

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	15
<b>1 Theorie der spanenden Formung</b> .....	17
<b>1.1 Begriffe der spanenden Formung</b> .....	17
1.1.0 Grundlagen .....	17
1.1.1 Kinematik und Geometrie des Spanungsvorgangs .....	19
1.1.1.1 Bewegungen zwischen Werkzeugschneide und Werkstück .....	20
1.1.1.2 Richtungen der Bewegungen (Bewegungsrichtungen) .....	21
1.1.1.3 Wege des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück .....	22
1.1.1.4 Geschwindigkeiten .....	22
1.1.1.5 Komponenten der Bewegungen, Richtungen, Wege und Geschwindigkeiten .....	23
1.1.1.6 Hilfsbegriffe .....	23
1.1.1.7 Flächen am Werkstück .....	25
1.1.1.8 Vorschubgrößen .....	25
1.1.1.9 Eingriffsgrößen .....	26
1.1.1.10 Spanungsgrößen .....	28
1.1.2 Geometrie am Schneideteil spanender Werkzeuge .....	31
1.1.2.1 Allgemeine Begriffe .....	32
1.1.2.2 Flächen, Schneiden, Ecken und Rundungen .....	33
1.1.2.3 Werkzeug-Bezugssystem und Werkzeugwinkel .....	34
1.1.2.4 Wirk-Bezugssystem und Wirkwinkel .....	37
1.1.3 Kräfte, Energie, Arbeit und Leistungen .....	39
1.1.3.1 Kräfte beim Spanen .....	39
1.1.3.2 Energie und Arbeit beim Spanen .....	42
1.1.3.3 Leistungen beim Spanen .....	43
1.1.4 Standbegriffe und Werkzeugverschleiß .....	44
1.1.4.1 Standbegriffe .....	44
1.1.4.2 Werkzeugverschleiß .....	46
<b>1.2 Vorgänge bei der Spanbildung</b> .....	48
1.2.1 Mechanik der Spanbildung .....	48
1.2.1.1 Plastizitätsmechanische Theorie der Spanbildung .....	48
1.2.1.2 Scherwinkelbeziehungen .....	49
1.2.1.3 Spanstauchung .....	50
1.2.1.4 Geschwindigkeitsverhältnisse .....	51
1.2.1.5 Kräfteverhältnisse .....	52

1.2.2	Spanarten und Spanformen . . . . .	54
1.2.2.1	Spanarten . . . . .	54
1.2.2.2	Spanformen . . . . .	57
1.2.3	Auswirkungen des Spanbildungsprozesses . . . . .	59
1.3	<b>Schneidstoffe und ihre Anwendung</b> . . . . .	60
1.3.0	Allgemeine Betrachtungen . . . . .	60
1.3.1	Werkzeugstähle, unlegiert und legiert . . . . .	64
1.3.2	Schnellarbeitsstähle . . . . .	64
1.3.3	Gegossene Hartlegierungen . . . . .	67
1.3.4	Hartmetalle (Sinterhartmetalle) . . . . .	68
1.3.5	Schneidkeramik . . . . .	72
1.3.5.1	Eigenschaften . . . . .	72
1.3.5.2	Anwendung und Einsatz . . . . .	74
1.3.6	Superharte Schneidstoffe (Diamant, Bornitrid) . . . . .	75
1.3.7	Schleifmittel . . . . .	77
1.4	<b>Temperatur, Verschleiß und Standzeit</b> . . . . .	79
1.4.1	Spanungstemperatur . . . . .	79
1.4.2	Verschleißursachen . . . . .	81
1.4.3	Verschleißarten . . . . .	82
1.4.4	Auswirkungen des Verschleißes . . . . .	83
1.4.5	Verschleißkriterien . . . . .	83
1.4.6	Standzeit . . . . .	84
1.4.6.1	Definition des Standzeitbegriffs . . . . .	84
1.4.6.2	Standzeitdiagramm und Einflussgrößen auf die Standzeit . . . . .	84
1.4.6.3	Standzeitgleichung . . . . .	88
1.5	<b>Schnittkraft und Leistung</b> . . . . .	90
1.5.1	Zerspankraft und ihre Komponenten . . . . .	90
1.5.2	Schnittkraft und spezifische Schnittkraft . . . . .	91
1.5.3	Einflussgrößen auf Schnittkraft und spezifische Schnittkraft . . . . .	91
1.5.4	Berechnung der Schnittkraft . . . . .	96
1.5.5	Vorschub- und Passivkraft . . . . .	100
1.5.5.1	Einflussgrößen . . . . .	100
1.5.5.2	Berechnung der Vorschub- und Passivkraft . . . . .	101
1.5.5.3	Berechnung der Schnittkraft im Gebiet der spanenden Feinbearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide . . . . .	102
1.5.6	Leistung . . . . .	106
1.5.7	Zeitspanvolumen und spezifisches Spanvolumen . . . . .	106
1.5.8	Maschinenauslastung . . . . .	107
1.5.9	Energieaufwand . . . . .	109
1.5.10	Schnittwertoptimierung . . . . .	113
1.6	<b>Oberflächenqualität</b> . . . . .	114
1.6.1	Oberflächengestalt . . . . .	114

1.6.2	Oberflächenbeschaffenheit . . . . .	119
1.6.3	Oberflächenverhalten . . . . .	121
<b>1.7</b>	<b>Spanbarkeit und Spanbarkeitsprüfung von Stahlwerkstoffen</b> . . . . .	<b>123</b>
<b>1.8</b>	<b>Kühlschmierstoffe</b> . . . . .	<b>127</b>
1.8.1	Eigenschaften und Anwendung . . . . .	127
1.8.2	Auswirkungen der Kühlschmierstoffe auf Standzeit, Oberflächenqualität und Schnittkräfte . . . . .	130
1.8.3	Auswahl von Kühlschmierstoffen . . . . .	131
<b>1.9</b>	<b>Probleme der Nass- und Trockenbearbeitung</b> . . . . .	<b>133</b>
1.9.1	Vorbetrachtungen . . . . .	133
1.9.2	Zusammengefasste Vorteile und Nachteile der Nass- und Trockenbearbeitung . . . . .	134
1.9.3	Darstellung der Möglichkeiten der Trockenbearbeitung . . . . .	137
1.9.4	Trockenbearbeitung unter Einsatz beschichteter HSS-, Hartmetall- und Keramikwerkzeuge . . . . .	139
<b>1.10</b>	<b>Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (HSC – High-speed-cutting)</b> . . . . .	<b>144</b>
1.10.1	Grundsätzliches zur HSC . . . . .	144
1.10.2	Praktische Realisierung der HSC . . . . .	145
<b>2</b>	<b>Berechnung</b> . . . . .	<b>153</b>
<b>2.1</b>	<b>Drehen</b> . . . . .	<b>153</b>
2.1.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung . . . . .	153
2.1.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge . . . . .	153
2.1.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen . . . . .	154
2.1.2	Berechnung der Hauptzeit . . . . .	155
2.1.2.1	Langdrehen . . . . .	155
2.1.2.2	Gewindedrehen . . . . .	156
2.1.2.3	Kegeldrehen . . . . .	157
2.1.2.4	Plandrehen . . . . .	159
2.1.2.5	Planringdrehen . . . . .	161
2.1.2.6	Nachformdrehen . . . . .	162
2.1.2.7	Drehen auf Automaten . . . . .	165
2.1.3	Berechnungsbeispiel . . . . .	166
<b>2.2</b>	<b>Hobeln und Stoßen</b> . . . . .	<b>168</b>
2.2.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung . . . . .	168
2.2.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge . . . . .	168
2.2.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen . . . . .	168
2.2.2	Berechnung der Hauptzeit . . . . .	169
2.2.3	Berechnungsbeispiel . . . . .	170
<b>2.3</b>	<b>Fräsen</b> . . . . .	<b>172</b>
2.3.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung . . . . .	172
2.3.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge . . . . .	172
2.3.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen . . . . .	178

---

2.3.2	Berechnung der Hauptzeit . . . . .	181
2.3.2.1	Umfangsfräsen . . . . .	181
2.3.2.2	Stirnfräsen . . . . .	182
2.3.2.3	Nutenfräsen auf Nutenfräsmaschinen . . . . .	184
2.3.2.4	Gewindefräsen . . . . .	185
2.3.3	Berechnungsbeispiele . . . . .	187
2.3.3.1	Stirnfräsen . . . . .	187
2.3.3.2	Umfangsfräsen . . . . .	190
2.4	<b>Bohren, Senken, Reiben . . . . .</b>	192
2.4.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung . . . . .	192
2.4.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge . . . . .	192
2.4.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen . . . . .	198
2.4.2	Berechnung der Hauptzeit . . . . .	200
2.4.2.1	Bohren und Aufbohren mit Spiralbohrer . . . . .	200
2.4.2.2	Senken und Reiben . . . . .	202
2.4.3	Berechnungsbeispiel . . . . .	202
2.5	<b>Sägen . . . . .</b>	203
2.5.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung . . . . .	203
2.5.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge . . . . .	203
2.5.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen . . . . .	206
2.5.2	Berechnung der Hauptzeit . . . . .	207
2.5.3	Berechnungsbeispiel . . . . .	207
2.6	<b>Räumen . . . . .</b>	208
2.6.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung . . . . .	208
2.6.2	Berechnung der Teilung des Räumwerkzeugs . . . . .	209
2.6.2.1	Berücksichtigung der Aufnahmefähigkeit des Spanraums . . . . .	210
2.6.2.2	Berücksichtigung der Zug- oder Druckkraft der Maschine . . . . .	210
2.6.2.3	Berücksichtigung der Festigkeit des Räumwerkzeugs . . . . .	211
2.6.2.4	Weitere Größen der Zahnung am Räumwerkzeug . . . . .	212
2.6.3	Zusammenstellung der Gleichungen . . . . .	213
2.6.4	Berechnung der Hauptzeit . . . . .	214
2.6.5	Berechnungsbeispiel . . . . .	215
2.7	<b>Schleifen . . . . .</b>	218
2.7.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung beim Schleifen . . . . .	218
2.7.2	Berechnung der Hauptzeit . . . . .	221
2.7.2.1	Rundschleifen . . . . .	221
2.7.2.2	Flächschleifen . . . . .	223
2.7.3	Berechnungsbeispiel . . . . .	225
2.8	<b>Zahnradbearbeitung . . . . .</b>	227
2.8.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung . . . . .	227
2.8.1.1	Wälzfräsen (gerad- und schrägverzahnte Stirnräder) . . . . .	227
2.8.1.2	Wälzstoßen (geradverzahnte Stirnräder) . . . . .	229

2.8.1.3	Zahnflankenschleifen (geradverzahnte Stirnräder) . . . . .	229
2.8.1.4	Berechnungsbeispiele . . . . .	230
2.8.2	Berechnung der Hauptzeit – Verfahrensüberblick . . . . .	232
2.8.2.1	Stirnradbearbeitung . . . . .	232
2.8.2.2	Bearbeitung von Schneckentrieben . . . . .	245
2.8.2.3	Kegelradbearbeitung . . . . .	252
2.8.2.4	Berechnungsbeispiele . . . . .	259
2.8.3	Anmerkungen zu den Verzahnungsverfahren . . . . .	264
2.9	<b>Feinbearbeitungsverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide</b> . . . . .	265
2.9.1	Honen . . . . .	266
2.9.1.1	Verfahrenseinführung . . . . .	266
2.9.1.2	Genauigkeit beim Honen . . . . .	267
2.9.1.3	Werkstück und Fertigungsergebnis . . . . .	267
2.9.1.4	Werkzeug und Fertigungsergebnis . . . . .	268
2.9.1.5	Werkzeugmaschine und Fertigungsergebnis . . . . .	270
2.9.1.6	Wirtschaftlichkeit und Entwicklungstendenzen . . . . .	272
2.9.2	Superfinish . . . . .	272
2.9.2.1	Verfahrenseinführung . . . . .	272
2.9.2.2	Genauigkeit beim Superfinish . . . . .	273
2.9.2.3	Werkstück und Fertigungsergebnis . . . . .	274
2.9.2.4	Werkzeug und Fertigungsergebnis . . . . .	275
2.9.2.5	Werkzeugmaschine und Fertigungsergebnis . . . . .	276
2.9.2.6	Wirtschaftlichkeit . . . . .	278
2.9.3	Läppen . . . . .	279
2.9.3.1	Verfahrenseinführung . . . . .	279
2.9.3.2	Genauigkeit beim Läppen . . . . .	283
2.9.3.3	Verfahren und Werkzeugmaschinen . . . . .	284
2.9.3.4	Entwicklungstendenzen . . . . .	290
<b>3</b>	<b>Richtwerte</b> . . . . .	291
3.1	<b>Spezifische Schnittkräfte, Korrektur- und Verfahrensfaktoren</b> (Tabellen 3.1 und 3.2) . . . . .	291
3.2	Drehen (Tabellen 3.3 bis 3.19) . . . . .	295
3.3	Hobeln und Stoßen (Tabellen 3.20 und 3.21) . . . . .	312
3.4	Fräsen (Tabellen 3.22 bis 3.45) . . . . .	313
3.5	Bohren, Senken, Reiben (Tabellen 3.46 bis 3.63) . . . . .	329
3.6	Sägen (Tabellen 3.64 und 3.65) . . . . .	339
3.7	Räumen (Tabellen 3.66 bis 3.68) . . . . .	340
3.8	Schleifen (Tabellen 3.69 bis 3.76) . . . . .	341
3.9	Zahnradbearbeitung (Tabellen 3.77 bis 3.87) . . . . .	346
3.10	<b>Bearbeitung von Sonderwerkstoffen</b> . . . . .	351
3.10.1	Spanende Bearbeitung von Kunststoffen (Tabellen 3.88 bis 3.96) . . . . .	351
3.10.2	Spanende Bearbeitung von hoch legierten Stählen (Tabellen 3.97 bis 3.109) . . . . .	360

---

3.10.3 Spanen von Titan und Titanlegierungen (Tabellen 3.110 bis 3.112) .....	366
3.10.4 Spanen von partikelverstärktem Aluminium .....	369
<b>3.11 Werkstoffe .....</b>	<b>370</b>
3.11.1 Werkstoffgruppen (Tabellen 3.113 und 3.114) .....	370
3.11.2 Gegenüberstellung von alter (DIN) und neuer (Euro-Norm) Werkstoffbezeichnung .....	373
<b>3.12 Schneidstoffe .....</b>	<b>377</b>
3.12.1 Schnellarbeitsstahl (Tabellen 3.116 bis 3.118) .....	377
3.12.2 Hartmetall (Tabellen 3.119 und 3.120) .....	379
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>382</b>
Weiterführende Literatur .....	391
Normen und Richtlinien .....	392
<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>405</b>