

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort der Bandherausgeber.....	V
Die Herausgeber.....	XXIX
Autorenverzeichnis.....	XXXI

<b>I Spanen</b> .....	1
<b>1 Einführung in die Zerspantechnik</b> .....	3
1.1 Geschichtliche Entwicklung.....	5
1.2 Bedeutung der Zerspantechnik.....	10
1.2.1 Bedeutung der deutschen Werkzeugmaschinenindustrie im internationalen Vergleich .....	10
1.2.2 Vergleich Zerspanung, Umformen und Urformen.....	11
1.2.3 Aufgabe der Zerspantechnik .....	13
1.2.4 Begriffsdefinition .....	14
1.2.5 Werkstoffe und Werkzeuge.....	14
1.2.6 Optimierung von Zerspanprozessen.....	15
1.2.7 Simulation von Zerspanprozessen .....	16
1.2.8 Automatisierung und Verkettung .....	16
1.2.9 Entwicklungstendenzen und Zusammenfassung .....	17
1.3 Grundbegriffe und Einteilung der spanenden Fertigungsverfahren .....	19
<b>2 Kosten und Investitionsrechnung</b> .....	25
2.1 Kostenrechnung .....	27
2.1.1 Grundlagen .....	27
2.1.1.1 Gewinn, Verlust, Erlös, Kosten .....	27
2.1.1.2 Auszahlungen, Ausgaben, Kosten, Aufwand.....	28
2.1.1.3 Einzahlungen, Einnahmen, Leistung, Ertrag.....	28
2.1.1.4 Einzel- und Gemeinkosten, fixe und variable Kosten.....	29
2.1.2 Verfahren der Kostenrechnung .....	30
2.1.2.1 Kostenartenrechnung.....	30
2.1.2.2 Kostenstellenrechnung .....	32
2.1.2.3 Kostenträgerrechnung .....	35
2.1.3 Kostenrechnungssysteme.....	42
2.1.3.1 Ist-, Normal- und Plankostenrechnung.....	43
2.1.3.2 Vollkosten- und Teilkostenrechnung.....	43
2.1.3.3 Prozesskostenrechnung.....	45
2.1.3.4 Zielkostenrechnung .....	46
2.1.3.5 Ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung.....	48
2.2 Technische Investitionsrechnung .....	49
2.2.1 Definition und Begriffsabgrenzung.....	49
2.2.1.1 Ablauf der technischen Investitionsrechnung .....	49
2.2.1.2 Einzelentscheidungen und Programmentscheidungen .....	50
2.2.2 Verfahren mit sicherer Erwartung.....	51
2.2.2.1 Statische Verfahren .....	51
2.2.2.2 Dynamische Verfahren .....	54
2.2.3 Methoden der unsicheren Erwartung.....	60
2.2.3.1 Sensitivitätsanalyse.....	60
2.2.3.2 Szenario-Technik.....	61
2.2.4 Berücksichtigung des Nutzwertes von Investitionen.....	61
2.2.4.1 Nutzwertanalyse .....	62
2.2.4.2 Portfoliodarstellung .....	63

2.2.5	Praxis der Investitionsrechnung .....	65
2.2.5.1	Erweiterungsinvestition in eine Teilereinigungsanlage.....	65
2.2.5.2	Ersatzinvestition in ein fahrerloses Transportsystem (FTS).....	68
2.2.5.3	Fazit.....	69
<b>3</b>	<b>Grundlagen des Zerspanens .....</b>	<b>71</b>
3.1	Werkzeuggeometrie, Kinematik und Spanbildung.....	73
3.1.1	Begriffe und Bezeichnungen .....	73
3.1.2	Bezugssysteme .....	74
3.1.3	Parameter zum Festlegen der Geometrie des Schneidteils .....	76
3.1.4	Verfahrens-Grundvarianten .....	77
3.1.5	Spanbildung.....	77
3.1.6	Spanarten .....	79
3.1.7	Spanformen.....	80
3.1.8	Mindestspanungsdicke, Mindestvorschub und Mindestschnitttiefe.....	81
3.2	Mechanische und thermische Beanspruchung des Schneidteils .....	81
3.2.1	Mechanische Beanspruchung, Berechnung der Zerspankraft.....	81
3.2.2	Thermische Beanspruchung.....	84
3.2.3	Verschleiß am Schneidteil .....	87
3.2.3.1	Verschleißformen.....	87
3.2.3.2	Verschleißursachen und -mechanismen .....	90
3.3	Schneidstoffe und Beschichtungen .....	97
3.3.1	Generelle Anforderungen an Schneidstoffe.....	97
3.3.2	Werkzeug- und Schnellarbeitsstähle .....	98
3.3.2.1	Unlegierte Werkzeugstähle .....	98
3.3.2.2	Legierte Werkzeugstähle .....	98
3.3.2.3	Schnellarbeitsstähle .....	98
3.3.3	Hartmetalle und Cermets.....	99
3.3.3.1	Hartmetalle auf Basis WC-Co mit geringen Beimengungen an VC, Cr <sub>3</sub> C <sub>2</sub> und/oder TaC .....	100
3.3.3.2	Hartmetalle auf Basis von WC-(Ti,Ta,Nb)C-Co .....	100
3.3.3.3	Hartmetall auf Basis von Ti(C,N)-Co-Ni (sogenannte Cermets) .....	101
3.3.4	Schneidkeramiken .....	101
3.3.4.1	Oxidische Schneidkeramik.....	101
3.3.4.2	Nichtoxidische Schneidkeramik.....	102
3.3.4.3	Mischkeramik.....	102
3.3.5	Ultrahartstoffe (pcBN und PKD) .....	102
3.3.5.1	Polykristalliner Diamant.....	102
3.3.5.2	Polykristallines, kubisches Bornitrid .....	103
3.3.6	Verschleißschutzschichten.....	103
3.3.6.1	Hartschichten .....	103
3.3.6.2	Weichschichten .....	105
3.3.6.3	Beschichtungstechnik .....	105
3.3.7	Normung der Schneidstoffe.....	105
3.4	Kühl- und Schmierstoffe .....	108
3.4.1	Einleitung.....	108
3.4.2	Anforderungen .....	108
3.4.3	Aufbau.....	108
3.4.4	Anwendung.....	109
3.4.5	Randbedingungen .....	110
<b>4</b>	<b>Steuerung und Programmierung.....</b>	<b>113</b>
4.1	Steuerung.....	115
4.2	Einteilung der Steuerungstechnik .....	115
4.3	System zur Steuerung von Werkzeugmaschinen .....	118

4.4	Feldbusse für Steuerungssysteme.....	121
4.5	Komponenten einer NC-Werkzeugmaschine .....	122
4.6	Numerische Steuerungen für Werkzeugmaschinen .....	123
4.6.1	Arbeitsweise und Funktionsumfang einer numerischen Steuerung .....	123
4.6.2	Interner Aufbau und Informationsfluss numerischer Steuerungen .....	124
4.6.3	Ausführungsformen .....	127
4.7	NC-Programmierung .....	128
4.7.1	Achsbezeichnungen und Koordinatensysteme .....	129
4.7.2	Aufbau eines NC-Programms .....	130
4.7.3	Manuelle Programmierung .....	132
4.7.4	Rechnerunterstützte NC-Programmierung .....	133
4.8	Speicherprogrammierbare Steuerungen.....	136
4.8.1	SPS-Aufbau und Ausführungsformen .....	137
4.8.2	SPS-Arbeitsweise .....	139
4.9	SPS-Programmierung.....	140
4.9.1	Softwaremodell und Begriffe .....	140
4.9.2	SPS-Programmaufbau .....	141
4.9.3	Die Programmiersprachen der DIN EN 61131-3 .....	142
4.9.4	SPS-Programmierungsumgebung .....	142
<b>5</b>	<b>Drehen.....</b>	<b>145</b>
5.1	Entwicklung der Drehmaschinen.....	147
5.2	Übersicht der Verfahren .....	150
5.3	Übersicht der Drehmaschinen .....	154
5.3.1	Einteilungsgesichtspunkte.....	154
5.3.2	Universaldrehmaschinen .....	155
5.3.3	Produktionsdrehmaschinen .....	155
5.3.4	Drehzentren und Drehzellen.....	156
5.3.5	Ein- und Mehrspindeldrehautomaten .....	156
5.3.6	Langdrehautomaten.....	156
5.3.7	Plandrehmaschinen.....	156
5.3.8	Senkrechtdrehmaschinen.....	157
5.3.9	Karusselldrehmaschinen .....	157
5.3.10	Fein- und Präzisionsdrehmaschinen.....	157
5.3.11	Mittelantriebsdrehmaschinen.....	157
5.3.12	Drehmaschinen für die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung.....	158
5.3.13	Sonderdrehmaschinen .....	158
5.4	Berechnungsverfahren.....	159
5.4.1	Kinematik.....	159
5.4.2	Zerspankraftkomponenten .....	159
5.4.3	Zerspanleistung.....	160
5.4.4	Hauptzeit .....	161
5.5	Werkzeuge und Schneidstoffe zum Drehen.....	164
5.5.1	Die Auswahl von Drehwerkzeugen .....	164
5.5.2	Schneiden für Drehwerkzeuge.....	165
5.5.2.1	Schneidengeometrien.....	165
5.5.2.2	Schneidstoffe .....	168
5.5.2.3	Beschichtungen .....	171
5.5.3	Halter von Drehwerkzeugen .....	172
5.5.3.1	Anforderungen .....	172
5.5.3.2	Anbindung: Schneidenträger -Werkzeugschaft .....	174
5.5.3.3	Anbindung: Werkzeugschaft - Maschinenaufnahme .....	175
5.5.4	Längsnutenbearbeitung auf Drehmaschinen.....	177

5.5.4.1	Keine speziellen Anforderungen an die Drehmaschine.....	178
5.5.4.2	Standardwerkzeuge für breite Anwendungen.....	178
5.5.4.3	Schnittwerte aus der Praxis .....	180
5.5.4.4	Angetriebene Nutstoßaggregat oder Werkzeuge .....	181
5.5.4.5	Bearbeitungsverfahren auch auf Fräsmaschinen und Bearbeitungszentren einsetzbar .....	182
5.6	Werkstückaufnahmen und Spanneinrichtungen.....	183
5.6.1	Allgemeine Forderungen .....	183
5.6.2	Spannmöglichkeiten umlaufender Werkstücke.....	183
5.6.3	Handspannfutter .....	185
5.6.4	Kraftspannfutter.....	186
5.6.5	Spannzangen .....	189
5.6.6	Spanndorne .....	190
5.6.7	Mitnehmer.....	192
5.6.8	Sonderspanneinrichtungen .....	192
5.6.8.1	Hebelausgleichfutter .....	193
5.6.8.2	Spannlösungen zur Rüstzeitoptimierung.....	193
5.6.9	Betätigungselemente für Kraftspanneinrichtungen .....	194
5.6.10	Arbeits- und Unfallsicherheit.....	195
5.6.11	Berechnungsgrundlagen.....	196
5.6.12	Anwendungsbreite neuzeitlicher Spanntechnik.....	199
5.6.13	Energieeffiziente Spannmittel für die Drehbearbeitung.....	199
5.7	Bearbeitung auf Drehmaschinen .....	204
5.7.1	Universaldrehmaschinen.....	204
5.7.1.1	Aufbau der Maschinen .....	205
5.7.1.2	Spanneinrichtungen .....	207
5.7.1.3	Werkzeugsysteme.....	207
5.7.1.4	Lünetten.....	208
5.7.1.5	Steuerung und Bedienung .....	208
5.7.1.6	CNC-Universaldrehmaschine.....	209
5.7.2	Produktionsdrehmaschinen .....	210
5.7.2.1	Konstruktiver Aufbau.....	211
5.7.2.2	Produktionsdrehmaschine in der Weichbearbeitung (Grünfertigung) .....	214
5.7.2.3	Produktionsdrehmaschinen für die Hartbearbeitung .....	215
5.7.2.4	Abnahmekriterien für Produktionsdrehmaschinen .....	217
5.7.3	Drehzellen und Drehzentren.....	218
5.7.3.1	Erkennungsmerkmale und Auswahlkriterien.....	218
5.7.3.2	Konstruktiver Aufbau der Maschinen und Ausführung.....	220
5.7.3.3	Werkzeuge und Spannmittel.....	224
5.7.3.4	Automatisierungseinrichtungen.....	226
5.7.3.5	Ausführungs- und Bearbeitungsbeispiel.....	227
5.7.4	Ein- und Mehrspindeldrehautomaten.....	228
5.7.4.1	Einspindeldrehautomaten.....	228
5.7.4.2	Kurvengesteuerte Mehrspindeldrehautomaten .....	230
5.7.4.2.1	Konstruktiver Aufbau.....	231
5.7.4.2.2	Zusatzeinrichtungen.....	233
5.7.4.3	CNC-gesteuerte Mehrspindeldrehautomaten .....	235
5.7.4.3.1	Konstruktiver Aufbau.....	235
5.7.4.3.2	Zusatzeinrichtungen.....	239
5.7.5	Langdrehautomaten.....	243
5.7.6	Plandrehmaschinen.....	248
5.7.7	Senkrechtdrehmaschinen.....	251
5.7.7.1	Einführung .....	251
5.7.7.2	Vertikaldrehmaschinen mit feststehender Spindel.....	253
5.7.7.3	Vertikaldrehmaschinen mit beweglicher Spindel .....	254
5.7.7.3.1	Einspindler für Futterdrehteile.....	257
5.7.7.3.2	Einspindler für Wellen.....	257

5.7.7.3.3	Zweispindler .....	258
5.7.7.3.4	Gegenspindelmaschine .....	259
5.7.7.3.5	Multifunktionsmaschinen .....	259
5.7.7.4	Automation für Pick-up-Drehmaschinen.....	262
5.7.7.5	Qualitätssicherung an Vertikaldrehmaschinen .....	262
5.7.7.6	Spannmittel für die Drehbearbeitung.....	263
5.7.7.7	Fortentwicklung des Drehprozesses .....	264
5.7.7.8	Ausblick.....	268
5.7.8	Karusselldrehmaschinen .....	268
5.7.8.1	Bauformen und Arbeitsweise.....	268
5.7.8.2	Konstruktive Gestaltung - der Untersatz .....	270
5.7.8.3	Konstruktive Gestaltung - der Werkzeugträger.....	271
5.7.8.4	Werkzeugwechselsysteme und Werkstückhandling .....	273
5.7.9	Fein- und Präzisionsdrehmaschinen.....	275
5.7.9.1	Allgemein .....	275
5.7.9.2	Einsatzbereich und Anwendungsgebiete .....	276
5.7.9.3	Typische Werkstücke für Fein- und Präzisionsdrehmaschinen .....	277
5.7.9.4	Aufbau von Fein- und Präzisionsdrehmaschinen .....	278
5.7.9.5	Sonderbauformen von Fein- und Präzisionsdrehmaschinen .....	279
5.7.9.6	Automatisierung.....	280
5.7.9.7	Ultrapräzisionsdrehmaschinen .....	280
5.7.10	Mittelantriebsdrehmaschinen.....	283
5.7.10.1	Bauformen von Mittelantriebsdrehmaschinen .....	283
5.7.10.2	Konstruktive Merkmale des Mittelantriebs.....	284
5.7.10.3	Ausführungsbeispiel .....	284
5.7.11	Drehmaschinen für Hochgeschwindigkeitsbearbeitung.....	285
5.7.11.1	Hochgeschwindigkeitsdrehprozesse.....	285
5.7.11.2	Maschinen für Hochgeschwindigkeitsdrehprozesse.....	285
5.7.11.2.1	Grundaufbau .....	285
5.7.11.2.2	Maschinenbett .....	286
5.7.11.2.3	Werkzeugträger.....	286
5.7.11.2.4	Werkstückspindeln für Hochgeschwindigkeitsdrehprozesse .....	286
5.7.11.2.5	Spannmittel.....	287
5.7.11.2.6	Maschinenverhaubung.....	288
5.7.11.2.7	Zusammenfassung .....	288
5.7.12	Sonderdrehmaschinen .....	289
5.7.12.1	Bearbeitung von Eisenbahnradsätzen, Eisenbahnrädern und Radsatzwellen .....	289
5.7.12.1.1	Rahmenbedingungen.....	289
5.7.12.1.2	Sonderdrehmaschinen zur Durchführung von Servicemaßnahmen an Radsätzen .....	290
5.7.12.1.3	Sonderdrehmaschinen zur Neuerstellung und zum Austausch von Radsätzen .....	294
5.7.12.2	Sondermaschinen zur Bearbeitung von Powertrain-Komponenten in der Automobilindustrie .....	297
5.7.12.2.1	Drehräummaschine/Drehdrehräummaschine .....	297
5.7.12.2.2	Dreh-Drehräumen oder Drehschalen .....	298
5.7.12.3	Kombinierte Dreh-Fräsbearbeitungsmaschinen.....	298
5.7.12.3.1	Komplettbearbeitung auf Dreh-Fräszentren .....	298
5.7.12.3.2	Dreh-Fräszentrum für Großkurbelwellen.....	300
5.7.12.3.3	Dreh-Fräszentrum mit separatem Bohrstangenschlitten und Magazin .....	301
5.7.12.3.4	Dreh-Fräszentrum mit separatem Bohrpilenschlitten.....	302
5.7.12.4	Walzendrehmaschinen.....	302
5.7.12.5	Rohrbearbeitungsmaschinen .....	302
5.8	Zusatz- und Verkettungseinrichtungen bei vertikalen Drehmaschinen.....	304
5.8.1	Einsatz .....	304
5.8.2	Zusatzeinrichtungen.....	304
5.8.2.1	Werkstücktragende Zusatzeinrichtungen.....	304
5.8.2.2	Werkzeugtragende Zusatzeinrichtungen.....	304
5.8.3	Verkettungseinrichtungen .....	308

<b>6</b>	<b>Bohren, Senken und Reiben</b> .....	<b>309</b>
6.1	Allgemeines .....	311
6.2	Übersicht der Bohrverfahren .....	313
6.2.1	Begriffe und deren Erklärung .....	313
6.2.2	Richtlinien für die Herstellung von Bohrungen .....	315
6.3	Maschinen und Systeme .....	315
6.4	Berechnungsverfahren.....	317
6.4.1	Schneidengestalt .....	317
6.4.2	Zerspankräfte beim Bohren.....	318
6.5	Werkzeuge und Werkzeugaufnahmen .....	322
6.5.1	Werkzeuge für die Bohrungsbearbeitung .....	322
6.5.1.1	Werkzeuge zum Vollbohren .....	322
6.5.1.1.1	Einschneidige Werkzeuge .....	322
6.5.1.1.2	Zweischneidige Bohrwerkzeuge.....	326
6.5.1.2	Werkzeuge zum Aufbohren, Spindeln, Reiben.....	328
6.5.1.2.1	Aufbohren.....	328
6.5.1.2.2	Spindeln.....	328
6.5.1.2.3	Reiben .....	330
6.5.1.3	Lagegeregelte Werkzeuge für die Bohrungsbearbeitung.....	331
6.5.2	Werkzeugaufnahme beim Bohren .....	333
6.5.2.1	Schnittstelle der Werkzeugaufnahme.....	333
6.5.2.2	Bohrfutter .....	334
6.5.2.3	Spannzangenfutter.....	335
6.5.2.4	Hydraulisches Dehnspannfutter .....	335
6.5.2.5	Tribos-Spannfutter .....	336
6.5.2.6	Warmschrumpf-Spannfutter .....	337
6.5.2.7	Weitere Spannsysteme.....	338
6.6	Werkstückaufnahmen, Bohrvorrichtungen .....	338
6.6.1	Einsatz von Bohrvorrichtungen .....	338
6.6.1.1	Allgemein .....	339
6.6.1.2	Gliederung von Bohrvorrichtungen .....	339
6.6.2	Funktionen und Funktionselemente von Bohrvorrichtungen.....	339
6.6.3	Lösungsbeispiele.....	340
6.7	Bohrmaschinen .....	344
6.7.1	Ständerbohrmaschinen .....	344
6.7.2	Radialbohrmaschinen.....	346
6.7.3	Feinbohrmaschinen .....	350
6.7.3.1	Feinbohrprozess .....	350
6.7.3.2	Maschinenaufbau.....	352
6.7.3.3	Spindeln.....	353
6.7.3.4	Werkzeuge .....	355
6.7.3.4.1	Einschneidige Werkzeuge .....	355
6.7.3.4.2	Mehrschneidige Werkzeuge.....	356
6.7.3.4.3	Mehrschneidige Schieber-Werkzeuge .....	357
6.7.3.4.4	Feinbohrwerkzeuge für Pleuelbearbeitung.....	358
6.7.3.5	Spannvorrichtungen.....	359
6.7.3.6	Zusammenfassung .....	359
6.7.4	Koordinatenbohrmaschinen .....	360
6.7.5	Tiefbohrmaschinen .....	362
6.7.5.1	Tiefbohren .....	362
6.7.5.1.1	Einlippenbohren.....	362
6.7.5.1.2	BTA-Bohren .....	365
6.7.5.1.3	Ejektorborenen .....	366
6.7.5.1.4	Bohren mit spiralisierten Tiefbohrwerkzeugen .....	367
6.7.5.2	Aufbau von Tiefbohrmaschinen.....	367

6.7.5.2.1	Standard-Tiefbohrmaschinen .....	367
6.7.5.2.2	Kühlschmierstoff-Anlage .....	370
6.7.5.2.3	Steuerung/Prozesskontrolle .....	371
6.7.5.2.4	Automatisierungseinrichtungen.....	372
6.7.5.2.5	Sondertiefbohrmaschinen.....	373
6.7.5.3	Typische Anwendungsbeispiele .....	379
6.7.6	HSC-Maschinen .....	382
6.7.7	Bohrzentren .....	384
6.7.7.1	Einsatz in Fertigungssystemen.....	386
6.7.7.2	Adapterplatten in Fertigungssystemen .....	387
6.8	Zusatz- und Verkettungseinrichtungen bei Bohrmaschinen .....	389
6.8.1	Einsatz .....	389
6.8.2	Zusatzeinrichtungen.....	389
6.8.2.1	Werkstücktragende Zusatzeinrichtungen.....	389
6.8.2.2	Rundtische, Wendespanner.....	389
6.8.2.3	Lünetten, Rollenböcke, Reitstöcke .....	390
6.8.2.4	Palettwechselsysteme .....	391
6.8.2.5	Werkzeugtragende Zusatzeinrichtungen.....	392
6.8.2.6	Fräsköpfe.....	392
6.8.3	Verkettungseinrichtungen .....	395
<b>7</b>	<b>Fräsen</b> .....	<b>397</b>
7.1	Grundlagen .....	399
7.2	Übersicht über die Fräsverfahren .....	401
7.2.1	Stirn-Umfangsplanfräsen .....	402
7.2.2	Umfangsplanfräsen .....	402
7.2.3	Umfangsprofilfräsen .....	402
7.2.4	Schaftfräsen .....	403
7.3	Fräsmaschinen und Bearbeitungszentren .....	404
7.3.1	Allgemeines und Aufbau.....	404
7.3.2	Bearbeitungszentren .....	407
7.3.2.1	Allgemeines und Definition von Bearbeitungszentren .....	407
7.3.2.2	Werkzeugspeicher, Werkzeug- und Werkstückwechselsystem .....	407
7.3.2.3	Anzahl und Art der Bewegungsachsen .....	407
7.3.2.4	Auswahl der Bauform .....	408
7.3.2.5	Werkstoffe für Gestelle und Gestell-Bauteile .....	408
7.3.2.6	CNC-Steuerungen .....	409
7.3.2.7	Haupt- und Arbeitsspindel.....	409
7.3.2.8	Achsantriebe für Vorschubachsen .....	409
7.3.2.9	Führungen und Lagerungen .....	410
7.3.2.10	Positions-Messsysteme .....	411
7.3.3	Einsatz von Bearbeitungszentren nach Bearbeitungsaufgaben.....	412
7.3.3.1	Horizontale Bearbeitungszentren .....	412
7.3.3.2	Vertikale Bearbeitungszentren.....	413
7.3.3.3	Sonderanwendungen.....	415
7.3.4	Entwicklungstendenzen.....	416
7.4	Werkzeuge .....	416
7.4.1	Spezifisches zu Schneidstoffen für Fräser .....	416
7.4.2	Schaftwerkzeuge .....	418
7.4.3	Wendeschneidplattenwerkzeuge.....	420
7.4.3.1	Planfräser .....	421
7.4.3.2	Eckfräser .....	422
7.4.3.3	Scheibenfräser .....	423
7.4.4	Fräser für ausgewählte Anwendungen.....	425
7.4.4.1	Fräser für den Werkzeug- und Formenbau.....	425
7.4.4.2	Verzahnungsfräser .....	427

7.4.4.3	Fräser für Luft- und Raumfahrtanwendungen.....	428
7.4.4.4	Kurbelwellenfräser .....	430
7.4.4.5	Gewindefräser .....	431
7.4.5	Minimalmengenschmierung (MMS) und Kühlschmierstoffversorgung .....	432
7.5	Werkzeugschnittstellensysteme in Fräsmaschinen.....	435
7.6	Prozessgestaltung auf Fräsmaschinen .....	440
7.6.1	Allgemeines .....	440
7.6.2	Auswahl von Schnittstrategien .....	441
7.6.3	Störgrößen und Möglichkeiten zur Vermeidung .....	447
7.6.3.1	Störgrößen.....	447
7.6.3.2	Strategien zur Reduktion von Störgrößeneinflüssen.....	448
7.6.3.2.1	Allgemeines .....	448
7.6.3.2.2	Gestalterische Maßnahmen.....	448
7.6.3.2.3	Prozessmodellierung und Prozesssimulation.....	450
7.6.3.2.4	Prozessüberwachung und Prozessregelung .....	451
<b>8</b>	<b>Hobeln, Stoßen .....</b>	<b>453</b>
8.1	Allgemeines .....	455
8.2	Übersichten über die Hobel- und Stoßverfahren sowie über die Maschinenbauarten.....	455
8.3	Kraft- und Leistungsberechnung.....	458
8.4	Bearbeitung auf Hobel- und Stoßmaschinen.....	461
8.4.1	Stoßmaschinen .....	461
8.4.2	Hobelmaschinen .....	461
8.4.3	Bearbeitungsgenauigkeiten.....	462
<b>9</b>	<b>Räumen.....</b>	<b>465</b>
9.1	Grundlagen .....	467
9.2	Übersicht der Verfahren .....	467
9.3	Werkstückstoffe .....	468
9.4	Werkzeuge .....	469
9.4.1	Schneidengeometrie .....	469
9.4.1.1	Span- und Freiwinkel .....	470
9.4.1.2	Spanungsdicke .....	470
9.4.1.3	Teilung.....	470
9.4.2	Staffelung, Gefälle, Vollformschnitt .....	471
9.4.3	Ausführungsformen von Räumwerkzeugen.....	473
9.4.4	Befestigung von Räumwerkzeugen.....	474
9.4.5	Erreichbare Qualität und Oberflächen.....	475
9.4.6	Werkzeugverschleiß.....	475
9.4.7	Werkzeuginstandhaltung .....	476
9.4.8	Schneidstoffe, Hart- und Trockenbearbeitung.....	478
9.5	Berechnungsgrundlagen.....	479
9.5.1	Zerspankräfte .....	479
9.5.2	Zerspanleistung.....	480
9.5.3	Erregerfrequenz .....	481
9.6	Maschinen und Systeme.....	481
9.6.1	Innenräummaschinen .....	483
9.6.2	Sonderformen von Innenräummaschinen.....	486
9.6.3	Außenräummaschinen.....	486
9.6.4	Sonderformen von Außenräummaschinen .....	489
9.6.5	Steuerungstechnik.....	490
9.6.6	Zusatz- und Verkettungseinrichtungen.....	491



<b>10</b>	<b>Sägen</b> .....	493
10.1	Grundlagen und Einordnung des Sägeverfahrens.....	495
10.2	Sägeverfahren.....	495
10.2.1	Bügelsägen.....	496
10.2.2	Kreissägen.....	496
10.2.3	Bandsägen.....	497
10.2.4	Maschinenausstattung für Höchstleistung.....	497
10.2.5	Maschinensteuerung und Zerspanungstechnologie.....	498
10.3	Sägewerkzeuge.....	499
10.3.1	Übersicht Schneidstoffe.....	499
10.3.1.1	Werkzeugstahl.....	500
10.3.1.2	Bi-Metall (Schnellarbeitsstahl).....	500
10.3.1.3	Hartmetall (hartmetallbestückte Sägebänder).....	500
10.3.1.4	Diamant (diamantbestreute Sägebänder).....	500
10.3.1.5	Beschichtungen.....	501
10.3.2	Einsatz von Hartmetall-Sägewerkzeugen.....	501
10.4	Auswahl des Sägeverfahrens.....	501
10.5	Berechnungsgrundlagen.....	503
10.5.1	Formelzeichen und Formeln für das Sägen mit Kreissägen.....	503
10.5.2	Formelzeichen und Formeln für das Sägen mit Bandsägen.....	503
10.6	Automatisierungsgrad von Sägemaschinen.....	503
10.6.1	Manuelle und halbautomatische Säge.....	504
10.6.2	Vollautomat.....	504
10.6.3	Spezielle Bauformen.....	504
10.6.3.1	Kontursägen.....	504
10.6.3.2	Großbearbeitung.....	505
10.6.3.3	Universalsägen.....	505
10.6.3.4	Träger- und Profilmbearbeitung.....	506
10.6.3.5	Mengensägen in der Großserienfertigung.....	506
10.6.3.6	Flexible hochproduktive Auftragsfertigung.....	507
10.7	Abschnittentsorgung.....	507
10.7.1	Sortierung.....	507
10.7.2	Zusatzoperationen.....	508
10.7.3	Verkettungen.....	508
10.7.4	Palettieren.....	508
10.8	Lagerintegration.....	509
10.8.1	Langgutlager.....	509
10.8.2	Automatische Vereinzelnung.....	510
10.8.3	Sägezentrum.....	510
10.8.4	Vollintegration in Langgutlager.....	510
<b>11</b>	<b>Feilen</b> .....	513
11.1	Feilverfahren.....	515
11.2	Feilwerkzeuge und Raspeln.....	515
<b>12</b>	<b>Schaben</b> .....	519
12.1	Allgemeines.....	521
12.2	Übersicht der Schabverfahren.....	521
12.3	Werkzeuge und Zubehör.....	522
12.3.1	Handwerkzeuge.....	522
12.3.2	Maschinenwerkzeuge.....	522
12.3.3	Zubehör und Messzeuge.....	523

12.4	Schabbearbeitung .....	524
12.5	Kosten der Schabbearbeitung .....	526
<b>13</b>	<b>Schleifen</b> .....	<b>529</b>
13.1	Allgemeines .....	531
13.2	Übersicht der Schleifverfahren.....	536
13.2.1	Schleifen mit rotierendem Werkzeug .....	536
13.2.1.1	Planschleifen .....	536
13.2.1.2	Rundschleifen.....	538
13.2.1.3	Schraubschleifen.....	539
13.2.1.4	Wälzschleifen .....	539
13.2.1.5	Profilschleifen.....	540
13.2.1.6	Formschleifen .....	540
13.2.2	Bandschleifen .....	540
13.2.3	Hubschleifen .....	541
13.2.4	Gleitschleifen .....	542
13.2.5	Sonderschleifverfahren .....	542
13.2.5.1	Führungsbahnenschleifen .....	542
13.2.5.2	Schleifen von Nocken- und Kurbelwellen .....	542
13.3	Übersicht der Schleifmaschinen.....	543
13.4	Berechnungsverfahren.....	546
13.4.1	Definition der Schleifkenngrößen .....	546
13.4.2	Zerspankraftkomponenten .....	548
13.4.3	Mechanik des Schleifvorgangs .....	549
13.4.4	Zerspanntemperatur .....	552
13.4.5	Verschleiß der Schleifscheibe und Einfluss des Kühlschmierstoffs .....	554
13.4.6	Oberflächenrauheit .....	556
13.5	Schleifwerkzeuge und Werkzeugaufnahme .....	561
13.5.1	Einleitung .....	561
13.5.2	Konditionieren.....	569
13.5.3	Auswuchteinrichtungen .....	584
13.6	Werkstücke und Werkstückaufnahmen.....	590
13.6.1	Anspruch an die Aufnahmen beim Schleifen .....	591
13.6.2	Auswahl der beschriebenen Aufnahmen und Werkstücke.....	591
13.6.3	Wellenförmige Werkstücke.....	591
13.6.3.1	Aufnahmen von wellenförmigen Werkstücken mit dem Längen/Durchmesser Verhältnis < 3 .....	592
13.6.3.2	Aufnahmen von wellenförmigen Werkstücken mit dem Längen/Durchmesser Verhältnis > 3 .....	594
13.6.4	Kubische Werkstücke auf Flachsleifmaschinen .....	597
13.6.5	Spannmittel auf Verzahnungsschleifmaschinen .....	598
13.7	Bearbeitung auf Schleifmaschinen.....	600
13.7.1	Plan- und Profilschleifmaschinen.....	600
13.7.1.1	Einführung .....	600
13.7.1.1.1	Verwendete Schleifverfahren.....	600
13.7.1.1.2	Generelle Anforderungen .....	600
13.7.1.1.3	Führungen.....	601
13.7.1.1.4	Antriebe .....	601
13.7.1.1.5	Achsantriebe.....	601
13.7.1.1.6	Hauptantriebe.....	601
13.7.1.1.7	Messsysteme.....	601
13.7.1.1.8	Weitere Maschinenanforderungen.....	602
13.7.1.2	Längs-Umfangs-Planschleifen (Flachsleifen) .....	602
13.7.1.2.1	Technologien.....	602

13.7.1.2.2	Bauformen .....	604
13.7.1.2.3	Anwendungsbeispiele.....	606
13.7.1.3	Längs-Seiten-Planschleifen (Stirnschleifen, Seitenschleifen).....	608
13.7.1.3.1	Technologie.....	608
13.7.1.3.2	Bauformen .....	608
13.7.1.3.3	Anwendungsbeispiele.....	610
13.7.1.4	Profilschleifen .....	611
13.7.1.4.1	Technologien .....	611
13.7.1.4.2	Bauformen .....	611
13.7.1.4.3	Anwendungsbeispiele.....	612
13.7.1.5	Schleifzentren und -anlagen .....	613
13.7.1.5.1	Technologien .....	613
13.7.1.5.2	Bauformen .....	614
13.7.1.5.3	Anwendungsbeispiele.....	615
13.7.1.6	Steuerungstechnik .....	615
13.7.1.7	Zubehöre .....	617
13.7.2	Rundschleifmaschinen .....	620
13.7.2.1	Maschinengrunderbau von Rundschleifmaschinen.....	620
13.7.2.1.1	Maschinenbetten .....	620
13.7.2.1.2	Führungen und Achsantriebe.....	623
13.7.2.1.3	Steuerungs- und Programmiersysteme .....	624
13.7.2.2	Außenrundschleifmaschinen.....	627
13.7.2.3	Innenrundschleifmaschinen.....	634
13.7.2.4	Unrundschleifmaschinen .....	639
13.7.2.5	Spitzenlose Außenrundschleifmaschinen .....	643
13.7.2.5.1	Verfahrensbeschreibung.....	643
13.7.2.5.2	Die Rundheit beim spitzenlosen Schleifen.....	643
13.7.2.5.3	Durchgangsschleifen .....	648
13.7.2.5.4	Einstechschleifen.....	650
13.7.2.5.5	Klassifikation spitzenloser Außenrundschleifmaschinen .....	653
13.7.2.5.6	Maschinenaufbau .....	655
13.7.2.5.7	Arbeitsbereich und Genauigkeit.....	658
13.7.2.5.8	Automatisierung .....	658
13.7.3	Schraubschleifen .....	662
13.7.3.1	Schleifprogramme .....	662
13.7.3.2	Schleifscheibenprofil .....	662
13.7.3.3	Schleifscheibenspezifikation .....	663
13.7.3.4	Außenschraubschleifen .....	664
13.7.3.5	Innenschraubschleifen .....	664
13.7.4	Zahnflanken-schleifmaschinen .....	665
13.7.4.1	Einleitung .....	665
13.7.4.2	Maschinen für das diskontinuierliche Wälzschleifen (Teilwälzschleifen) .....	665
13.7.4.3	Maschinen für diskontinuierliches Profilschleifen.....	666
13.7.4.4	Maschinen für das kontinuierliche Wälzschleifen .....	667
13.7.4.5	Maschinen zum Verzahnungshonen (Schabschleifen).....	670
13.7.5	Bandschleifen mit Schleifmitteln auf Unterlagen .....	670
13.7.5.1	Allgemeines.....	670
13.7.5.2	Die Schleifbänder .....	671
13.7.5.2.1	Die Schleifmittel auf Unterlage .....	671
13.7.5.2.1.1	Der Herstellungsprozess von Schleifmitteln auf Unterlage .....	672
13.7.5.2.1.2	Das Schleifkorn als Komponente der Schleifmittel auf Unterlage.....	674
13.7.5.2.1.3	Die Schleifmittelkörnungen.....	678
13.7.5.2.2	Die Trägerwerkstoffe für Schleifmittel auf Unterlage.....	680
13.7.5.2.3	Die Bindemittelsysteme für Schleifmittel auf Unterlage.....	681
13.7.5.2.3.1	Die Schleifbänder .....	683
13.7.5.3	Das Bandschleifen .....	685
13.7.5.3.1	Das Werkstück .....	686
13.7.5.3.2	Das Wirkprinzip des Bandschleifens .....	687
13.7.5.3.3	Das Bandschleifverfahren .....	688

13.7.5.3.3.1	Die Arten des Schleifverfahrens .....	688
13.7.5.3.3.2	Die Kontaktflächen des Schleifverfahrens.....	691
13.7.5.3.3.3	Die Parameter der Bandschleifverfahren .....	692
13.7.5.3.4	Die Übersicht der Einfluss-faktoren auf das Arbeitsergebnis beim Bandschleifen .....	693
13.7.5.3.5	Die Störungsursachen beim Bandschleifen .....	693
13.7.5.4	Die Bandschleifmaschinen.....	695
13.7.5.4.1	Der Aufbau von Bandschleifmaschinen .....	695
13.7.5.4.1.1	Die Umlenk- und Spannrolle .....	696
13.7.5.4.1.2	Die Gegendruck- und Niederhalterrollen .....	696
13.7.5.4.1.3	Die Antriebsmotoren .....	696
13.7.5.4.1.4	Der Aufbau und die Bedeutung der Stützelemente.....	697
13.7.5.4.2	Die Zerspanbedingungen .....	700
13.7.5.4.2.1	Die kinematischen Einflussgrößen.....	700
13.7.5.4.2.2	Die schleifaktiven Wirkstoffe und Kühlschmierstoffe .....	704
13.7.5.5	Praxisbeispiele für das Schleifen mit Schleifbändern .....	707
13.7.5.5.1	Das Plan-Bandschleifen .....	708
13.7.5.5.1.1	Das Plan-Bandschleifen von Brennschnitteilen .....	708
13.7.5.5.1.2	Das Planschleifen von breiten Titanblechen.....	708
13.7.5.5.1.3	Das Planschleifen von Edelstahlcoils vor dem Kaltwalzen.....	710
13.7.5.5.1.4	Das Planschleifen von Platten aus Massivholz und Holzwerkstoffen.....	714
13.7.5.5.2	Das Formschleifen von komplexen Werkstückformen .....	715
13.7.5.5.2.1	Das Formschleifen von Wasserarmaturen .....	715
13.7.5.5.2.2	Das Nachformschleifen von Turbinenschaufeln.....	716
13.7.5.5.3	Das Rundschleifen.....	717
13.7.5.5.3.1	Der spitzenlose Rundschliff von Rohren und Stangen .....	718
13.7.5.5.3.2	Das Außenrundschleifen von Zylindern zwischen den Spitzen .....	720
13.7.5.5.3.3	Die Schleiffeinstbearbeitung nach dem Außenrundschliff von Tiefdruckzylindern zwischen den Spitzen mit dem „Superfinishverfahren“ .....	721
13.7.5.5.3.4	Das Bandschleifen als Reparaturbearbeitung von Zylindern für die Papierherstellung ....	721
13.7.5.5.3.5	Das Innen- und Außenrundschleifen von Behältern .....	722
13.7.5.5.3.6	Das Außenrundschleifen von Draht .....	723
13.7.5.6	Fazit.....	724
13.7.6	Trennschleifmaschinen.....	729
13.7.6.1	Allgemeines.....	729
13.7.6.2	Die Maschine.....	729
13.7.6.3	Das Werkzeug .....	731
13.7.6.4	Anwendungen des Trennschleifens.....	732
13.7.6.5	Theoretische Kennwerte und Einstellgrößen .....	734
13.7.6.6	Anforderungen an den Trennprozess.....	735
13.7.6.6.1	Wirtschaftliche Anforderungen.....	735
13.7.6.6.2	Qualitative Anforderungen .....	736
13.7.6.6.3	Sicherheitsanforderungen.....	736
13.7.6.7	Umwelt/Lärm und Staubemissionen .....	737
13.7.6.8	Praxisbeispiele.....	738
13.7.6.9	Aktuelle Trends und Entwicklungen .....	738
13.7.7	Werkzeugschleifen, Werkzeugschleifmaschinen .....	741
13.7.7.1	Werkzeugschleifmaschinen .....	741
13.7.7.2	Software .....	746
13.7.7.3	Bohrerschleifen .....	746
13.7.7.4	Fräuserschleifen .....	747
13.7.7.5	Sägeblattschleifen .....	749
13.7.7.6	Schleifen von Wälzfräsern .....	750
13.7.7.7	Räumwerkzeugschleifen .....	751
13.7.7.8	Schleifen von Wendeschneidplatten .....	752
13.7.7.9	Schleifscheiben und Prozessbedingungen beim Werkzeugschleifen .....	753
13.7.8	Schleif- und Feinbearbeitungszentren .....	756
13.7.8.1	Einleitung .....	756
13.7.8.2	Allgemeine konstruktive Anforderungen.....	756
13.7.8.3	Schleif- und Feinbearbeitungszentren für große und schwere Werkstücke.....	757

13.7.8.4	Schleif- und Feinbearbeitungszentren für Turbinenschaufeln .....	760
13.7.8.5	Verfahrensalternativen und -kombinationen für die Hartfeinbearbeitung zylindrischer Werkstücke .....	762
13.7.8.6	Schleif- und Feinbearbeitungszentren für Wellen und Futterteile .....	763
13.7.8.7	Verfahrenskombinationen in Werkzeugschleifmaschinen .....	767
13.7.8.8	Zusammenfassung .....	769
13.7.9	Sonderschleifmaschinen .....	772
13.7.9.1	Walzenschleifmaschinen.....	772
13.7.9.1.1	Bearbeitungsaufgaben von Walzenschleifmaschinen .....	772
13.7.9.1.2	Maschinenaufbau .....	773
13.7.9.1.3	Fundamentierung und Aufstellung von Walzenschleifmaschinen .....	776
13.7.9.1.4	Messtechnik .....	777
13.7.9.1.5	Vollautomatische Walzenwerkstätten (Roll Shop).....	778
13.7.9.2	Nockenwellenschleifmaschinen.....	778
13.7.9.2.1	Allgemeines.....	778
13.7.9.2.2	Verfahrensspezifische Grundlagen.....	779
13.7.9.2.3	Maschinentechnische Grundlagen .....	782
13.7.9.3	Kurbelwellenschleifmaschinen .....	785
13.7.9.3.1	Einleitung .....	785
13.7.9.3.1.1	Einhübige Kurbelwellen.....	785
13.7.9.3.1.2	Mehrhübige Kurbelwelle.....	785
13.7.9.3.1.3	Besonderheiten bei der Schleifbearbeitung von mehrhübigen Kurbelwellen.....	785
13.7.9.3.2	Einteilung der Kurbelwellenschleifmaschinen.....	785
13.7.9.3.3	Schleifaufgaben an der Kurbelwelle.....	786
13.7.9.3.4	Technologien zum Schleifen von mehrhübigen Kurbelwellen .....	786
13.7.9.3.4.1	Schleifen der zentrisch angeordneten Mittellager .....	786
13.7.9.3.4.2	Schleifen der exzentrisch angeordneten Hublager .....	786
13.7.9.3.4.3	Schleifen der Planschultern und Radien an Hub- und Hauptlagern .....	787
13.7.9.3.4.4	Schleifen der Planflächen am Passlager .....	787
13.7.9.3.4.5	Schleifen der Kurbelwellenenden.....	788
13.7.9.3.5	Ausführungen von Maschinen .....	788
13.7.9.3.5.1	Maschinen für die Mittellagerbearbeitung.....	788
13.7.9.3.5.2	Maschinen für das Hublagerschleifen.....	789
13.7.9.3.5.3	Schleifmaschinen für Großkurbelwellen.....	790
13.7.9.3.6	Messtechnik in Kurbelwellenschleifmaschinen.....	791
13.7.9.3.6.1	In-Prozess-Messen der Hublagerdurchmesser .....	791
13.7.9.3.6.2	Rundheitsmessung.....	791
13.7.9.3.6.3	Längsausrichten .....	791
13.7.9.3.6.4	Ermittlung der Winkellage und der Hubhöhe.....	791
13.7.9.3.6.5	Höhenausrichten .....	791
13.8	Sicherheitseinrichtungen .....	792
13.8.1	Trennende Schutzeinrichtungen.....	792
13.8.1.1	Arbeitssicherheit .....	792
13.8.1.2	Gefährdungen an Schleifmaschinen.....	792
13.8.1.3	Dimensionierung .....	793
13.8.1.4	Fazit .....	794
13.8.2	Grundlagen Brandschutz an Maschinen.....	795
13.8.2.1	Reduzierung und Vermeidung von Brandschäden .....	795
13.8.2.2	Aufbau einer Objektlöschanlage .....	795
13.8.2.3	Funktionsweise einer LA.....	796
13.8.2.4	Zusätzliche Maßnahmen an den Werkzeugmaschinen .....	797
13.8.3	Emissionsschutz bei WZM durch Öl- und Emulsionsnebelabscheidung im Mikrometerbereich.....	798
13.8.3.1	Bewährte Kompaktabscheider.....	798
13.8.3.2	Flexible Kombinationen.....	799
13.8.3.3	Mehrstufige Elektrostatische.....	799
13.8.3.4	Zentral oder dezentral .....	800
13.8.3.5	Sonderfall Minimalmengenschmierung .....	801

13.8.3.6	Fazit.....	802
13.8.4	Spindel- und Achsüberwachung (Kollisionsüberwachung)/sichere Steuerung .....	803
13.8.4.1	Überwachungsfunktionen: Spindel- und Achsüberwachung .....	803
13.8.4.2	Konturüberwachung/Schleppabstandsüberwachung .....	803
13.8.4.3	Positionierüberwachung (Genauhalt grob/fein), Verzögerungszeit $t_v$ .....	804
13.8.4.4	Stillstandsüberwachung, Verzögerungszeit $t_s$ .....	805
13.8.4.5	Klemmungsüberwachung.....	805
13.8.4.6	Drehzahlollwertüberwachung.....	805
13.8.4.7	Istgeschwindigkeitsüberwachung.....	805
13.8.4.8	Messsystemüberwachung .....	805
13.8.4.9	Software-Endschalterüberwachung .....	806
13.8.4.10	Kollisionsvermeidung .....	807
13.8.4.11	Sichere Steuerung – Safety Integrated .....	808
<b>14</b>	<b>Honen .....</b>	<b>811</b>
14.1	Allgemeines .....	813
14.1.1	Geschichtliches .....	813
14.1.2	Einleitung und Übersicht der Honverfahren .....	814
14.2	Langhubhonen.....	816
14.2.1	Langhubhонvarianten mit Bauteilcharakteristika.....	817
14.2.1.1	Innenrundhonen .....	817
14.2.1.2	Innenprofilhonen .....	817
14.2.1.3	Außenrundhonen .....	817
14.2.1.4	Hybridverfahren.....	818
14.2.2	Verfahrensmerkmale.....	818
14.2.3	Maschinenarten.....	819
14.2.3.1	Vertikal-Langhubhонmaschinen .....	820
14.2.3.1.1	Baugrößenordnung 1: Maschinen für Kleinserien – Ausführung A: Ø 25 – 370 mm, Ausführung B: Ø 60 – 110 mm.....	820
14.2.3.1.2	Baugrößenordnung 2: Maschinen für Kleinteile Ø 0,6 bis 10 mm.....	821
14.2.3.1.3	Baugrößenordnung 3: Maschinen für kleinere bis mittlere Ø von 8 bis 45 mm.....	823
14.2.3.1.4	Baugrößenordnung 4: Maschine für mittlere bis große Durchmesser von 30 bis 250 mm ...	823
14.2.3.1.5	Baugrößenordnung 5: Modulare Honbearbeitungszentren von Ø 70 bis 125 mm.....	824
14.2.3.1.6	Baugrößenordnung 6: Großhонmaschinen für große Ø von 60 bis 1.500 mm.....	826
14.2.3.2	Horizontal-Langhubhонmaschinen .....	827
14.2.4	Honsysteme: Werkzeug-, Werkstück-Zuordnungen.....	827
14.2.4.1	Verbindungselemente mit Werkzeugaufnahme .....	829
14.2.4.2	Werkstückaufnahme (Vorrichtung) .....	829
14.2.4.2.1	Beispiele von „starrten“ Werkstückaufnahmen gemäß Honsystem A .....	830
14.2.4.2.2	Beispiele von „schwimmenden“ Werkstückaufnahmen gemäß Honsystem B.....	832
14.2.4.2.3	Beispiele von „kardanischen“ Werkzeugaufnahmen gemäß Honsystem C.....	833
14.2.5	Werkzeugarten .....	835
14.2.5.1	Innenhон-Werkzeuge .....	835
14.2.5.1.1	Leisten-Hонwerkzeuge, zustellbar während des Honens.....	836
14.2.5.1.2	Vollmantelwerkzeuge.....	840
14.2.5.1.3	Hонwerkzeuge für Kleinstbohrungen.....	841
14.2.5.2	Außenhон-Werkzeuge .....	842
14.2.5.3	Hон-Schneidbeläge .....	843
14.2.5.3.1	Schneidbeläge mit Diamant und CBN.....	844
14.2.5.3.2	Konstruktive Auslegung von Honbelägen.....	846
14.2.5.3.3	Aufbereitung von Honwerkzeugen mit Diamant- und CBN-Leisten-Systemen.....	846
14.2.5.3.4	Konventionelle Schneidstoffe.....	847
14.2.6	Kühlschmierstoff (KSS).....	848
14.2.6.1	Kühlschmierstoffe beim Honen .....	849
14.2.6.2	Anforderungen an die Kühlschmierstoffe .....	849

14.2.6.2.1	Prozessanforderungen .....	850
14.2.6.2.2	Anforderungen und Handling .....	851
14.2.7	Vertikal-Innenrundhohmaschinen .....	852
14.2.7.1	Honleisten-Zustellsysteme .....	852
14.2.7.1.1	Hydraulische Zustellung (kraftschlüssig) .....	853
14.2.7.1.2	Mechanische Schrittzustellung (formschlüssig) .....	853
14.2.7.1.3	Doppelzustellsysteme .....	854
14.2.7.2	Messsysteme an Honmaschinen .....	854
14.2.7.2.1	Direkt Messsysteme .....	854
14.2.7.2.2	Indirekt Messsysteme .....	858
14.2.7.3	Formregelungseinrichtungen .....	859
14.2.7.4	Berechnungsverfahren .....	860
14.2.7.4.1	Schnittgeschwindigkeit .....	860
14.2.7.4.2	Hublänge und Honleistenlänge .....	862
14.2.7.4.3	Schnittkräfte .....	862
14.2.7.4.4	Anpressdruck .....	863
14.2.7.4.5	Oberflächenrauheit .....	864
14.2.7.4.6	Bearbeitungszugaben und Honzeiten .....	864
14.2.7.4.7	Zerspanungskennwerte .....	868
14.2.7.5	Werkstoff- und Bauteilspektrum beim Honen .....	869
14.2.7.6	Verfahrensvarianten mit Arbeitsbeispielen .....	870
14.2.7.6.1	Honen kleiner Bohrungen .....	871
14.2.7.6.2	Dornhonen .....	873
14.2.7.6.3	Peak-Honen .....	875
14.2.7.6.4	Plateau-Honen .....	876
14.2.7.6.5	Koaxialhonen .....	879
14.2.7.6.6	FMF-Hybridhohverfahren: Honen-Fluidstrahlen-Microfinishen .....	880
14.2.7.6.7	LH-Hybridhohverfahren: Laserhonen .....	883
14.2.7.6.8	Positionshonen am Beispiel der Zylinderbohrung .....	885
14.2.7.6.9	Formhonen am Beispiel Zylinderlaufbahn eines Verbrennungsmotors .....	886
14.3	Kurzhubhonen .....	887
14.3.1	Kurzhubhohvarianten nach Bearbeitungsgeometrien und spezifischen Bauteilen .....	888
14.3.2	Verfahren .....	889
14.3.2.1	Verfahrensmerkmale .....	889
14.3.2.2	Berechnungsgrundlagen .....	889
14.3.2.3	Verfahrensvarianten .....	890
14.3.2.3.1	Oszillationsfinishen als Einstechverfahren mit Beispielen .....	890
14.3.2.3.2	Oszillationsfinishen als Durchlauf- und Längsbearbeitung .....	892
14.3.2.3.3	Rotationsfinishen als Einstechverfahren für Plan- und sphärische Flächen .....	892
14.3.3	Maschinen .....	893
14.3.3.1	Zustellsysteme, Werkzeuge mit Schneidmittel .....	893
14.3.3.2	Kühlschmierstoff (KSS) mit Aufbereitung .....	894
14.3.3.3	Rotationsfinish-Maschine für Planflächen als Vertikalbearbeitung .....	895
14.3.3.4	Modulare Rotations-Finishmaschine auch als Feinstbearbeitungszentrum .....	896
14.3.3.5	Finishmaschine mit Band-Technologie .....	896
14.3.4	Bearbeitungsbeispiele .....	898
14.3.5	Kurzhubhoh-Anbaugeräte .....	898
14.4	Verzahnungshonen .....	898
14.4.1	Einleitung .....	898
14.4.2	Geschichtliches .....	898
14.4.3	Verfahrensvarianten .....	899
14.4.4	Qualitätsmerkmale .....	901
14.4.5	Wirtschaftlichkeit .....	901
14.4.6	Leistungshohmaschine für Verzahnungen .....	901
14.4.7	Zusammenfassung und Teilespektrum .....	903

<b>15</b>	<b>Läppen und Polieren</b> .....	905
15.1	Läppen .....	907
15.1.1	Grundlagen .....	907
15.1.2	Trennmechanismen .....	908
15.1.3	Läppverfahren .....	910
15.1.3.1	Planläppen .....	910
15.1.3.2	Rundläppen .....	911
15.1.3.3	Wälzläppen .....	912
15.1.3.4	Schraubläppen .....	912
15.1.3.5	Profilläppen .....	912
15.1.3.6	Sonderläppverfahren .....	913
15.1.4	Läppmaschinen .....	914
15.1.4.1	Einscheiben-Läppmaschinen .....	914
15.1.4.2	Zweischeibenläppmaschinen .....	915
15.1.5	Verbrauchsmittel .....	916
15.1.5.1	Läppscheiben .....	916
15.1.5.2	Läppmittelträgerflüssigkeit .....	917
15.1.5.3	Läppmittel (Granulat) .....	918
15.1.6	Beispiel-Läpp-Prozesse .....	919
15.1.6.1	Läppen von Hartmetall und kubischem Bornitrid (CBN) .....	919
15.1.6.2	Doppelseitenläppen von Silicium-Wafern .....	920
15.1.7	Vor-/Nachteile gegenüber anderen Verfahren .....	921
15.2	Polieren .....	921
15.2.1	Grundlagen .....	921
15.2.1.1	Abrasives Polieren .....	923
15.2.1.2	Laserpolieren .....	924
15.2.1.3	Magneto-rheologisches Polieren (MRF) .....	924
15.2.1.4	Chemo-mechanisches Polieren (CMP) .....	924
15.2.1.5	Chemisches Polieren .....	925
15.2.1.6	Elektropolieren .....	925
15.2.1.7	Strömungspolieren .....	926
15.2.1.8	Ionenstrahlpolieren .....	926
15.2.1.9	Ultrapräzisionspolieren/Float Polishing .....	927
15.2.2	Verbrauchsmittel .....	928
15.2.2.1	Poliermittelträger .....	928
15.2.2.2	Poliermittel .....	929
15.2.3	Polieren von großen, flächigen Bauteilen .....	930
<b>16</b>	<b>Spanende Verzahnungsfertigung</b> .....	933
16.1	Allgemeines .....	935
16.2	Bestimmungsgrößen und Benennungen .....	938
16.2.1	Zylinderräder .....	938
16.2.2	Kegelräder .....	941
16.2.3	Schnecken .....	944
16.2.4	Schneckenräder .....	946
16.3	Übersicht über die spanenden Verzahnmaschinen .....	947
16.3.1	Wälzfräsmaschinen .....	947
16.3.2	Profilfräsmaschinen .....	951
16.3.3	Wälzhobel- und Wälzstoßmaschinen .....	951
16.3.4	Zahnradräummaschinen .....	954
16.3.5	Wälzschälmaschinen .....	956
16.3.6	Zahnradschabmaschinen .....	957
16.3.7	Wälzschleifmaschinen .....	959
16.3.8	Profilschleifmaschinen .....	965



16.3.9	Zahnradhonmaschinen .....	968
16.3.10	Maschinen zur Herstellung von Kegelrädern.....	970
16.3.11	Maschinen zur Herstellung von Schnecken .....	976
16.4	Bearbeitung auf Fräsmaschinen .....	979
16.4.1	Wälzfräsen von Zylinderrädern .....	979
16.4.1.1	Werkzeuge .....	979
16.4.1.2	Technologien.....	981
16.4.2	Profilfräsen von Zylinderrädern .....	987
16.4.2.1	Werkzeuge .....	988
16.4.2.2	Technologien.....	989
16.4.3	Fräsen von Kegelrädern .....	989
16.4.3.1	Grundlagen .....	989
16.4.3.2	Fräsverfahren und Werkzeuge .....	991
16.4.4	Herstellen von Schnecken .....	995
16.4.5	Herstellen von Schneckenrädern .....	998
16.5	Bearbeitung auf Hobel- und Stoßmaschinen.....	1001
16.5.1	Herstellen von Zylinderrädern.....	1001
16.5.2	Herstellen von Kegelrädern.....	1001
16.6	Bearbeitung auf Schabmaschinen .....	1002
16.6.1	Werkzeuge .....	1003
16.6.2	Technologien.....	1003
16.7	Bearbeitung auf Schleifmaschinen.....	1006
16.7.1	Herstellen von Zylinderrädern.....	1006
16.7.1.1	Teilwälzschleifen.....	1006
16.7.1.2	Kontinuierliches Wälzschleifen.....	1009
16.7.1.3	Profilschleifen.....	1013
16.7.1.3.1	Technologie .....	1014
16.7.1.3.2	Werkzeuge .....	1015
16.7.1.3.3	Maschinenaufbau.....	1017
16.7.1.4	Verzahnungshonen.....	1019
16.7.2	Herstellen von Kegelrädern.....	1022
<b>17</b>	<b>Spanende Gewindefertigung .....</b>	<b>1025</b>
17.1	Grundlagen und Berechnung von Gewinden .....	1027
17.2	Verfahren der Gewindefertigung.....	1034
17.2.1	Gewindebohren .....	1034
17.2.1.1	Gewindebohren: Technologie.....	1034
17.2.1.2	Gewindebohren: Werkzeuge .....	1038
17.2.1.3	Schneidstoffe .....	1041
17.2.2	Gewindefurchen .....	1042
17.2.2.1	Gewindefurcher: Technologie .....	1042
17.2.2.2	Gewindefurcher: Werkzeuge.....	1044
17.2.2.3	Sonderverfahren Cut&Form.....	1045
17.2.3	Gewindefräsen.....	1047
17.2.3.1	Profilkorrektur am Gewindefräser .....	1048
17.2.3.2	Gewindefräsertypen .....	1048
17.2.3.3	Gewindefräsfurchen .....	1052
17.2.4	Gewindewirbeln .....	1053
17.2.4.1	Außenwirbeln .....	1053
17.2.4.2	Innenwirbeln .....	1054
17.2.4.3	Werkzeuge .....	1054
17.2.4.4	Praxisbeispiele .....	1055
17.2.5	Gewindedrehen .....	1057
17.2.6	Gewindestrehlen .....	1060

17.3	Maschinen zur Gewindefertigung.....	1061
17.4	Gewindeschneidfutter und -schneidapparate sowie deren Werkzeugspannsysteme.....	1064
17.4.1	Allgemeines .....	1064
17.4.2	Gewindeschneidfutter mit Längenausgleich .....	1064
17.4.3	Gewindeschneidfutter mit achsparalleler Pendelung .....	1065
17.4.4	Gewindeschneidfutter mit Längenausgleich und zusätzlichem Druckpunktmechanismus.....	1065
17.4.5	Gewindeschneidfutter mit Längenausgleich und zusätzlichem Zugaurastungsmechanismus .....	1065
17.4.6	Gewindeschneidfutter mit Minimallängenausgleich von einigen Zehntelmillimetern .....	1067
17.4.7	Gewindeschneidapparate .....	1067
17.4.8	Werkzeugspannsysteme für Gewindeschneidfutter und Gewindeschneidapparate.....	1068
<b>18</b>	<b>Fertigen auf getakteten und flexiblen Maschinensystemen.....</b>	<b>1071</b>
18.1	Einführung.....	1073
18.1.1	Zur Entwicklung flexibler Fertigungssysteme .....	1073
18.1.2	Agile Systeme, Hybridsysteme und rekonfigurierbare Maschinensysteme.....	1076
18.1.2.1	Agile Systeme .....	1076
18.1.2.2	Hybridsysteme.....	1076
18.1.2.3	Rekonfigurierbare Maschinensysteme.....	1076
18.2	Rundtaktmaschinen.....	1077
18.2.1	Vergleich klassischer und flexibler Rundtaktmaschinen.....	1078
18.2.2	Typische Werkstücke für Rundtaktmaschinen.....	1080
18.2.3	Konstruktiver Aufbau von Rundtaktmaschinen .....	1080
18.2.3.1	Bearbeitungseinheiten .....	1080
18.2.3.2	Mittenbaugruppe.....	1084
18.2.4	Werkstückbe- und -entladung.....	1086
18.2.5	Steuerungstechnik.....	1086
18.2.6	Integration von Sondertechnologien.....	1087
18.2.7	Rundtaktmaschinen in verketteten Systemen .....	1088
18.3	Transfermaschinen.....	1089
18.3.1	Aktueller Einsatzbereich von Transfermaschinen .....	1089
18.3.2	Konstruktiver Aufbau von Transfermaschinen.....	1090
18.3.2.1	Werkstücktransport.....	1090
18.3.2.2	Bearbeitungseinheiten .....	1092
18.3.2.3	Spindeleinheiten .....	1093
18.4	Transferzentren.....	1094
18.4.1	Allgemeines .....	1094
18.4.2	Kinematik und konstruktiver Aufbau.....	1095
18.4.3	Mehrspindelköpfe und andere Baueinheiten .....	1096
18.4.4	Varianten.....	1097
18.4.5	Technologieintegration .....	1098
18.4.6	Prozesse.....	1098
18.4.7	Automatisierung.....	1098
18.4.8	Einsatzbereiche .....	1100
18.4.9	Ressourcenschonung.....	1100
18.4.10	Wirtschaftlichkeit .....	1100
18.5	Verkettete Mehrmaschinensysteme .....	1101
18.5.1	Verkettungsarchitekturen .....	1101
18.5.1.1	Sequenzielle Architektur .....	1102
18.5.1.2	Parallele Architektur.....	1102
18.5.1.3	Vergleich sequenzielle/parallele Architektur .....	1102
18.5.1.4	Flexible Architektur .....	1105
18.5.2	Bearbeitungseinheiten .....	1106
18.5.2.1	1-spindlige Bearbeitungszentren.....	1106

18.5.2.2	2-spindlige Bearbeitungszentren.....	1109
18.5.2.3	Prozess-Bearbeitungsmodule.....	1110
18.5.2.4	Sonderbearbeitungsstationen.....	1110
18.5.3	Beladungskonzepte.....	1111
18.5.3.1	Beladung mit Palettenwechsler.....	1111
18.5.3.2	Beladung mit Werkstückwechsler.....	1112
18.5.3.3	Beladung direkt in den Arbeitsraum.....	1112
18.5.4	Spannen von Werkstücken.....	1113
18.5.4.1	Direktes Spannen.....	1114
18.5.4.2	Spannen mit Adaptern.....	1114
18.5.4.3	Spannen mit 0-Punkt-Spannsystemen.....	1115
18.5.5	Handhabung von Werkstücken.....	1116
18.5.5.1	Manuelle Handhabung.....	1116
18.5.5.2	Automatische Handhabung.....	1117
18.5.6	Qualitätsmanagement.....	1120
18.5.7	Simulation von Fertigungssystemen.....	1121
18.5.7.1	NC-Simulation.....	1122
18.5.7.2	Materialfluss-Simulation.....	1123
18.6	Industrie 4.0.....	1124
<b>II</b>	<b>Abtragen.....</b>	<b>1127</b>
<b>1</b>	<b>Grundlagen zum Abtragen.....</b>	<b>1129</b>
1.1	Geschichtliche Entwicklung.....	1131
1.2	Einteilung der abtragenden Fertigungsverfahren.....	1133
<b>2</b>	<b>Thermisches Abtragen, thermisches Trennen.....</b>	<b>1141</b>
2.1	Funkenerosion.....	1143
2.1.1	Allgemeines.....	1143
2.1.2	Übersicht der Verfahren.....	1144
2.1.2.1	Funkenerosives Senken.....	1145
2.1.2.2	Funkenerosives Schneiden.....	1149
2.1.3	Oberflächenbeschaffenheit.....	1151
2.1.4	Anwendung.....	1154
2.2	Laser.....	1155
2.2.1	Laserstrahlung.....	1155
2.2.2	Laserprinzip.....	1156
2.2.2.1	Aktives Medium.....	1156
2.2.2.2	Optische Resonatoren.....	1158
2.2.3	Laser-Moden.....	1159
2.2.3.1	Der Gauß'sche Strahl.....	1159
2.2.3.2	Moden höherer Ordnung.....	1160
2.2.3.3	Strahlqualität.....	1160
2.2.3.4	Fokussierung Gauß'scher Strahlen.....	1160
2.2.4	Wärmeleitung.....	1163
2.2.5	Lasertypen.....	1163
2.3	Ionenstrahlverfahren in der Fertigungstechnik.....	1166
2.3.1	Grundlagen von Ionenstrahlverfahren.....	1167
2.3.1.1	Wechselwirkung von Ionenstrahlen mit Materialoberflächen.....	1167
2.3.1.2	Übersicht zu Ionenstrahlquellen.....	1168
2.3.2	Anwendungen von Ionenstrahlverfahren in der Fertigungstechnik.....	1173
2.3.2.1	Einsatz von Breitstrahlionenquellen in Mikrosystemtechnik, Sensorik und Optik.....	1174
2.3.2.1.1	Verfahren zur Mikrostrukturierung mit Ionenstrahlen.....	1175
2.3.2.1.2	Scanverfahren zur lokalen Korrektur von Oberflächeneigenschaften.....	1176
2.3.2.1.3	Ionenstrahlverfahren zur Abscheidung von Mehrlagen-Präzisionsschichten.....	1177

2.3.2.2	Fokussierte Ionenstrahlen zur Nachbearbeitung von Schneidkanten .....	1178
2.3.2.3	Anwendung von fokussierten Ionenstrahlverfahren in Präparation und Analytik.....	1181
2.3.3	Ausblick.....	1183
<b>3</b>	<b>Elektrochemisches Abtragen .....</b>	<b>1185</b>
3.1	Senken .....	1187
3.1.1	Allgemeines, fertigungstechnische Grundlagen .....	1187
3.1.1.1	Verfahrenseinordnung.....	1187
3.1.1.2	Fertigungstechnische Grundlagen .....	1189
3.1.2	Verfahrensvarianten.....	1193
3.1.2.1	Profilabtragen an prismatischen Werkstücken.....	1193
3.1.2.2	Profilabtragen an rotationssymmetrischen Teilen .....	1196
3.1.2.3	Elektrochemisches Bohren .....	1199
3.1.3	Elektrolyte.....	1200
3.1.4	Werkzeuge und Vorrichtungen .....	1203
3.1.5	Anlagentechnik .....	1204
3.1.5.1	Aufbau und Ausstattung .....	1204
3.1.5.2	Elektrochemisches Abtragen an prismatischen Werkstücken.....	1207
3.1.5.3	Elektrochemisches Abtragen an rotationssymmetrischen Werkstücken.....	1208
3.1.6	Generatoren .....	1208
3.1.6.1	Grundlagen .....	1208
3.1.6.2	Generatorentypen .....	1209
3.1.6.2.1	Stromversorgung.....	1209
3.1.6.2.2	Frequenzumrichtertechnologie.....	1210
3.1.6.2.3	Geregelte und ungeregelte Generatoren .....	1210
3.1.6.2.4	Generatoren im Pulsbetrieb .....	1211
3.1.6.2.5	Generatorenkonzepte .....	1212
3.1.6.2.6	Elektrochemische Generatoren mit geregelten und gesteuerten Achsen.....	1212
3.1.7	Messtechnik .....	1213
3.1.8	Werkstückhandling, Peripherie.....	1214
3.1.9	Umweltbeeinflussung, Arbeitsschutz .....	1216
3.2	Entgraten.....	1218
3.2.1	Allgemeines, wirtschaftliche und fertigungstechnische Grundlagen.....	1218
3.2.2	Verfahrensprinzip.....	1219
3.2.3	Vorteile des Verfahrens und Einsatzmöglichkeiten .....	1220
3.2.4	Wesentliche Verfahrensparameter .....	1221
3.2.5	Elektrolyte.....	1222
3.2.6	Vorrichtungen .....	1222
3.2.7	Anlagentechnik .....	1224
3.2.8	Peripherie.....	1226
3.3	Polieren.....	1228
3.3.1	Elektrochemisches Polieren .....	1228
3.3.2	Plasmaelektrolytisches Polieren.....	1230
<b>III</b>	<b>Sonderverfahren .....</b>	<b>1235</b>
<b>1</b>	<b>Bearbeiten von schwer zerspanbaren Werkstoffen .....</b>	<b>1237</b>
1.1	Einleitung.....	1239
1.2	Trennen von faserverstärkten Kunststoffen .....	1241
1.2.1	Bearbeitungsfehler und Bearbeitungsqualität.....	1241
1.2.2	Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide.....	1242
1.2.2.1	Verschleiß und Schneidstoffe.....	1242
1.2.2.2	Fräsen .....	1242
1.2.2.2.1	Einfluss der Faserorientierung .....	1243
1.2.2.2.2	Einfluss der Prozessparameter .....	1243

1.2.2.2.3	Werkzeuge .....	1243
1.2.2.3	Bohren.....	1244
1.2.2.3.1	Delamination.....	1244
1.2.2.3.2	Bestimmung der Schädigung .....	1245
1.2.2.3.3	Strategien zur Reduzierung der bearbeitungsinduzierten Schädigungen.....	1245
1.2.2.4	Drehen .....	1247
1.2.2.5	Einspannen von faserverstärkten Kunststoffen bei der Zerspanung .....	1248
1.2.3	Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide.....	1248
1.2.3.1	Schleifen .....	1248
1.2.3.2	Wasserstrahlschneiden.....	1248
1.2.4	Abtragen .....	1250
1.2.4.1	Abtragen mit Laserstrahlen.....	1250
1.2.4.2	Funkenerosives Abtragen (EDM).....	1250
1.2.5	Zusammenfassung.....	1251
1.3	Schwermetalle.....	1253
1.3.1	Vorbemerkungen .....	1253
1.3.2	Wolfram .....	1253
1.3.2.1	Werkzeugauslegung .....	1254
1.3.2.2	Materialwahl.....	1255
1.3.2.3	Schneidstrategie.....	1255
1.3.2.4	Kühlschmierstrategie .....	1255
1.3.3	Wolframlegierungen.....	1255
1.3.3.1	Werkzeugauslegung .....	1256
1.3.3.2	Schneidstrategien .....	1256
1.3.3.3	Anwendung.....	1257
1.3.4	Molybdän und seine Legierungen .....	1257
1.3.4.1	Werkzeugauslegung .....	1257
1.3.4.2	Materialwahl.....	1257
1.3.4.3	Schneidstrategien .....	1258
1.3.4.4	Kühlschmierstrategie .....	1258
1.3.4.5	Anwendung.....	1259
1.3.5	Tantallegierungen.....	1259
1.3.5.1	Werkzeugauslegung .....	1259
1.3.5.2	Materialwahl .....	1259
1.3.5.3	Schneidstrategien .....	1259
1.3.5.4	Kühlschmierstrategie .....	1259
1.3.5.5	Anwendung.....	1259
1.4	Nickelbasislegierungen .....	1260
1.4.1	Hauptgruppen der Nickellegierungen.....	1260
1.4.2	Anwendungen der Nickelbasislegierungen.....	1261
1.4.3	Zerspanbarkeit von Nickellegierungen.....	1263
1.4.4	Schneidstoffe und Einsatz-parameter für das Drehen.....	1263
1.4.5	Fräsen und Bohren von Nickellegierungen .....	1267
1.4.6	Räumen von Nickellegierungen.....	1269
1.4.7	Schleifen von Nickellegierungen.....	1269
1.5	Titanwerkstoffe .....	1271
1.5.1	Reines Titan .....	1271
1.5.2	Titanlegierungen.....	1272
1.5.3	Zerspanbarkeit von Titanlegierungen und Titanaluminiden.....	1274
1.5.4	Fräsen und Bohren von Titanlegierungen.....	1277
1.5.5	Räumen von Titanlegierungen.....	1279
1.5.6	Schleifen von Titanlegierungen und Titanaluminiden.....	1280
1.6	Keramische Werkstoffe.....	1283
1.6.1	Oxide .....	1283
1.6.1.1	Aluminiumoxid.....	1283
1.6.1.2	Zirkonoxid.....	1284

1.6.2	Nichtoxide .....	1284
1.6.2.1	Carbide.....	1284
1.6.2.2	Nitride.....	1284
1.6.3	Herstellverfahren der Hochleistungskeramik.....	1284
1.6.3.1	Pulversynthese.....	1284
1.6.3.2	Masseaufbereitung .....	1285
1.6.3.3	Formgebung.....	1285
1.6.3.4	Grünbearbeitung .....	1286
1.6.3.5	Weißbearbeitung.....	1286
1.6.3.6	Sintern .....	1286
1.6.4	Endbearbeitung .....	1286
1.6.4.1	Schleifen .....	1286
1.6.4.2	Übersicht der Industriell eingesetzten Hartbearbeitungsverfahren.....	1289
1.6.4.3	Rundschleifverfahren .....	1294
1.6.4.4	Bohrungsbearbeitung.....	1295
1.6.4.5	Steigerungen der Oberflächengüte und der Ebenheit.....	1297
1.6.4.6	Erreichbare Genauigkeiten und Oberflächengüten .....	1298
1.6.4.7	Beispiele von Bauteilen.....	1298
1.6.4.8	Ausblick.....	1299
<b>2</b>	<b>Mikrofertigung.....</b>	<b>1301</b>
2.1	Grundlagen .....	1303
2.1.1	Einführung .....	1303
2.1.2	Mikroerspanung.....	1304
2.2	Verfahren in der Mikrofertigung.....	1305
2.2.1	Mikrodrehen .....	1305
2.2.1.1	Hochpräzisionsdrehen .....	1305
2.2.1.2	Ultrapräzisionsdrehen.....	1308
2.2.2	Mikrofräsen.....	1310
2.2.2.1	Anwendung.....	1310
2.2.2.2	Werkzeugmaschinen.....	1311
2.2.2.3	Werkzeuge und bearbeitbare Werkstückwerkstoffe .....	1312
2.2.2.4	Bearbeitungsstrategien .....	1313
2.2.2.5	Spanbildung.....	1314
2.2.2.6	Hilfsmittel zur Beurteilung der Fertigungsqualität.....	1315
2.2.3	Mikroschleifen.....	1315
2.2.3.1	Anwendungen.....	1316
2.2.3.2	Werkzeugmaschinen .....	1316
2.2.3.3	Werkzeuge .....	1317
2.2.3.4	Technologie .....	1318
2.2.4	Mikroerodieren.....	1320
2.2.4.1	Einleitung.....	1320
2.2.4.2	Werkzeugmaschinen.....	1320
2.2.4.3	Mikrodrahterosion .....	1321
2.2.4.4	Mikrosenkerosion .....	1322
2.2.4.5	Mikrobohrerosion .....	1322
2.2.4.6	Mikrobahnerosion.....	1323
2.2.4.7	Mikrodrahterosion mit rotierender Werkstückelektrode (WEDG).....	1324
2.2.5	Laserbearbeitung .....	1328
2.2.6	LIGA-Technik .....	1332
2.2.6.1	Überblick.....	1332
2.2.6.2	Tiefenlithografie mit Synchrotronstrahlung.....	1333
2.2.6.3	Galvanoformung .....	1338
2.2.6.4	Abformung .....	1343
2.2.6.5	Ausblick.....	1345
	<b>Index.....</b>	<b>1347</b>