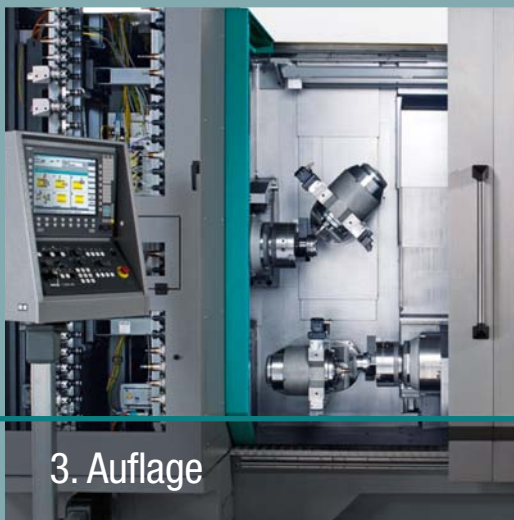


Klaus-Jörg Conrad (Hrsg.)

# Taschenbuch der **Werkzeug- maschinen**



3. Auflage



HANSER

Werkzeugmaschinen in der Fertigung	W F T
Werkzeugmaschinen – Aufbau und Baugruppen	W A B
Werkzeugmaschinen für umformende Fertigungsverfahren	W U F
Werkzeugmaschinen für zerteilende Fertigungsverfahren	W Z F
Werkzeugmaschinen für Werkzeuge mit geometrisch bestimmten Schneiden	W B S
Werkzeugmaschinen für Werkzeuge mit geometrisch unbestimmten Schneiden	W U S
Sachwortverzeichnis	S W V

Conrad (Hrsg.)  
Taschenbuch der Werkzeugmaschinen

## **Herausgeber**

Prof. Dipl.-Ing. Klaus-Jörg Conrad, Burgdorf

## **Autoren**

Prof. Dr.-Ing. Henning Ahlers, Hochschule Hannover, (Kap. 7-15)

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Lutz Abel, Werkzeugmaschinenfabrik Waldrich Coburg GmbH, Coburg, (Kap. 42)

Prof. Dr.-Ing. Dieter Beuke, Groß Schwülper, (Kap. 5)

Prof. Dipl.-Ing. Klaus-Jörg Conrad, Burgdorf, (Kap. 1, 2, 32, 34, 35, 38, 39)

Dr.-Ing. Jens Flügge, Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB, Braunschweig, (Kap. 5)

Dr.-Ing. Thomas Garber, DECKEL MAHO Pfronten GmbH, Pfronten, (Kap. 40, 41)

Prof. Dr.-Ing. Bernd Hager, Hochschule Hannover, (Kap. 18-31)

Dipl.-Ing. (FH) Karlheinz Haßlach, Hoffmann Räumtechnik GmbH, Pforzheim, (Kap. 44)

Udo Hipp, Maschinenfabrik Berthold Hermle AG, Gosheim, (Kap. 43)

Prof. Dr.-Ing. Falk Höhn, Fachhochschule Stralsund, (Kap. 6)

Dipl.-Ing. Uwe Kästner, Nagel Maschinen- und Werkzeugfabrik GmbH, Nürtingen, (Kap. 48)

Prof. Dr.-Ing. Tjark Lierse, Hochschule Hannover, (Kap. 46)

Dipl.-Ing. (FH) Martin Mayer, Nagel Maschinen- und Werkzeugfabrik GmbH, Nürtingen, (Kap. 48)

Dipl.-Ing. Peter Oppelt, Blohm Jung GmbH, Hamburg, (Kap. 47)

Dipl.-Ing. (FH) Hermann Randecker, TBT Tiefbohrtechnik GmbH & Co., Dettlingen, (Kap. 37)

Erich Schörghuber, ALZMETALL Werkzeugmaschinenfabrik und Gießerei Friedrich GmbH, Altenmarkt, (Kap. 36)

Dipl.-Ing. (FH) Karl-Heinz Schumacher, INDEX-Werke GmbH & Co. KG, Esslingen, (Kap. 33)

Dr.-Ing. Axel Schween, Peine, (Kap. 34, 35, 38)

Dipl.-Ing. Armin Stolzer, KASTO Maschinenbau, Achern, (Kap. 45)

Dr.-Ing. Udo Tüllmann, DECKEL MAHO Seebach GmbH, Seebach, (Kap. 40, 41)

Dr.-Ing. Ulrich Viebahn, Gießen, (Kap. 3, 4)

Prof. Dr.-Ing. Nils Waldt, Hochschule Hannover, (Kap. 16, 17)

Dr.-Ing. Klaus Wendt, Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB, Braunschweig, (Kap. 5)

---

# Taschenbuch der Werkzeugmaschinen

---

herausgegeben von  
Prof. Dipl.-Ing. Klaus-Jörg Conrad

3., neu bearbeitete Auflage

Mit 492 Bildern und 52 Tabellen



**Fachbuchverlag Leipzig**  
im Carl Hanser Verlag



### **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.

ISBN 978-3-446-43855-2

E-Book-ISBN 978-3-446-43816-3

Einbandbild: Dreh-Fräszentrum INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky  
Esslingen

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.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks 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.

Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag

© 2015 Carl Hanser Verlag München

[www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Ute Eckardt

Herstellung: Katrin Wulst

Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

# Vorwort

Das „Taschenbuch der Werkzeugmaschinen“ wurde für die 3. Auflage neu bearbeitet, um die Entwicklung und den Stand der Technik durch neue Beiträge und aktualisierte Kapitel darzustellen.

Neue und bewährte Autoren haben praxisorientiert die Werkzeugmaschinen und die Fachgebiete vorgestellt, die für deren Einsatz in der Produktion sinnvoll sind. Das wesentliche Ziel des Herausgebers und aller Autoren ist eine kurze und übersichtliche Darstellung der Themen mit Beispielen und Anwendungen moderner Werkzeugmaschinen für den Einsatz in der Fertigung.

In diesem Taschenbuch sind natürlich nicht alle Werkzeugmaschinenarten und deren Einsatzmöglichkeiten enthalten. Es bietet aber einen sorgfältig zusammengestellten Überblick der modernen Werkzeugmaschinen mit den Fertigungsverfahren.

Dieses Buch soll Ingenieure, Techniker und Interessierte ansprechen, die insbesondere in den Bereichen Konstruktion, Planung und Fertigung tätig sind. Dazu gehören auch Studentinnen und Studenten aller Hochschularten, um den aktuellen Stand der Technik im Werkzeugmaschinenbau kurz und einprägsam zur Verfügung zu haben.

In diesem Buch sind stets Frauen und Männer gemeint, auch wenn nur die männliche Form zur Übersichtlichkeit verwendet wird.

Das Taschenbuch ist in Bereiche gegliedert, die als Hauptkapitel auf die folgenden Inhalte hinweisen. Das Hauptkapitel Werkzeugmaschinen in der Fertigung enthält Beiträge, die für alle behandelten Bereiche gelten. Das notwendige Grundlagenwissen über den Aufbau und die Baugruppen der Maschinenarten wird im Folgenden Bereich vorgestellt. Die Einteilung der Werkzeugmaschinen erfolgte nach den Fertigungsverfahren, für die diese Maschinen eingesetzt werden. Die Kapitel der Werkzeugmaschinen enthalten auch Fertigungsbeispiele und Erfahrungswerte, um mögliche Einsatzfälle in der Praxis zu erkennen.

Das Fachgebiet Werkzeugmaschinen hat für viele Bereiche der Technik eine besondere Bedeutung. Die Entwicklung neuer Produkte erfordert oft neue Fertigungsverfahren und noch leistungsfähigere Werkzeugma-

schinen einzusetzen. Neue Erkenntnisse und die Entwicklung neuer leistungsfähiger Komponenten in der Steuerungs- und Antriebstechnik sowie in der Spanntechnik und bei den Werkzeugsystemen sorgen für ständige Herausforderungen im Werkzeugmaschinenbau, mit dem Ergebnis neuer, praxisorientierter Maschinenkonzepte.

Der Herausgeber dankt allen Autoren für die gute Zusammenarbeit, ihre Zeit und die Bereitstellung ihres Wissens, die sie durch die Übernahme von Beiträgen geleistet haben. Allen auf den letzten Seiten genannten Unternehmen, die Bildmaterial und Unterlagen zur Verfügung gestellt haben, danke ich ebenfalls. Für die Unterstützung durch Frau Klafki (NAGEL), Frau Leins (INDEX), Frau Lindner (WEILER), Frau März (KASTO) und Frau Matthäi (DECKEL MAHO) sowie durch Herrn Schöpfer (GILDEMEISTER) vielen Dank.

Bedanken möchte ich mich auch bei den Verfassern der Fachliteratur über Werkzeugmaschinen und die behandelten Fachgebiete, von denen viele bewährte Darstellungen als Anregungen dienten.

Besonderer Dank für die sehr gute Zusammenarbeit gilt Frau Ute Eckardt und Frau Katrin Wulst vom Fachbuchverlag Leipzig, die sich sehr engagiert für die Betreuung und die Realisierung dieses Taschenbuches eingesetzt haben.

Anregungen, Hinweise und Stellungnahmen zur Verbesserung des Taschenbuches nehmen der Herausgeber und alle Autoren gern entgegen und werden diese für weitere Auflagen berücksichtigen.

Burgdorf, im April 2015

*Klaus-Jörg Conrad*



# Inhaltsverzeichnis

<b>Werkzeugmaschinen in der Fertigung</b> .....	<b>25</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>26</b>
1.1 Fertigung und Fertigungsverfahren .....	28
1.2 Einflussgrößen auf Maschinenkonzepte .....	30
1.3 Bezeichnungen der Werkzeugmaschinen .....	31
1.4 Anwenderkriterien für Auswahl und Einsatz von Werkzeugmaschinen .....	31
1.5 Technologische Trends .....	34
Quellen und weiterführende Literatur .....	36
<b>2 Prozessorientierung</b> .....	<b>37</b>
2.1 Organisation .....	37
2.2 Prozessorientierte Organisation .....	38
2.3 Prozessmanagement .....	42
2.4 Ablaufdiagramme und Prozessbeschreibung .....	46
2.5 Wertschöpfung in Prozessen .....	49
2.6 Verschwendung in Prozessen .....	50
Quellen und weiterführende Literatur .....	51
<b>3 Technische Kapazität</b> .....	<b>52</b>
3.1 Kapazität von Betriebsmitteln .....	54
3.2 Kapazität von Menschen .....	55
Quellen und weiterführende Literatur .....	56
<b>4 Kostengrundlagen der Werkzeugmaschinen</b> ...	<b>57</b>
4.1 Life Cycle Cost .....	57
4.2 Gliederung der Kostenarten .....	58
4.3 Break-Even-Diagramm .....	60
4.4 Bestimmung der einzelnen Kostenarten .....	60

4.5	Ablauf einer Kostenrechnung .....	66
4.6	Standardsituationen .....	67
	Quellen und weiterführende Literatur .....	75

**5 Fertigungsmesstechnik ..... 76**

5.1	Allgemeine Grundlagen der Messtechnik .....	77
5.1.1	Messtechnische Grundbegriffe .....	77
5.1.2	Struktur der Messeinrichtung .....	78
5.1.3	Einheiten und Einheitensystem .....	81
5.1.4	Messprinzipien, -methoden und -verfahren ..	82
5.1.5	Messabweichung .....	91
	5.1.5.1 Ursachen für Messabweichungen ...	91
	5.1.5.2 Arten von Messabweichungen .....	92
	5.1.5.3 Unsicherheitsfortpflanzung .....	94
5.1.6	Statistische Auswertung .....	95
	5.1.6.1 Stichprobenkenngrößen .....	95
	5.1.6.2 Normalverteilung .....	96
	5.1.6.3 Vertrauensintervalle .....	99
5.2	Messen geometrischer und mechanischer Größen ....	100
5.2.1	Längen und Winkelmessung .....	100
	5.2.1.1 Werkstattmessgeräte .....	100
	5.2.1.2 Resistive Aufnehmer .....	101
	5.2.1.3 Induktive und kapazitive Aufnehmer	101
	5.2.1.4 Pneumatische Aufnehmer .....	103
	5.2.1.5 Inkrementale Aufnehmer .....	104
5.2.2	Positionsmesssysteme .....	105
	5.2.2.1 Übersicht angewandeter Messverfahren .....	105
	5.2.2.2 Funktionsstruktur der Wegmesssysteme .....	106
	5.2.2.3 Funktion und Eigenschaften verschiedener Messprinzipien .....	107
	5.2.2.4 Referenzmarken und Code- Messverfahren .....	113
	5.2.2.5 Ausführungsformen .....	114
	5.2.2.6 Mehrdimensionale Messungen .....	115
	5.2.2.7 Auswertung und Datenübertragung .	116
5.2.3	Messen mechanischer Größen .....	118
	5.2.3.1 Kraftmessung .....	118
	5.2.3.2 Drehmomentenmessung mit DMS ...	120

	5.2.3.3	Druckmessung .....	120
	5.2.3.4	Zeit- und Drehzahlmessung .....	121
5.3		Temperaturmessung .....	122
	5.3.1	Die internationale Temperaturskala .....	122
	5.3.2	Widerstandsthermometer .....	123
	5.3.3	Thermoelemente .....	124
5.4		Statistische Fertigungsüberwachung .....	124
	5.4.1	Qualitätsregelkarten .....	125
	5.4.1.1	Aufbau der Qualitätsregelkarten ...	125
	5.4.1.2	Festlegung der Grenzwerte .....	126
	5.4.1.3	Beurteilungskriterien .....	127
	5.4.1.4	Qualitätsregelkarten mit Gedächtnis	128
	5.4.2	Prozessfähigkeitskennzahlen .....	129
5.5		Prüfmittelüberwachung .....	130
	5.5.1	Charakteristische Prüfmittelleigenschaften ...	130
	5.5.2	Kalibrierkette (Rückführung) .....	131
	5.5.3	Gerätespezifische Überwachung .....	132
	5.5.4	Prüfaufgabenbezogene Überwachung .....	132
		Quellen und weiterführende Literatur .....	133

## **6 Industriedesign und Ergonomie ..... 134**

6.1		Einordnung der Gestaltung .....	134
6.2		Gestalterische Mittel .....	138
6.3		Gestaltungsansätze .....	141
6.4		Ergonomie .....	142
	6.4.1	Aufgaben der Ergonomie bei der Produktentwicklung und -gestaltung .....	145
	6.4.2	Eigenschaften des Menschen .....	146
6.5		Beispiele .....	148
6.6		Zusammenfassung .....	152
		Quellen und weiterführende Literatur .....	152

## **Werkzeugmaschinen – Aufbau und Baugruppen .... 153**

## **7 Grundlagen ..... 154**

7.1		Definition und Klassifizierung der Werkzeug- maschinen .....	154
7.2		Aufgabe und Anforderungen .....	156
7.3		Genauigkeitskennwerte .....	158

7.4	Steifigkeit .....	160
7.4.1	Statische Steifigkeit .....	161
7.4.2	Dynamische Steifigkeit .....	165
7.5	Thermische Stabilität .....	173
7.6	Prozesssicherheit .....	175
7.7	Aufbau von Werkzeugmaschinen .....	176
	Quellen und weiterführende Literatur .....	177
<b>8</b>	<b>Gestelle .....</b>	<b>178</b>
8.1	Aufgaben und Anforderungen .....	178
8.2	Gestellkonzepte .....	179
8.3	Werkstoffe .....	182
8.4	Dynamische Zusatzsysteme .....	184
	Quellen und weiterführende Literatur .....	184
<b>9</b>	<b>Führungen .....</b>	<b>186</b>
9.1	Aufgaben und Anforderungen .....	186
9.2	Hydrodynamische Gleitführungen .....	188
9.3	Hydro- und aerostatische Gleitführungen .....	191
9.4	Wälzführungen .....	195
9.5	Führungsbahnschutz .....	197
	Quellen und weiterführende Literatur .....	198
<b>10</b>	<b>Hauptspindel .....</b>	<b>200</b>
10.1	Aufgaben und Anforderungen .....	200
10.2	Wälzgelagerte Hauptspindeln .....	203
10.3	Hydrostatische Spindellagerungen .....	209
	Quellen und weiterführende Literatur .....	210
<b>11</b>	<b>Hauptantrieb .....</b>	<b>211</b>
11.1	Aufgaben und Anforderungen .....	211
11.2	Antriebsmotoren mit stufenloser Drehzahlregelung ..	212
11.3	Bauarten von Hauptantrieben .....	217
	Quellen und weiterführende Literatur .....	220

---

<b>12</b>	<b>Vorschubantriebe</b> .....	<b>221</b>
12.1	Aufgabe und Anforderungen .....	221
12.2	Elektrische Antriebsmotoren .....	222
12.3	Getriebe in Vorschubantrieben .....	225
12.4	Lageregelung .....	229
12.5	Auslegung von Vorschubantrieben .....	232
	Quellen und weiterführende Literatur .....	235
<b>13</b>	<b>Positions- und Winkelmesssysteme</b> .....	<b>236</b>
13.1	Aufgabe und Anforderungen .....	236
13.2	Messverfahren .....	238
13.3	Messprinzipien .....	241
13.4	Schnittstellen .....	243
13.5	Ausführungsformen .....	244
	13.5.1 Längenmessgeräte .....	245
	13.5.2 Winkelmessgeräte .....	245
	13.5.3 Drehgeber .....	246
	Quellen und weiterführende Literatur .....	246
<b>14</b>	<b>Schnittstellen für Werkzeug- und Werkstückspannmittel</b> .....	<b>247</b>
14.1	Aufgaben und Anforderungen .....	247
14.2	Schnittstellen für Werkzeugspannmittel .....	249
14.3	Schnittstellen für Werkstückspannmittel .....	253
	Quellen und weiterführende Literatur .....	254
<b>15</b>	<b>Spannmittel</b> .....	<b>255</b>
15.1	Aufgaben und Anforderungen .....	255
15.2	Spannmittel für zylindrische Werkzeuge .....	256
15.3	Spannmittel für Werkstücke mit regelmäßiger Grundgeometrie .....	258
15.4	Spannvorrichtungen .....	260
	Quellen und weiterführende Literatur .....	261

---

<b>16</b>	<b>Steuerungstechnik</b> .....	<b>262</b>
16.1	Definition und Abgrenzung .....	262
16.2	Einteilung von Steuerungen .....	266
16.3	Speicherprogrammierbare Steuerungen .....	270
16.3.1	Arbeitsweise der SPS .....	271
16.3.2	Programmierung einer SPS .....	272
16.3.3	Zeitverhalten .....	275
16.4	Numerische Steuerungen .....	276
16.5	NC-Programme .....	278
	Quellen und weiterführende Literatur .....	279
<b>17</b>	<b>NC-Programmiermethoden</b> .....	<b>281</b>
17.1	Programmierverfahren .....	281
17.1.1	Manuelle und werkstatorientierte Programmierung .....	281
17.1.2	Rechnergestützte Programmierung .....	282
17.2	Fräsen .....	284
17.2.1	2,5D-Bearbeitung .....	284
17.2.2	3D-Bearbeitung .....	286
17.3	Drehen .....	287
	Quellen und weiterführende Literatur .....	288
	<b>Werkzeugmaschinen für umformende Fertigungsverfahren</b> .....	<b>289</b>
<b>18</b>	<b>Umformmaschinen</b> .....	<b>290</b>
18.1	Umformende Fertigungsverfahren .....	290
18.2	Aufgaben, Einteilung und Kenngrößen .....	291
18.3	Pressmaschinen .....	293
	Quellen und weiterführende Literatur .....	296
<b>19</b>	<b>Hämmer</b> .....	<b>297</b>
19.1	Funktionsprinzip und Bauformen .....	297
19.2	Maschinenkenngrößen .....	299
19.3	Antriebsarten und Steuerung .....	300
19.4	Fertigungsaufgaben .....	301
	Quellen und weiterführende Literatur .....	302

---

<b>20</b>	<b>Schwungrad-Spindelpressen</b> .....	<b>303</b>
20.1	Kenngrößen und Funktionsprinzip .....	303
20.2	Antriebsbauarten .....	304
20.3	Einsatzbeispiele .....	306
	Quellen und weiterführende Literatur .....	307
<b>21</b>	<b>Mechanische Pressen</b> .....	<b>308</b>
21.1	Kurbel- und Exzenterpressen .....	310
21.2	Kniehebel-/Doppelkniehebelpressen .....	313
21.3	Gelenkpressen .....	314
21.4	Einsatzgebiete mechanischer Pressen .....	315
21.5	Mechanische Pressenanlagen und Produktionssysteme .....	317
21.6	Mehrstufenpressen .....	321
21.7	Servopressen .....	322
	Quellen und weiterführende Literatur .....	327
<b>22</b>	<b>Rundknetmaschinen</b> .....	<b>328</b>
	Quellen und weiterführende Literatur .....	330
<b>23</b>	<b>Hydraulische Pressen</b> .....	<b>331</b>
23.1	Hydraulische Ziehpressen .....	332
23.2	Hydraulische Pressen für das Tiefziehen mit Wirkmedien .....	335
23.3	Hydraulikpressen in der Massivumformung .....	337
23.4	Hydraulische Pressen für die Innen-Hochdruck- Umformung .....	339
23.5	Strang- und Rohrpressen .....	343
	Quellen und weiterführende Literatur .....	344
<b>24</b>	<b>Zieh- und Drückmaschinen</b> .....	<b>346</b>
24.1	Drahtziehmaschinen .....	346
24.2	Walzziehmaschinen .....	348
24.3	Ziehbänke, Profilziehmaschinen .....	349
24.4	Drückmaschinen .....	350
	Quellen und weiterführende Literatur .....	352