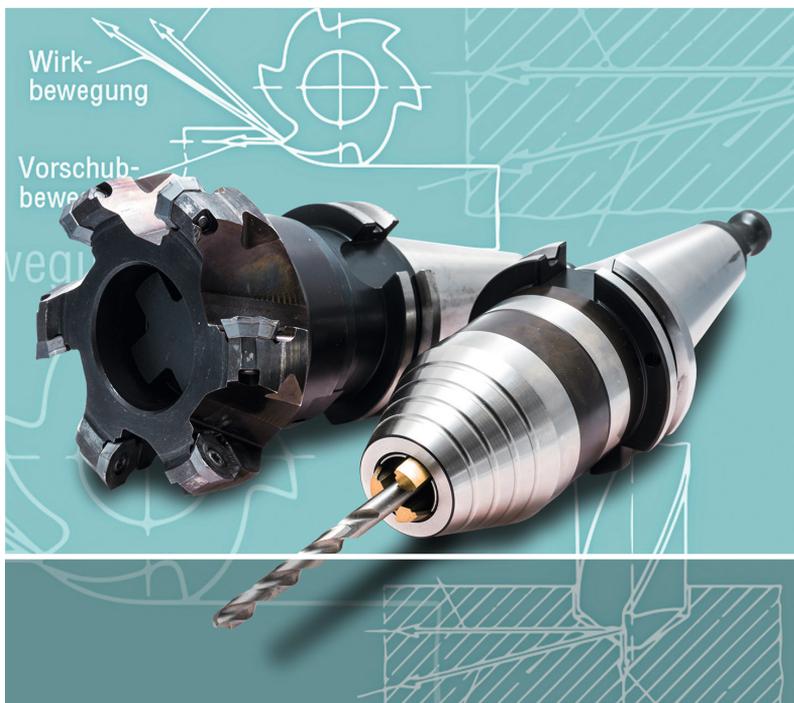


Werner Degner · Hans Lutze · Erhard Smejkal
Uwe Heisel · Johannes Rothmund

Spanende Formung

Theorie – Berechnung – Richtwerte



18., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

HANSER

Degner / Lutze / Smejkal / Heisel / Rothmund

Spanende Formung



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Werner Degner

Hans Lutze

Erhard Smejkal

Uwe Heisel

Johannes Rothmund

Spanende Formung

Theorie - Berechnung - Richtwerte

18., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

HANSER

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Degner (†), Chemnitz
Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Lutze, Geyer
Dr.-Ing. Erhard Smejkal, Chemnitz
Prof. Dr.-Ing. Prof. h. c. mult. Dr. h. c. mult. Uwe Heisel, Stuttgart
Dr.-Ing. Johannes Rothmund, Stuttgart



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor(en), Herausgeber) und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso wenig übernehmen Autor(en), Herausgeber) und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2019 Carl Hanser Verlag München

Internet: www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dipl.-Ing. Natalia Silakova-Herzberg

Herstellung: Anne Kurth

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Titelbild: © shutterstock.com/Monstar Studio

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Satz: Satzherstellung Dr. Naake, Brand-Erbisdorf

Druck und Bindung: Hubert & Co. GmbH & Co. KG BuchPartner, Göttingen

Printed in Germany

Print-ISBN 978-3-446-45032-5

E-Book-ISBN 978-3-446-46063-8

Vorwort

Das vorliegende Buch der „Spanenden Formung“, welches in über 50 Jahren unter der Herausgeberschaft von Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Degner, Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Lutz und Dr.-Ing. Erhard Smejkal als ein wichtiges Standardwerk der deutschsprachigen fertigungstechnischen Fachliteratur bekannt geworden ist, erscheint nun in der 18. Auflage mit zusätzlichen Herausgebern und Autoren.

Die Herausgeber der vorangegangenen Auflagen waren angesichts der bisher verbreiteten Exemplare nach ihren eigenen Worten der Auffassung, dass „die gewählte Dreiteilung des Kompendiums in Theorie – Berechnung – Richtwerte bei den Lesern sehr gut angenommen wurde und sich ausgezeichnet bewährt hat. Die kurzgefasste Theorie legt dabei keinen Wert auf eine neue Zerspanungslehre, sie soll die wichtigsten theoretischen Zusammenhänge des Spanens, aufgebaut auf dem neuesten Stand der durch die nationalen und internationalen Normen (DIN, EN und ISO) sowie VDI-Richtlinien belegten Grundlagen und Begriffe, darstellen. Gleichzeitig bildet sie die Basis für den zweiten Teil, die Berechnungsgrundlagen für die wichtigsten spanenden Verfahren. Hier steht neben der Hauptzeitberechnung generell die Schnittkraft- und Leistungsberechnung im Mittelpunkt. Für alle behandelten Verfahren erfolgt die Schnittkraftberechnung nach der bewährten KIENZLESCHEN Grundgleichung.“

Auch diese Auflage hat vor allem textlich eine gründliche Überarbeitung erfahren. Die Reihenfolge der behandelten Fertigungsverfahren des Berechnungsteils und in den Schnittwerttabellen wurde jedoch entsprechend der in der modernen Lehre heute üblicherweise verbreiteten DIN 8589 umgestellt und aktualisiert. Zusätzlich ist das Thema Simulation aufgegriffen und sowohl in der Theorie, als auch in der Berechnung von Dr.-Ing. Rocco Eisseler als Autor behandelt worden. Auch wurde der Abschnitt über die Schneidstoffe im Kapitel Theorie von Dr.-Ing. Immo Garrn mit Blick auf die industrielle Praxis komplett neu verfasst und auf einen zeitgemäßen Stand gebracht.

Das Buch „Spanende Formung“ stellt somit – auch in Zeiten, in denen längst eine Reihe von Berechnungsprogrammen am Markt verfügbar sind – ein für die fertigungstechnische Fachwelt wertvolles Lehr-, Arbeits- und Nachschlagewerk dar, das zum Grundverständnis der zerspanungstechnischen Zusammenhänge anschaulich beitragen und mit den sonst nicht in dieser kompakten Form verfügbaren Richtwerttabellen praxisbezogene Anhaltspunkte geben will.

Die Herausgeber und Autoren danken insbesondere dem Carl Hanser Verlag, dass er auch diese Auflage des Buches in hervorragender Qualität herausgebracht hat. Besonders in den Dank

einschließen möchten wir unsere Lektorin, Frau Natalia Silakova, und die Lektoratsassistentin, Frau Christina Kubiak, die uns bestens unterstützt haben.

Chemnitz und Stuttgart, April 2019

*Uwe Heisel
Hans Lutze
Erhard Smejkal
Johannes Rothmund*

Geleitwort zur 18. Auflage

Die Basis für den Erfolg in der Fertigung tätiger Personen ist mehr denn je eine fundierte Ausbildung mit einem Mix aus theoretischen und praktischen Anteilen. Nur so können sie den tagtäglichen Anforderungen der technischen Praxis gerecht werden und zugleich technische Weiterentwicklungen bewerten oder selbst Neuentwicklungen anstoßen. Die Nutzung der heute verfügbaren digitalen Technologien bis hin zu auf künstlicher Intelligenz beruhender Prozessoptimierung werden dies nur in sehr beschränktem Umfang leisten können. Daher bleibt die systematische Vermittlung von auf Mechanismen aufbauendem fertigungstechnischem Grundwissen von essenzieller Bedeutung für den Erfolg der Wirtschaft.

Dieses Buch vermittelt dieses Wissen in vorbildlicher Weise, indem es neben der systematischen, an den relevanten Normen orientierten Vermittlung von Grundwissen auch die praktische Anwendung einbezieht. Damit können sich Studierende die Verfahren und Wirkzusammenhänge basierend auf etablierten Theorien und Modellen erarbeiten und finden Ansätze zur Auslegung von Prozessen. Tabellen mit Richtwerten aus der Praxis erlauben es in der Praxis stehenden Ingenieuren, Technikern und Meistern Lösungen für die Arbeiten in der Arbeitsvorbereitung zu finden und sich fundiert und praxisorientiert in neue Verfahren hineinzufinden. Diese Verbindung von Theorie und Praxis ist auch ein wesentliches Anliegen des Vereins Zukunftsorientierte Zerspanung e. V., den die Stuttgarter und Karlsruher Fertigungstechniker gemeinsam mit interessierten Firmenpartnern seit einigen Jahren mitgestalten.

Ergänzend finden sich in dem Buch Hinweise zur Verknüpfung rein technologischer Ansätze mit solchen aus der Betriebswirtschaft, was eine wichtige Bereicherung darstellt und für alle vorgesehenen Lesergruppen von wachsender Bedeutung ist.

Ich wünsche dem Buch erneut eine weite Verbreitung und den Lesern eine bereichernde Lektüre und eine nutzbringende Bereicherung ihres Wissens.

Karlsruhe, im Februar 2019

Prof. Dr.-Ing. habil. *Volker Schulze*
wbk Institut für Produktionstechnik
Karlsruher Institut für Technologie

Geleitwort zur 18. Auflage

Die Produktionstechnik ist von den Technologien der Metallzerspanung stark geprägt. Zerspanungsprozesse sind zumeist maßgeblich für die Produktivität der Bauteilherstellung sowie für die Qualität und Integrität der erzeugten Komponenten. Sie sind daher auch ausschlaggebend für die Gestaltung und Auslegung der Maschinen- und Anlagentechnik für die industrielle Produktion. Die Kenntnis der Zerspanprozesse, deren wissenschaftliche Grundlagen und praktische Umsetzung sind daher von zentraler Bedeutung für eine wirtschaftliche Fertigung, die modernen Bedarfen gerecht wird. Gestiegene Anforderungen an die Genauigkeit, Oberflächengüte und Randzonenintegrität sowie die stete Forderung nach höherer Produktionsleistung, Prozesssicherheit und Kosteneffizienz charakterisieren diese Bedarfssituation. Gleichzeitig tritt außerdem die Notwendigkeit einer deutlich erhöhten Material-, Energie- und Ressourceneinsparung verstärkt in den Fokus der Betrachtungen. Den technologischen, wirtschaftlichen und ökologischen Herausforderungen kann zukünftig nur mit einer fundierten Fachkompetenz erfolgreich begegnet werden.

Die „Spanende Formung“ nimmt als Lehr- und Nachschlagewerk seit vielen Jahrzehnten eine führende Stellung für Ausbildung, Studium und Praxis ein. Dieses Buch behandelt sowohl die theoretischen Grundlagen des Zerspanungsprozesses, der Schneidstoffe und der Berechnung von Kräften und Leistungen, als auch die Simulationsmodelle, die heute verstärkt in die Anwendung rücken. Beispiele für die konkrete Berechnung der wesentlichen Zerspanungsprozesse runden den theoretischen Teil ab. Einen besonderen Wert stellt die Sammlung von Richtwerten dar, die für die Praktiker eine wesentliche Hilfestellung bei der Bestimmung von Prozessparametern sind.

Diesem Buch kann man daher nur wünschen, dass es so viel Anerkennung und Beachtung findet, wie in der Vergangenheit und auch darüber hinaus.

Stuttgart, Mai 2019

Prof. Dr.-Ing. *Hans-Christian Möhring*
Institut für Werkzeugmaschinen
Universität Stuttgart

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	15
1 Theorie der spanenden Formung	17
1.1 Begriffe der spanenden Formung	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 Schneidteil 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
1.2 Vorgänge bei der Spanbildung	48
1.2.1 Mechanik der Spanbildung	48
1.2.1.1 Ansätze zur Modellierung der Spanbildung	48
1.2.1.2 Geschwindigkeitsverhältnisse	54
1.2.1.3 Kräfteverhältnisse	55
1.2.2 Spanarten und Spanformen	57
1.2.2.1 Spanarten	57

1.2.2.2	Spanformen	60
1.2.3	Auswirkungen des Spanbildungsprozesses	63
1.3	Schneidstoffe und ihre Anwendung	63
1.3.0	Allgemeine Betrachtungen	63
1.3.1	Werkzeugstähle, unlegiert und legiert	68
1.3.2	Schnellarbeitsstähle	69
1.3.3	Gegossene Hartlegierungen	72
1.3.4	Sinterhartmetalle	72
1.3.5	Schneidkeramik	75
1.3.5.1	Eigenschaften	75
1.3.5.2	Anwendung und Einsatz	76
1.3.6	Superharte Schneidstoffe (Diamant, Bornitrid)	77
1.3.7	Oberflächenbehandelte Schneidstoffe	80
1.3.8	Schneidstoffauswahl in der Werkzeugauslegung	82
1.3.9	Schleifmittel	83
1.4	Temperatur, Verschleiß und Standzeit	85
1.4.1	Spannungstemperatur	85
1.4.2	Verschleißursachen	87
1.4.3	Verschleißarten	89
1.4.4	Auswirkungen des Verschleißes	90
1.4.5	Verschleißkriterien	90
1.4.6	Standzeit	91
1.4.6.1	Definition des Standzeitbegriffs	91
1.4.6.2	Standzeitdiagramm und Einflussgrößen auf die Standzeit	91
1.4.6.3	Standzeitgleichung	95
1.5	Schnittkraft und Leistung	97
1.5.1	Zerspankraft und ihre Komponenten	97
1.5.2	Schnittkraft und spezifische Schnittkraft	97
1.5.3	Einflussgrößen auf Schnittkraft und spezifische Schnittkraft	98
1.5.4	Berechnung der Schnittkraft	103
1.5.5	Vorschub- und Passivkraft	107
1.5.5.1	Einflussgrößen	107
1.5.5.2	Berechnung der Vorschub- und Passivkraft	107
1.5.5.3	Berechnung der Schnittkraft im Gebiet der spanenden Feinbearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide	109
1.5.6	Leistung	112
1.5.7	Zeitspannungsvolumen und spezifisches Spannungsvolumen	113
1.5.8	Maschinenauslastung	114
1.5.9	Energieaufwand	116
1.5.10	Schnittwertoptimierung	120
1.6	Simulation von Zerspanungsvorgängen	121
1.6.1	Einführung	121
1.6.2	Finite-Elemente-Methode (FEM)	122

1.6.3	Molekulardynamische Modellierung	124
1.6.4	Materialmodelle	125
1.6.5	Reibungsmodelle	127
1.6.6	Schädigungsmodelle	128
1.7	Oberflächenqualität	129
1.7.1	Oberflächengestalt	129
1.7.2	Oberflächenbeschaffenheit	134
1.7.3	Oberflächenverhalten	137
1.8	Spanbarkeit und Spanbarkeitsprüfung von Stahlwerkstoffen	138
1.9	Kühlschmierstoffe	143
1.9.1	Eigenschaften und Anwendung	143
1.9.2	Auswirkungen der Kühlschmierstoffe auf Standzeit, Oberflächenqualität und Schnittkräfte	146
1.9.3	Auswahl von Kühlschmierstoffen	147
1.9.4	Trockenbearbeitung	148
1.9.5	Vor- und Nachteile der Nass- und Trockenbearbeitung sowie der Minimalmengenschmierung	150
1.9.6	Darstellung der Möglichkeiten der Trockenbearbeitung	154
1.10	Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (HSC – High-speed-cutting)	158
1.10.1	Grundsätzliches zur HSC	158
1.10.2	Praktische Realisierung der HSC	159
2	Berechnung	167
2.1	Drehen	167
2.1.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	167
2.1.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	167
2.1.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	168
2.1.2	Berechnung der Hauptzeit	169
2.1.2.1	Langdrehen	169
2.1.2.2	Gewindedrehen	170
2.1.2.3	Kegeldrehen	171
2.1.2.4	Plandrehen	173
2.1.2.5	Planringdrehen	175
2.1.2.6	Nachformdrehen	176
2.1.2.7	Drehen auf Automaten	179
2.1.3	Berechnungsbeispiel	180
2.2	Bohren, Senken, Reiben	182
2.2.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	182
2.2.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	182
2.2.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	188
2.2.2	Berechnung der Hauptzeit	190
2.2.2.1	Bohren und Aufbohren mit Spiralbohrer	190

2.2.2.2	Senken und Reiben	192
2.2.3	Berechnungsbeispiel	192
2.3	Fräsen	193
2.3.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	193
2.3.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	193
2.3.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	200
2.3.2	Berechnung der Hauptzeit	203
2.3.2.1	Umfangsfraesen	203
2.3.2.2	Stirnfraesen	204
2.3.2.3	Nutenfraesen auf Nutenfraesmaschinen	206
2.3.2.4	Gewindefraesen	207
2.3.3	Berechnungsbeispiele	209
2.3.3.1	Stirnfraesen	209
2.3.3.2	Umfangsfraesen	212
2.4	Hobeln und Stoessen	214
2.4.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	214
2.4.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	214
2.4.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	214
2.4.2	Berechnung der Hauptzeit	215
2.4.3	Berechnungsbeispiel	216
2.5	Räumen	218
2.5.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	218
2.5.2	Berechnung der Teilung des Räumwerkzeugs	219
2.5.2.1	Berücksichtigung der Aufnahmefähigkeit des Spanraums	219
2.5.2.2	Berücksichtigung der Zug- oder Druckkraft der Maschine	220
2.5.2.3	Berücksichtigung der Festigkeit des Räumwerkzeugs	220
2.5.2.4	Weitere Größen der Zahnung am Räumwerkzeug	221
2.5.3	Zusammenstellung der Gleichungen	223
2.5.4	Berechnung der Hauptzeit	224
2.5.5	Berechnungsbeispiel	224
2.6	Sägen	228
2.6.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	228
2.6.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	228
2.6.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	230
2.6.2	Berechnung der Hauptzeit	231
2.6.3	Berechnungsbeispiel	231
2.7	Schleifen	232
2.7.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung beim Schleifen	233
2.7.2	Berechnung der Hauptzeit	235
2.7.2.1	Rundschleifen	235
2.7.2.2	Flachschleifen	238
2.7.3	Berechnungsbeispiel	240

2.8	Zahnradbearbeitung	241
2.8.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	241
2.8.1.1	Wälzfräsen (gerad- und schrägverzahnte Stirnräder)	242
2.8.1.2	Wälzstoßen (geradverzahnte Stirnräder)	244
2.8.1.3	Zahnflankenschleifen (geradverzahnte Stirnräder)	244
2.8.1.4	Berechnungsbeispiele	245
2.8.2	Berechnung der Hauptzeit – Verfahrensüberblick	246
2.8.2.1	Stirnradbearbeitung	247
2.8.2.2	Bearbeitung von Schneckenrieben	260
2.8.2.3	Kegelradbearbeitung	267
2.8.2.4	Berechnungsbeispiele	274
2.8.3	Anmerkungen zu den Verzahnungsverfahren	279
2.9	Weitere Verfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide – Verfahrens- überblick	280
2.9.1	Honen	281
2.9.1.1	Verfahrenseinführung	281
2.9.1.2	Genauigkeit beim Honen	282
2.9.1.3	Werkstück und Fertigungsergebnis	282
2.9.1.4	Werkzeug und Fertigungsergebnis	283
2.9.1.5	Werkzeugmaschine und Fertigungsergebnis	285
2.9.1.6	Wirtschaftlichkeit und Entwicklungstendenzen	287
2.9.2	Superfinish	287
2.9.2.1	Verfahrenseinführung	287
2.9.2.2	Genauigkeit beim Superfinish	288
2.9.2.3	Werkstück und Fertigungsergebnis	289
2.9.2.4	Werkzeug und Fertigungsergebnis	290
2.9.2.5	Werkzeugmaschine und Fertigungsergebnis	291
2.9.2.6	Wirtschaftlichkeit	293
2.9.3	Läppen	294
2.9.3.1	Verfahrenseinführung	294
2.9.3.2	Genauigkeit beim Läppen	298
2.9.3.3	Verfahren und Werkzeugmaschinen	299
2.9.3.4	Entwicklungstendenzen	305
3	Richtwerte	306
3.1	Spezifische Schnittkräfte, Korrektur- und Verfahrensfaktoren (Tabellen 3.1 und 3.2)	306
3.2	Drehen (Tabellen 3.3 bis 3.19)	310
3.3	Hobeln und Stoßen (Tabellen 3.20 und 3.21)	327
3.4	Fräsen (Tabellen 3.22 bis 3.45)	328
3.5	Bohren, Senken, Reiben (Tabellen 3.46 bis 3.63)	344
3.6	Sägen (Tabellen 3.64 und 3.65)	354

3.7	Räumen (Tabellen 3.66 bis 3.68)	355
3.8	Schleifen (Tabellen 3.69 bis 3.76)	356
3.9	Zahnradbearbeitung (Tabellen 3.77 bis 3.87)	361
3.10	Bearbeitung von Sonderwerkstoffen	366
3.10.1	Spanende Bearbeitung von Kunststoffen (Tabellen 3.88 bis 3.96)	366
3.10.2	Spanende Bearbeitung von hoch legierten Stählen (Tabellen 3.97 bis 3.109)	375
3.10.3	Spanen von Titan und Titanlegierungen (Tabellen 3.110 bis 3.112)	381
3.10.4	Spanen von partikelverstärktem Aluminium	384
3.11	Werkstoffe	385
3.11.1	Werkstoffgruppen (Tabellen 3.113 und 3.114)	385
3.11.2	Gegenüberstellung von alter (DIN) und neuer (Euro-Norm) Werkstoffbezeichnung	388
3.12	Schneidstoffe	392
3.12.1	Schnellarbeitsstahl (Tabellen 3.116 bis 3.118)	392
3.12.2	Hartmetall (Tabellen 3.119 und 3.121)	394
Literaturverzeichnis		396
Weiterführende Literatur		408
Normen und Richtlinien		410
Sachwortverzeichnis		423

Einleitung

Im ersten Teil des Buches, der Theorie der spanenden Formung, wird aufbauend auf den genormten Grundbegriffen ausführlich auf Kinematik und Geometrie des Spannungsvorganges, Werkzeuggeometrie, Kraftkomponenten etc. eingegangen. Generell sind im Buch die aktuellen Normen (DIN, EN und ISO) und VDI-Richtlinien berücksichtigt. Die Vorgänge bei der Spanbildung werden nach der anerkannten plastizitätsmechanischen Theorie abgehandelt. Im Weiteren werden die zwei wichtigsten Themenkomplexe Verschleiß und Standzeit sowie Schnittkraft und Leistung mehr aus praktischer Sicht behandelt. Die zu diesem Komplex gehörenden Schneidstoffe wurden ebenso wie die Verschleißproblematik überarbeitet und auf den neuesten Stand gebracht. Das gilt auch für die Kühlschmierstoffe. Die Theorie wird abgeschlossen mit den Abschnitten Nass- und Trockenbearbeitung sowie Hochgeschwindigkeitsbearbeitung. Beide Abschnitte sind sehr aktuell und zukunftsorientiert. Leider musste aus Platzgründen der bisherige Abschnitt zur Entwicklung der Spannungsforschung entfallen. Interessierte Leser können diesen Abschnitt in den Büchern bis zur 14. Auflage und unter [164] nachlesen.

Im zweiten Teil werden die Berechnungen abgeleitet. Für alle wichtigen Verfahren der spanenden Formung erfolgt hier in konzentrierter Form die Berechnung von Schnittkraft, Leistung und Hauptzeit. Auf komplizierte Schnittgeschwindigkeits- und Standzeitberechnungen wird verzichtet, da die im Teil 3 vorhandenen Richtwerttabellen für die praktische Anwendung eine genügende Genauigkeit aufweisen. Für Drehen und Fräsen werden die Exponenten der Standzeitgleichung angegeben, um eine Weiterverarbeitung mittels Rechner zu ermöglichen. Hinsichtlich der Schnittkraftberechnung erfolgt die Orientierung bei allen Verfahren – außer Verzahnung – auf die im Abschnitt 1.5.4 behandelte Grundgleichung von KIENZLE [1]. Hierfür ist besonders die Bestimmung der Spannungsdicke h maßgebend, weil die spezifische Schnittkraft außer vom zu spanenden Werkstoff vor allem von der Spannungsdicke abhängig ist. Dieser Rechengang kann vor allem deshalb als das zweckmäßigste Berechnungsverfahren angesehen werden, weil sich die von KIENZLE und VICTOR [2] ermittelten k_c -Richtwerte nicht nur für Drehen – wofür sie ursprünglich ermittelt wurden –, sondern auch für alle anderen spanenden Verfahren anwenden lassen, wenn man die Eigenheiten dieser Verfahren durch die Verfahrensfaktoren berücksichtigt. Bei den wichtigsten Feinbearbeitungsverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide stehen wegen der besonderen Spezifik dieser Verfahren die Verfahrensbeschreibungen im Vordergrund, weniger die Berechnungen. Beim Abschnitt Verzahnverfahren wurde die Hauptzeitberechnung durch eine angemessen umfangreiche Verfahrensbeschreibung ergänzt.

Der dritte Teil enthält die Richtwerte für die im ersten und zweiten Teil abgehandelten Verfahren. Tabelle 3.1 bringt Richtwerte für die spezifischen Schnittkräfte der spanenden Formung. Dazu sind unbedingt die Erläuterungen zu beachten, weil die spezifischen Schnittkräfte bei Drehversuchen ermittelt wurden und daher eigentlich nur für die bei diesen Versuchen vorge-

legenden Spannungsbedingungen gelten. Sie sind aber bei Beachtung entsprechender Korrektur- und Verfahrensfaktoren, die bei der Schnittkraftberechnung der jeweiligen Verfahren behandelt werden, auch für Bohren, Senken und Reiben, Fräsen, Hobeln, Stoßen und Räumen, Sägen sowie für das Schleifen anwendbar.

In diesem Kapitel werden teilweise TGL-Standards angeführt, die für verschiedene Bearbeitungsoperationen (Drehen, Hobeln/Stoßen, Fräsen, Bohren, Wälzfräsen und Gewindebohren) Zerspanungsrichtwerte und Bearbeitungszugaben (Schleifen) in komprimierter, handlicher und bewährter Form enthielten. Diese Normen, die in der ehemaligen DDR als staatliche Standards verbindlich anzuwenden waren, stammen aus der Entstehungsgeschichte dieses Werks unter der Herausgeberschaft von W. Degner, H. Lutze und E. Smejkal als einem der wesentlichsten Zerspanungslehrbücher der damaligen DDR. Sie haben für die entsprechenden Werkzeug- und Werkstück-Werkstoffe aber bis heute nichts an Aktualität verloren.

Die Richtwertsammlung enthält für eine umfangreiche Verfahrens- und Werkstoffpalette die in der betrieblichen Praxis benötigten Angaben zu Schnittdaten, Schneidstoffauswahl und Schneidengeometrie. Die Bearbeitung von schwer spanbaren Werkstoffen, wie Titan und Titanlegierungen, sind hierin enthalten sowie ein umfangreicher Tabellenteil mit neuen und alten Werkstoffbezeichnungen.

Es wird häufig auf die Unzulänglichkeiten, die teilweise großen Streuungen und die Kurzlebigkeit von Richtwerten aufgrund der ständig weiterentwickelten Schneidstoffe und Werkstoffe hingewiesen. Vor dem Hintergrund der Bemühungen von Fachleuten, Maschinen- und Werkzeugherstellern sowie von Fachgremien möglichst vollständige anwendungsbereite und sichere Richtwertsammlungen zu erarbeiten, erscheint es trotz aller Schwierigkeiten als ein praktikabler Weg, Richtwerte als Werte zur Orientierung anzugeben.

Betrachtet man die Einflussgrößen auf den Spannungsvorgang und somit auch auf die Richtwerte

- Werkzeugmaschine und Bearbeitungsverfahren (Starrheit und Schwingungsverhalten, Spannelemente, Betriebszustand)
- Werkstück (Werkstoff, Festigkeit, Gefüge, Homogenität, Abmessungen, Gestalt, Stabilität, Vorbearbeitung)
- Werkzeug (Schneidstoff, Form und Abmessungen, Anschliff und Winkel, Starrheit, Verschleiß)
- Schnittbedingungen (Schnittgeschwindigkeit, Vorschub, Schnitttiefe, Kühlung und Schmierung),

so ist es einleuchtend, dass Richtwerte stets eine gewisse Streubreite aufweisen. Es ist aber sinnvoll, der Person in der Praxis gerade wegen der Unsicherheit der Richtwerte auch Angaben und Hinweise zu vermitteln, damit für jede spezielle Bearbeitungsaufgabe die zweckmäßigsten Parameter erprobt werden können. Außerdem werden für alle praktischen Berechnungen in der spanenden Formung *Richtwerte* als *Rechenwerte* in den entsprechenden Gleichungen benötigt. Auch den derzeit von zahlreichen Werkzeugherstellern angebotenen Softwaretools zur Berechnung der Schnittwerte sind neben Erfahrungs- letztendlich auch die allgemein anerkannten Richtwerte hinterlegt.

1 Theorie der spanenden Formung

1.1 Begriffe der spanenden Formung

1.1.0 Grundlagen

Grundanliegen dieses ersten Abschnittes ist es, Klarheit in den Begriffen der spanenden Formung zu schaffen.

KIENZLE mit seinen grundlegenden Arbeiten [3] und [4] gebührt das besondere Verdienst, dass er zunächst ein Ordnungssystem der Fertigungsverfahren geschaffen hat, aus der DIN 8580 im Wesentlichen entstand. Aus den sechs Hauptgruppen der Fertigungsverfahren (Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten, Stoffeigenschaftsändern) wurde die dritte Hauptgruppe Trennen weiter unterteilt in die Gruppen Zerteilen, Spanen mit geometrisch bestimmten und unbestimmten Schneiden sowie Abtragen (Bild 1.1).

Ein weiterentwickeltes Ordnungssystem, ebenfalls in der umfangreichen DIN 8589 festgelegt, unterteilt dann weiter in die einzelnen Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneide (Drehen, Bohren/Senken/Reiben, Fräsen, Hobeln/Stoßen, Räumen, Sägen, Feilen/Raspeln, Bürstspanen, Schaben/Meißeln) und mit geometrisch unbestimmter Schneide (Schleifen, Bandschleifen, Hubschleifen, Honen, Läppen, Strahlspanen, Gleitspanen). Generell versteht man nach DIN 8589 unter Spanen einen Trennvorgang, bei dem ein Werkstück mithilfe der Schneiden eines Werkzeugs (mit geometrisch bestimmten oder geometrisch unbestimmten Schneiden) Werkstoffschichten in Form von Spänen zu einer Änderung der Werkstückform (meist vorgefertigt durch Ur- oder Umformen) und/oder der Werkstückoberfläche mechanisch abgetrennt werden.

Aufgrund der sehr weiten Verbreitung und Anwendung des Spanens und damit insgesamt der spanenden Verfahren bestand für Forschung, Praxis und Lehre aber auch die Notwendigkeit einer korrekten und konkreten Definition der Begriffe, speziell für die Kinematik und Geometrie des Spanungsvorgangs, die Geometrie des Schneidkeiles und weiterer physikalischer und technologischer Spannungsbegriffe.

Ältere Arbeiten beschränken sich dabei meist auf Definitionen und die Nomenklatur der Winkel, primär beim einschneidigen Werkzeug. Es wurden aber auch Versuche gemacht, diese Begriffsbestimmungen auf alle spanenden Verfahren zu übertragen [5]. Die Begriffe sind heute im Wesentlichen in den DIN 8580, 8581, 8582, 8583 und 8584 festgelegt. Der Vorteil dieser DIN ist, dass sie im hohen Maße auch auf die internationale Norm ISO 3002/1 bis 3002/5 abgestimmt sind.

Auf diese DIN wird nachfolgend näher eingegangen, da sie die Grundlagen für alle spanenden Verfahren bilden.

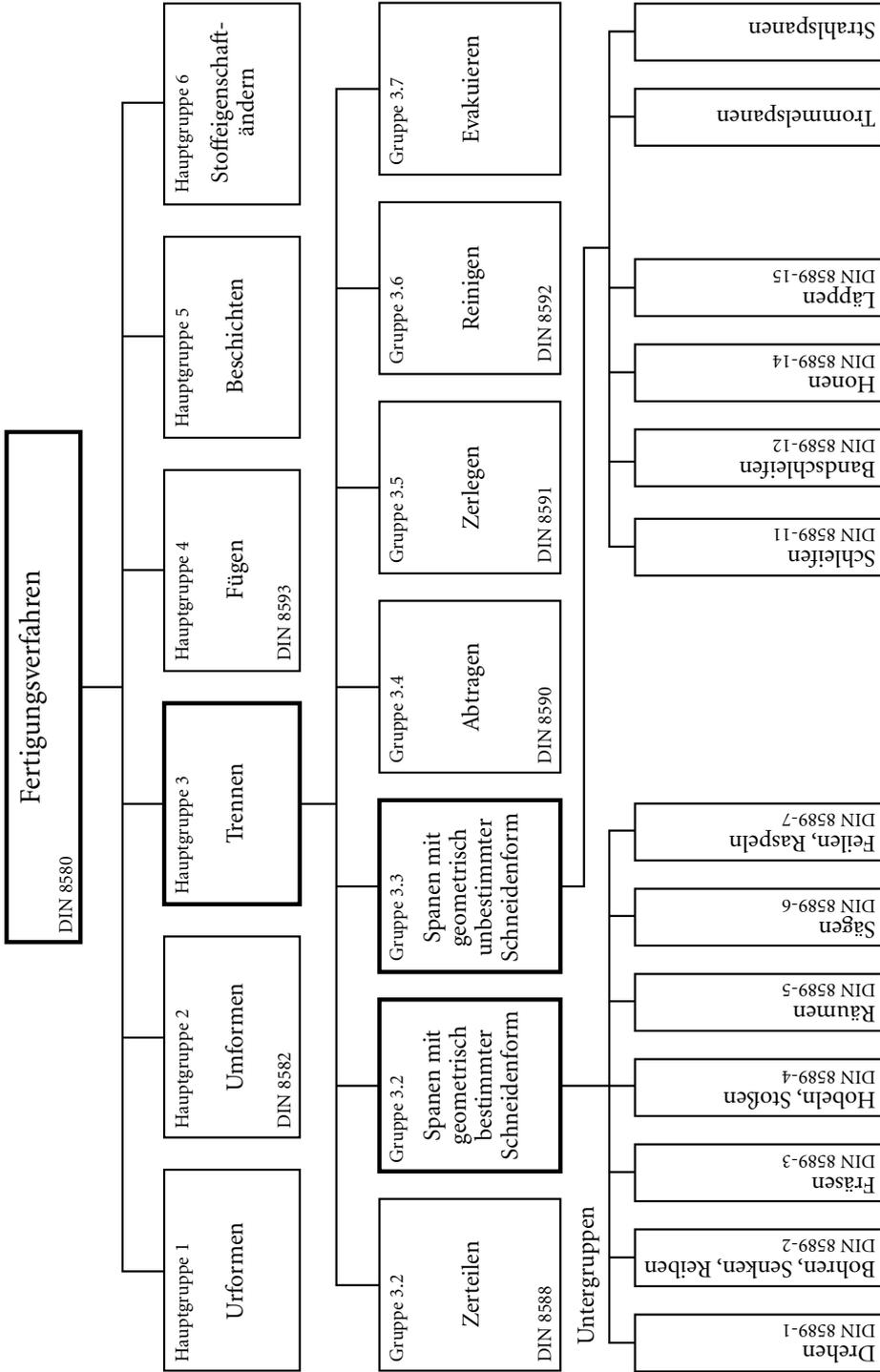


Bild 1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 und Zuordnung spanender Verfahren

Die Begriffe des Spanens müssen folgenden Forderungen Rechnung tragen:

1. Sie müssen auf sämtliche spanende Bearbeitungsverfahren anwendbar und übertragbar sein.
2. Sie müssen in einem logischen geometrischen Zusammenhang stehen.
3. Eingeführte und bestehende Begriffe sollten soweit wie möglich berücksichtigt werden.

Die gleichzeitige Gültigkeit der Begriffe für alle spanenden Verfahren schafft die Möglichkeit, die für die Praxis notwendigen Begriffe auf ein Minimum zu beschränken.

Die Systematik und die Begriffe beruhen darauf, dass von dem allgemeinen Fall des Spannungsvorgangs, bei dem die Vorschubrichtung nicht senkrecht zur Schnittrichtung steht, ausgegangen wurde. Das häufig als Lehrbeispiel dargestellte Drehen stellt dann nur einen Sonderfall dar. Die Betrachtungen dieses allgemeinen Falls führen zur Einführung des entscheidenden Begriffs des Vorschubrichtungswinkels φ . Erst durch ihn ergibt sich der geometrische Zusammenhang zwischen den verschiedenen spanenden Verfahren.

Weiterhin werden die Wirkbewegungen als Resultierende aus Schnittbewegung und Vorschubbewegung in die Betrachtung einbezogen und hieraus die Wirkbegriffe abgeleitet. Wenn auch der Unterschied zwischen Wirkrichtung und Schnittrichtung meist vernachlässigbar klein ist, werden doch durch den Wirkrichtungswinkel η , der den Unterschied zwischen Wirkrichtung und Schnittrichtung angibt, wesentliche geometrische Zusammenhänge deutlich. Da diese Kinematik des Spannungsvorgangs die wesentliche Grundlage für die neue Betrachtungsweise bildet, ergibt sich als entscheidende Bezugsebene für die Spanungsgeometrie diejenige Ebene, die alle Bewegungen enthält. Sie wird Arbeitsebene genannt. Mit den Begriffen Vorschubrichtungswinkel, Wirkrichtungswinkel und Arbeitsebene lassen sich die Grundbegriffe allgemein gültig für alle spanenden Verfahren aufbauen.

1.1.1 Kinematik und Geometrie des Spannungsvorgangs

Die für jeden spanenden Vorgang wichtigen Bewegungen sowie die Geometrie des Spannungsvorgangs sind in DIN 6580 festgelegt. Sie stimmen inhaltlich mit ISO 3002-1 und 3002-3 überein.

Die folgenden Teilabschnitte 1.1.1.1 bis 1.1.1.5 behandeln die Spanungs kinematik als Grundlage der Festlegungen. Die hieraus abgeleiteten notwendigen Hilfsbegriffe sind in 1.1.1.6 erläutert. Teilabschnitt 1.1.1.7 definiert die Flächen am Werkstück, während in 1.1.1.8 bis 1.1.1.10 die Vorschubgrößen, Eingriffsgrößen und Spanungsgrößen definiert und erläutert sind.

Besonders die Begriffs festlegung der Schnitttiefe bzw. Schnittbreite a_p im Teilabschnitt 1.1.1.9 ist zu beachten, um Verwechslungen mit dem Arbeitseingriff a_e , zu vermeiden. Die Größe a_p ist immer diejenige, die, mit dem Vorschub f multipliziert, den Spanungsquerschnitt A ergibt. Da der Vorschub in der Arbeitsebene bzw. parallel dazu gemessen wird, muss die Größe a_p senkrecht dazu gemessen werden. Sie erscheint als Schnitttiefe oder als Schnittbreite und führt deshalb wahlweise die eine oder andere Benennung, aber immer das gleiche Zeichen a_p . Beim Fräsen und Schleifen ist zusätzlich der Arbeitseingriff a_e , von Interesse. Er steht senkrecht zur Größe a_p und zur Vorschubrichtung und ist nicht zu verwechseln mit der Schnitttiefe a_p .

Die im Abschnitt 1.1.1.10 erläuterten Spanungsgrößen sind nicht identisch mit den Abmessungen der abgehobenen Späne (siehe Unterabschnitt 1.2.1.1). In den Begriffen der spanenden Formung werden die „Einstellgrößen“, d. h. die Größen, die für den Arbeitsgang unmittelbar an der Maschine einzustellen sind, nicht besonders behandelt.

Selbstverständlich können je nach Kinematik der Werkzeugmaschine z. B. auch Geschwindigkeiten, Vorschubgrößen oder Eingriffsgrößen „Einstellgrößen“ sein.

Die definierten Begriffe beziehen sich immer auf den jeweils betrachteten Schneidenpunkt.

1.1.1.1 Bewegungen zwischen Werkzeugschneide und Werkstück

Die Bewegungen bei einem Spanungsvorgang sind Relativbewegungen zwischen Werkzeugschneide und Werkstück. Sie werden auf das ruhend gedachte Werkstück bezogen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen solchen Bewegungen, die unmittelbar das Entstehen von Spänen bewirken (Wirkbewegung, Schnittbewegung und Vorschubbewegung), und solchen, die nicht unmittelbar am Entstehen von Spänen beteiligt sind (Zustellbewegung, Nachstellbewegung, Ausstellbewegung und Rückstellbewegung).

Die Bewegungen können gerade, kreisförmig oder beliebig sein. Es sind Bewegungen an der Wirkstelle, die durch die Werkzeugmaschine erzeugt werden.

Unmittelbar entstehen Späne durch die Wirkbewegung, die sich meist aus einer Schnittbewegung und einer Vorschubbewegung zusammensetzt, nach einer vorangegangenen Zustellbewegung.

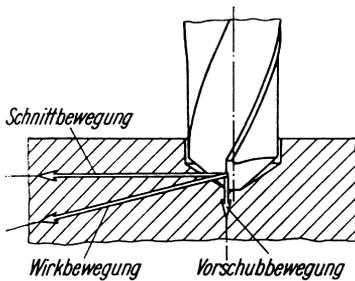


Bild 1.2 Schnitt-, Vorschub- und Wirkbewegung beim Bohren (nach DIN 6580)

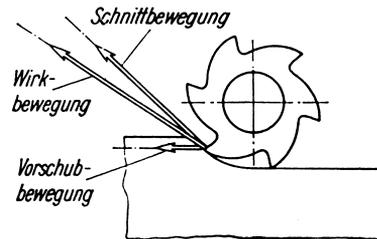


Bild 1.3 Schnitt-, Vorschub- und Wirkbewegung beim Fräsen (nach DIN 6580)

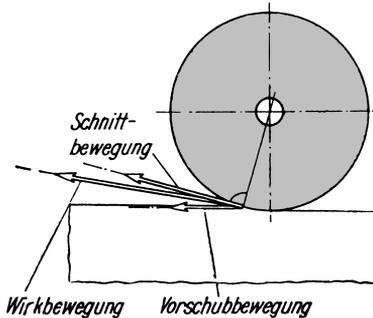


Bild 1.4 Schnitt-, Vorschub- und Wirkbewegung beim Schleifen (nach DIN 6580)

Wirkbewegung

Die Wirkbewegung ist die Bewegung zwischen Werkzeugschneide und Werkstück, die den Zerspanvorgang bewirkt. Sie ist in der Regel eine aus Schnitt- und Vorschubbewegung resultierende Bewegung. Erfolgt keine gleichzeitige Vorschubbewegung, so ist die Wirkbewegung identisch mit der Schnittbewegung (Bilder 1.1 bis 1.3).

Schnittbewegung

Die Schnittbewegung ist diejenige Bewegung zwischen Werkzeugschneide und Werkstück, die ohne Vorschubbewegung nur eine einmalige Spanabnahme während einer Umdrehung oder eines Hubs bewirken würde. Die Schnittbewegung kann sich aus mehreren Komponenten zusammensetzen.

Vorschubbewegung

Die Vorschubbewegung ist diejenige Bewegung zwischen Werkstück und Werkzeug, die zusammen mit der Schnittbewegung eine mehrmalige oder stetige Spanabnahme während mehrerer Umdrehungen oder Hübe ermöglicht. Sie kann schrittweise oder stetig vor sich gehen. Die Vorschubbewegung kann sich aus mehreren Komponenten zusammensetzen (Bild 1.5).

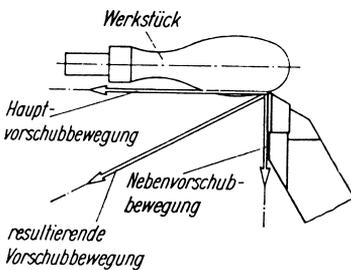


Bild 1.5 Beispiel für eine zusammengesetzte Vorschubbewegung (nach DIN 6580)

Die nicht unmittelbar an der Spanentstehung beteiligten Bewegungen sind trotzdem bedeutungsvoll, weil sie zur Bearbeitung des Werkstücks zwingend notwendig sind. Die Zustellbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück bestimmt im Voraus die Dicke der jeweils abzuhebenden Schicht (Schnitttiefe a_p).

Anmerkungen: Bei einigen Fertigungsverfahren – z. B. Einstechdrehen, Bohren, Räumen – gibt es verfahrensbedingt keine Zustellbewegung. Ferner ist auch die Nachstellbewegung als Korrekturbewegung bedeutsam, z. B. um den Werkzeugverschleiß mit Blick auf die geforderte Maßgenauigkeit des Werkstücks auszugleichen.

Die Anstellbewegung ist erforderlich, um das Werkzeug vor dem Spanen an das Werkstück heranzuführen, während die Rückstellbewegung das Werkzeug in die Ausgangslage zurückführt.

1.1.1.2 Richtungen der Bewegungen (Bewegungsrichtungen)

Unter den Bewegungsrichtungen versteht man die momentane Richtung der Wirkbewegung (Wirkrichtung), der Schnittbewegung (Schnittrichtung) und der Vorschubbewegung (Vorschubrichtung) im ausgewählten Schneidenpunkt.

Entsprechend kann unterschieden werden zwischen Zustell-, Nachstell-, Anstell- und Rückstellrichtung.

1.1.1.3 Wege des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück

Den einzelnen Bewegungen lassen sich die entsprechenden Wege zuordnen. So sind im Bild 1.6 am Beispiel des Walzfräsens der Wirkweg l_e , der Schnittweg l_c und der Vorschubweg l_f dargestellt.

Zum Beispiel ist der Vorschubweg l_f derjenige Weg, den der betrachtete Schneidenpunkt durch die Vorschubbewegung spanend zurücklegt. Der auf die Umdrehung oder den Hub bezogene Vorschubweg wird als „Vorschub“ bezeichnet und bedeutet folglich immer Vorschub pro Umdrehung bzw. pro Hub (siehe Abschnitt 1.1.1.8). Zustellweg l_z , Nachstellweg l_n , Anstellweg l_a und Rückstellweg l_r sind die jeweils den o. g. Bewegungen zugeordneten Wege.

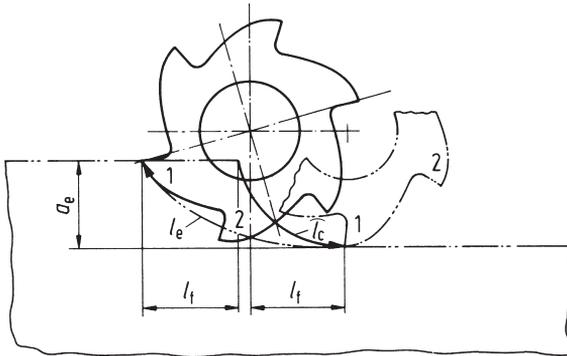


Bild 1.6 Schnittweg l_c , Vorschubweg l_f und Wirkweg l_e beim Gegenlaufräsen (nach DIN 6580)
Die Zahlen 1 und 2 zeigen die Bewegung der Fräserzähne.

1.1.1.4 Geschwindigkeiten

Wirkgeschwindigkeit v_e

Die Wirkgeschwindigkeit v_e ist die momentane Geschwindigkeit der Wirkbewegung im betrachteten (ausgewählten) Schneidenpunkt (Bilder 1.2 bis 1.4 und 1.7 bis 1.9).

$$v_e = \frac{v_c \sin \varphi}{\sin(\varphi - \eta)} = \frac{v_f + v_c \cos \varphi}{\cos(\varphi - \eta)} \quad (1.1)$$

In vielen Fällen ist das Verhältnis v_f/v_c so klein, dass die Näherung gilt

$$v_e \approx v_c \quad (1.2)$$

Schnittgeschwindigkeit v_c

Die Schnittgeschwindigkeit v_c ist die momentane Geschwindigkeit der Schnittbewegung im betrachteten Schneidenpunkt (Bilder 1.2 bis 1.4 und 1.7 bis 1.9). Sie ist z. B. bedeutungsvoll für das Standvermögen und die Standzeitberechnung der Werkzeuge sowie für die Leistungsberechnung der Werkzeugmaschine.

Vorschubgeschwindigkeit v_f

Die Vorschubgeschwindigkeit v_f ist die momentane Geschwindigkeit der Vorschubbewegung im betrachteten Schneidenpunkt (Bilder 1.2 bis 1.4 und 1.7 bis 1.9). Sie ist besonders für das Fräsen von Bedeutung und dient zur Leistungsberechnung von Vorschubantrieben.

Zustellgeschwindigkeit v_z , Nachstellgeschwindigkeit v_n , Anstellgeschwindigkeit v_a und Rückstellgeschwindigkeit v_r sind jeweils die momentanen Geschwindigkeiten im betrachteten Schneidenpunkt.

1.1.1.5 Komponenten der Bewegungen, Richtungen, Wege und Geschwindigkeiten

Die in den vorstehenden Abschnitten definierten Bewegungen Richtungen (1.1.1.2), Wege (1.1.1.3) und Geschwindigkeiten (1.1.1.4) können auch aus verschiedenen Komponenten erzeugt werden.

1. Komponenten, bezogen auf das rotierende Werkzeug bzw. Werkstück
2. Komponenten, bezogen auf lineare Bewegungen von Werkzeug bzw. Werkstück
3. Komponenten, bezogen auf die Werkzeugmaschine.

Anmerkung: Weitere Begriffe siehe DIN 66 217.

1.1.1.6 Hilfsbegriffe

Die einheitliche Betrachtung der verschiedenen Spanungsverfahren erfordert die Einführung einiger Hilfsbegriffe:

Vorschubrichtungswinkel φ

Der Vorschubrichtungswinkel φ ist der Winkel zwischen Vorschubrichtung und Schnittrichtung (Bilder 1.7 bis 1.11).

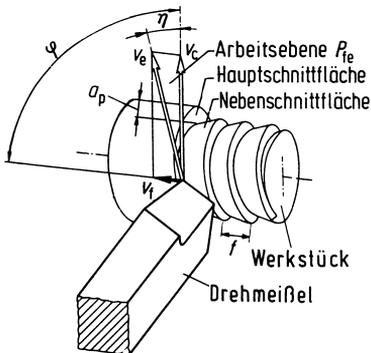


Bild 1.7 Arbeitsebene P_{fe} , Vorschubrichtungswinkel φ und Wirkrichtungswinkel η beim Drehen (nach DIN 6580)

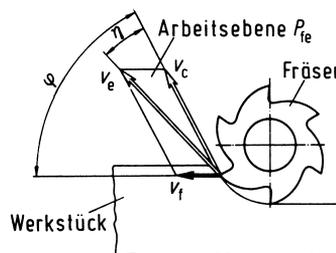


Bild 1.8 Arbeitsebene P_{fe} , Vorschubrichtungswinkel φ und Wirkrichtungswinkel η beim Gegenlaufräsen mit Walzenfräser ($\varphi < 90^\circ$) (nach DIN 6580)

Bei manchen Spanungsvorgängen, z. B. beim Fräsen, ändert sich φ laufend während des Schneidens (Bilder 1.8 bis 1.9). Dagegen ist bei anderen Spanungsvorgängen φ konstant = 90°

(siehe Bild 1.7), was bei diesen Vorgängen eine vereinfachte Berechnung des Wirkrichtungswinkels η nach sich zieht (siehe Gl. 1.4).

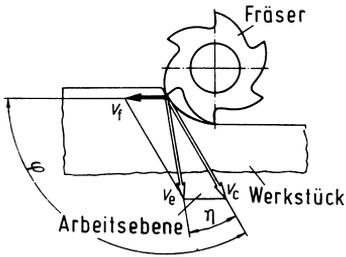


Bild 1.9 Arbeitsebene P_{fe} , Vorschubrichtungswinkel φ und Wirkrichtungswinkel η beim Gleichlaufräsen mit Walzenfräser ($\varphi > 90^\circ$) (nach DIN 6580)

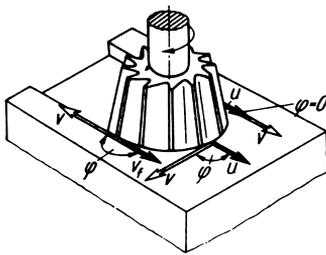


Bild 1.10 Vorschubrichtungswinkel φ beim Fräsen mit Stirnfräser (nach DIN 6580)

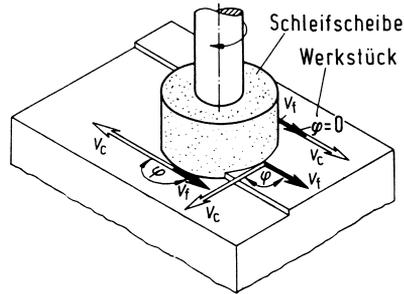


Bild 1.11 Vorschubrichtungswinkel φ beim Schleifen mit Stirnfräser (nach DIN 6580)

Wirkrichtungswinkel

Der Wirkrichtungswinkel η ist der Winkel zwischen Wirkrichtung und Schnitttrichtung (Bilder 1.7 bis 1.9):

$$\tan \eta = \frac{\sin \varphi}{\frac{v_c}{v_f} + \cos \varphi} \quad (1.3)$$

Bei

$$\varphi = 90^\circ \quad \text{ist} \quad \tan \eta = \frac{v_f}{v_c} \quad (1.4)$$

Arbeitsebene P_{fe}

Die Arbeitsebene P_{fe} ist eine gedachte Ebene, die die Schnitttrichtung und die Vorschubrichtung (in dem jeweils betrachteten Schneidpunkt) enthält. In ihr vollziehen sich die Bewegungen, die an der Spanentstehung beteiligt sind (Bilder 1.7 bis 1.9).

Anmerkung: Es gibt immer nur eine Arbeitsebene, auch dann, wenn die Vorschubbewegung aus mehreren Komponenten erzeugt wird, weil es momentan immer nur eine Vorschubrichtung gibt.

1.1.1.7 Flächen am Werkstück

Man unterscheidet die Ausgangsfläche, die Schnittfläche und die gefertigte Fläche. Während man unter der Ausgangsfläche die Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks vor dem Spanen versteht (Bild 1.12), ist die Schnittfläche die am Werkstück von der Werkzeugschneide erzeugte Fläche (Bild 1.12).

Ein Teil dieser Schnittfläche wird bei der nächsten Umdrehung bzw. beim nächsten Hub wieder abgespannt. Die am Werkstück verbleibenden Teile bilden die gefertigte Fläche, d. h. im Endeffekt diejenige Fläche am Werkstück, die durch den Spanungsvorgang erzeugt wurde (Bild 1.12).

Anmerkung: Entsprechend der Unterscheidung von Haupt- und Nebenschneide kann zwischen Haupt- und Nebenschnittflächen unterschieden werden, siehe auch Bild 1.12 und DIN 6580.

1.1.1.8 Vorschubgrößen

Vorschub f

Der Vorschub f ist der Vorschub je Umdrehung oder je Hub (Bild 1.12) gemessen in der Arbeitsebene.

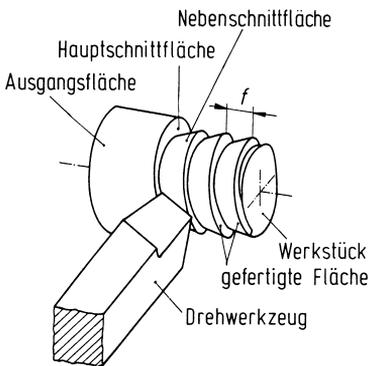


Bild 1.12 Flächen und Vorschub f beim Drehen (nach DIN 6580)

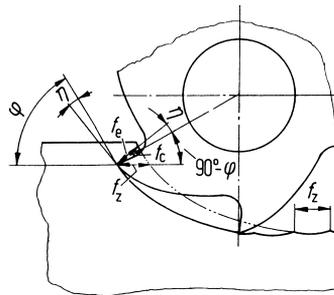


Bild 1.13 Zahnvorschub f_z , Schnittvorschub f_c und Wirkvorschub f_e beim Gegenlaufräsen (nach DIN 6580)

Zahnvorschub f_z

Der Zahnvorschub f_z ist der Vorschubweg zwischen zwei unmittelbar nacheinander entstehenden Schnittflächen, also der Vorschub je Zahn oder je Schneide (Bild 1.13), gemessen in der Arbeitsebene. Es ist

$$f_z = \frac{f}{z} \quad z \text{ Anzahl der Schneidenträger (Zähne).} \quad (1.5)$$

Ist $z = 1$, z. B. beim Fräsen mit einem Einzahnfräser oder beim Drehen, so wird damit

$$f_z = f \quad (1.6)$$

Beim Räumen entspricht dem Zahnvorschub die Zahnstaffelung. Vom Zahnvorschub f_z abgeleitet sind der Schnittvorschub f_c und der Wirkvorschub f_e .

Schnittvorschub f_c

Der Schnittvorschub f_c ist der Abstand zweier unmittelbar nacheinander entstehenden Schnittflächen, gemessen in der Arbeitsebene und senkrecht zur Schnittrichtung (Bild 1.13). Es ist

$$f_c \approx f_z \sin \varphi \quad (1.7)$$

Bei Spannungsvorgängen mit $\varphi = 90^\circ$ (z. B. beim Drehen und Hobeln) ist

$$f_c = f_z \quad (1.8)$$

Wirkvorschub f_e

Der Wirkvorschub f_e ist der Abstand zweier unmittelbar nacheinander entstehenden Schnittflächen, gemessen in der Arbeitsebene und senkrecht zur Wirkrichtung (Bild 1.13). Es ist

$$f_e \approx f_z \sin(\varphi - \eta) \quad (1.9)$$

In vielen Fällen ist das Verhältnis v_f/v_c so klein, dass η vernachlässigbar ist. Dann ist mit genügender Genauigkeit

$$f_e \approx f_z \sin \varphi \approx f_c \quad (1.10)$$

1.1.1.9 Eingriffsgrößen

Die Eingriffsgrößen beschreiben geometrisch das Ineinandergreifen von Werkzeug und Werkstück, also des Wirkpaares.

a) Eingriffsgrößen des Werkzeuges, bezogen auf die Arbeitsebene

Schnitttiefe bzw. Schnittbreite a_p

Die Schnitttiefe bzw. Schnittbreite a_p ist die Tiefe bzw. Breite des Eingriffs der Hauptschneide, senkrecht zur Arbeitsebene gemessen (Bilder 1.14 bis 1.18).

Beim Langdrehen und Plandrehen, Stirnfräsen und Seitenschleifen entspricht a_p der Tiefe des Eingriffs (Schnitttiefe).

Beim Einstechen, Räumen, Walzfräsen und Umfangsschleifen entspricht a_p der Breite des Eingriffs, also der Schnittbreite.

Beim Bohren ins Volle entspricht a_p dem halben Bohrerdurchmesser.

Arbeitseingriff a_e

Der Arbeitseingriff a_e ist die Größe des Eingriffes des Werkzeuges, gemessen in der Arbeitsebene und senkrecht zur Vorschubrichtung.

Der Arbeitseingriff hat insbesondere beim Fräsen und Schleifen Bedeutung, siehe Bilder 1.14 bis 1.16.

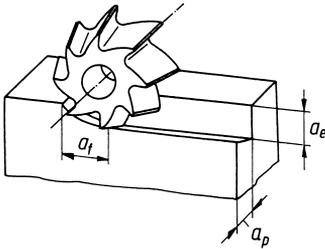


Bild 1.14 Schnittbreite a_p , Arbeitseingriff a_e und Vorschubeingriff a_f beim Umfangsfräsen (nach DIN 6580)

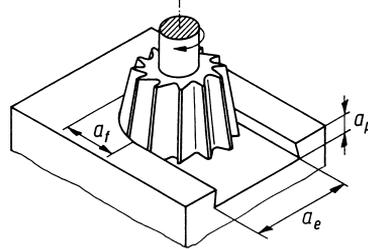


Bild 1.15 Schnittbreite a_p , Arbeitseingriff a_e und Vorschubeingriff a_f beim Stirnfräsen (nach DIN 6580)

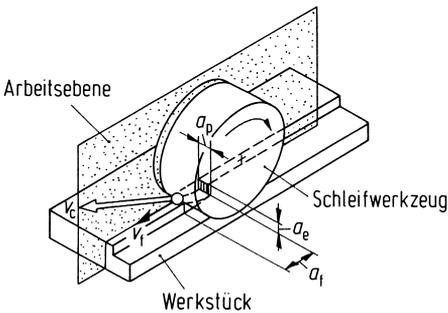


Bild 1.16 Schnittbreite a_p , Arbeitseingriff a_e und Vorschubeingriff a_f beim Umfangsschleifen (nach DIN 6580)

Vorschubeingriff a_f

Der Vorschubeingriff a_f ist die Größe des Eingriffes des Werkzeuges in Vorschubrichtung (Bilder 1.14 bis 1.16).

b) Eingriffsgrößen der Schneide, bezogen auf die Arbeitsebene

Eingriffsgrößen können auch auf eine einzelne Schneide bezogen werden. Sie erhalten dann den Index S.

Anmerkung: Der Index S kann entfallen, wenn die Eingriffsgrößen der Schneide mit den entsprechenden Eingriffsgrößen des Werkzeuges identisch sind (Bild 1.18).

Schnitttiefe bzw. Schnittbreite der Schneide a_{Sp}

Die Schnitttiefe bzw. Schnittbreite der Schneide a_{Sp} ist die Tiefe bzw. Breite des Schneideneingriffes, gemessen senkrecht zur Arbeitsebene (Bilder 1.17 und 1.18).

Arbeitseingriff der Schneide a_{Se}

Der Arbeitseingriff der Schneide a_{Se} ist die Größe des Schneideneingriffes, gemessen in der Arbeitsebene und senkrecht zur Vorschubrichtung (Bild 1.17).

Vorschubeingriff der Schneide a_{sf}

Der Vorschubeingriff der Schneide a_{sf} ist die Größe des Schneideneingriffes in Vorschubrichtung (Bilder 1.17 und 1.18).

Die Eingriffsgrößen des Werkzeuges können auch auf die Werkzeugachse oder auf die Werkzeugmaschinenachse bezogen werden.

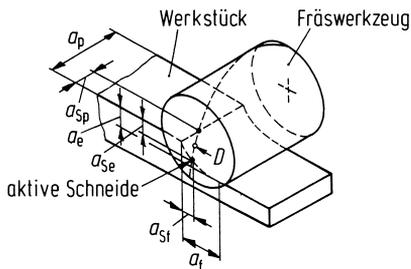


Bild 1.17 Eingriffsgrößen des Werkzeuges und der Schneide beim Umfangsplanfräsen (nach DIN 6580)

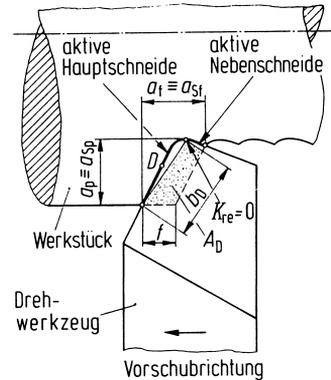


Bild 1.18 Eingriffsgrößen, Schneidenbezugspunkt D und Nennspannungsbreite b_D beim Längsdrehen (nach DIN 6580)

1.1.1.10 Spanungsgrößen

Die Spanungsgrößen beschreiben die Maße der vom Werkstück abzuspannenden Schichten. Sie sind nicht identisch mit den Maßen der entstehenden Späne. Spanungsgrößen werden abgeleitet aus

- dem Profil der aktiven Schneide
- den Eingriffsgrößen
- Vorschüben.

Für die vereinfachte Betrachtung der Spanungsgrößen gelten:

- gerade Schneiden
- scharfkantige Schneidenecke
- Neigungswinkel $\lambda_s = 0^\circ$
- Werkzeug-Einstellwinkel der Nebenschneide $\kappa'_t = 0$.

Anmerkung: λ_s und κ'_t , siehe Abschnitt 1.1.2.

Spanungsquerschnitt A

Der Spanungsquerschnitt A ist die Querschnittsfläche eines abzunehmenden Spans, gemessen senkrecht zur Schnitttrichtung (Bild 1.19).

$$A = a_p f = bh$$

(1.11)

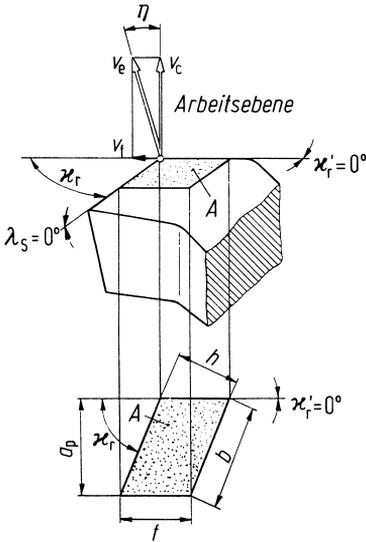


Bild 1.19 Spanungsgrößen bei geraden Schneiden, dargestellt am Beispiel des Längsdrehens mit einem Neigungswinkel $\lambda_s = 0^\circ$. Der betrachtete Schneidenpunkt ist die Schneidenecke (nach DIN 6580)

Spanungsbreite b

Die Spanungsbreite b ist die Breite des Spanungsquerschnitts, siehe Bild 1.19. Sie ist bei der vereinfachten Betrachtung identisch mit der Länge der aktiven Hauptschneide und der Nennspanungsbreite b_D .

$$b = \frac{a_p}{\sin \kappa_r} \quad (1.12)$$

Spanungsdicke h

Die Spanungsdicke h ist die Dicke des Spanungsquerschnitts, siehe Bild 1.19. Sie ist bei der vereinfachten Betrachtung identisch mit der Nennspanungsdicke h_D .

$$h = f \sin \kappa_r = \frac{A}{b} \quad (1.13)$$

Wirk-Spanungsgrößen

Man kann die Spanungsgrößen A , b und h auch auf eine Ebene senkrecht zur Wirkrichtung beziehen, siehe Bild 1.20. Sie heißen dann:

- Wirkspanungsquerschnitt A_e
- Wirkspanungsbreite b_e und
- Wirkspanungsdicke h_e .

Es gelten die Beziehungen:

$$A_e = b_e h_e \quad (1.14)$$

$$b_e = b \sqrt{1 - \cos^2 \kappa_r \sin^2 \eta} \quad (1.15)$$