

---

# **Taschenbuch der Werkzeugmaschinen**

---

herausgegeben von  
Prof. Dipl.-Ing. Klaus-Jörg Conrad  
2., aktualisierte Auflage

Mit 621 Bildern und 73 Tabellen



**FACHBUCHVERLAG LEIPZIG**  
im Carl Hanser Verlag

---

# Inhaltsverzeichnis

## Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	24
1.1	Fertigungsverfahren	25
1.2	Einflussgrößen auf Maschinenkonzepte	26
1.3	Bezeichnungen der Werkzeugmaschinen	27
1.4	Anwenderkriterien für Auswahl und Einsatz von Werkzeugmaschinen	28
<b>2</b>	<b>Prozessorientierung</b>	31
2.1	Organisation	31
2.2	Prozessorientierte Organisation	32
2.3	Prozessmanagement	35
2.4	Ablaufdiagramme und Prozessbeschreibung	39
2.5	Wissensorientierung	41
<b>3</b>	<b>Technische Kapazität</b>	43
3.1	Kapazität von Betriebsmitteln	44
3.2	Kapazität von Menschen	46
<b>4</b>	<b>Kostengrundlagen der Werkzeugmaschinen</b>	47
4.1	Life Cycle Cost	47
4.2	Gliederung der Kostenarten	48
4.3	Break-even-Diagramm	49
4.4	Bestimmung der einzelnen Kostenarten	50
4.5	Ablauf einer Kostenrechnung	57
4.6	Standardsituationen	58
<b>5</b>	<b>Fertigungsautomatisierung</b>	66
<b>6</b>	<b>Fertigungsmesstechnik</b>	68
6.1	Allgemeine Grundlagen der Messtechnik	68
6.1.1	Messtechnische Grundbegriffe	68
6.1.2	Struktur der Messeinrichtung	69
6.1.3	Einheiten und Einheitensystem	72
6.1.4	Messprinzipien, -methoden und -verfahren	73
6.1.5	Messfehler	81
6.1.5.1	Fehlerursachen	81
6.1.5.2	Fehlergruppen	82
6.1.5.3	Fehlerfortpflanzung	85
6.1.6	Statistische Auswertung	85
6.1.6.1	Stichprobenkenngrößen	86
6.1.6.2	Normalverteilung	87
6.1.6.3	Vertrauensintervalle	89
6.2	Messen geometrischer und mechanischer Größen	90
6.2.1	Längen und Winkelmessung	90

6.2.1.1	Werkstattmessgeräte (mech. Aufnehmer) . . . . .	91
6.2.1.2	Resistive Aufnehmer . . . . .	91
6.2.1.3	Induktive und kapazitive Aufnehmer . . . . .	92
6.2.1.4	Pneumatische Aufnehmer . . . . .	93
6.2.1.5	Inkrementale Aufnehmer . . . . .	94
6.2.1.6	Codierte Weg- und Winkelauflnehmer . . . . .	95
6.2.1.7	Laserinterferometrische Längenmessung . . . . .	96
6.2.2	Messen mechanischer Größen . . . . .	96
6.2.2.1	Kraftmessung . . . . .	97
6.2.2.2	Drehmomentenmessung mit DMS . . . . .	99
6.2.2.3	Druckmessung . . . . .	99
6.2.2.4	Zeit und Drehzahlmessung . . . . .	100
6.3	Temperaturmessung . . . . .	102
6.3.1	Die Internationale Temperaturskala . . . . .	102
6.3.2	Widerstandsthermometer . . . . .	102
6.3.3	Thermoelemente . . . . .	103
6.4	Statistische Fertigungsüberwachung . . . . .	104
6.4.1	Qualitätsregelkarten . . . . .	104
6.4.1.1	Aufbau der Qualitätsregelkarten . . . . .	104
6.4.1.2	Festlegung der Grenzwerte . . . . .	105
6.4.1.3	Beurteilungskriterien . . . . .	106
6.4.1.4	Qualitätsregelkarten mit Gedächtnis . . . . .	107
6.4.2	Prozessfähigkeitskennzahlen . . . . .	108
6.5	Prüfmittelüberwachung . . . . .	109
6.5.1	Charakteristische Prüfmitteleigenschaften . . . . .	109
6.5.2	Kalibrierkette (Rückführung) . . . . .	110
6.5.3	Gerätespezifische Überwachung . . . . .	111
6.5.4	Prüfaufgabenbezogene Überwachung . . . . .	111
7	<b>Industrielle Steuerungstechnik . . . . .</b>	113
8	<b>Instandhaltung von Werkzeugmaschinen . . . . .</b>	117
8.1	Instandhaltung im Wandel . . . . .	117
8.2	Aufgaben und Ziele der Instandhaltung . . . . .	119
8.3	Begriffe der Instandhaltung . . . . .	120
8.3.1	Inspektion . . . . .	122
8.3.2	Wartung . . . . .	123
8.3.3	Instandsetzung . . . . .	125
8.3.4	Ausfallrate . . . . .	127
8.3.5	Ausfallursachen . . . . .	129
8.3.6	Instandhaltungskosten . . . . .	131
8.4	Instandhaltungsstrategien . . . . .	133
8.4.1	Die schadens- oder ausfallorientierte Instandhaltung . . . . .	134
8.4.2	Präventivstrategie (Ersatzstrategie) . . . . .	135

8.4.3	Inspektionsstrategie (Zustandsorientierte Instandhaltung) . . . . .	135
8.4.4	Periodische Strategie . . . . .	135
8.4.5	Auswahl der richtigen Strategie . . . . .	136
8.4.6	Instandhaltungsstrategien auf einen Blick . . . . .	139
8.5	Die zustandsorientierte Instandhaltung (Condition Monitoring) . . . . .	139
8.6	Outsourcing von Instandhaltungstätigkeiten . . . . .	141
8.7	EDV-Einsatz in der Instandhaltung . . . . .	142
8.8	Total Productive Maintenance (TPM) . . . . .	144
8.8.1	Die schlanke Produktion . . . . .	144
8.8.2	Der Begriff TPM . . . . .	145
8.8.3	Erhöhung der Gesamtanlageneffizienz . . . . .	147
8.8.4	Einführung von TPM . . . . .	148
8.8.5	Der Weg zur Weltklasse-Instandhaltung . . . . .	148
<b>Werkzeugmaschinen – Aufbau und Baugruppen</b>		
<b>9</b>	<b>Grundlagen</b> . . . . .	152
9.1	Definition und Klassifizierung der Werkzeugmaschinen . . . . .	152
9.2	Anforderungen . . . . .	154
9.3	Genauigkeitskennwerte . . . . .	155
9.4	Steifigkeit . . . . .	157
9.4.1	Statische Steifigkeit . . . . .	157
9.4.2	Dynamische Steifigkeit . . . . .	160
9.5	Thermische Stabilität . . . . .	164
9.6	Prozesssicherheit . . . . .	166
9.7	Sonstige Anforderungen . . . . .	166
9.8	Aufbau von Werkzeugmaschinen . . . . .	167
<b>10</b>	<b>Gestell</b> . . . . .	169
10.1	Gestellkonzepte . . . . .	169
10.2	Werkstoffe . . . . .	172
<b>11</b>	<b>Führungen</b> . . . . .	175
11.1	Anforderungen . . . . .	175
11.2	Wirkprinzipien von Führungen . . . . .	175
11.2.1	Hydrodynamische Gleitführungen . . . . .	175
11.2.2	Hydro- und aerostatische Gleitführungen . . . . .	179
11.2.3	Wälzführungen . . . . .	181
11.3	Geometrie der Führungselemente . . . . .	184
<b>12</b>	<b>Hauptantrieb</b> . . . . .	187
12.1	Hauptantriebe mit gestufter Drehzahlstellung . . . . .	188
12.2	Hauptantriebe mit stufenloser Drehzahlregelung . . . . .	194
12.3	Hauptantriebe mit translatorischer Schnittbewegung . . . . .	199

<b>13</b>	<b>Vorschubantriebe</b>	202
13.1	Vorschubantriebe mit rotatorischen Servoantrieben	203
13.2	Vorschubantriebe mit elektrischem Linearmotor	208
<b>14</b>	<b>Hauptspindel</b>	211
14.1	Einteilung und Ausführung	211
14.2	Wälzgelagerte Hauptspindeln	216
<b>15</b>	<b>Schnittstellen für Werkzeuge und Spannmittel</b>	223
15.1	Allgemeines	223
15.2	Schnittstellen an Drehmaschinen	223
15.2.1	Schnittstellen für Werkzeuge	223
15.2.2	Schnittstellen für Werkstückspannmittel	225
15.3	Schnittstellen an Bohr- und Fräsmaschinen	228
15.3.1	Schnittstellen für Werkzeuge	228
15.3.2	Schnittstellen für Werkstückspannmittel	230
<b>16</b>	<b>Spannmittel</b>	233
16.1	Allgemeines	233
16.2	Spannmittel an Drehmaschinen	233
16.2.1	Grundlagen	233
16.2.2	Typische Spannzeuge	236
16.3	Spannmittel an Fräsmaschinen	240
16.4	Spannmittel an Schleifmaschinen	240
<b>17</b>	<b>Positionsmesssysteme</b>	243
17.1	Messprinzipien und Messverfahren	243
17.1.1	Übersicht angewandter Messverfahren	243
17.1.2	Funktionsstruktur der Wegmess- systeme	243
17.1.3	Messprinzipien	245
17.2	Ausführungsformen	247
17.2.1	Längenmesssysteme	247
17.2.2	Winkelmesssysteme	249
17.2.3	Code-Messverfahren (absolute Mess- systeme)	250
<b>18</b>	<b>Steuerungstechnik</b>	252
18.1	Begriffe und Einordnung	252
18.2	Übersicht und Merkmale der Steuerungsarten	254
18.2.1	Einteilung von Steuerungen nach An- wendungen	254
18.2.2	Einteilung von Steuerungen nach Merk- malen	255
18.3	Steuerungsebenen	257
18.4	Steuerungsübersicht	259
18.5	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	260
18.6	Numerische Steuerung	261
18.6.1	Funktionsbeschreibung von NC-Steuerungen	262
18.6.2	Komponenten und Informationsfluss	264

<b>19 NC-Programmierverfahren</b>	268
19.1 Grundbegriffe	268
19.2 Manuelle NC-Programmierung	269
19.3 Rechnergestützte NC-Programmierung	270
19.4 Durchgängiges CAD/CAM/CAQ-Programmiersystem	271
 <b>Werkzeugmaschinen für umformende Fertigungsverfahren</b>	
<b>20 Umformmaschinen</b>	276
20.1 Umformende Fertigungsverfahren	276
20.2 Aufgaben, Einteilung und Kenngrößen	277
20.3 Pressmaschinen	279
<b>21 Hämmer</b>	282
21.1 Funktionsprinzip, Bauformen	282
21.2 Maschinenkenngrößen, Berechnungsdaten	284
21.3 Antriebsarten und Steuerung	285
21.4 Fertigungsaufgaben	287
<b>22 Schwungrad-Spindelpressen</b>	289
22.1 Kenngrößen und Funktionsprinzip	289
22.2 Antriebsbauarten von Spindelpressen	290
22.3 Einsatzbeispiele	292
<b>23 Mechanische Pressen</b>	294
23.1 Kurbel- und Exzenterpressen	296
23.2 Kniehebelpressen	297
23.3 Gelenkantriebspressen	299
23.4 Anwendungsgebiete mechanischer Pressen	299
23.5 Mechanische Pressenanlagen und Produktionsysteme	301
23.6 Mehrstufenpressen	304
<b>24 Rundknetmaschinen</b>	306
<b>25 Hydraulische Pressen</b>	308
25.1 Hydraulische Ziehpressen	309
25.2 Hydraulische Pressen für das Tiefziehen mit Wirkmedien	311
25.3 Hydraulikpressen in der Massivumformung	313
25.4 Hydraulische Pressen und Anlagen für die Innen-Hochdruck-Umformung	315
25.5 Strang- und Rohrpressen	317
<b>26 Zieh- und Drückmaschinen</b>	320
26.1 Drahtziehmaschinen	320
26.2 Walzziehmaschinen	322
26.3 Ziehstände, Profilziehmaschinen	323
26.4 Drückmaschinen	323
<b>27 Walzmaschinen</b>	326
27.1 Flachwalzanlagen	327

27.2	Drückwalzmaschinen . . . . .	328
27.3	Ringwalzmaschinen . . . . .	330
27.4	Querwalzanlagen . . . . .	330
27.5	Gewindewalzmaschinen . . . . .	331
27.6	Glatt- und Festwalzmaschinen . . . . .	332
<b>28</b>	<b>Biegemaschinen . . . . .</b>	<b>335</b>
28.1	Gesenkbiegepressen . . . . .	335
28.2	Schwenkbiegemaschinen . . . . .	337
28.3	Blechbiegezentren . . . . .	338
28.4	Stanz-Biegeautomaten . . . . .	338
28.5	Rundbiegemaschinen . . . . .	339
28.6	Profil- und Rohrbiegemaschinen . . . . .	341
28.7	Walzprofilieranlagen . . . . .	342

## **Werkzeugmaschinen für zerteilende Fertigungsverfahren**

<b>29</b>	<b>Zerteilende Fertigungsverfahren . . . . .</b>	<b>346</b>
<b>30</b>	<b>Schermaschinen, Scheren . . . . .</b>	<b>349</b>
30.1	Tafelscheren . . . . .	349
30.2	Streifenscheren, Kreismesserscheren . . . . .	351
30.3	Kreisscheren, Kurvenscheren . . . . .	352
30.4	Winkelscheren . . . . .	352
<b>31</b>	<b>Schneid- und Stanzmaschinen . . . . .</b>	<b>354</b>
31.1	Feinschneidpressen . . . . .	355
31.2	CNC-Stanzmaschinen . . . . .	358
<b>32</b>	<b>Laserschneidanlagen . . . . .</b>	<b>360</b>
32.1	Technologien . . . . .	360
32.2	Maschinenkonzepte . . . . .	362

## **Werkzeugmaschinen für Werkzeuge mit geometrisch bestimmten Schneiden**

<b>33</b>	<b>Drehmaschinen . . . . .</b>	<b>366</b>
33.1	Gesichtspunkte zur Einteilung . . . . .	366
33.2	Entwicklungstendenzen im Drehmaschinenbau . . . . .	367
33.2.1	Randbedingungen und Einflüsse . . . . .	367
33.2.2	Technologische Einflüsse . . . . .	370
33.3	Formeln zur Technologie der Drehbearbeitung . . . . .	371
33.3.1	Schnittwerte . . . . .	371
33.3.2	Schnittkräfte . . . . .	372
33.3.3	Leistungen . . . . .	372
33.4	Einteilung der Drehmaschinen . . . . .	374
33.4.1	Übersicht nach VDMA + VDW . . . . .	374
33.4.2	Einteilung nach Ausstellungskatalog EMO . . . . .	376
33.5	Beispiele ausgeführter Drehmaschinen . . . . .	377
33.5.1	Plandrehmaschinen . . . . .	377
33.5.2	Mechanikerdrehmaschinen . . . . .	377

33.5.3	Fein- und Mikrodrehmaschinen . . . . .	378
33.5.4	Leit- und Zugspindeldrehmaschinen . . . . .	380
33.5.5	Produktionsdrehmaschinen . . . . .	382
33.5.6	Universaldrehmaschinen . . . . .	383
33.5.7	Mehrspindel-Drehautomaten . . . . .	383
33.5.8	Frontdrehmaschinen . . . . .	384
33.5.9	Senkrechtdrehmaschinen . . . . .	386
33.5.10	Senkrechtdrehmaschinen mit selbst- entladender Werkstückspindel . . . . .	387
33.5.11	Senkrechtdrehmaschinen (Karussell) . . . . .	387
33.5.12	Drehräummaschinen . . . . .	389
33.5.13	Drehschälmaschinen . . . . .	389
33.5.14	Sonstige Drehmaschinen . . . . .	389
33.5.15	Spezial-Drehmaschinen . . . . .	390
33.5.16	Drehzentren und flexible Drehzellen zur Komplettbearbeitung . . . . .	391
<b>34</b>	<b>Drehmaschinen für die Komplettbearbeitung</b> . . . . .	394
34.1	Verfahrenseinordnung . . . . .	394
34.2	Fertigungsverfahren . . . . .	395
34.3	Bauformen und Ausführungen . . . . .	396
34.4	Konstruktiver Aufbau . . . . .	399
34.5	Bauteile . . . . .	402
<b>35</b>	<b>Drehmaschinen zum Präzisionshartdrehen</b> . . . . .	404
35.1	Verfahrenseinordnung . . . . .	404
35.1.1	Bauteile und Werkstoffe . . . . .	407
35.1.2	Oberflächen- und Randzoneneigen- schaften . . . . .	408
35.2	Werkzeuge und Schneidstoffe . . . . .	409
35.3	Werkzeugmaschinen für das Hartdrehen . . . . .	411
35.3.1	Konstruktive Anforderungen . . . . .	411
35.3.2	Grundaufbau der Maschine . . . . .	412
35.3.3	Führungen und Lagerungen . . . . .	412
35.3.3.1	Hydrodynamische Gleitführung . . . . .	413
35.3.3.2	Hydrostatische Gleitführung . . . . .	413
35.3.3.3	Aerostatische Führungen und Lagerungen . . . . .	414
35.3.4	Weitere Besonderheiten . . . . .	415
35.4	Spannvorrichtungen . . . . .	416
<b>36</b>	<b>CNC-gesteuerte Mehrspindel-Drehautomaten</b> . . . . .	417
36.1	Definition von Mehrspindel-Drehautomaten . . . . .	417
36.2	Prinzipielle Arbeitsweisen von Mehrspindel- Drehautomaten . . . . .	417
36.3	Typische Einsatzbereiche und die Verbreitung dieser Maschinen . . . . .	418
36.4	Der Übergang von kurvengesteuerten zu CNC-gesteuerten Maschinen . . . . .	419

36.5	Funktions- und Anwendungserweiterung aufgrund der CNC-Technik . . . . .	419
36.6	Konzeption und Gestaltung moderner CNC-Mehrspindel-Drehautomaten . . . . .	423
36.7	Arbeitsspindeln und Spindeltrommel . . . . .	425
36.8	Werkzeugschlitten mit Achsantrieben . . . . .	426
36.9	Schlittenführungen . . . . .	428
36.10	Anordnung der Werkzeugschlitten . . . . .	429
36.11	Werkzeugsysteme . . . . .	430
36.12	Stangenführungen und Stangenlade- magazine . . . . .	431
36.13	Werkstückhandhabung . . . . .	432
36.14	Vertikale Drehmaschine . . . . .	433
36.15	Spezifische Steuerungsprobleme bei CNC-Mehrspindlern . . . . .	434
36.15.1	Vagabundierende Spindeln . . . . .	434
36.15.2	Vagabundierende Achsen . . . . .	435
36.15.3	Rollernde Korrekturen . . . . .	435
36.15.4	Steuerungsstrukturierung . . . . .	435
36.16	Arbeitsplanung und Programmierung . . . . .	436
36.17	Ausblick . . . . .	438
<b>37</b>	<b>Flachbett-drehmaschinen</b> . . . . .	440
37.1	Bauformen und Ausführungen . . . . .	440
37.2	Ausstattung der Maschinen . . . . .	442
37.3	Baugruppen der Flachbett-drehmaschinen . . . . .	443
37.4	Steuerung und Programmierung . . . . .	444
37.5	Fertigungsbeispiele . . . . .	445
37.6	Berechnungsgleichungen und Anhaltswerte . . . . .	447
<b>38</b>	<b>Drehbearbeitungszentren für Großteile</b> . . . . .	448
38.1	Bauformen und Ausführungen . . . . .	448
38.2	Ausstattung der Maschinen . . . . .	449
38.3	Fertigungsbeispiele . . . . .	450
<b>39</b>	<b>Bohrmaschinen und Bearbeitungszentren</b> . . . . .	452
39.1	Fertigungsverfahren mit Bohrwerkzeugen . . . . .	452
39.2	Bauformen und Ausführungen . . . . .	452
39.3	Ausstattungen der Maschinen . . . . .	456
39.4	Baugruppen, Antriebe, Achsen, Werkzeuge, Spannmittel . . . . .	458
39.5	Fertigungsbeispiele . . . . .	462
<b>40</b>	<b>Tiefbohrmaschinen</b> . . . . .	464
40.1	Tiefbohren . . . . .	464
40.1.1	Erläuterung der Tiefbohrverfahren . . . . .	464
40.1.2	Besonderheiten der Tiefbohrverfahren . . . . .	466
40.1.3	Tiefbohrwerkzeuge . . . . .	468
40.1.4	Arbeitswerte und Genauigkeiten beim Tiefbohren . . . . .	470

40.2	Maschinen zum Tiefbohren . . . . .	474
40.2.1	Merkmale von Standard-Tiefbohrmaschinen . . . . .	474
40.2.2	Tiefbohrmaschinen für das Einlippenbohren . . . . .	475
40.2.3	Tiefbohrwerk – Tiefbohrzentrum . . . . .	478
40.2.4	Tiefbohrmaschinen für das BTA-Bohren	480
<b>41</b>	<b>Tiefbohrmaschinen für große Bohrdurchmesser . . . . .</b>	<b>484</b>
41.1	Bauformen und Ausführungen . . . . .	485
41.2	Ausstattung der Maschinen . . . . .	487
41.3	Baugruppen der Tiefbohrmaschinen . . . . .	487
41.4	Steuerung und Programmierung . . . . .	489
41.5	Fertigungsbeispiele . . . . .	489
41.6	Berechnungsgleichungen und Anhaltswerte . . . . .	492
<b>42</b>	<b>Fräsmaschinen . . . . .</b>	<b>494</b>
42.1	Einteilung der Fräswerfahren . . . . .	494
42.2	Bauformen und Ausführungen . . . . .	497
42.3	Berechnungsgleichungen . . . . .	500
<b>43</b>	<b>Universalfräsmaschinen . . . . .</b>	<b>503</b>
43.1	Monoblockmaschinen . . . . .	505
43.1.1	Bauweisen von Monoblockmaschinen	505
43.1.2	Ausstattung der Maschinen . . . . .	506
43.1.3	Baugruppen . . . . .	507
43.1.4	Optionen zur Grundmaschine . . . . .	507
43.1.5	Fertigungsbeispiel . . . . .	509
43.2	Fahrständer-Bettmaschinen . . . . .	509
43.2.1	Bauweisen von Fahrständer-Bett-Maschinen . . . . .	511
43.2.2	Ausstattung der Maschinen . . . . .	511
43.2.3	Baugruppen . . . . .	512
43.2.4	Optionen zur Grundmaschine . . . . .	513
43.2.5	Universal-Bearbeitungszentren . . . . .	514
43.2.6	Fertigungsbeispiel . . . . .	515
43.3	Portalmaschinen . . . . .	516
43.3.1	Bauweisen der Portalmaschinen . . . . .	516
43.3.2	Ausstattung der Maschinen . . . . .	517
43.3.3	Baugruppen . . . . .	517
43.3.4	Optionen zur Grundmaschine . . . . .	518
43.3.5	Fertigungsbeispiele . . . . .	519
<b>44</b>	<b>Bearbeitungszentren . . . . .</b>	<b>521</b>
44.1	Horizontal-Bearbeitungszentrum . . . . .	521
44.1.1	Bauweisen der Horizontal-Bearbeitungszentren . . . . .	521
44.1.2	Ausstattung der Maschinen . . . . .	522
44.1.3	Baugruppen . . . . .	524
44.1.4	Optionen zur Grundmaschine . . . . .	524

44.2	44.1.5 Fertigungsbeispiel . . . . .	525
	Vertikal-Bearbeitungszentrum . . . . .	526
	44.2.1 Bauweisen der Vertikal-Bearbeitungs- zentren . . . . .	526
	44.2.2 Ausstattung der Maschinen . . . . .	528
	44.2.3 Baugruppen . . . . .	529
	44.2.4 Optionen zur Grundmaschine . . . . .	529
	44.2.5 Fertigungsbeispiel . . . . .	530
45	<b>Portalfräsmaschinen</b> . . . . .	532
45.1	Bauformen und Ausführungen . . . . .	532
45.2	Ausstattung der Maschinen . . . . .	533
45.3	Baugruppen . . . . .	534
45.4	Steuerungen und Programmierung . . . . .	535
45.5	Fertigungsbeispiele . . . . .	536
46	<b>HSC contra 5-Achsen-Simultanbearbeitung</b> . . . . .	538
46.1	Begriffsklärung . . . . .	538
46.2	HSC-Einsatz . . . . .	539
46.3	HSC-Vorteile . . . . .	539
46.4	Modifizierte Gantry-Bauweise . . . . .	540
46.5	Mechanik und Antriebstechnik . . . . .	541
46.6	CNC-Steuerungen . . . . .	542
46.7	Programmierung und Software . . . . .	543
46.8	5-Achsen-Komplettbearbeitung . . . . .	544
46.9	Fertigungsbeispiele . . . . .	545
47	<b>Räummaschinen</b> . . . . .	547
47.1	Räumen . . . . .	547
47.1.1	Allgemeines . . . . .	547
47.1.2	Innenräumen . . . . .	547
47.1.3	Außenräumen . . . . .	548
47.2	Räumwerkzeuge . . . . .	549
47.2.1	Allgemeines . . . . .	549
47.2.2	Berechnungsgleichungen und Anhalts- werte zur Räumwerkzeug-Auslegung .	550
47.3	Bauformen und Ausführungen . . . . .	552
47.3.1	Innenräummaschinen . . . . .	553
47.3.2	Außenräummaschinen . . . . .	554
47.4	Ausstattungen der Maschinen . . . . .	555
47.4.1	Innenräummaschinen . . . . .	555
47.4.2	Außenräummaschinen . . . . .	556
47.5	Antriebe und Zubehör . . . . .	558
47.6	Zubehör zur Räummaschine . . . . .	559
47.7	Steuerungen und Programmierung . . . . .	560
47.8	Bearbeitungsbeispiele . . . . .	561
47.8.1	Räumen von Haltern an Scheiben- bremsen . . . . .	561
47.8.2	Räumen von Lenkzahnstangen . . . . .	561

<b>48 Sägemaschinen</b>	563
48.1 Fertigungsverfahren mit Sägemaschinen	563
48.1.1 Bügelsägen	563
48.1.2 Kreissägen	564
48.1.3 Bandsägen	565
48.2 Abgrenzung der Sägeverfahren	566
48.3 Bauformen und Ausführungen	569
48.4 Steuerung und Technologie-Einstellung	572
48.5 Anwendungsorientierte Ausstattung von Sägemaschinen	572
48.5.1 Universalsägen im Werkstatt-Einsatz	572
48.5.2 Trägersägen	573
48.5.3 Mengensägen in der Großserienfertigung	574
48.5.4 Auftragssägen in Industrie und Handel	575
48.5.5 Großbearbeitung	577
48.5.6 Lagertechnik im Sägenumfeld	578

## **Werkzeugmaschinen für Werkzeuge mit geometrisch unbestimmten Schneiden**

<b>49 Rundschleifmaschinen</b>	582
49.1 Fertigungsverfahren Schleifen	582
49.1.1 Grundlagen	583
49.1.1.1 Kinematische Grundlagen	583
49.1.1.2 Schleifkraft und Verschleiß	584
49.2 Schleifwerkzeug	585
49.2.1 Schleifmittel und Bindung	585
49.2.2 Schleifwerkzeuge mit Korund- und Siliciumcarbid-Kornwerkstoffen	586
49.2.3 Werkzeugaufspannung	587
49.2.4 Abrichten des Schleifwerkzeugs	589
49.3 Der Schleifprozess	591
49.3.1 Änderung des Schneidenraums im Schleifprozess	592
49.3.2 Schleifkraft und Schleifleistung	592
49.3.3 Schleiftemperatur und Kühlung	592
49.3.4 Mehrstufiger Schleifprozess	594
49.4 Schleifverfahren	594
49.4.1 Außenrundschleifen	595
49.4.2 Innenrundschleifen	597
49.4.3 Spitzenloses Außen- und Innenrundschleifen	599
49.5 Generelle Maschinenanforderungen an Rundschleifmaschinen	600
49.5.1 Baugruppen	602

49.5.2	Antriebe, Motoren, Steuerungen . . . . .	605
49.5.3	Fertigungsbeispiele . . . . .	606
49.5.3.1	Außenrundschleifen . . . . .	606
49.5.3.2	Außen- und Innenrundschleifen in einer Aufspannung . . . . .	607
49.5.3.3	Verfahrenskombinationen zur Komplettbearbeitung in einer Aufspannung . . . . .	610
<b>50</b>	<b>Umfangsplan- und Profilschleifmaschinen</b> . . . . .	<b>611</b>
50.1	Einteilung nach DIN 8589, Teil 1 . . . . .	611
50.2	Generelle Maschinenanforderungen . . . . .	611
50.2.1	Führungen . . . . .	613
50.2.2	Antriebe . . . . .	614
50.2.2.1	Achsantriebe . . . . .	614
50.2.2.2	Hauptantriebe . . . . .	614
50.2.2.3	Messsysteme . . . . .	615
50.3	Spezielle Maschinenanforderungen . . . . .	616
50.3.1	Einzelteil- und Kleinserienfertigung . . . . .	616
50.3.1.1	Technologie . . . . .	617
50.3.1.2	Abrichtverfahren . . . . .	619
50.3.2	Mittel- und Großserienfertigung . . . . .	624
50.3.2.1	Technologie . . . . .	624
50.3.2.2	Abrichtverfahren . . . . .	625
50.3.3	Anlagen für Massenproduktion . . . . .	632
50.4	Maschinenkinematiken . . . . .	635
50.4.1	Supportbauweise . . . . .	635
50.4.2	Fahrständerbauweise . . . . .	637
50.4.2.1	Schulterführungsbauweise . . . . .	637
50.4.2.2	Fahrständer mit Kreuzschlitten . . . . .	639
50.4.2.3	Fahrständer mit Kreuzschlitten und Rundtisch . . . . .	640
50.4.3	Auslegerbauweise . . . . .	641
50.4.4	Portalbauweise . . . . .	641
50.4.5	Rundtischmaschinen . . . . .	642
50.4.6	Maschinen zum Plan-Seitenschleifen . . . . .	643
50.5	Steuerungstechnik . . . . .	644
50.5.1	Manuelle Maschinen . . . . .	644
50.5.2	Einfache NC-Maschinen . . . . .	644
50.5.3	CNC-bahngesteuerte Maschinen . . . . .	645
50.6	Anforderungen an den Einsatz von hochharten Schneidstoffen . . . . .	647
50.6.1	CBN-Schleifscheiben mit galvanischer Bindung . . . . .	648
50.6.2	CBN-Schleifscheiben mit keramischer Bindung . . . . .	649
50.6.3	CBN-Schleifscheiben mit sonstigen Bindungen . . . . .	650

50.6.4	Diamantschleifscheiben	650
50.7	Anhaltswerte zum Leistungsbedarf	651
50.8	Zusammenfassung	652
<b>51</b>	<b>Honmaschinen</b>	<b>654</b>
51.1	Der Honprozess	654
51.1.1	Einleitung	654
51.1.2	Kinematik und Oberflächenentstehung	654
51.2	Langhubhonen	657
51.2.1	Aufbau von Langhubhonmaschinen	657
51.2.1.1	Bauarten	657
51.2.1.2	Hubantrieb und Zustellsysteme	659
51.2.2	Honwerkzeuge und Kühlenschmiersysteme	659
51.2.3	Fertigungsaufgaben	660
51.2.3.1	Zylinderlaufbahnen	660
51.2.3.2	Dornhonen von Pleuelstangen	661
51.2.3.3	Zahnräder	662
51.3	Kurzhubhonen	663
51.3.1	Aufbau von Kurzhubhonmaschinen	666
51.3.2	Kühlenschmiersystem	667
51.3.3	Finishwerkzeuge	668
51.3.3.1	Oszillierende Finishwerkzeuge	669
51.3.3.2	Rotierende Finishwerkzeuge	670
51.3.4	Fertigungsaufgaben	671
<b>52</b>	<b>Wasserstrahlschneidanlagen</b>	<b>675</b>
52.1	Grundlagen – Wirkmechanismen	675
52.2	Verfahrensvarianten	677
52.2.1	Wasserstrahl	677
52.2.2	Wasserabrasiv-Injektorstrahl (WAIS)	680
52.2.3	Wasserabrasiv-Suspensionsstrahl (WASS)	682
52.3	Anlagen und Komponenten	685
52.3.1	Wasserabrasiv-Injektorstrahlverfahren	685
52.3.2	Wasserabrasiv-Suspensionsstrahl- schneiden	686
52.4.	Anwendungsbeispiele und Einsatzgrenzen	688
<b>53</b>	<b>Verzahnmaschinen</b>	<b>694</b>
53.1	Einführung und Grundlagen	694
53.1.1	Begriffe	695
53.1.2	Verfahrensübersicht	695
53.1.3	Antriebs- und Steuerungstechnik	697
53.2	Maschinen zur spanlosen Herstellung von Verzahnungen	698
53.2.1	Präzisionsschmiedemaschinen	698

53.2.2	Pressen . . . . .	699
53.2.3	Kaltwalzmaschinen . . . . .	701
53.2.3.1	Kaltwalzen nach dem Grob-Verfahren .	701
53.2.3.2	Querwalzen mit außen verzahnten Rundbackenwerkzeugen . . . . .	703
53.2.3.3	Querwalzen mit innen profilierten Rundbackenwerkzeugen . . . . .	704
53.2.3.4	Querwalzen mit Flachbackenwerk- zeugen (Rotoflo-Verfahren) . . . . .	705
53.3	Maschinen zur Weichvorbearbeitung . . . . .	706
53.3.1	Abwälzmaschinen für Zylinderräder . .	706
53.3.1.1	Wälzfräsmaschinen . . . . .	708
53.3.1.2	Wälzstoßmaschinen . . . . .	713
53.3.1.3	Kombinierte Wälzfräse-/Wälzstoß- maschinen . . . . .	718
53.3.1.4	Wälzhobelmaschinen . . . . .	719
53.3.1.5	Wälzschälmassen . . . . .	721
53.3.2	Formmaschinen für Zylinderräder . . . .	723
53.3.2.1	Räummaschinen . . . . .	723
53.3.3	Abwälzmaschinen für Kegelräder . . . .	725
53.3.3.1	Wälzfräsmaschinen (Palloid-Verfahren) .	726
53.3.3.2	Wälzfräsmaschinen (Messerkopf- Verfahren) . . . . .	727
53.3.4	Formmaschinen für Kegelräder . . . . .	730
53.4	Maschinen zur Weichfeinbearbeitung . . . .	731
53.4.1	Zahnradshabmaschinen für Zylinderräder . . . . .	731
53.5	Maschinen zur Hartfeinbearbeitung . . . .	733
53.5.1	Wälzverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide . . . . .	734
53.5.1.1	Schälwälzfräsmaschinen für Zylinder- räder . . . . .	734
53.5.1.2	Hartschälmassen für Zylinderräder . .	735
53.5.1.3	HPG-/HPGS-Verfahren für Kegelräder .	737
53.5.2	Wälzverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide . . . . .	738
53.5.2.1	Wälzschleifmaschinen für Zylinderräder .	739
53.5.2.2	Hon-/Schabschleifmaschinen für Zylinderräder . . . . .	742
53.5.2.3	Wälzschleifmaschinen für Kegelräder .	744
53.5.2.4	Läppmaschinen für Kegelräder . . . . .	745
53.5.3	Formverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide . . . . .	746
53.5.3.1	Diskontinuierliche Form-(Profil)-Schleif- maschinen . . . . .	746
53.5.3.2	Kontinuierliche Formschleifmaschinen .	748

53.5.3.3	Harträummaschinen für Zylinderräder	749
53.5.4	Kombinierte Hartfeinbearbeitungs- maschinen . . . . .	750
53.6	Fertigungsfolgen . . . . .	751
<b>Werkzeugmaschinen – Trends und Verfahren</b>		
<b>54</b>	<b>Laserabtragmaschinen</b> . . . . .	758
54.1	Einleitung . . . . .	758
54.2	3D-Laserabtragen mit dem Nd:YAG-Laser . . . . .	758
54.3	Laserabtragmaschinen . . . . .	759
54.3.1	Aufbau . . . . .	759
54.3.2	Steuerung . . . . .	760
54.3.3	Varianten in der Ausführung . . . . .	761
54.3.3.1	Maschine zum Tiefgravieren . . . . .	761
54.3.3.2	Maschine für den Formenbau . . . . .	761
54.3.3.3	Maschine mit Inprozessregelung der Tiefe . . . . .	762
54.3.4	Optionen . . . . .	762
54.3.4.1	Messtaster . . . . .	762
54.3.4.2	Justagekamera . . . . .	762
54.3.5	Technische Daten . . . . .	763
54.4	Anwendungsbeispiele . . . . .	763
54.4.1	Modelleisenbahndrehgestell . . . . .	763
54.4.2	Sperrbolzenschieber . . . . .	764
<b>55</b>	<b>Rapid-Prototyping-Anlagen</b> . . . . .	765
55.1	Allgemeines . . . . .	765
55.2	Werkstoff- und werkzeugseitige Anforderungen . . . . .	766
55.2.1	RP-Werkstoffe . . . . .	766
55.2.2	RP-Werkzeuge . . . . .	768
55.3	Stereolithografie . . . . .	768
55.3.1	Verfahren . . . . .	768
55.3.2	Vor- und Nachteile . . . . .	769
55.3.3	Aufbau der Anlagen . . . . .	769
55.3.4	Belichtung und Scanstrategie . . . . .	769
55.3.5	Werkstoffe und Modelleigenschaften . . . . .	770
55.3.6	Werkstoffauftrag (Recoating) . . . . .	770
55.3.6.1	Verfahren 1 . . . . .	770
55.3.6.2	Verfahren 2 . . . . .	771
55.3.6.3	Verfahren 3 . . . . .	771
55.3.6.4	Verfahren 4 . . . . .	771
55.4	Lasersintern und selektives Lasersintern . . . . .	771
55.4.1	Verfahren . . . . .	771
55.4.2	Vor- und Nachteile . . . . .	772
55.4.3	Aufbau der Anlagen . . . . .	772
55.4.4	Lasersteuerung und Scanstrategie . . . . .	772
55.4.5	Werkstoffe und Modelleigenschaften . . . . .	774

---

55.4.6	Werkstoffauftrag . . . . .	774
55.5	LOM – Laminated Object Manufacturing . . . . .	775
55.5.1	Verfahren . . . . .	775
55.5.2	Vor- und Nachteile . . . . .	776
55.5.3	Aufbau der Anlagen . . . . .	776
55.5.4	Lasersteuerung . . . . .	777
55.5.5	Werkstoffe und Modelleigenschaften . . . . .	777
55.5.6	Werkstoffauftrag . . . . .	778
55.6	Fused Deposition Modeling . . . . .	778
55.6.1	Verfahren . . . . .	778
55.6.2	Vor- und Nachteile FDM . . . . .	779
55.6.3	Aufbau der Anlagen . . . . .	779
55.6.4	Extrudersteuerung . . . . .	780
55.6.5	Werkstoffe und Modelleigenschaften . . . . .	780
55.6.6	Werkstoffauftrag . . . . .	781
55.7	Andere Anlagen . . . . .	781
55.7.1	Model Maker II . . . . .	781
55.7.2	Thermojet . . . . .	783
55.7.3	Desk Modeler . . . . .	783
55.7.4	Z402 3D-Printer . . . . .	783
55.8	Anhang . . . . .	785
56	<b>Werkzeugmaschinen mit parallelkinematischen Strukturen</b> . . . . .	787
	<b>Sachwortverzeichnis</b> . . . . .	793