

Jochen Dietrich  
Arndt Richter

# Praxis der Zerspantechnik

Verfahren, Prozesse, Werkzeuge

*13. Auflage*

 Springer Vieweg

---

# Praxis der Zerspantechnik

---

Jochen Dietrich · Arndt Richter

# Praxis der Zerspantechnik

Verfahren, Prozesse, Werkzeuge

13. überarbeitete und ergänzte Auflage

 Springer Vieweg

Jochen Dietrich  
University of Applied Sciences Dresden/Hoch-  
schule für Technik und Wirtschaft  
Dresden, Deutschland

Arndt Richter  
EXAPT Systemtechnik GmbH Aachen  
Dresden, Deutschland

ISBN 978-3-658-30966-4  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-30967-1>

ISBN 978-3-658-30967-1 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

Ab der 4. Auflage erschien das Buch im Vieweg Verlag unter dem Titel „Praxiswissen Zerspantechnik“, seit der 6. Auflage im Jahr 2002 unter dem Titel „Praxis der Zerspantechnik“. Der Begründer und langjährige Autor des Werkes, Prof. Dr.-Ing. E.h. Heinz Tschätsch, wurde bis zur 11. Auflage als weiterer Autor genannt.

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 1997, 1999, 2002, 2005, 2007, 2008, 2011, 2014, 2016, 2020

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

---

# Vorwort

Die Zerspantechnik oder die spanende Formgebung, wie Prof. Tschätsch in der ersten Auflage dieses Fachbuches 1988 im Hoppenstedt Verlag titelte, stellt in der Fertigungstechnik durch ihren erheblichen Anteil an der Wertschöpfung in der industriellen Fertigung einen bedeutenden Schwerpunkt dar.

Prof. Tschätsch war einer der ersten Absolventen der „Dresdner Schule der Fertigungstechnik“ (DSF), die Prof. Alfred Richter an der traditionsreichen 1828 als Technische Bildungsanstalt gegründeten jetzigen TU Dresden ab 1954 als akademisches Zentrum der Fertigungstechnik entwickelte. So ist die beispielhafte Behandlung der Spanbildungsvorgänge und der Zerspankraftermittlung am Beispiel des Drehens und exemplarische Übertragung auf andere spanende Verfahren, die Bedeutung der Schneidstoffe und der Bearbeitungsgeschwindigkeiten charakteristisch für diese Schule. Prof. Tschätsch hat darauf aufbauend in all seinen Lehr- und Fachbüchern zur Fertigungstechnik diese im Studium erworbenen Grundlagen seiner Ausbildung eigenständig ausgebaut.

Nach der Rückkehr in seine sächsische Heimat 1993 hat er sich maßgebend in die richtungsweisende Entwicklung der sächsischen Fachhochschullandschaft eingebracht, was auch mit einem Dr.-Ing. E.h. gewürdigt wurde.

Beginnend mit der 6. Auflage hat er den wissenschaftlichen Ansatz seines Lehrers, die Fertigungsverfahren im Prozesszusammenhang zu betrachten, durch die Öffnung dieses Fachbuches für die neuesten Entwicklungen wie Hochgeschwindigkeitsbearbeitung, hybride Verfahren, Verfahrenskombinationen (Spanen und Umformen) und das Abtragen weitergeführt.

Visionär kann man die Publizierung eines Musterpraktikums „Räumen“ auf einer dem Buch beigelegten CD-ROM im Jahr 2002 bezeichnen.

Der Springer Vieweg Verlag hat sich entschlossen in Anbetracht der schnell voranschreitenden Digitalisierung der Industrie und der damit verbundenen zunehmenden Umstellung der Ingenieurausbildung auf digitale Formen, diese Inhalte wieder auf dem Server unter folgendem Link <https://www.springer.com/gp/book/9783658309664> zur Verfügung zu stellen, so dass auch andere Hochschulen und berufsbildende Einrichtungen dies als Vorlage und als Anregung für zusätzliche Praktikumsangebote nutzen können. Durch das mit der 12. Auflage parallel publizierte eBook hat sich eine exponentielle Nutzung der

Inhalte, die von unabhängigen Quellen ermittelten Download-Zahlen bewegen sich im 6-stelligen Bereich, ergeben.

Verlagsseitige Restriktionen für die Printausgabe bedingen eine Auslagerung folgender Inhalte der 12. Auflage auf o. gen. Link: Kapitel 9 Sägen, ISO-Normen und VDI-Richtlinien.

Mit der Aufnahme von zwei neuen Kapiteln zur Produktionsdatenorganisation und zu CAD/CAM wird der Inhalt dieses Fachbuches weiter geöffnet und der aktuelle Entwicklungsstand der modernen Produktion hin zur durchgehenden Digitalisierung der Produktion (Industrie 4.0) konsequent im Sinne der Dresdner Schule der Fertigungstechnik umgesetzt.

Die in den einzelnen Grundlagen-Kapiteln enthaltenen Berechnungsaufgaben beziehen sich immer auf die dem Buch beigelegten Richtwerttabellen. Es wird dem kreativen Nutzer empfohlen, die in den Kapiteln 14, 15 und 16 genutzten betrieblichen und überbetrieblichen Datenspeicher der Werkzeughersteller und Anbieter von Werkzeugmaschinen alternativ für die Berechnungen zu nutzen und so auch den Entwicklungsfortschritt zu erkennen. Prof. Alfred Richter auch anerkennend „Spänerichter“ genannt, hat seine Studenten und Mitarbeiter in Anlehnung an Schlesinger mit den Worten: „Das Werkzeug bestimmt die Effektivität der Fertigung...“ auf den auch heute noch zutreffenden Zusammenhang zwischen leistungsfähigen Schneidstoffen und Werkzeugen auf die Konkurrenzfähigkeit der Fertigungsindustrie hingewiesen.

Großen Dank möchte ich an dieser Stelle Prof. Arndt Richter von der HTW Dresden als Co-Autor für die neuen Inhalte zur Digitalisierung der Produktion aussprechen.

Auch diese 13. Auflage, wie so viele vorher, wurde in enger vertrauensvollen Zusammenarbeit mit dem Lektor, Herrn Dipl.-Ing. Thomas Zipsner gestaltet, dem wir beide hiermit herzlich danken und einen guten zweiten Lebensabschnitt wünschen.

Dresden  
Mai 2020

Jochen Dietrich

## Begriffe, Formelzeichen und Einheiten

Größe	Formelzeichen	Einheit
Schnitttiefe bzw. Schnittbreite	$a_p$	mm
Arbeitseingriff	$a_e$	mm
Spanungsdicke	$h$	mm
Mittenspanndicke	$h_m$	mm
Spanungsbreite	$b$	mm
Spanungsquerschnitt	$A$	mm <sup>2</sup>
Vorschub pro Schneide	$f_z$	mm
Vorschub pro Umdrehung	$f$	mm
Anzahl der Schneiden	$z_E$	–
Drehzahl	$n$	min <sup>-1</sup>
Vorschubgeschwindigkeit	$v_f$	mm/min
Vorschubgeschwindigkeit (tangential)	$v_t$	mm/min
Schnittgeschwindigkeit	$v_c$	m/min
Schnittgeschwindigkeit beim Drehen für $f = 1 \text{ mm/U}$ , $a_p = 1 \text{ mm}$ , $T = 1 \text{ min}$	$v_{c1.1.1}$	m/min
Spezifische Schnittkraft bezogen auf $h = 1 \text{ mm}$ , $b = 1 \text{ mm}$	$k_{c1.1}$	N/mm <sup>2</sup>
Spezifische Schnittkraft	$k_c$	N/mm <sup>2</sup>
Werkstoffkonstante (Exponent)	$z$	–
Resultierende Zerspankraft	$F$	N
Vorschubkraft	$F_f$	N
Passivkraft	$F_p$	N
Hauptschnittkraft	$F_c$	N
Drehmoment	$M$	Nm
Wirkleistung	$P_c$	kW
Schnittleistung	$P_c$	kW
Vorschubleistung	$P_f$	kW
Maschinenantriebsleistung	$P$	kW
Maschinenwirkungsgrad	$\eta$	–
Standzeit (Drehen)	$T$	min
Standweg (Bohren, Fräsen)	$l$	m

Größe	Formelzeichen	Einheit
Werkstoffvolumen	$Q_w$	mm <sup>3</sup> /min
Spanvolumen (Volumen der ungeordneten Spanmenge)	$Q_{sp}$	mm <sup>3</sup> /min
Spanraumzahl	$R$	–
Rautiefe	$R_t$	μm
gemittelte Rautiefe	$R_z$	μm
arithmetischer Mittenrauwert	$R_a$	μm
Spitzenradius am Drehstahl	$r$	mm
Hauptzeit	$t_h$	min
Werkstücklänge	$l$	mm
Anlaufweg	$l_a$	mm
Überlaufweg	$l_u$	mm
Gesamtweg	$L$	mm
Fräserdurchmesser	$D$	mm
Schleifscheibendurchmesser	$D_s$	mm
Bohrer- bzw. Werkstückdurchmesser	$d$	mm
Spanwinkel	$\gamma$	° (Grad)
Freiwinkel	$\alpha$	° (Grad)
Keilwinkel	$\beta$	° (Grad)
Einstellwinkel	$\chi$	° (Grad)
Neigungswinkel	$\lambda$	° (Grad)
Spitzenwinkel (Bohrer)	$\sigma$	° (Grad)
Vorschubrichtungswinkel (Fräsen)	$\varphi$	° (Grad)
Öffnungswinkel (Drehen)		
Wirkrichtungswinkel	$\eta$	° (Grad)
Fasenfrewinkel	$\alpha_f$	° (Grad)
Fasenspanwinkel	$\gamma_f$	° (Grad)

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Zerspanung am Beispiel Drehen</b> . . . . .	<b>5</b>
2.1	Flächen, Schneiden und Ecken am Schneidkeil nach DIN 6581 . . . . .	5
2.2	Bezugsebenen . . . . .	6
2.3	Winkel am Schneidkeil . . . . .	7
2.3.1	Winkel, die in der Werkzeugbezugsebene gemessen werden (Abb. 2.3) . . . . .	7
2.3.2	Winkel, der in der Schneidenebene gemessen wird Neigungswinkel $\lambda$ (Abb. 2.4) . . . . .	7
2.3.3	Winkel, die in der Keilmessebene gemessen werden (Abb. 2.5) . . . . .	7
2.4	Einfluss der Winkel auf den Zerspanvorgang . . . . .	9
2.5	Spanungsgrößen . . . . .	16
2.5.1	Spanungsbreite $b$ . . . . .	16
2.5.2	Spanungsdicke $h$ . . . . .	16
2.5.3	Spanungsquerschnitt $A$ . . . . .	17
2.6	Zerspanungskräfte und ihre Entstehung . . . . .	17
2.6.1	Entstehung der Kräfte . . . . .	17
2.6.2	Spezifische Schnittkraft $k_c$ und ihre Einflussgrößen . . . . .	18
2.6.3	Hauptschnittkraft $F_c$ . . . . .	21
2.7	Leistungsberechnung . . . . .	22
2.7.1	Zerspanungsleistung $P_c$ aus der Hauptschnittkraft . . . . .	22
2.7.2	Maschinen-Antriebsleistung $P$ . . . . .	24
2.8	Testfragen zum Kapitel 2 . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Standzeit <math>T</math></b> . . . . .	<b>25</b>
3.1	Definition . . . . .	25
3.2	Einflüsse auf die Standzeit . . . . .	25
3.2.1	Werkzeugverschleiß . . . . .	25
3.2.2	Schnittgeschwindigkeit . . . . .	29
3.2.3	Werkstückstoff . . . . .	29

3.2.4	Schneidstoff	29
3.2.5	Schneidenform	29
3.2.6	Oberfläche	30
3.2.7	Steife	30
3.2.8	Spannungsquerschnitt	30
3.3	Berechnung und Darstellung der Standzeit	30
3.4	Größe der Standzeit und Zuordnung der Schnittgeschwindigkeit	32
3.5	Testfragen zum Kapitel 3	32
<b>4</b>	<b>Werkzeug- und Maschinen-Gerade</b>	<b>35</b>
4.1	Werkzeug-Gerade	35
4.2	Maschinen-Gerade	37
4.3	Optimaler Arbeitsbereich	39
4.4	Testfragen zum Kapitel 4	40
<b>5</b>	<b>Spanvolumen und Spanraumzahl</b>	<b>41</b>
5.1	Spanvolumen	41
5.2	Spanformen	42
5.2.1	Transportfähigkeit	42
5.2.2	Gefahr für den Menschen an der Maschine	42
5.3	Spanraumzahlen	43
5.4	Testfragen zum Kapitel 5	44
<b>6</b>	<b>Schneidstoffe</b>	<b>45</b>
6.1	Werkzeugstähle	45
6.2	Schnellarbeitsstähle	46
6.3	Hartmetalle	47
6.4	Schneidkeramik	52
6.5	Schneiddiamanten	53
6.6	Kubisches Bornitrid	56
6.7	Vergleich der Schneidstoffe	57
6.8	Testfragen zum Kapitel 6	59
<b>7</b>	<b>Drehen</b>	<b>61</b>
7.1	Definition	61
7.2	Drehverfahren	61
7.2.1	Langdrehen	62
7.2.2	Plandrehen	62
7.2.3	Stechen (Stechdrehen)	62
7.2.4	Profildrehen	65
7.2.5	Kegeldrehen	66
7.2.6	Gewindedrehen	67
7.2.7	Formdrehen	68

7.2.8	Verfahrenskombination Spanen – Umformen	74
7.2.9	Verfahrenskombination Hartdrehen und Schleifen	78
7.3	Erreichbare Genauigkeiten beim Drehen	83
7.3.1	Maßgenauigkeiten	83
7.3.2	Oberflächenrauigkeit	83
7.4	Spannelemente	84
7.4.1	Werkstückspannung	84
7.4.2	Spannelemente zum Spannen der Werkzeuge	90
7.5	Kraft- und Leistungsberechnung	95
7.6	Bestimmung der Hauptzeit $t_h$	97
7.6.1	Langdrehen	97
7.6.2	Plandrehen	98
7.6.3	Gewindedrehen	99
7.7	Bestimmung der Zykluszeit	100
7.8	Drehwerkzeuge	101
7.8.1	Ausbildung des Schneidenkopfes	101
7.8.2	Klemmhalter	102
7.8.3	Drehwerkzeuge zum Stechdrehen	107
7.8.4	Drehwerkzeuge zum Gewindedrehen	107
7.8.5	Profildrehmeißel	110
7.8.6	Werkzeuge zum Kopieren und Formdrehen	110
7.8.7	Spanformstufen	111
7.8.8	Fasen am Drehmeißel	113
7.9	Fehler beim Drehen	115
7.9.1	Werkzeugfehler	115
7.9.2	Werkstückfehler	116
7.10	Richtwerttabellen	117
7.11	Berechnungsbeispiele	124
7.12	Testfragen zum Kapitel 7	126
<b>8</b>	<b>Bohren</b>	<b>129</b>
8.1	Definition	129
8.2	Bohrverfahren	129
8.2.1	Bohren ins Volle	129
8.2.2	Aufbohren – Ausdrehen	130
8.2.3	Senken	133
8.2.4	Reiben	133
8.2.5	Gewindeschneiden mit Gewindeschneidbohrern	134
8.3	Erzeugung und Aufgaben der Bohrungen	134
8.3.1	Grund- oder Sacklochbohrung	134
8.3.2	Durchgangsbohrung	134
8.3.3	Kegelige Bohrung	135

8.3.4	Senkbohrung	135
8.3.5	Gewindebohrung	135
8.4	Erreichbare Genauigkeiten beim Bohren	136
8.5	Kraft-, Drehmoment- und Leistungsberechnung	136
8.5.1	Bohren ins Volle (Abb. 8.9)	137
8.5.2	Aufbohren	140
8.5.3	Senken	141
8.5.4	Reiben	143
8.5.5	Gewindeschneiden mit Gewindeschneidbohrern	143
8.6	Bestimmung der Hauptzeit (Maschinenzeit)	144
8.6.1	Bohren ins Volle	145
8.6.2	Aufbohren mit dem Wendelbohrer	146
8.6.3	Plansenken	146
8.6.4	Gewindeschneiden	147
8.7	Bohrwerkzeuge	148
8.7.1	Wendelbohrer	148
8.7.2	Wendelsenker	157
8.7.3	Plan- und Profilsenker	159
8.7.4	Zentrierbohrer	160
8.7.5	Ausdrehwerkzeuge	160
8.7.6	Reibwerkzeuge	162
8.7.7	Gewindeschneidbohrer	168
8.8	Fehler beim Bohren	172
8.8.1	Werkzeugfehler	172
8.8.2	Werkstückfehler	172
8.9	Richtwerte für die Bohrverfahren	173
8.10	Beispiele	177
8.11	Testfragen zum Kapitel 8	179
<b>9</b>	<b>Fräsen</b>	<b>181</b>
9.1	Definition	181
9.2	Fräsverfahren	181
9.2.1	Walzenfräsen	181
9.2.2	Stirnfräsen	185
9.2.3	Profilfräsen	186
9.2.4	Nutenfräsen	187
9.2.5	Formfräsen	188
9.3	Anwendung der Fräsverfahren	190
9.3.1	Walzenfräsen	190
9.3.2	Stirnfräsen	190
9.3.3	Profilfräsen	190
9.3.4	Nutenfräsen	191
9.3.5	Formfräsen	191

9.4	Erreichbare Genauigkeiten beim Fräsen . . . . .	191
9.5	Kraft- und Leistungsberechnung . . . . .	191
9.5.1	Walzenfräsen . . . . .	191
9.5.2	Stirnfräsen . . . . .	196
9.5.3	Vereinfachte Leistungsberechnung für das Walzen- und Stirnfräsen . . . . .	200
9.6	Hauptzeiten beim Fräsen . . . . .	201
9.6.1	Walzenfräsen . . . . .	201
9.6.2	Stirnfräsen . . . . .	202
9.6.3	Nutenfräsen (Abb. 9.23) . . . . .	204
9.6.4	Kurzgewindefräsen . . . . .	204
9.6.5	Langgewindefräsen . . . . .	205
9.7	Fräswerkzeuge . . . . .	205
9.7.1	Schneidenform und Zähnezahl am Fräser . . . . .	205
9.7.2	Spannutenrichtung, Drallwinkel und Schneidrichtung des Fräasers . . . . .	206
9.7.3	Schneidengeometrie an Fräswerkzeugen . . . . .	207
9.7.4	Ausführungsformen und Einsatzgebiete der Walzenfräser . . . . .	209
9.7.5	Messerköpfe . . . . .	217
9.7.6	Werkzeugaufnahmen für Walzenfräser . . . . .	221
9.7.7	Befestigungen für Messerköpfe . . . . .	227
9.7.8	Modulare Werkzeugsysteme . . . . .	228
9.7.9	Schneidstoffe . . . . .	231
9.8	Fehler beim Fräsen . . . . .	233
9.9	Richtwerttabellen . . . . .	234
9.10	Beispiele . . . . .	237
9.11	Zahnradherstellverfahren . . . . .	242
9.12	Testfragen zum Kapitel 9 . . . . .	243
<b>10</b>	<b>Räumen . . . . .</b>	<b>245</b>
10.1	Definition . . . . .	245
10.2	Räumverfahren . . . . .	245
10.2.1	Innenräumen . . . . .	245
10.2.2	Außenräumen . . . . .	246
10.3	Anwendung der Räumverfahren . . . . .	246
10.3.1	Innenräumen . . . . .	246
10.3.2	Außenräumen . . . . .	248
10.4	Erreichbare Genauigkeiten . . . . .	248
10.4.1	Maßgenauigkeit . . . . .	248
10.4.2	Oberflächengüte . . . . .	248
10.5	Kraft- und Leistungsberechnung . . . . .	249
10.6	Bestimmung der Hauptzeit . . . . .	253

10.7	Räumwerkzeuge	255
10.7.1	Schneidengeometrie der Räumnadel	255
10.7.2	Gestaltung der Räumnadelzähne	257
10.7.3	Werkstoffe für Räumwerkzeuge	262
10.8	Fehler beim Räumen	264
10.8.1	Werkzeugfehler	264
10.8.2	Werkstückfehler	264
10.9	Richtwerttabellen	265
10.10	Berechnungsbeispiel	265
10.11	Praktikum Räumen	268
10.12	Testfragen zum Kapitel 10	268
<b>11</b>	<b>Schleifen</b>	<b>269</b>
11.1	Definition	269
11.2	Schleifverfahren	269
11.2.1	Planschleifen	269
11.2.2	Profilschleifen	272
11.2.3	Rundschleifen	272
11.2.4	Zerspandaten für Planschleifen und Rundschleifen mit eingespanntem Werkstück	277
11.2.5	Spitzenloses Schleifen	278
11.2.6	Trennschleifen	283
11.2.7	Kontaktschleifen	283
11.3	Anwendung der Schleifverfahren	285
11.3.1	Planschleifen	285
11.3.2	Profilschleifen	285
11.3.3	Rundschleifen	285
11.3.4	Trennschleifen	289
11.3.5	Kontaktschleifen mit Schleifbändern	290
11.4	Erreichbare Genauigkeiten und Bearbeitungsaufmaße beim Schleifen	291
11.5	Kraft- und Leistungsberechnung	292
11.6	Bestimmung der Hauptzeit	297
11.6.1	Planschleifen	297
11.6.2	Außen- und Innenrundschleifen	299
11.6.3	Spitzenloses Schleifen	300
11.7	Schleifwerkzeuge	301
11.7.1	Schleifmittel	301
11.7.2	Körnungen	303
11.7.3	Härtegrade	303
11.7.4	Gefüge der Schleifscheibe	304
11.7.5	Bindungsarten	304
11.7.6	Ausführungsformen und Bezeichnung der Schleifscheiben	304
11.7.7	Befestigung der Schleifscheiben	307

11.7.8	Abrichten der Schleifscheiben	309
11.7.9	Auswahl der Schleifscheiben für bestimmte Einsatzgebiete	311
11.8	Fehler beim Schleifen	312
11.8.1	Einflussgrößen auf den Schleifvorgang	312
11.8.2	Fehlertabelle	314
11.9	Richtwerttabellen	314
11.10	Berechnungsbeispiele	319
11.11	Testfragen zum Kapitel 11	324
<b>12</b>	<b>Honen</b>	<b>325</b>
12.1	Langhubhonen	325
12.2	Kurzhubhonen	334
12.3	Testfragen zum Kapitel 12	337
<b>13</b>	<b>Läppen</b>	<b>339</b>
13.1	Anwendung des Läppens	340
13.2	Drahttrennläppen	342
13.3	Testfragen zum Kapitel 13	344
<b>14</b>	<b>Hochgeschwindigkeitzerspannung (HSC)</b>	<b>345</b>
14.1	Definition	345
14.2	Einführung in die HSC-Zerspanung	345
14.3	Anwendung der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung	347
14.3.1	HSC-Verfahren	347
14.3.2	HSC-Maschinen	349
14.3.3	Werkzeuge für das HSC-Fräsen	361
14.3.4	Mikrozerspanung	367
14.3.5	Hybrides Fräsverfahren (Fräsen und generatives Auftragen)	370
14.3.6	Zerspanungsrichtwerte für die Hochgeschwindigkeits-Fräsen- und Drehbearbeitung	377
14.4	Testfragen zum Kapitel 14	384
<b>15</b>	<b>Produktionsdatenorganisation</b>	<b>385</b>
15.1	Definition und Zielstellung	385
15.2	Werkzeugorganisation – Toolmanagement	386
15.2.1	Aufgaben	386
15.2.2	Komponentenbasierte Werkzeugorganisation	388
15.2.3	Zusammenbau zum Komplettwerkzeug	391
15.2.4	Lager- und Bestandsführung	393
15.3	Mess- und Prüfmittelorganisation	395
15.3.1	Aufgaben	395
15.3.2	Individualisierte Organisation	396
15.3.3	Prüffristüberwachung	396

15.4	Sonstige Fertigungshilfsmittel . . . . .	397
15.4.1	Vorrichtungen/Spannmittel . . . . .	397
15.4.2	Weitere Fertigungshilfsmittel . . . . .	399
15.5	Werkzeugkreislauf – Tool Lifecycle Management . . . . .	399
15.5.1	Zielstellung . . . . .	399
15.5.2	Stationen des Werkzeugkreislaufes . . . . .	400
15.5.3	Rüstopтимierung . . . . .	404
15.6	Fertigungs- und Technologiedaten . . . . .	405
15.6.1	Datenarten . . . . .	405
15.6.2	Primärdaten . . . . .	406
15.6.3	Basisdaten . . . . .	406
15.6.4	Ergebnisdaten . . . . .	407
15.6.5	Prozessdaten . . . . .	408
15.6.6	Analyse und Statistik . . . . .	408
15.7	Kommunikation in der Produktion . . . . .	409
15.7.1	Zielstellung . . . . .	409
15.7.2	Kommunikationsplattform für die Werkstatt . . . . .	410
15.7.3	Digitale Arbeitsmappe . . . . .	411
15.7.4	Technologieplattform . . . . .	413
15.8	Testfragen zum Kapitel 15 . . . . .	413
<b>16</b>	<b>CAD/CAM . . . . .</b>	<b>415</b>
16.1	Einleitung . . . . .	415
16.2	Zielstellung und Aufgaben . . . . .	416
16.2.1	Rechnereinsatz in der Produktionsvorbereitung . . . . .	416
16.2.2	Aufgaben der NC-Programmierung . . . . .	418
16.2.3	Methoden der NC-Programmierung . . . . .	418
16.2.4	Arbeitsschritte bei der CAM-Planung . . . . .	419
16.2.5	Leistungsumfang CAM-Systeme . . . . .	420
16.3	CAD/CAM im betrieblichen Umfeld . . . . .	424
16.3.1	Von der Produktdarstellung bis zur Fertigung . . . . .	424
16.3.2	Die CAD-CAM-NC-Prozesskette . . . . .	425
16.3.3	Digital integrierte Produktion – Industrie 4.0 . . . . .	426
16.4	CAD/CAM-Systeme . . . . .	428
16.4.1	2½D-CAM-Systeme . . . . .	428
16.4.2	3D-CAM-Systeme . . . . .	431
16.5	Durchgängiger CAD/CAM-Prozess . . . . .	435
16.5.1	Von CAD und CAM zu CAD/CAM . . . . .	435
16.5.2	Änderungsprogrammierung . . . . .	441
16.6	Simulation des Bearbeitungsablaufes . . . . .	442
16.6.1	Aufgabe der Simulation . . . . .	442
16.6.2	Simulationsstrategien . . . . .	443
16.6.3	Simulationsarten . . . . .	444

---

16.7	Daten Distribution	449
16.7.1	Datenarten	449
16.7.2	Datentransfer	449
16.8	Testfragen zum Kapitel 16	451
	Literatur	451
<b>17</b>	<b>Abtragen</b>	<b>453</b>
17.1	Abtragen durch Funkenerosion	453
17.1.1	Senkerodieren	454
17.1.2	Drahterodieren (Schneiden)	458
17.1.3	Mikroerodieren	466
17.2	Abtragen durch elektrochemische Bearbeitung	471
17.2.1	Prinzip der elektrochemischen Bearbeitung	471
17.2.2	Verfahrensvarianten	472
17.2.3	Verfahrensdurchführung	476
17.2.4	Vorteile des PECM-Verfahrens	479
17.3	Testfragen zum Kapitel 17	480
<b>18</b>	<b>Kühl- und Schmiermittel für die Zerspanung</b>	<b>481</b>
18.1	Einführung	481
18.2	Nassbearbeitung	482
18.3	Minimalmengen-Kühlschmierung (MMKS)	483
18.4	Trockenbearbeitung	486
18.5	Testfragen zum Kapitel 18	487
<b>19</b>	<b>Kraftmessung beim Zerspanen</b>	<b>489</b>
19.1	Einführung	489
19.2	Kraftmessung beim Drehen	490
19.3	Kraftmessung beim Bohren und Fräsen	492
19.4	Kraftmessung beim Räumen	495
19.5	Testfragen zum Kapitel 19	497
<b>20</b>	<b>Allgemeine Tabellen</b>	<b>499</b>
<b>21</b>	<b>Anhang</b>	<b>513</b>
21.1	Firmenanschriften	513
21.2	Gegenüberstellung von alter (DIN) und neuer (Euro-Norm) Werkstoffbezeichnung	519
	<b>Literaturverzeichnis (weiterführende Literatur)</b>	<b>521</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>523</b>

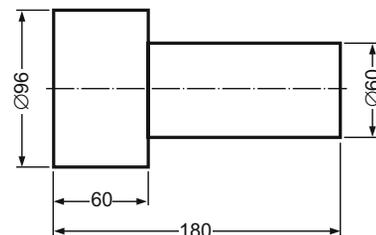
Die Verfahren der spanenden Formung (Zerspantechnik) sind nach der DIN 8580 der Hauptgruppe Trennen zugeordnet, d. h. die Formänderung erfolgt unter örtlicher Aufhebung des Stoffzusammenhaltes. Charakteristisch für diese Verfahren ist das Abtrennen von Materialteilchen in Form von Spänen, die Abfall darstellen.

Im Vergleich zu den ur- und umformenden Verfahren ergibt sich oft ein höherer Material- und Energieaufwand. Der wirtschaftliche Einsatz der spanenden Verfahren ist meist bei der Fertigbearbeitung von ur- oder umgeformter Ausgangsformen gegeben, da dort nur relativ geringe Aufmaße auf die Fertigungskontur zu entfernen sind. Bei kleinen Stückzahlen und/oder geforderter hoher Fertigungsgenauigkeit kann auch der mit diesen Verfahren verbundene große Materialverlust kompensiert werden. Die hohe Flexibilität der spanenden Verfahren hinsichtlich der Geometrieerzeugung und die möglichen hohe Fertigungsgenauigkeiten (Maß-, Form- und Lagegenauigkeiten), sowie erreichbare Oberflächenqualitäten ergeben gute Einsatzmöglichkeiten speziell im Bereich der End- bzw. Fertigbearbeitung.

Als Beispiel soll die spanende Herstellung eines Bolzens nach Abb. 1.1 betrachtet werden.

Der Ausgangsdurchmesser des Rohlings muss für ein spanendes Verfahren mindestens dem größten Durchmesser des Fertigteils entsprechen. Dazu kommt noch das Bearbeitungsaufmaß, so dass der Rohling bei Verwendung von gewalztem Material ungefähr die Abmessungen (Durchmesser  $\times$  Länge) 100 mm  $\times$  185 mm haben müsste.

**Abb. 1.1** Kopfbolzen aus E 295, 46 % des Materialeinsatzgewichtes werden zerspant



Bei diesem Beispiel wird 46 % der Materialeinsatzmasse im Drehvorgang zerspant.

Im Vergleich zu den umformenden Fertigungsverfahren, bei denen der innere Faserlauf erhalten bleibt, d. h. unter Einwirkung der Umformspannungen sich dieser an die äußere Kontur des Werkstückes anpasst (z. B. beim Gewindewalzen), wird beim Zerspanvorgang die Faser zerschnitten. Dadurch entsteht in vielen Fällen eine Festigkeitsminderung. Andererseits kommt es beim Zerspanungsvorgang u. U. zum Abbau von Spannungen, die durch vorherige Kaltverformung im Werkstück entstanden sind. Bei unterschiedlicher Härte zwischen Randzone und Kern kann es bei Guss- und Schmiedestücken oder thermisch behandelten Teilen beim Zerspanen zu einem Abbau von Spannungen kommen.

Durch den Zerspanungsprozess kommt es in Abhängigkeit von den gewählten Parametern zu Veränderungen in der Randzone der Werkstücke, die zu Verfestigungen bis hin zu Gefügeveränderungen führen können und speziell für hochbelastete Werkstücke hinsichtlich der Lebensdauer beachtet werden müssen. Bei der nachfolgenden Behandlung der Verfahren der Zerspantechnik wird auf diese Zusammenhänge und das Zusammenwirken der Haupteinflussgrößen des Zerspanprozesses auf das Endergebnis detailliert eingegangen.

Zur Einteilung der spanenden Verfahren wird das Ordnungssystem der DIN 8589, das zwei Untergruppen definiert, genutzt:

#### 1. Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden

Die Werkzeuge haben alle eine geometrisch genau definierte Form, die Anzahl der Schneiden, die Lage und Winkel der Schneidkeile sind bekannt, dazu zählen z. B. die Verfahren Drehen, Bohren, Fräsen.

#### 2. Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden

Bei diesen Werkzeugen sind die Schneiden regellos und damit geometrisch nicht definiert angeordnet, sie können in loser oder gebundener Form zur Anwendung kommen, dazu zählen z. B. die Verfahren Schleifen, Honen und Läppen.

Die Schnittbedingungen sind beim Zerspanungsvorgang so zu wählen, dass

- die erforderliche Antriebsleistung der Maschine optimal genutzt
- die Standzeit der Werkzeuge vernünftig
- die Schnittzeit klein

wird.

Die Schnittkraft soll, bei gegebenem Spanquerschnitt, durch die richtige Wahl der Schnittbedingungen möglichst klein sein. Je kleiner die Schnittkraft, umso geringer die Beanspruchung von Werkzeug und Maschine.

Die Späne sollen möglichst kurzbrüchig sein, weil dadurch die Unfallgefahr an der Maschine vermindert wird. Darüber hinaus können sie leichter transportiert und aufbereitet werden.

Die Spanformen, die sich beim Zerspanungsvorgang bilden, sind abhängig von den zu zerspanenden Werkstoffen und von den Schnittbedingungen.

Bezüglich des Transportvolumens unterscheidet man zwischen bestimmten Spanformen, denen Kennzahlen ( $R = \text{Spanraumzahl}$ ) zugeordnet werden.

Als Werkzeugwerkstoffen werden hauptsächlich

- Hochleistungsschnellstähle
- Hartmetalle
- Schneidkeramiken
- Bornitride
- Diamanten

eingesetzt.

Besondere Bedeutung haben heute die beschichteten Werkzeugwerkstoffe, bei denen auf den Grundstoff zusätzlich dünne Schichten von besonders harten und verschleißfesten Werkstoffen, wie z. B. Coronite (auf der Basis von TiCN oder TiN) aufgebracht werden.

Aktuelle Entwicklungen in der spanenden Formung wie ressourceneffiziente Fertigung durch Komplettbearbeitung, aber auch der Einsatz hybrider Fertigungsverfahren, d. h. Kombinationen von umformenden mit spanenden Verfahren, die Kombination spanender Verfahren mit generierenden oder die Kombination verschiedener spanender Verfahren auf einer Maschine werden beispielhaft dargestellt. Für die Bearbeitung schwer zerspanbarer Materialien haben sich in Ergänzung oder in Substitution von spanenden Verfahren die Verfahren des Abtragens als besonders geeignet herausgestellt, so dass nach der bereits erfolgten Aufnahme der funkenerosiven Bearbeitung (EDM) nun auch die elektrochemische Bearbeitung (ECM) behandelt wird. In den neuen Kap. 15 Produktionsdatenorganisation und 16 CAD/CAM wird der aktuelle Entwicklungsstand der modernen Produktion hin zur durchgehenden Digitalisierung (Industrie 4.0) erstmalig dargestellt.



Die Begriffe der Zerspantechnik und die Geometrie am Schneidkeil der Werkzeuge sind in den DIN-Blättern 6580 und 6581 festgelegt.

Die wichtigsten Daten aus diesen DIN-Blättern werden in diesem Abschnitt in gekürzter Form am Beispiel Drehen dargestellt. Sie sind übertragbar auf die anderen Verfahren.

---

## 2.1 Flächen, Schneiden und Ecken am Schneidkeil nach DIN 6581

### Freiflächen

sind die Flächen am Schneidkeil, die den entstehenden Schnittflächen zugekehrt sind. Wird eine Freifläche angefast, dann bezeichnet man diese Fase als Freiflächenfase.

### Spanflächen

sind die Flächen, über die der Span abläuft. Wird die Spanfläche angefast, dann bezeichnet man diese Fase als Spanflächenfase.

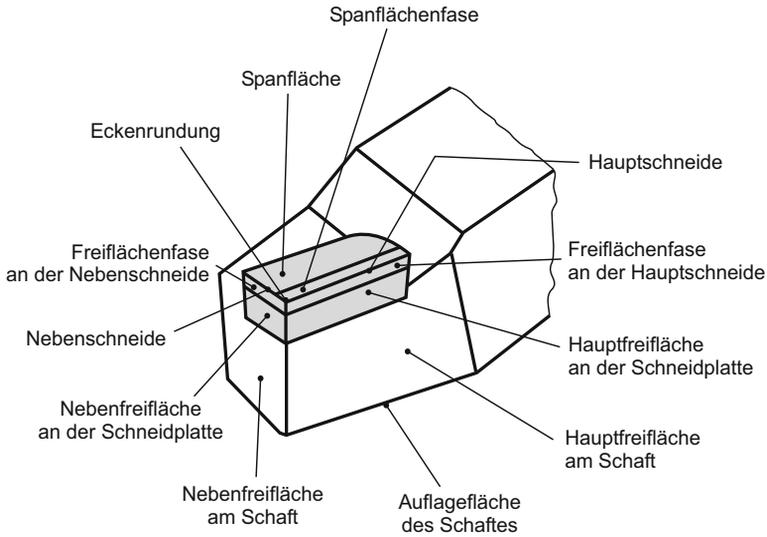
### Schneiden

Die Hauptschneiden sind die Schneiden, deren Schneidkeil, bei Betrachtung in der Arbeitsebene, in Vorschubrichtung weist.

Die Nebenschneiden sind Schneiden, deren Schneidkeil in der Arbeitsebene nicht in Vorschubrichtung weist.

Die Schneidenecke ist die Ecke, an der Haupt- und Nebenschneide mit gemeinsamer Spanfläche zusammentreffen.

Die Eckenrundung ist die Rundung der Schneidenecke (der Rundungsradius  $r$  wird in der Werkzeugbezugsebene gemessen) (siehe Abb. 2.1).



**Abb. 2.1** Flächen, Schneiden und Ecken am Schneidkeil

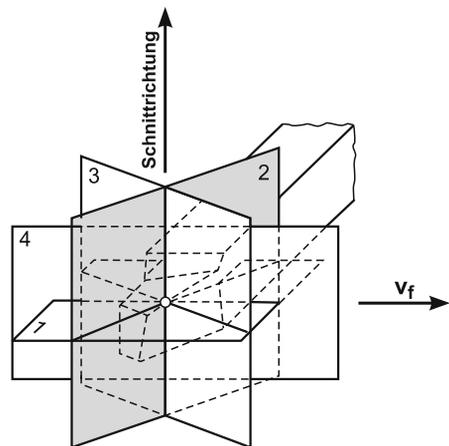
## 2.2 Bezugsebenen

Um die Winkel am Schneidkeil definieren zu können, geht man von einem rechtwinkligen Bezugssystem (Abb. 2.2) aus.

Es besteht aus drei Ebenen: der Werkzeugbezugsebene, der Schneidenebene und der Keilmessebene.

Die Arbeitsebene wurde als zusätzliche Hilfsebene eingeführt.

**Abb. 2.2** Bezugssystem zur Definition der Winkel am Schneidkeil



Die Werkzeugbezugsebene 1 ist eine Ebene durch den betrachteten Schneidenpunkt, senkrecht zur Schnittrichtung und parallel zur Auflageebene.

Die Schneidenebene 2 ist eine die Hauptschneide enthaltende Ebene, senkrecht zur Werkzeugbezugsebene.

Die Keilmessebene 3 ist eine Ebene, senkrecht zur Schneidenebene und senkrecht zur Werkzeugbezugsebene.

Die Arbeitsebene 4 ist eine gedachte Ebene, die die Schnittrichtung und die Vorschubrichtung enthält. In ihr vollziehen sich die Bewegungen, die an der Spanentstehung beteiligt sind.

## 2.3 Winkel am Schneidkeil

### 2.3.1 Winkel, die in der Werkzeugbezugsebene gemessen werden (Abb. 2.3)

Der Einstellwinkel  $\kappa$  ist der Winkel zwischen Arbeitsebene und Schneidenebene.

Der Eckenwinkel  $\varepsilon$  ist der Winkel zwischen Haupt- und Nebenschneide.

### 2.3.2 Winkel, der in der Schneidenebene gemessen wird Neigungswinkel $\lambda$ (Abb. 2.4)

Der Neigungswinkel ist der Winkel zwischen Werkzeugbezugsebene und Hauptschneide. Er ist negativ, wenn die Schneide von der Spitze her ansteigt. Er bestimmt welcher Punkt der Schneide zuerst in das Werkstück eindringt.

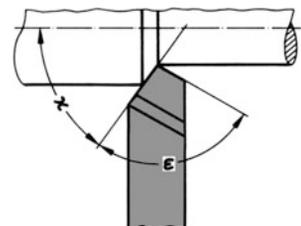
### 2.3.3 Winkel, die in der Keilmessebene gemessen werden (Abb. 2.5)

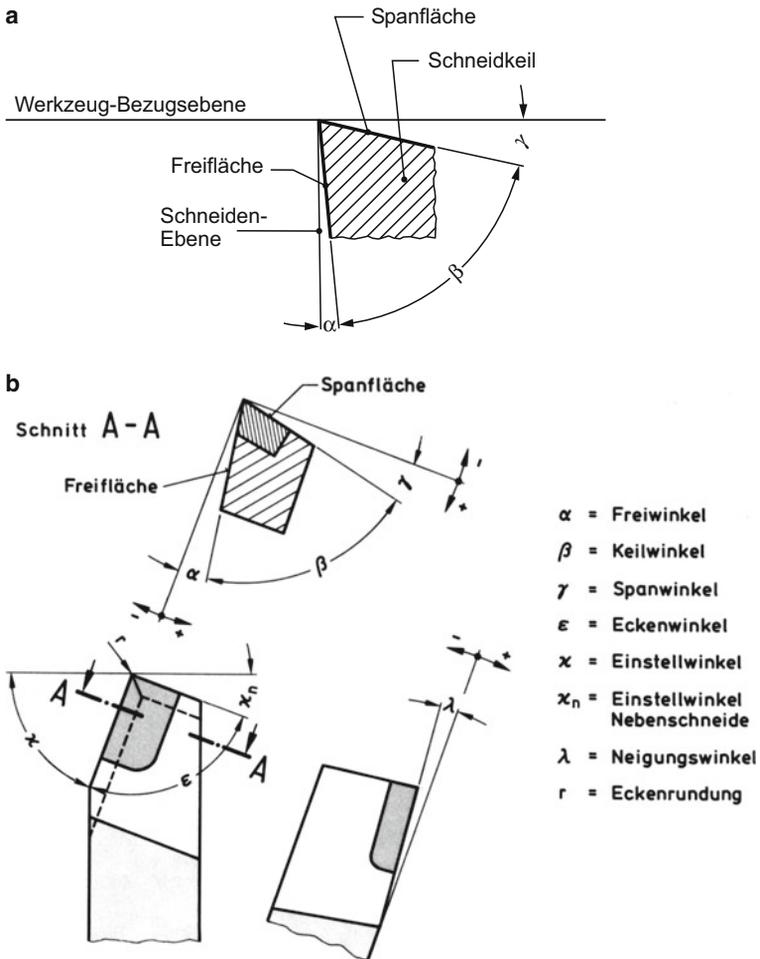
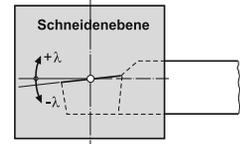
Der Freiwinkel  $\alpha$  ist der Winkel zwischen Freifläche und Schneidenebene.

Der Keilwinkel  $\beta$  ist der Winkel zwischen Freifläche und Spanfläche.

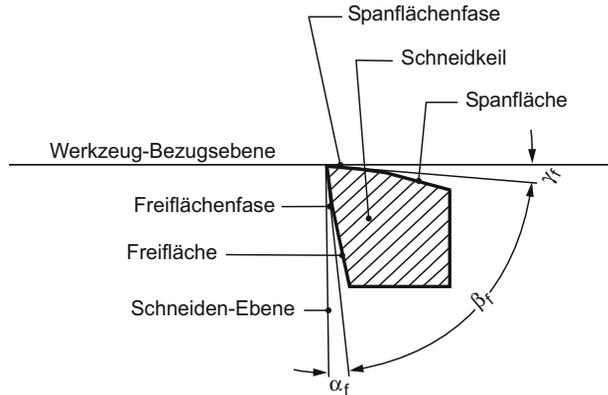
Der Spanwinkel  $\gamma$  ist der Winkel zwischen Spanfläche und Werkzeugbezugsebene.

**Abb. 2.3** Einstellwinkel  $\kappa$ ,  
Eckenwinkel  $\varepsilon$



**Abb. 2.4** Neigungswinkel  $\lambda$ **Abb. 2.5** **a** Freiwinkel  $\alpha$ ; Keilwinkel  $\beta$ ; Spanwinkel  $\gamma$ , **b** Zusammenfassung der wichtigsten Winkel am Schneidkeil

**Abb. 2.6** Schneidkeil mit Fasen, Fasenfreiwinkel  $\alpha_f$ ; Fasenkeilwinkel  $\beta_f$ ; Fasenspanwinkel  $\gamma_f$



Für diese drei Winkel gilt immer die Beziehung:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$$

Sind die Flächen angefast (Abb. 2.6), dann bezeichnet man die Fasenwinkel als:

- Fasenfreiwinkel  $\alpha_f$
- Fasenkeilwinkel  $\beta_f$
- Fasenspanwinkel  $\gamma_f$

Auch hier gilt die Beziehung:

$$\alpha_f + \beta_f + \gamma_f = 90^\circ$$

## 2.4 Einfluss der Winkel auf den Zerspanvorgang

### Freiwinkel $\alpha$

Die normale Größenordnung des Freiwinkels liegt zwischen

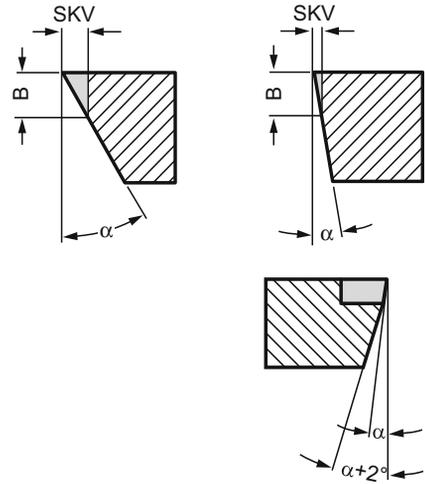
$$\alpha = 6 \text{ bis } 10^\circ$$

Große Freiwinkel werden angewandt bei weichen und zähen Werkstoffen, die zum Verkleben mit den Schneiden neigen und bei zähen Hartmetallen (z. B. P 40, P 50, M 40, K 40).

Große Freiwinkel:

- führen zu Wärmestau in der Schneidenspitze
- schwächen den Schneidkeil (Ausbruchgefahr)

**Abb. 2.7** Schneidkantenversatz SKV bei großem und kleinem Freiwinkel



**Abb. 2.8** Freiwinkel am Schaft des Drehmeißels ist größer als der Freiwinkel an der Hartmetallplatte

- c) ergeben bei konstanter Verschleißmarkenbreite  $B$  großen Schneidkantenversatz  $SKV$  (Abb. 2.7), großer  $SKV$  führt zu großer Maßabweichung am Werkstück (Durchmesser wird größer).

Kleine Freiwinkel werden angewandt bei Stählen höherer Festigkeit und abriebfesten Hartmetallen (z. B. P 10, P 20).

Kleine Freiwinkel:

- führen zur Verstärkung des Schneidkeiles,
- verbessern die Oberfläche, solange das Werkzeug nicht drückt; drückt das Werkzeug jedoch, dann kommt es zur Erwärmung des Werkzeugs und zu großem Freiflächenverschleiß,
- wirken schwingungsdämpfend z. B. gegen Ratterschwingungen.

Weil Hartmetall mit einer anderen Schleifscheibe geschliffen werden muss, als der weiche Schaft des Drehmeißels, soll bei aufgelöteten Schneiden der Freiwinkel am Schaft (Abb. 2.8) um  $2^\circ$  größer sein, als der Freiwinkel der Hartmetallplatte.

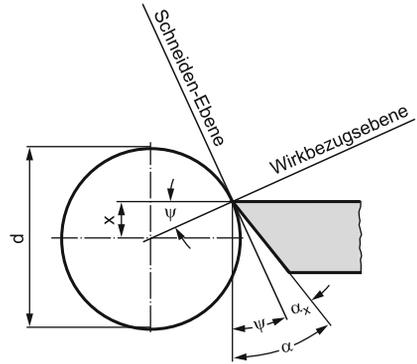
Der wirksame Freiwinkel  $\alpha_x$  ist abhängig von der Stellung des Werkzeugs in Bezug auf die Werkstückachse bzw. Werkstückmitte (Abb. 2.9).

$x$  = Höhenversatz in mm

$\psi$  = Korrekturwinkel in  $^\circ$

$$\sin \psi = \frac{x}{d/2} = \frac{2x}{d}$$

**Abb. 2.9** Wirksamer Freiwinkel  $\alpha_x$



Steht die Werkzeugspitze über der Werkstückachse (Abb. 2.10), dann verkleinert sich der Freiwinkel um den Korrekturwinkel.

Steht die Werkzeugspitze unterhalb der Werkstückachse, dann vergrößert sich der Freiwinkel um den Korrekturwinkel.

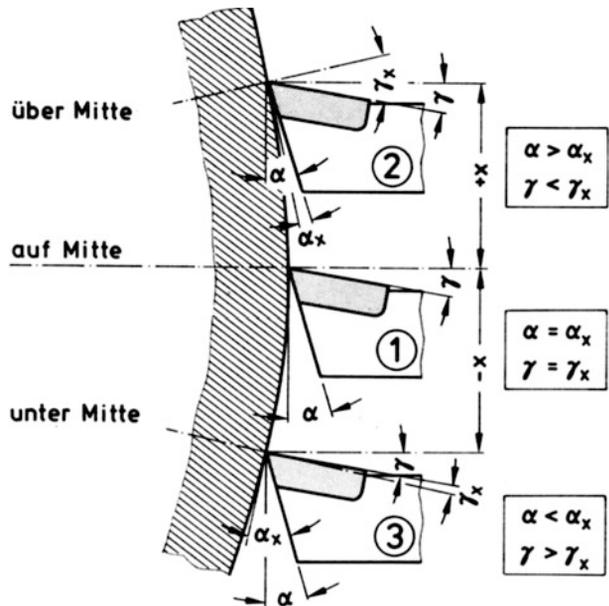
Daraus folgt:

unter Mitte:  $\alpha_x = \alpha + \psi$

in Mitte:  $\alpha_x = \alpha$

über Mitte:  $\alpha_x = \alpha - \psi$

**Abb. 2.10** Werkzeugwinkel und Wirkwinkel bei verschiedenen Werkzeugstellungen,  $\alpha_x$  Wirkfreiwinkel,  $\gamma_x$  Wirkspanwinkel,  $\psi$  Korrekturwinkel



Wie man daraus ersieht, entspricht nur in der Mittelstellung der wirksame Freiwinkel dem gemessenen Freiwinkel. Steht der Meißel unter Mitte, bewirkt die Änderung von Frei- und Spanwinkel das Einziehen des Meißels in das Werkstück.

### Spanwinkel $\gamma$

Beim Drehen mit Hartmetallwerkzeugen liegen die Spanwinkel bei der Bearbeitung von Stahl mittlerer Festigkeit zwischen  $0$  und  $+6^\circ$ , in Ausnahmefällen bis  $+18^\circ$ . Bei Vergütungsstählen und Stählen hoher Festigkeit verwendet man Spanwinkel zwischen  $-6$  und  $6^\circ$ .

Während der Fasenspanwinkel bei den erstgenannten Werkstoffen bei  $0^\circ$  liegt, verwendet man bei den Vergütungsstählen überwiegend negative Fasenspanwinkel.

Große Spanwinkel werden bei weichen Werkstoffen (weiche Stähle, Leichtmetall, Kupfer), die mit zähen Hartmetallen bearbeitet werden, verwendet. Je größer der Spanwinkel, um so

- besser ist der Spanfluss,
- kleiner ist die Reibung,
- geringer ist die Spanstauchung,
- besser wird die Oberfläche des Werkstückes,
- kleiner werden die Schnittkräfte.

Große Spanwinkel haben aber auch Nachteile. Sie:

- schwächen den Schneidkeil,
- verschlechtern die Wärmeabfuhr,
- erhöhen die Gefahr des Schneidenausbruches.

Kurz: Sie verkleinern damit die Standzeit des Werkzeugs.

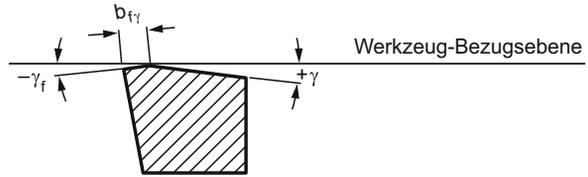
Kleine Spanwinkel, bis zu negativen Spanwinkeln, wendet man bei der Schruppbearbeitung und Werkstoffen mit hohen Festigkeiten an. Als Werkzeugwerkstoff werden hierfür abriebfeste Hartmetalle (z. B. P 10; M 10; K 10) eingesetzt. Kleine Spanwinkel

- stabilisieren den Schneidkeil,
- erhöhen die Standzeit der Werkzeuge,
- ermöglichen das Drehen mit großen Schnittgeschwindigkeiten,
- verringern deshalb die Bearbeitungszeit.

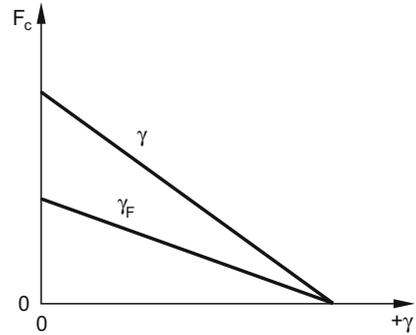
Bei kleinem Spanwinkel wird der Querschnitt am Schneidkeil größer, die geringere Biegefestigkeit abriebfester Hartmetalle also ausgeglichen.

Weil die Schnittkräfte aber mit kleiner werdendem Spanwinkel steigen, haben kleine Spanwinkel zur Folge

**Abb. 2.11** Positiver Spanwinkel mit negativem Fasenspanwinkel,  $b_{f\gamma}$ , Fasensbreite



**Abb. 2.12** Ein negativer Fasenspanwinkel hat einen geringeren Kraftanstieg zur Folge als ein negativer Spanwinkel ohne Fase



- Anstieg der Schnittkräfte  
Als Überschlagswert kann man sagen: Die Hauptschnittkraft steigt um 1 % bei einer Winkelverkleinerung um 1°.
- Anstieg der erforderlichen Antriebsleistung

**Optimaler Spanwinkel** Bei einem Drehmeißel mit großem positiven Spanwinkel und negativem Fasenspanwinkel (Abb. 2.11) können die Vorteile von positiven und negativen Spanwinkeln vereint werden.

Er stellt die optimale Lösung dar, weil

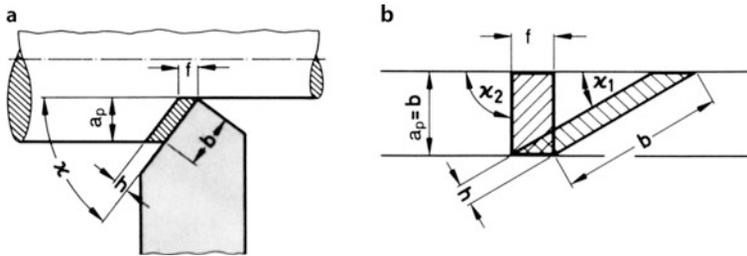
- durch den positiven Spanwinkel der Spanablauf gut und die Reibung auf der Spanfläche gering ist,
- der Querschnitt des Schneidkeils durch den negativen Fasenspanwinkel vergrößert wird,
- der Kraftanstieg verringert wird (Abb. 2.12).

Bezüglich des beim Zerspanungsprozess wirksamen Spanwinkels gilt im Prinzip das gleiche wie beim Freiwinkel. Auch hier wird der Werkzeugwinkel durch den Korrekturwinkel  $\psi$  (Abb. 2.10) wie folgt verändert.

unter Mitte:  $\gamma_x = \gamma - \psi$

in Mitte:  $\gamma_x = \gamma$

über Mitte:  $\gamma_x = \gamma + \psi$



**Abb. 2.13** Eingriffslänge  $b$  ist bei gegebener Schnitttiefe  $a_p$  abhängig vom Einstellwinkel  $\kappa$ . Je kleiner  $\kappa$  (im Bild  $\kappa_1 = 30^\circ$ ), um so größer die Eingriffslänge  $b$ . Bei  $\kappa = 90^\circ$  (im Bild  $\kappa_2$ ) wird  $a_p = b$

Der Keilwinkel  $\beta$  soll für harte und spröde Werkstoffe groß und für weiche Werkstoffe klein sein.

Der Einstellwinkel  $\iota$  bestimmt die Lage der Hauptschneide zum Werkstück (Abb. 2.13). Vom Einstellwinkel ist bei gegebener Schnitttiefe  $a_p$  die Eingriffslänge  $b$  der Hauptschneide (Abb. 2.13b) abhängig.

Je kleiner der Einstellwinkel, um so größer die Eingriffslänge der Hauptschneide. Der Einstellwinkel beeinflusst aber auch die Kräfte beim Zerspanen.

Je größer der Einstellwinkel, um so größer die Vorschubkraft und um so kleiner die Passivkraft. Deshalb erfordern labile Werkstücke immer einen großen Einstellwinkel.

Kleine Einstellwinkel ( $\iota$  ca.  $10^\circ$ ) ergeben große Passivkräfte  $F_p$ , die das Werkstück, durchbiegen wollen. Deshalb werden kleine Einstellwinkel nur bei sehr steifen Werkstücken (z. B. Kalanderswalzen) angewandt.

Mittlere Einstellwinkel ( $45$  bis  $70^\circ$ ) werden für stabile Werkstücke eingesetzt. Ein Werkstück gilt als stabil, wenn:

$$l < 6 \cdot d$$

$l$  = Länge des Werkstückes in mm

$d$  = Durchmesser des Werkstückes in mm

Große Einstellwinkel ( $70$  bis  $90^\circ$ ) verwendet man bei langen labilen Werkstücken. Darunter versteht man Werkstücke bei denen

$$l > 6 \cdot d$$

ist.

Bei  $\kappa = 90^\circ$  ist die Passivkraftkomponente (Abb. 2.14) gleich Null. Dadurch ist beim Zerspanvorgang keine Kraft mehr vorhanden, die das Werkstück durchbiegen kann.

Der Eckenwinkel  $\varepsilon$  ist meistens  $90^\circ$ . Nur bei der Bearbeitung scharfer Ecken wird  $\varepsilon$  kleiner als  $90^\circ$  gewählt.