlSi17Cu4FeMg	**402**	**0,27**	903	749	671	621	584	556	515	485	461	427
AlSi10Mg	**440**	**0,27**	988	819	734	679	640	609	564	531	505	467
AlSi12	**454**	**0,28**	1050	865	772	712	669	636	587	551	524	483
AlSi9Cu3	**456**	**0,27**	1024	849	761	704	663	631	584	550	523	484
Aluminiumknetlegierung (AW)												
AlMg4,5Mn0,4	**487**	**0,23**	970	827	753	705	670	642	601	571	548	513
AlMg4	**509**	**0,27**	1143	948	850	786	740	705	652	614	584	541
AlCu4Mg1	**510**	**0,28**	1180	972	867	800	752	714	659	619	588	543
AlZn5,5MgCu	**540**	**0,26**	1177	983	884	821	774	738	685	647	617	572
Magnesiumlegierung												
MgAl7Mn	**280**	**0,19**	495	434	402	380	364	352	333	319	309	292
Titanlegierung												
TiAl6V4	**1370**	**0,21**	2570	2222	2041	1921	1833	1764	1661	1585	1525	1436
Messing												
CuZn39Pb2	**780**	**0,18**	1337	1181	1097	1042	1001	969	920	884	855	812

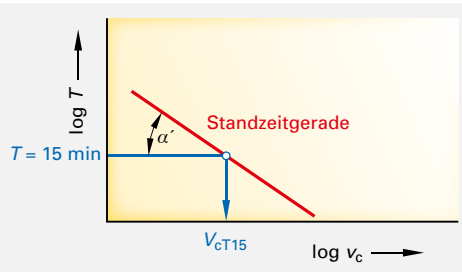
Standzeitdiagramm

Standzeitgerade

Die Schnittgeschwindigkeit v_c hat auf die Standzeit T den größten Einfluss. Die Abhängigkeit der Standzeit von der Schnittgeschwindigkeit wird in einem Standzeitdiagramm (T-v_c-Diagramm) dargestellt.



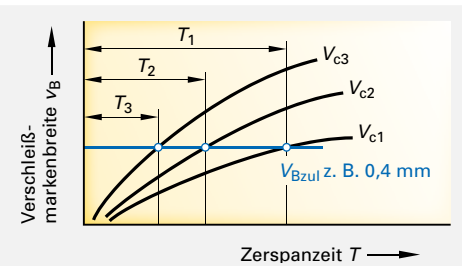
T-v_c-Kurve in linearer Achsenteilung

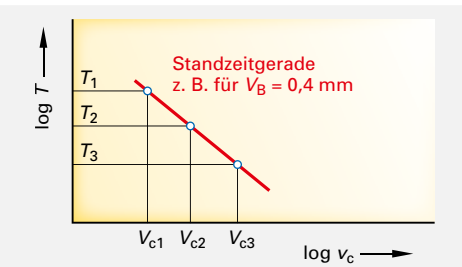


T-v_c-Gerade in logarithmischer Achsenteilung

Ermittlung der Standzeitgeraden

In Zerspanversuchen werden für verschiedene Schnittgeschwindigkeiten v_c und Eingriffszeiten die jeweiligen Verschleißmarkenbreiten VB an der Schneide gemessen. Die T-v_c-Geraden werden in ein doppellogarithmisches Diagramm übertragen, log T bzw. log v_c bedeutet, dass die Standzeit und die Schnittgeschwindigkeit in logarithmischer Achsenteilung in das Diagramm übertragen werden.





Bestimmung der Standzeit

Taylorgleichung

T gesuchte Standzeit in min
T_1 bekannte Standzeit in min
v_c neue Schnittgeschwindigkeit in m/min
v_{c1} Schnittgeschwindigkeit für Standzeit T_1

Standzeit

$$T = T_1 \cdot \left(\frac{v_{c1}}{v_c}\right)^{-k}$$

v_{c1} wird auch als v_{c1T1} bezeichnet, z. B. $v_{c1} = v_{cT15}$ für $T_1 = 15$ min
$v_{c1} = v_{cT30}$ für $T_1 = 30$ min, $v_{c1} = v_{cT60}$ für $T_1 = 60$ min

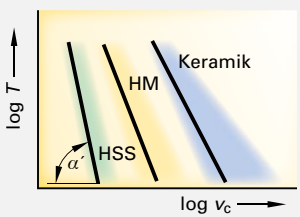
Steigungswert

$$\tan \alpha' = -k$$

Der Steigungswert k der Standzeitgeraden ist abhängig von der Kombination aus Schneidstoff und Werkstoff. Aufgrund der Steigung der Geraden im Diagramm ist der Steigungswert k negativ.

Richtwerte für den Steigungswert *k*

Werkstoff	Schneidstoff	Steigungswert *k*
Stahl	Schnellarbeitsstahl Hartmetall Schneidkeramik	– 7 – 4 – 2
Gusseisen	Hartmetall	– 3,5
Aluminiumlegierungen	Hartmetall	– 2,5



F

Hartstoffschichten

Beschichtung

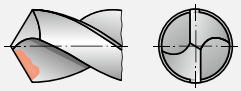
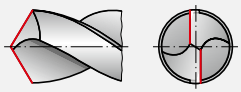
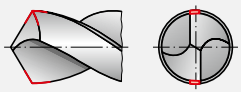
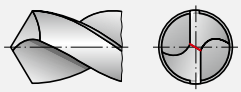
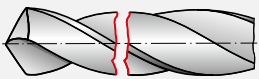
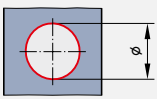
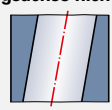
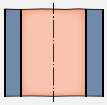
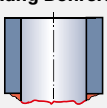
In dem CVD-Verfahren (Chemical-Vapor-Deposition) werden die Hartmetalle mit Hartstoffen wie z. B. TiC, TiCN, TiN und Al_2O_3 einzeln (Monolayer) oder mit mehrlagigen Schichtsystemen (Multilayer) beschichtet. Die Beschichtung erfolgt in einem Temperaturbereich von 750 °C bis 950 °C. Bei niedrigeren Temperaturen von 500 °C werden die Hartstoffschichten mit den PVD-Verfahren (Physical-Vapor-Deposition) erzeugt. Dabei wird die Metallkomponente (Ti, Al) durch Hochvakuum und Plasmaunterstützung in die Dampfphase überführt und mit Kohlenstoff (C)- und Stickstoff (N)-haltigen Gasen zur chemischen Reaktion auf der Substratoberfläche gebracht. Mit diesem Verfahren werden auf Hartmetall auch Diamantschichten (DP-Schichten) erzeugt.

Hartstoffschicht	Einsatzbereich
TiN Titannitrid	Allroundschicht im Verschleißschutz; gute Wärmeabfuhr (z. B. bei Reibungswärme); verbesserte Verschleißfestigkeit; die hohe thermische Leitfähigkeit (0.07 kW/mK) dieser Beschichtung verhindert örtliche Überhitzung und wirkt vorteilhaft bei unzureichender Kühlung; für Stähle und Gusseisenwerkstoffe, Kolk- und Diffusionsbeständigkeit.
TiCN Titancarbonitrid	Die Schicht besteht aus Karbonitriden, dies bewirkt eine Härtezunahme und einen niedrigeren Reibungskoeffizienten im Vergleich zu TiN; für schwer zu bearbeitende Stahllegierungen und Gusseisenwerkstoffe; die Schicht ist wesentlich zäher und härter als TiN und hat eine geringere Rauhigkeit aber eine geringere Einsatztemperatur; sie ist für viele Werkstoffe einsetzbar, wird jedoch häufig von der härteren TiAlN-Schicht abgelöst.
TiAlN Titanaluminiumnitrid	Für Hartmetall und HSS-Werkzeuge; Bearbeitung von Aluminium- und Nickellegierungen; Gusseisenwerkstoffe; Bohren von Stahl bis 45 HRC; geeignet für die Hochgeschwindigkeits- und MMS-Bearbeitung. Der Aluminiumgehalt führt zu hoher Härte und Oxidationstemperatur (800 °C) der Schicht; ist heute die weitverbreiteste Hartstoffschicht bei Neuwerkzeugen; für den Einsatz in der Trockenbearbeitung wird sie durch die leistungsfähigere AlTiN-Schicht, die eine höhere Härte und Temperaturbeständigkeit besitzt, abgelöst.
TiAlCN Titanaluminiumcarbonitrid	Wegen der maximalen Einsatztemperatur von 500 °C kann diese Schicht nicht für HSC- und MMS-Bearbeitung eingesetzt werden; sie steht in Konkurrenz zu den leistungsfähigeren AlTiN- und TiAlN-Schichten, welche höhere Temperaturen ermöglichen.
AlTiN Aluminiumtitannitrid	Für schwer zu bearbeitende Werkstoffe und kritische Einsatzbedingungen, geeignet für gehärtete Stähle, Hochleistungszerspanung, extreme Zerspanungsbedingungen, Trockenbearbeitung, Minimalmengenschmierung (MMS); mit einer Temperaturbeständigkeit von 900 °C und einer Härte von 3300 HV gehört sie zu den leistungsfähigsten Multilayer-Schichten.
AlTiCN Aluminiumtitancarbonitrid	Einsetzbar für sehr zähe Chrom-Nickelstähle, bei unterbrochenem Schnitt, Schruppfräsen, Hart- und Trockenbearbeitung, Minimalmengenschmierung (MMS).
AlTiSiN Aluminiumtitansiliziumnitrid	Die siliziumhaltige Beschichtung erreicht eine Härte von 3600 HV mit einer Temperaturbeständigkeit von 1100 °C; für maximale Standzeit bei schwer zu bearbeitenden Werkstoffen und extremen Einsatzbedingungen.
DP Polykristalliner Diamant	DP-beschichtete Werkzeuge zeichnen sich durch hohe Härte, Verschleißfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit sowie Zähigkeit des Grundsubstrats/Hartmetalls aus. Anwendungsgebiete sind die Bearbeitung von NE-Metallen und nicht metallischen Werkstoffen, wie z. B. Aluminium, glasfaserverstärkten Kunststoffen GFK/CFK, Keramik und Hartmetall.

Physikalische Eigenschaft	Hartstoffschicht							
	TiN	TiCN	TiAlN	TiAlCN	AlTiN	AlTiCN	AlTiSiN	DP
Mikrohärte HV 0,05 bei RT	2300	3000	3300	3000	3300	3000	3600	6000
Max. Anwendungstemperatur in °C	600	450	800	700	900	850	1100	600
Reibkoeffizient bei Stahl	0,40	0,35	0,30	0,20	0,70	0,20	0,30	0,20
Wärmeleitfähigkeit in W/mK	70	100	50	80	50	60	100	150
Schichtdicke in µm	1 ... 5	1 ... 5	1 ... 5	2 ... 4	1 ... 3	2 ... 4	1 ... 6	1 ... 2,5
Farbe	gold	blaugrau	rötlichviolett	altrosa	blauschwarz	dunkelblauschwarz	gelb	metallischgrau

Bohren

Störungsbeseitigung

	Problem	Ursache	Optimierungsmaßnahme
Bohrwerkzeug	**Aufbauschneidenbildung** 	Schnittgeschwindigkeit zu gering, Vorschub zu gering, Kühlschmierung nicht optimal, keine geeignete Beschichtung	Schnittgeschwindigkeit erhöhen, Vorschub um 20 % ... 30 % erhöhen, Beschichtung der Schneidkante, Kühlschmierstoff optimieren, Innenkühlung anwenden, Kühlmitteldruck erhöhen
	Schneidkantenverschleiß 	Schnittgeschwindigkeit zu hoch, Vorschub zu niedrig, ungeeigneter Schneidstoff, Kühlschmierung nicht optimal, keine geeignete Beschichtung	geringere Schnittgeschwindigkeit, Vorschub erhöhen, härtere Schneidstoffsorte, Kühlschmierstoff optimieren, Innenkühlung anwenden, Kühlmitteldruck erhöhen
	Schneideneckenverschleiß 	Schnittgeschwindigkeit zu hoch, Kühlschmierung nicht optimal, instabile Werkstückaufspannung, abrasiver Werkstoff	geringere Schnittgeschwindigkeit, Vorschub reduzieren, Spannfutter mit hoher Rundlaufgenauigkeit einsetzen, Werkstückaufspannung prüfen, Kühlschmierstoff optimieren
	Querschneidenverschleiß 	Schnittgeschwindigkeit zu gering, Vorschub zu hoch, Werkstoff stark abrasiv, Schneidstoff nicht verschleißfest	Schnittgeschwindigkeit erhöhen, Vorschub um 20 % ... 30 % reduzieren, Spannfutter mit hoher Rundlaufgenauigkeit einsetzen, Kühlschmierstoff optimieren, härtere Schneidstoffsorte
	Bohrerbruch 	falscher Bohrertyp, Spänestau in Spankammern, Kühlschmierung nicht optimal, Schnittwerte ungeeignet, instabile Werkstückaufspannung, Rundlauffehler, Verschleiß	Schnittdaten anpassen, Vorschub verringern, Kühlschmiermittelzufuhr optimieren, Spannfutter mit hoher Rundlaufgenauigkeit einsetzen, Werkstückaufspannung prüfen
Bohrungsqualität	**Bohrung unrund** 	instabile Bedingungen, Schnittgeschwindigkeit zu gering, Vorschub zu hoch, Spänestau in Spankammern, Kühlschmierung nicht optimal, Rundlauffehler, Verschleiß	Schnittgeschwindigkeit erhöhen, Vorschub reduzieren, Spannfutter mit hoher Rundlaufgenauigkeit einsetzen, Werkstückaufspannung prüfen, Kühlschmierstoff optimieren
	Bohrungsachse nicht gerade 	Bohrer verläuft, asymmetrischer Verschleiß, Vorschub zu hoch, Bohrer instabil, instabile Werkstückaufspannung, Rundlauffehler	Vorschub verringern, kürzerer Bohrer, stabile Werkstückaufspannung, Spannfutter mit hoher Rundlaufgenauigkeit einsetzen, Kühlschmierstoff optimieren
	schlechte Oberflächengüte 	Vorschub zu hoch, Bohrer instabil, Spänestau in Spankammern, Kühlschmierung nicht optimal, Rundlauffehler, Verschleiß an Schneidenecken	Vorschub reduzieren, Spannfutter mit hoher Rundlaufgenauigkeit einsetzen, Kühlschmierstoff optimieren, Bohrerverschleiß prüfen
	Gratbildung Bohreraustritt 	Vorschub zu hoch, Verschleiß an Hauptschneiden, Verschleiß an Schneidenecken, Spänestau in Spankammern, Kühlschmierung nicht optimal	Vorschub reduzieren, Bohrerverschleiß prüfen, Anschliffform anpassen, Schneidenwinkel anpassen, Kühlschmierung verbessern

Fräsen

Fräsverfahren

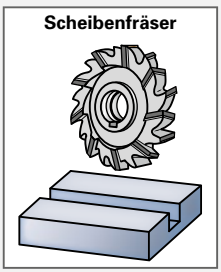
Das Fräsen nach DIN 8589-3 gehört nach der Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 zur Hauptgruppe 3 „Trennen“ mit der Gruppe 3.2 „Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide“.

Entsprechend der im Eingriff stehenden Schneiden wird das Fräsen in **Umfangsfräsen, Stirnfräsen** und **Stirn-Umfangsfräsen** unterteilt. Beim Umfangsfräsen steht die Werkzeugachse parallel zur Werkstückoberfläche, beim Stirnfräsen steht die Werkzeugachse senkrecht zur Werkstückoberfläche.

Umfangsfräsen

Walzenfräser

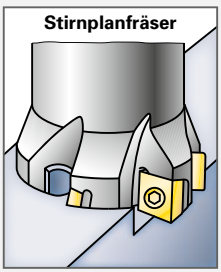
Scheibenfräser



Stirnfräsen

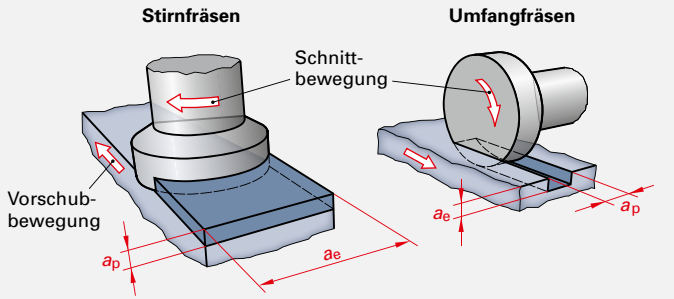
Walzenstirnfräser

Stirnplanfräser



Spanungsbewegungen

v_c Schnittgeschwindigkeit in m/min
D Fräserdurchmesser in mm
n Drehzahl in min^{-1} (1/min)
π Kreiskonstante
v_f Vorschubgeschwindigkeit in mm/min
f_z Vorschub pro Schneide in mm
z Anzahl Fräserschneiden
a_e Fräsbreite in mm (Radial)
a_p Frästiefe in mm (Axial)



Schnittgeschwindigkeit

$$v_c = D \cdot \pi \cdot n$$

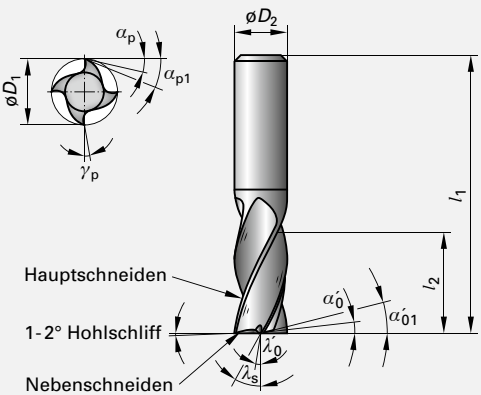
Drehzahl

$$n = \frac{v_c}{D \cdot \pi}$$

Vorschubgeschwindigkeit

$$v_f = f \cdot n = f_z \cdot z \cdot n$$

Schneidenwinkel für Schaftfräser und Walzenstirnfräser



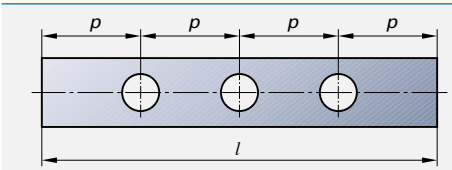
α'_0 Primärfreiwinkel der Nebenschneiden
α'_{01} Sekundärfreiwinkel der Nebenschneiden
α_p Primärfreiwinkel der Hauptschneiden
α_{p1} Sekundärfreiwinkel der Hauptschneiden
γ_p Rückspanwinkel der Hauptschneiden
λ'_0 Orthogonalspanwinkel der Nebenschneiden
λ_s Drallwinkel der Hauptschneiden
l_1 Gesamtlänge
l_2 Schneidenlänge
D_1 Schneidendurchmesser
D_2 Schaftdurchmesser

F

Teilen

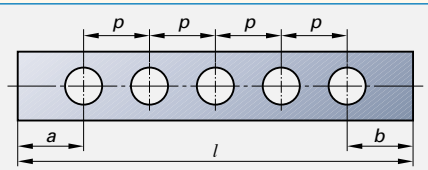
Teilen von Längen

Randabstand = Teilung



Teilung $p = \frac{l}{n+1}$

Randabstand ≠ Teilung



Teilung $p = \frac{l-(a+b)}{n-1}$

Teilen mit dem Teilapparat

Direktes Teilen

Beim direkten Teilen hat der Teilapparat nur eine Teilkopfspindel mit aufgesetzten Teilscheiben (Lochscheiben, Rasterscheiben). Bei einem **Universalteilapparat** wird die Schnecke zum direkten Teilen ausgekoppelt. Die Teilscheiben, die mit einem Teilstift festgehalten werden, haben unterschiedliche Lochraster (16, 24, 36, 42, 60). Beim direkten Teilen muss die Teilzahl ganzzahlig in der Lochzahl der Teilscheibe enthalten sein.

$$n_i = \frac{n_L}{T} \qquad n_i = \frac{\alpha \cdot n_L}{360°}$$

T Teilzahl, muss ohne Bruch in der Lochzahl n_L enthalten sein

α Winkelteilung in Grad (°)

n_i Teilschritt, die Anzahl der weiterschaltenden Lochabstände muss eine ganze Zahl ergeben

Indirektes Teilen

Beim indirekten Teilen wird die Spindel des Teilkopfes von der Teilkurbel über das Schneckengetriebe angetrieben. Das Übersetzungsverhältnis i des Schneckenradgetriebes ist 1:40 oder 1:60. Das bedeutet 40 Umdrehungen der Teilkurbel ergeben 1 Umdrehung der Spindel. Die n_K Zahl der Kurbelumdrehungen errechnet sich somit $n_{Kurbel} = i/T$, bei Winkelteilungen $n_K = i \cdot \text{Alpha}/360°$.

Bei einer 10er-Teilung ergeben sich 4 ganze Umdrehungen. Bei einer 32er-Teilung sind 32/40 = 1 8/32 = 1 ¼ Umdrehungen notwendig. Für die ¼ Umdrehung setzt man eine Lochscheibe, die einen Lochkreis mit einer durch 4 teilbaren Lochzahl (z. B. 16) enthält, ein. Die radial verstellbare Teilkurbel wird auf diesen Lochkreis eingestellt und dann eine ganze Umdrehung und 4 Lochabstände weitergedreht.

Damit sich die Lochscheibe nicht mitdreht, wird diese mit einem Feststellstift gesichert. Die auswechselbaren Lochscheiben haben 6 oder 8 konzentrische Lochkreise mit unterschiedlichen Lochzahlen. Mit der Teilschere stellt man die Anzahl der Lochabstände ein. Zwischen den Scherenarmen muss sich immer ein Loch mehr befinden als Lochabstände berechnet wurden.

Kurbelumdrehungen

$$n_K = \frac{i}{T} \qquad n_K = \frac{i \cdot \alpha}{360°}$$

n_K Anzahl Kurbelumdrehungen

i Übersetzungsverhältnis

T Teilzahl

α Teilungswinkel der Bohrungen

Standardteilungen-Lochscheiben

Nr.1	15	16	17	18	19	20
Nr.2	21	23	27	29	31	33
Nr.3	37	39	41	43	47	49

Beispiel:
Zahnrad mit 16 Zähnen, Übersetzungsverhältnis Teilkopf 1:40

$$n_K = \frac{i}{T} = \frac{40}{16} = 2\frac{8}{16}$$

Zwei ganze Umdrehungen und 8 Löcher auf einem 16er-Lochkreis.

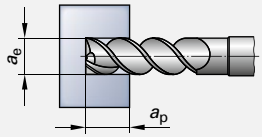
Beispiel:
Teilungswinkel 35°, Übersetzungsverhältnis Teilkopf 1:40

$$n_K = \frac{i \cdot \alpha}{360°} = \frac{40 \cdot 35°}{360°} = \frac{35}{9} = \frac{70}{18} = 3\frac{16}{18}$$

Drei ganze Umdrehungen und 16 Löcher auf einem 18er-Lochkreis.

Einsatzrichtwerte Fräsen

Einsatzrichtwerte für HSS-Schaftfräser, Schruppen Vollnut/Kreistasche/Rechtecktasche



Schnittgeschwindigkeitswerte v_c in m/min und Vorschubwerte f_z für unbeschichtete und TiN-beschichtete HSSE-Schaftfräser.
Einsatzrichtwerte für Vorschub f_z in mm für Fräserdurchmesser D in mm gelten für $a_e \leq 1{,}0 \cdot D$ und $a_p \leq 1{,}0 \cdot D$

Richtwerte f_z obere Reihe für unbeschichtetes HSS[1]
Richtwerte f_z untere Reihe für TiN-beschichtetes HSS[1]

Zerspanungshauptgruppe	Werkstoffgruppe mit Werkstoffauswahl	v_c in m/min	ø D 6,0	ø D 8,0	ø D 10,0	ø D 12,0	ø D 16,0	ø D 20,0	KSS[2]
P	**Unlegierter Baustahl** S235JR, S275JR E295, E355	25 65	0,006 0,008	0,008 0,010	0,012 0,016	0,018 0,022	0,025 0,028	0,028 0,032	E
	Einsatzstahl C15, 15CrNi6, 16MnCr5, 20CrMo5, 18CrNi6, 15CrMo5	20 45	0,005 0,007	0,008 0,010	0,012 0,016	0,018 0,022	0,022 0,028	0,028 0,032	E
	Vergütungsstahl (unvergütet) C35, C45, 37CrS4, 25CrMo4, 41Cr4, 50CrV4, 42CrMo4	22 50	0,005 0,007	0,007 0,009	0,009 0,014	0,014 0,020	0,020 0,025	0,025 0,030	E
	Vergütungsstahl (vergütet) C35E, C45E, 37CrS4, 25CrMo4, 41Cr4, 50CrV4, 42CrMo4	15 40	0,005 0,007	0,007 0,009	0,009 0,014	0,014 0,020	0,020 0,025	0,025 0,030	E
	Automatenstahl 10S20, 9SMnPb28, 15SMn13	25 65	0,005 0,007	0,008 0,010	0,012 0,016	0,018 0,022	0,022 0,028	0,028 0,032	E
	Nitrierstahl 34CrAlMo5	15 35	0,005 0,007	0,008 0,010	0,012 0,016	0,018 0,022	0,022 0,028	0,028 0,032	E
	Stahlguss GE240, GE300	15 40	0,005 0,007	0,007 0,009	0,009 0,014	0,014 0,020	0,020 0,025	0,025 0,030	E
	Werkzeugstahl (ungehärtet) 100Cr6, C45W, 90MnCrV, X210Cr12, 40CrMnMoS8-6	15 30	0,005 0,007	0,008 0,010	0,012 0,016	0,018 0,022	0,022 0,028	0,028 0,032	E
M	**Rostfreier Stahl** X46Cr13, X30Cr13, NiCr20TiAl X5CrNi18-10, X5CrNiMo17-12-2	12 22	0,006 0,008	0,008 0,010	0,012 0,016	0,018 0,022	0,022 0,028	0,028 0,032	E Öl
K	**Grauguss** GJL-250, GJL-400	25 50	0,005 0,007	0,008 0,010	0,012 0,016	0,018 0,022	0,022 0,028	0,028 0,032	T
	Kugelgraphitguss GJS-350, GJS-400, GJS-500 GJS-600	18 30	0,005 0,007	0,008 0,010	0,012 0,016	0,018 0,022	0,022 0,028	0,028 0,032	T E
	Temperguss GJMW-400, GJMB-650	18 30	0,005 0,007	0,008 0,010	0,012 0,016	0,018 0,022	0,022 0,028	0,028 0,032	E
N	**Aluminium** gewalzt[3] AlMg4, AlMg4,5Mn0,4, AlCu4Mg1, AlZn5,5MgCu	130 200	0,006 0,008	0,008 0,014	0,014 0,020	0,025 0,030	0,032 0,037	0,040 0,050	E
	Aluminium gegossen[3] AlSi12, AlSi9Cu3, AlSi10Mg AlSi17Cu4FeMg	60 120	0,010 0,012	0,020 0,025	0,030 0,035	0,040 0,045	0,050 0,055	0,055 0,060	E
	Magnesiumlegierungen MgAl6Zn,MgAl8Zn, MgAl9Zn2	60 120	0,006 0,008	0,008 0,014	0,014 0,020	0,025 0,030	0,032 0,037	0,040 0,050	E
	Kupferlegierungen Messinglegierung, CuZn39Pb2	45 85	0,010 0,012	0,020 0,025	0,030 0,035	0,040 0,045	0,050 0,055	0,055 0,060	T
S	**Superlegierungen** warmfest, Ni-basiert, NiCr20Ti	5 10	0,006 0,008	0,008 0,010	0,012 0,016	0,020 0,025	0,025 0,028	0,030 0,035	E
	Titanlegierungen TiAl6V4, TiAl4Mo4Sn4Si0,5	6 12	0,005 0,007	0,008 0,010	0,012 0,016	0,018 0,022	0,022 0,028	0,028 0,032	E
H	**Gehärteter Stahl**	–	–	–	–	–	–	–	–

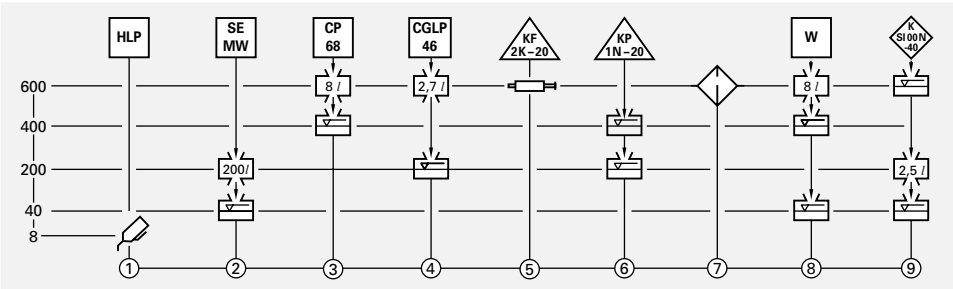
[1] Einsatzrichtwerte sind abhängig von der Werkstückgeometrie und von den Zerspanungsbedingungen.
[2] KSS – Kühlschmierstoff, E – Emulsion, T – Trocken, Öl – Schneidöl.
[3] Bei günstigen Bedingungen kann v_c um 50 % erhöht werden.

Wartung

Durchführung von Wartungsarbeiten

Beispiel für einen Wartungs- und Schmierplan für ein Bearbeitungszentrum

Reinigungs-, Schmier- und Inspektionsarbeiten werden von den Produktionsmitarbeitern autonom (eigenverantwortlich) und in festgelegten Intervallen durchgeführt. Der Mitarbeiter lässt dadurch seiner Anlage die erforderliche Pflege zukommen, erkennt frühzeitig von Verschleiß betroffene Bauteile und kann somit durch präventive Instandhaltungsmaßnahmen ungeplante Störungen oder Qualitätsverluste verhindern.



Zeit (Betriebsstunden)	Position	Eingriffsstelle	Tätigkeit	Hilfs- und Betriebsstoff[1]	Symbol
8	1	Führungen Maschinenraum	Schmieren mit Ölkanne oder Spraydose	HLP	
40	2	Kühlschmierstoffbehälter	Füllstand kontrollieren, nachfüllen	SEMW 12 %	
	8	Kühlaggregat		Wasser	
	9	Schmieraggregat Spindel		KSi 00 N-40	
200	2	Kühlschmierstoffbehälter	Entleeren, Reinigen, Neubefüllen	200 Liter, SEMW	
	9	Schmieraggregat Spindel		2,5 Liter, KSi 0 0 N-40	
	4	Hydraulikaggregat	Füllstand kontrollieren, nachfüllen	CGLP 46	
	6	Zentralschmieraggregat		KP 1 N-20	
400	3	Schwenkachse Füllstandanzeige	Füllstand kontrollieren, nachfüllen	CP 68	
	6	Zentralschmieraggregat		KP 1 N-20	
	8	Kühlaggregat		Wasser	
600	3	Schwenkachse Füllstandanzeige	Entleeren, Reinigen, Neubefüllen	8 Liter, CP 68	
	4	Hydraulikaggregat		2,7 Liter, CGLP 46	
	8	Kühlaggregat		8 Liter, Wasser	
	9	Schmieraggregat Spindel	Füllstand kontrollieren, nachfüllen	KSi 00 N-40	
	5	Pneumatik Spindelschmierung	Abschmieren mit Fettpresse	KF 2 K-20	
	7	Filter Spindelschmierung	Filter reinigen, ggf. auswechseln		

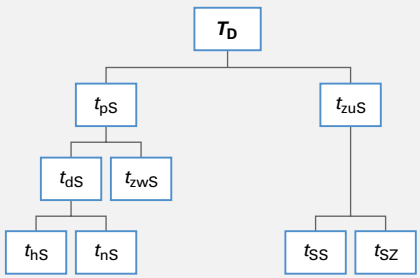
[1] Schmierstoffbezeichnungen siehe ab Seite 348

F

Arbeitsablauf, Arbeitszeitplanung

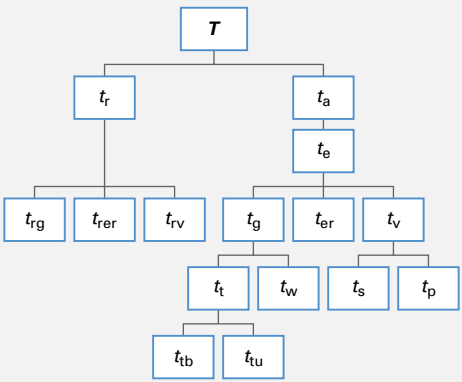
Durchlauf-, Auftrags- und Belegungszeit

Aufbau und Ermittlung der Durchlaufzeit



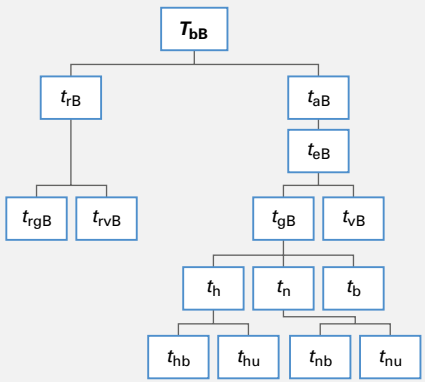
Bezeichnung		Berechnung
T_D	Durchlaufzeit	$T_D = t_{pS} + t_{zuS}$
t_{pS}	planmäßige Durchlaufzeit	$t_{pS} = t_{dS} + t_{zwS}$
t_{dS}	Durchführungszeit	$t_{dS} = t_{hS} + t_{nS}$
t_{hS}	Hauptdurchführungszeit	$t_{dS} = t_r + m \cdot t_e$
t_{nS}	Nebendurchführungszeit	$t_{zuS} = \frac{Z_{zuS} \cdot t_{pS}}{100\ \%}$
t_{zwS}	Zwischenzeit	
t_{zuS}	Zusatzzeit	
t_{SZ}	Zeit für zusätzliche Durchführung	
t_{SS}	Zeit für störungsbedingtes Unterbrechen	
Z_{zuS}	planmäßiger Durchlaufzeitenzuschlag in %	
m	Auftragsmenge	

Aufbau und Ermittlung der Auftragszeit



Bezeichnung		Berechnung
T	Auftragszeit	$T = t_r + t_a$
t_r	Rüstzeit	$t_r = t_{rg} + t_{rer} + t_{rv}$
t_{rg}	Rüstgrundzeit	
t_{rer}	Rüsterholzeit	$t_{rer} = \frac{z \cdot t_{rg}}{100\ \%}$
t_{rv}	Rüstverteilzeit	$t_{rv} = \frac{z \cdot t_{rg}}{100\ \%}$
t_a	Ausführungszeit	$t_a = m \cdot t_e$
t_e	Zeit je Einheit	$t_e = t_g + t_v + t_{er}$
t_g	Grundzeit	$t_g = t_t + t_w$
t_t	Tätigkeitszeit	$t_t = t_{tb} + t_{tu}$
t_{tb}	beeinflussbare Tätigkeitszeit	
t_{tu}	unbeeinflussbare Tätigkeitszeit	
t_w	Wartezeit	$t_{er} = \frac{z \cdot t_g}{100\ \%}$
t_{er}	Erholungszeit	
t_v	Verteilzeit	$t_v = \frac{z \cdot t_g}{100\ \%}$
t_s	sachliche Verteilzeit	
t_p	persönliche Verteilzeit	
z	Grundzeitzuschlag in %	
m	Auftragsmenge	

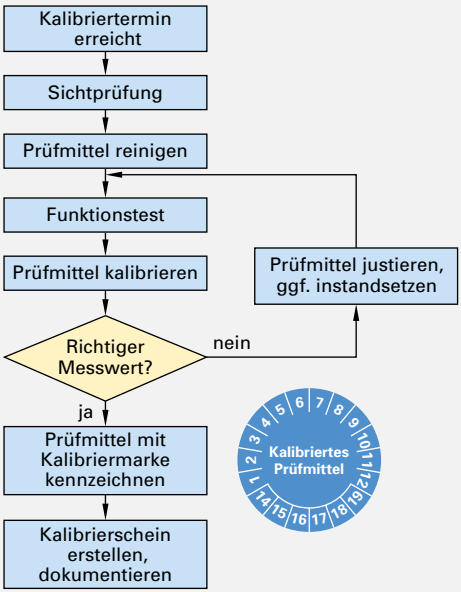
Aufbau und Ermittlung der Belegungszeit

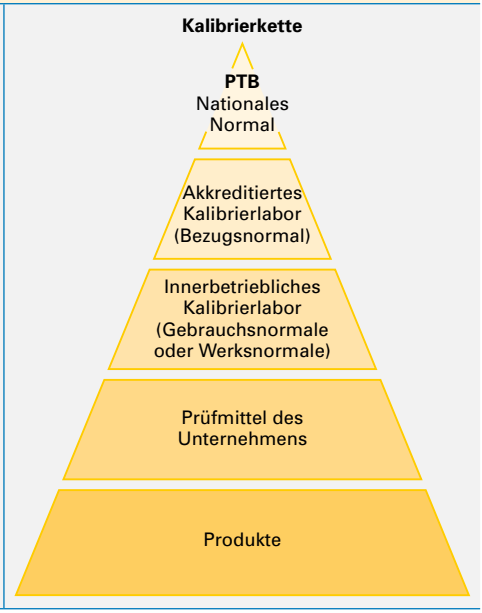


Bezeichnung		Berechnung
T_{bB}	Belegungszeit	$T_{bB} = t_{rB} + t_{aB}$
t_{rB}	Betriebsmittelrüstzeit	$t_r = t_{rgB} + t_{rvB}$
t_{rgB}	Betriebsmittelrüstgrundzeit	
t_{rvB}	Betriebsmittelrüstverteilzeit	$t_{rvB} = \frac{z \cdot t_{rgB}}{100\ \%}$
t_{aB}	Betriebsmittelausführungszeit	$t_{aB} = m \cdot t_{eB}$
t_{eB}	Betriebsmittelzeit je Einheit	$t_{eB} = t_{gB} + t_{vB}$
t_{gB}	Betriebsmittelgrundzeit	$t_{gB} = t_h + t_n + t_b$
t_h	Hauptnutzungszeit	$t_h = t_{hb} + t_{hu}$
t_{hb}	beeinflussbare Zeiten	
t_{hu}	unbeeinflussbare Zeiten	$t_h = t_{nb} + t_{nu}$
t_n	Nebennutzungszeit	
t_{nb}	beeinflussbare Zeiten	$t_{vB} = \frac{z \cdot t_{gB}}{100\ \%}$
t_{nu}	unbeeinflussbare Zeiten	
t_b	Brachzeit	
t_{vB}	Betriebsmittelverteilzeit	
z	Grundzeitzuschlag in %	
m	Auftragsmenge	

Prüfmittelmanagement, Prüfplan

Prüfmittelüberwachung





Bei allen Prüfmitteln, die in einem Unternehmen verwendet werden, muss sichergestellt sein, dass sie sich in einem einwandfreien Zustand befinden. Eine regelmäßige Überwachung sichert die Zuverlässigkeit der Prüfmittel. Das Kalibrieren und Justieren erfolgt durch den Vergleich mit einem Normal, das den Wert einer Messgröße repräsentiert. Dieses Normal wird mit Hilfe eines höherwertigen Normals kalibriert (Bezugsnormal), das sich wiederum auf ein nationales Normal bezieht. Die Physikalische Technische Bundesanstalt (PTB) bietet mit dem Wellenlängennormal die höchste Güte. Ziel der Kalibrierkette ist die Rückführung der Messmittel auf die Nationalen Normale.

Prüfplanerstellung

Als Basis für den Prüfplan dienen Zeichnungen und Arbeitspläne. Alle geforderten Prüfungen sind im Prüfplan dokumentiert. Im unten dargestellten Prüfplan wird dargestellt, wie die 8 Kriterien (was, wie, ...) eines Prüfplans umgesetzt werden können.

Prüfplan

Prüfplannummer:	010-125	Bezeichnung:	Kegelradwelle	
		Zeichnungsnummer:	20-1870	
Datum:	16.06.2014	Prüfer:	Weiss / Maier	

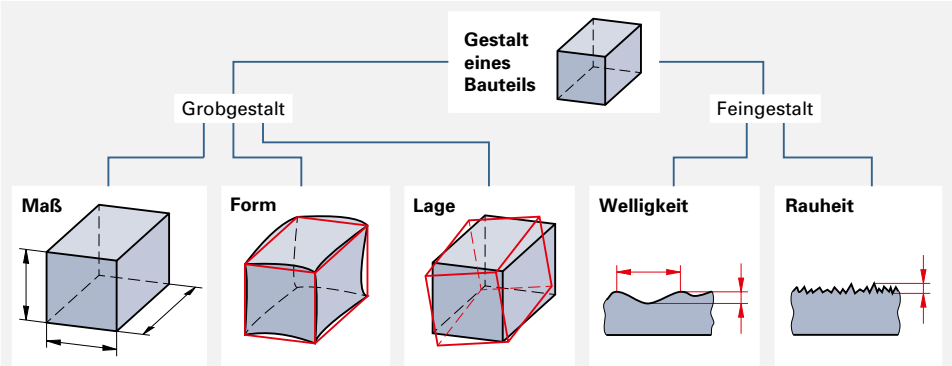
WAS			WIE		WOMIT	WIE VIEL	WANN	WER	WO	DOKU
Prüfmerkmal	Maßangabe nach Zeichnung	Grenzabmaße in mm	Prüfmethode quantitativ	Prüfmethode qualitativ	Prüfmittel	Prüfumfang	Prüfzeitpunkt	Prüfer	Prüfort	Prüfdokumentation
Durchmesser 40	40 k6	0,018 0,002		X	Bügelmessschraube	100 %-Prüfung	dauernd	Maschinenbediener	direkt an Maschine	Prüfprotokoll
Oberfläche am Durchmesser 40	Rz 6,3	0,0063 0		X	Tastschnittgerät	SPC 5 Teile je 25	Zwischenprüfung	QM-Fachmann	Prüflabor	Regelkarte
Rundlauf	0,02	0,02 zu A-B		X	Formmessgerät	60 pro Los	Endprüfung	QM-Fachmann	Prüflabor	Prüfprotokoll

Geometrische Messtechnik

Grundlagen – Begriffe

vgl. DIN 1319

Werkstückgestalt: Geometrische Ausprägung des Werkstückes. Setzt sich zusammen aus Grobgestalt (Maß, Form und Lage der Geometrieelemente) und Feingestalt (Welligkeit und Rauheit).



Messgrößen der geometrischen Messtechnik

Länge (Einheit Meter) und Winkel (Einheiten: Winkelgrad, Radiant), **Längeneinheit** 1 m ist die Strecke, die Licht im Vakuum in 1/299 792 458 s zurücklegt. **Winkeleinheiten:** 1 Grad (°) ist 1 /360 eines Vollkreises, 1 Radiant ist der Winkel, den ein Bogen einschließt, bei dem der Radius gleich der Bogenlänge ist (1 rad = 1 m/m ≈ 57,3°.)

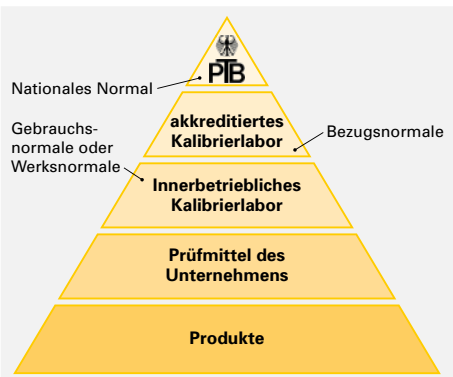
Prüfen = Vergleichen einer Eigenschaft eines Gegenstands mit der erwarteten Eigenschaft (z. B. Maß, Farbe). Das Vergleichen kann durch Messen oder durch Lehren erfolgen.

Messen = zahlenmäßiges **Vergleichen** einer bekannten Größe mit der zu messenden Größe. In der geometrischen Messtechnik verwendet man dazu Messgeräte wir z. B. Messschieber, Messschrauben oder Koordinatenmessgeräte. Daraus folgt ein Messergebnis, das mit Messabweichungen behaftet ist. **Lehren** = Feststellen, ob das Maß des Werkstücks innerhalb der Toleranzgrenzen liegt. Der Betrag der Abweichung wird nicht festgestellt. Beispiele: Lehrring, Lehrdorn, Rachenlehren. **Wahrer Wert x_w:** tatsächliche Größe des Messobjektes, ideeller Wert, nicht genau bekannt, Ziel der Messung.

Richtiger Wert x_r: mit ausreichend kleiner Unsicherheit bekannte Größe. **Istwert einer Messung x_a** = am Messgerät abgelesener Wert. **Messabweichung** = Differenz des Istwertes x_a und des wahren Wertes x_w bzw. $x_r \cdot \Delta x = x_a - x_r$. **Systematische Messabweichungen** sind unter konstanten Bedingungen reproduzierbar, **zufällige Messabweichungen** erzeugen einen Streubereich (oft normalverteilt). **Vollständiges Messergebnis:** Schätzwert für den wahren Wert mit Angabe einer Messunsicherheit. In der Praxis: Um die bekannten systematischen Abweichungen korrigierter Istwert mit Messunsicherheit. **Kalibrieren:** Feststellen der Abweichungen eines Messgerätes (mit ausreichend genau bekanntem Normal), nicht zu verwechseln mit dem **Eichen:** Amtliche Prüfung von Messgeräten auf Einhaltung gesetzlicher Vorgaben → Aufgabe des Eichamtes.

Q

Die Darstellung des Meters in der Bundesrepublick erfolgt durch die **Physikalisch-Technische Bundesanstalt** (PTB) in Braunschweig. Alle Prüfmittel, die sich auf die Produktqualität auswirken, müssen auf nationale Normale rückführbar sein. Dies erfolgt üblicherweise über mehrere Vergleichsstufen.



Ablauf einer Messung: Eindeutige Festlegung der Messgröße und der Maßeinheit, Definition der Messbedingungen (z. B. Temperatur), Festlegung des Messgerätes, Kalibrierung des Messgerätes, Durchführen der Messung, Einflussgrößen berücksichtigen, vollständiges Messergebnis angeben.

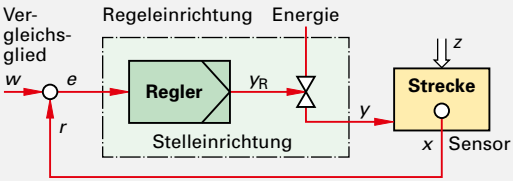
Bezugstemperatur: 20 °C. **„Goldene Regel der Messtechnik“:** Die Messunsicherheit des Messgerätes sollte 1/10 der zu prüfenden Toleranz nicht überschreiten.

Regelungstechnik

Regelkreise

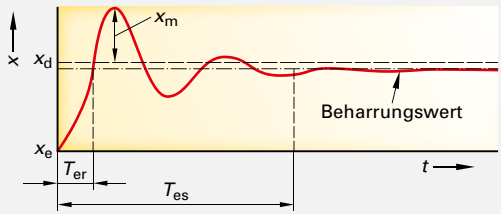
vgl. DIN 19226, DIN 19227

Prinzip eines Regelkreises



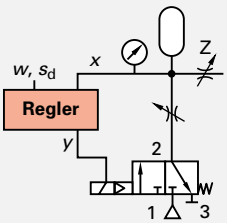
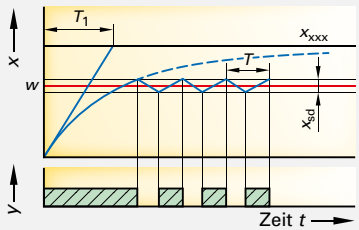
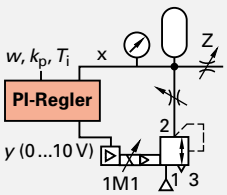
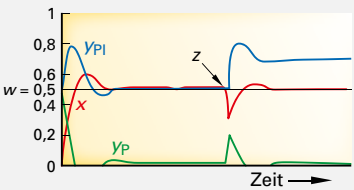
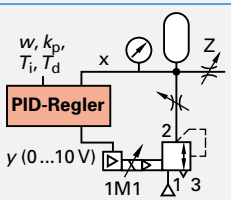
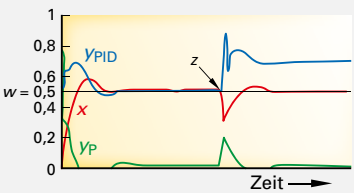
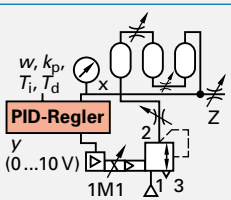
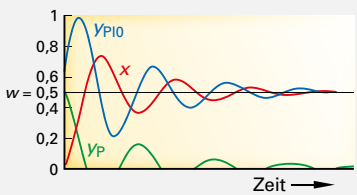
w Sollwert
x Regelgröße
e Regeldifferenz
y Stellgröße
z Störgröße

Sprungantwort eines Regelsystems



X_d Sollwert
X_m Überschwingweite
T_{er} Anregelzeit
T_{es} Ausregelzeit
t Zeit

Beispiel für Regelkreise

Regler	Regelkreis	Sprungantwort	Anwendungs-beispiele
Zweipunktregler mit PT1-Strecke			Druckregelung, Temperatur-regelung
PI-Regler mit PT1-Strecke **Störgrößen-aufschaltung nach der Ausregelzeit**			Drehzahlrege-lung, Druckregelung, Temperatur-regelung
PID-Regler mit PT1-Strecke **Störgrößen-aufschaltung nach der Ausregelzeit**			Drehzahlrege-lung, Druckregelung, Temperatur-regelung
PID-Regler mit PT3-Strecke			Druckregelung, Temperatur-regelung