A Mathematik	A 1–70
B Naturwissenschaftliche Grundlagen	B 1–47
C Mechanik	C 1–132
D Festigkeitslehre	D 1–81
E Werkstofftechnik	E 1–85
F Thermodynamik	F 1–39
G Elektrotechnik	G 1–52
H Grundlagen der Mechatronik	H 1–34
I Maschinenelemente	I 1–205
K Fördertechnik	K 1–73
L Kraft- und Arbeitsmaschinen	L 1–100
M Spanlose Fertigung	M 1–56
N Zerspantechnik	N 1–40
O Werkzeugmaschinen	O 1–117
P Programmierung von Werkzeugmaschinen	P 1–41
Q Steuerungstechnik	Q 1–75
R Regelungstechnik	R 1–48
S Betriebswirtschaft	S 1–88
T Produktionslogistik	T 1–24

Mit 1902 Abbildungen und 405 Tabellen

Alfred Böge (Hrsg.)

Handbuch Maschinenbau

Beiträge und Mitarbeiter

A Mathematik	Dr. Friedrich Kemnitz, Prof. Dr. Arnfried Kemnitz
B Naturwissenschaftliche Grundlagen	Gert Böge, Prof. Dr. rer. nat. Peter Kurzweil
C Mechanik	Alfred Böge, Gert Böge, Prof. Dr.-Ing. Dominik Surek
D Festigkeitslehre	Alfred Böge, Gert Böge
E Werkstofftechnik	Wolfgang Weißbach
F Thermodynamik	Heinz Wittig
G Elektrotechnik	Gert Böge
H Grundlagen der Mechatronik	Prof. Dr.-Ing. Werner Roddeck
I Maschinenelemente	Alfred Böge, Wolfgang Böge, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Borutzki, Prof. Dr.-Ing. Susanna Labisch, Prof. Dr.-Ing. Petra Linke, Prof. Dr.-Ing. Frank Weidemann
K Fördertechnik	Dr.-Ing. Johannes Sebulke
L Kraft- und Arbeitsmaschinen	Wolfgang Böge, Manfred Ristau
M Spanlose Fertigung	Wolfgang Böge, Prof. Dr.-Ing. Ulrich Borutzki
N Zerspantechnik	Lutz Barfels, Alfred Böge, Wolfgang Böge
O Werkzeugmaschinen	Prof. Dr.-Ing. Werner Bahmann
P Programmierung von Werkzeugmaschinen	Rainer Ahrberg, Lutz Barfels, Jürgen Voss
Q Steuerungstechnik	Prof. Dr.-Ing. Petra Linke, Werner Thrun
R Regelungstechnik	Berthold Heinrich
S Betriebswirtschaft	Klaus-Dieter Arndt, Prof. Jürgen Bauer
T Produktionslogistik	Prof. Jürgen Bauer

Alfred Böge
Herausgeber

Handbuch Maschinenbau

Grundlagen und Anwendungen der
Maschinenbau-Technik

21., aktualisierte und überarbeitete Auflage 2013

Mit 1902 Abbildungen und 405 Tabellen

Springer Vieweg

Herausgeber

Alfred Böge
Braunschweig, Deutschland

Bis zur 16. Auflage erschien das Buch unter dem Titel
"Das Techniker Handbuch", bis zur 18. Auflage
einschließlich hieß es "Vieweg Handbuch Maschinenbau",
ebenfalls unter der Herausgeberschaft von Alfred Böge.

ISBN 978-3-8348-2478-3
DOI 10.1007/978-3-8348-2479-0

ISBN 978-3-8348-2479-0 (eBook)

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden 1964, 1969, 1977, 1979, 1981, 1982, 1983, 1985, 1986, 1987, 1989, 1990, 1992, 1995, 1999, 2000, 2004, 2007, 2009, 2011, 2013

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

Die Wiedergabe von 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.

Lektorat: Thomas Zipsner / Imke Zander

Technische Redaktion: Klementz publishing services, Freiburg

Bilder: Graphik & Text Studio, Dr. Wolfgang Zettlmeier, Barbing

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-vieweg.de

Alfred Böge †

Am 21. Juni 2012 verstarb der Herausgeber und Autor Alfred Böge im Alter von 92 Jahren. Für seinen Verlag Springer Vieweg schrieb er zahlreiche Lehr- und Fachbücher, darunter so bekannte und geschätzte Werke wie das Handbuch Maschinenbau und das Lehr- und Lernsystem zur Technische Mechanik. In seiner über fünfzig Jahre währenden Schaffenszeit beim Verlag Springer Vieweg wurde „der Böge“ zum Markenzeichen und erreichte eine große Leserschaft bei Studierenden und Lehrern. Der Verlag und die mit ihm verbundenen Autorinnen und Autoren trauern um Alfred Böge.

Alle seine Bücher zeichneten sich durch eine ausgefeilte Didaktik und Methodik aus. Darin gelang es ihm, auch äußerst komplexe technische Zusammenhänge einfach und präzise darzulegen. Er half damit Generationen von Studierenden, die für ihr Berufsleben wichtigen Grundlagen der Technik begreifen und beherrschen zu können – bis heute.

Viele Jahre unterrichtete Alfred Böge an der Technikerakademie Braunschweig. Als Lehrer, der selbst nie aufgehört hat weiterzulernen, war er allen seinen Kollegen ein nimmermüder und kompetenter Ratgeber.

Alfred Böge war ein engagierter Herausgeber, ein Denker und Macher – und hatte dabei stets seine Leser im Blick. Klar und verständlich, so sollte jedes seiner Bücher formuliert sein – dies war sein Anspruch an sich selbst.

Gemeinsam werden wir sein Lebenswerk in seinem Sinne fortführen.

Seine Söhne

Wolfgang und Gert Böge

Vorwort zur 21. Auflage

Das Handbuch Maschinenbau – eine Weiterentwicklung des früheren „Technikerhandbuchs“ – hat sich einen festen Platz in der Techniker- und Ingenieurausbildung erworben. Es beschreibt in verständlicher praxisnaher Form die Inhalte für den Studien- und Berufsbedarf der Ingenieure und Techniker.

Anwendungsorientierte Problemstellungen führen in das jeweilige Stoffgebiet ein, Berechnungs- und Dimensionierungsgleichungen werden mit vielen Abbildungen hergeleitet und ihre Anwendung an praktischen Beispielen gezeigt. Damit ist das Handbuch Maschinenbau als Arbeitsbuch für das technische Studium insbesondere an Fach- und Fachhochschulen und als Nachschlagewerk für die Praxis unverzichtbar. Das gilt in besonderem Maß auch für die Auswahl, Einordnung und Kontrolle von Informationen aus dem Internet.

In der jetzt vorliegenden 21. Auflage sind in gründlicher, abgestimmter Arbeit alle Inhalte, Normen und sonstige Quellen auf Aktualität überprüft und auf den neuesten Stand gebracht worden.

Darüber hinaus sind in allen Abschnitten des Handbuchs Maschinenbau die zahlreichen Anregungen, Verbesserungsvorschläge und kritischen Hinweise von Lehrern, Fachleuten aus Industrie und Handwerk und Studierenden verarbeitet worden.

Autoren und Herausgeber bedanken sich beim Lektorat Maschinenbau des Springer Vieweg Verlages, insbesondere bei Frau Imke Zander und Herrn Thomas Zipsner für ihre engagierte und immer sehr förderliche Zusammenarbeit bei der Realisierung der jetzt vorliegenden Auflage.

E-Mail-Adresse des Herausgebers: w_boege@t-online.de

Braunschweig, November 2012

Wolfgang Böge

Inhaltsverzeichnis

A Mathematik

1 Grundlagen	1
1.1 Mengen	1
1.2 Aussageformen und logische Zeichen	1
1.3 Indizes, Summenzeichen, Produktzeichen	2
1.4 Einteilung der Zahlen	2
1.5 Komplexe Zahlen	3
1.6 Matrizen und Determinanten	8
2 Funktionen	13
2.1 Definition und Darstellungen von Funktionen	13
2.2 Verhalten von Funktionen	14
2.3 Einteilung der elementaren Funktionen	16
2.4 Ganze rationale Funktionen	18
2.5 Gebrochene rationale Funktionen	21
2.6 Irrationale Funktionen	24
2.7 Transzendente Funktionen	25
3 Trigonometrie	27
3.1 Definition der trigonometrischen Funktionen	27
3.2 Trigonometrische Funktionen für beliebige Winkel	27
3.3 Beziehungen für den gleichen Winkel	28
3.4 Graphen der trigonometrischen Funktionen	29
3.5 Sinussatz und Kosinussatz	30
3.6 Arkusfunktionen	30
4 Analytische Geometrie	32
4.1 Koordinatensysteme	32
4.2 Geraden	34
4.3 Kreise	36
4.4 Kugeln	37
4.5 Kegelschnitte	38
4.6 Vektoren	43
5 Differenzial- und Integralrechnung	47
5.1 Folgen	47
5.2 Reihen	50
5.3 Grenzwerte von Funktionen	52
5.4 Ableitung einer Funktion	55
5.5 Integralrechnung	62

B Naturwissenschaftliche Grundlagen

B1 Physik

1	Physikalische Größen und und Größenarten	1
2	Basisgrößen und abgeleitete Größen	2
3	Größengleichungen	2
4	Dimension einer Größe	3
5	Einheiten	4
6	Basiseinheiten, abgeleitete Einheiten, kohärente Einheiten, Hilfs- oder Sondereinheiten	4
7	Das Meter ist die Basiseinheit der Basisgröße Länge	5
8	Das Kilogramm ist die Basiseinheit der Basisgröße Masse	6
9	Die Sekunde ist die Basiseinheit der Basisgröße Zeit	6
10	Krafteinheit Newton	6
11	Arbeits- und Energieeinheit Joule	7
12	Skalare und Vektoren	7
13	Geschwindigkeit	8
14	Beschleunigung	9
15	Masse	10
16	Dichte	11
17	Gewichtskraft	11
18	Statisches Gleichgewicht	12
19	Dynamisches Gleichgewicht	14

B2 Chemie

1	Stoffe	21
2	Aufbau der Materie	21
2.1	Atomaufbau und atomare Konstanten	21
2.2	Elementsymbole und Atommassen	21
2.3	Radioaktivität und Kernchemie	22
3	Periodensystem der Elemente (PSE)	22
3.1	Atommodelle und Quantenzahlen	22
3.2	Aufbau des Periodensystems	23
3.3	Elektronenkonfiguration	24
3.4	Periodische Eigenschaften der Elemente	25
4	Chemische Bindung	27
4.1	Ionenbindung (Salze)	28
4.2	Atombindung (Moleküle)	29
4.3	Metallbindung (Metalle und Legierungen)	31
4.4	Koordinationsverbindungen („Komplexe“)	31
4.5	Zwischenmolekulare Kräfte	33

5 Chemische Reaktionen	33
5.1 Stöchiometrie	33
5.2 Thermochemie	34
5.3 Chemisches Gleichgewicht	34
5.4 Katalyse	35
5.5 Chemische Reaktionen	35
6 Säuren und Basen	36
6.1 Definitionen und Eigenschaften	36
6.2 Benennung von Säuren und Salzen	36
6.3 Beispiele für Säuren und Basen	36
6.4 Luftschadstoffe und saurer Regen	37
6.5 Bauchemie und Wasserhärte	37
6.6 Verbrennungsvorgänge	37
6.7 Anorganische Basen	37
6.8 Stärke von Säuren und Basen	37
6.9 Neutralisation und Hydrolyse	38
6.10 Konzentrationsmaße	39
7 Fällungen und Wasserhärte	39
7.1 Löslichkeitsprodukt	39
7.2 Wasserhärte	40
7.3 Wasserreinigung	40
7.4 Kennwerte der Wasserqualität	40
7.5 Trinkwasseraufbereitung	40
8 Elektrochemie	41
8.1 Oxidation und Reduktion	41
8.2 Elektrochemische Zellen	41
8.3 Normalpotential	41
8.4 Galvanische Elemente und Korrosion	42
8.5 Batterien und Akkumulatoren	43
8.6 Brennstoffzellen	44
8.7 Elektrolyse	45
8.8 Metallgewinnung	45
8.9 Galvanotechnik	46
9 Organische Chemie	46
9.1 Kohlenwasserstoffe	46
9.2 Stoffklassen	46

C Mechanik

1 Statik starrer Körper in der Ebene	1
1.1 Grundlagen	2
1.2 Zusammensetzen, Zerlegen und Gleichgewicht von Kräften in der Ebene	6
1.3 Schwerpunkt (Massenmittelpunkt)	11
1.4 Guldin'sche Regeln	16
1.5 Standsicherheit, Gleichgewichtslagen	17
1.6 Statik der ebenen Fachwerke	19
1.7 Reibung	23
2 Dynamik	36
2.1 Bewegungslehre (Kinematik)	37
2.2 Mechanische Arbeit W und Leistung P , Wirkungsgrad η , Übersetzung i	49
2.3 Dynamik der Verschiebewegung (Translation) des starren Körpers	53
2.4 Dynamik der Drehung (Rotation) des starren Körpers	59
2.5 Gegenüberstellung der Gesetze für Drehung und Schiebung	67
2.6 Gerader zentrischer Stoß	68
3 Statik der Flüssigkeiten (Hydrostatik)	74
3.1 Eigenschaften der Flüssigkeiten und Gase	75
3.2 Hydrostatischer Druck (Flüssigkeitsdruck, hydraulische Pressung)	75
3.3 Druck-Ausbreitungsgesetz	75
3.4 Anwendung des Druck-Ausbreitungsgesetzes	75
3.5 Hydraulische Kraftübertragung	76
3.6 Druckverteilung durch Gewichtskraft der Flüssigkeit	77
3.7 Hydrostatische Kräfte gegen ebene Wände offener Gefäße	78
3.8 Auftrieb	78
3.9 Schwimmen	79
3.10 Gleichgewichtslagen schwimmender Körper	79
4 Hydrodynamik; Eindimensionale stationäre inkompressible Strömung	81
4.1 Einführung	82
4.2 Stromlinie, Bahnlinie, Stromfaden und Stromröhre	82
4.3 Kontinuitätsgleichung für die eindimensionale Strömung (Stromfadenströmung)	82
4.4 Bernoulligleichung	83
4.5 Impulssatz	84
4.6 Eindimensionale inkompressible reibungsbehaftete Strömung	85
4.7 Ähnlichkeitsgesetze der Strömungsmechanik	96
4.8 Strömungswiderstand umströmter Körper	99
4.9 Düsen- und Diffusorströmung	100
4.10 Grenzschicht	101
4.11 Strömungstechnische Messtechnik	102
4.12 Numerische Berechnung instationärer Strömungen	106

5 Gasdynamik; Eindimensionale kompressible stationäre Strömung	108
5.1 Einführung	108
5.2 Schallgeschwindigkeit und Schallausbreitung	108
5.3 Energiegleichung der kompressiblen eindimensionalen Strömung; Bernoulligleichung der kompressiblen Strömung	111
5.4 Ruhegrößen und kritischer Zustand	113
5.5 Das Geschwindigkeitsdiagramm der Energiegleichung	114
5.6 Die Durchflussfunktion	115
5.7 Isentrope Strömung in Düsen und Blenden	116
5.8 Beschleunigte kompressible Strömung	117
5.9 Verdichtungsstoß	126

D Festigkeitslehre

1 Allgemeines	3
1.1 Aufgaben der Festigkeitslehre	3
1.2 Schnittverfahren	3
1.3 Spannung	5
1.4 Formänderung	6
1.5 Hooke'sches Gesetz (Elastizitätsgesetz)	6
1.6 Die Grundbeanspruchungsarten	7
1.7 Zusammengesetzte Beanspruchung	8
1.8 Festigkeit	8
1.9 Zulässige Spannung und Sicherheit	13
2 Die einzelnen Beanspruchungsarten	16
2.1 Zug und Druck	16
2.2 Biegung	20
2.3 Knickung	56
2.4 Abscheren	64
2.5 Torsion (Verdrehung)	66
2.6 Flächenpressung	70
3 Zusammengesetzte Beanspruchungen	73
3.1 Gleichzeitiges Auftreten mehrerer Normalspannungen	73
3.2 Gleichzeitiges Auftreten mehrerer Schubspannungen	75
3.3 Gleichzeitiges Auftreten von Normal- und Schubspannungen	76
4 Beanspruchung bei Berührung zweier Körper	80
4.1 Voraussetzungen	80
4.2 Bedeutung der Formelzeichen	80
4.3 Berechnungsgleichungen	80

E Werkstofftechnik

1 Grundlagen	2
1.1 Allgemeines	2
2 Metallkundliche Grundlagen	4
2.1 Struktur der Metalle und Legierungen	4
2.2 Eigenschaften und Verhalten der Metallgitter	6
2.3 Verhalten bei höheren Temperaturen	8
2.4 Zweistofflegierungen (binäre Legierungen)	9
2.5 Kristall- und Gefügeveränderungen	13
3 Eisen und Stahl	14
3.1 Stahlerzeugung	14
3.2 Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	16
3.3 Stahlsorten	20
3.4 Eisen-Kohlenstoff-Gusswerkstoffe	31
3.5 Die Wärmebehandlung der Stähle, Stoffeigenschaft ändern	35
4 Nichtisenmetalle	43
4.1 Bezeichnung der NE-Metalle	43
4.2 Aluminium und Al-Legierungen	43
4.3 Kupfer	46
4.4 Titan	50
4.5 Magnesium	50
4.6 Nickel	51
4.7 Blei	51
4.8 Zink	52
4.9 Zinn	52
5 Kunststoffe (Polymere)	52
5.1 Herstellungsweg und wichtige Begriffe	52
5.2 Struktur der Polymere	53
5.3 Duroplastische Kunststoffe	55
5.4 Thermoplastische Kunststoffe	57
5.5 Elastomere	61
6 Werkstoffe besonderer Herstellungsart oder Verarbeitung	64
6.1 Pulvermetallurgie	64
6.2 Keramische Werkstoffe	65
6.3 Verbundwerkstoffe	67
6.4 Druckgusswerkstoffe	69

7 Oberflächenbeanspruchung durch Korrosion, Verschleiß und Schutzmaßnahmen	70
7.1 Korrosion	70
7.2 Tribologie	71
7.3 Verschleiß	73
7.4 Lager- und Gleitwerkstoffe	74
7.5 Beschichtungen und Schichtwerkstoffe	75
8 Prüfung metallischer Werkstoffe	77
8.1 Prüfung der Härte	77
8.2 Zugversuch	80
8.3 Kerbschlagbiegeversuch	81
8.4 Prüfung der Festigkeit bei höheren Temperaturen	82
8.5 Untersuchung von Verarbeitungseigenschaften	82
8.6 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	82

F Thermodynamik

1 Grundbegriffe	2
1.1 Temperatur	2
1.2 Druck	2
1.3 Volumen	3
1.4 Spezifische Wärmekapazität	5
1.5 Wärmeausdehnung	9
1.6 Aggregatzustände	12
2 Wärme und Arbeit	14
2.1 Thermodynamisches System	14
2.2 Innere Energie	14
2.3 Wärme	14
2.4 Arbeit	15
2.5 Dissipationsenergie	16
2.6 Erster Hauptsatz	17
2.7 Kreisprozesse	17
2.8 Thermischer Wirkungsgrad	18
2.9 Zweiter Hauptsatz	18
2.10 Entropie	18
2.11 Exergie und Anergie	19
3 Zustandsänderungen idealer Gase	20
3.1 Thermische Zustandsgleichung	20
3.2 Zustandsänderungen	21
3.3 Isochore Zustandsänderung	21
3.4 Isobare Zustandsänderung	23

3.5	Isotherme Zustandsänderung	24
3.6	Isentrope Zustandsänderung	25
3.7	Polytrope Zustandsänderung	27
3.8	Carnot-Prozess	29
3.9	Drosselung	30
3.10	Gasmischungen	30
4	Wärmeübertragung	32
4.1	Allgemeines	32
4.2	Wärmeleitung	32
4.3	Wärmeübergang (Wärmekonvektion)	33
4.4	Wärmedurchgang	34
4.5	Wärmestrahlung	37

G Elektrotechnik

1	Grundlagen	3
1.1	Elektrischer Stromkreis	3
1.2	Leistung, Arbeit, Energieumrechnungen	8
1.3	Grundsaltungen der Praxis	9
1.4	Magnetismus	12
1.5	Induktion und Kraftwirkung im Magnetfeld	16
1.6	Elektrisches Feld	19
1.7	Wechselstrom	24
1.8	Drehstrom (Dreiphasenwechselstrom)	30
2	Anwendungen	31
2.1	Verteilung der elektrischen Energie	31
2.2	Elektrischer Unfall und Schutzmaßnahmen	34
2.3	Transformatoren	36
2.4	Drehstrommaschine als Motor	39
2.5	Einphasen-Wechselstrommotoren	42
2.6	Wechselwirkung zwischen Elektromotor und Arbeitsmaschine	43
2.7	Stromrichter	46
2.8	Sondererscheinungen der Elektrizität	48
2.9	Elektrische Messungen	49

H Grundlagen der Mechatronik

1	Einleitung	1
1.1	Begriffsbildung	1
1.2	Mechatroniker	1
1.3	Mechatronische Systeme	3
1.4	Unterschiede zwischen Maschinenbau, Elektrotechnik und Mechatronik	5

2 Modellbildung und Simulation	8
2.1 Verfahren der Modellbildung	9
2.2 Unterschiedliche Modelltypen von technischen Systemen	16
2.3 Modelle mechanischer Systeme	22
2.4 Modelle elektrischer Systeme	25
2.5 Simulation	26
3 Industrieroboter als mechatronisches System	29
3.1 Sensorkorrektur von Bewegungsdaten	30
3.2 Nachführen eines Roboterarms an einer Freiformfläche	30

I Maschinenelemente

1 Einführung in die Konstruktionsmethodik	1
1.1 Einordnung des konstruktiven Entwicklungsprozesses in den Produktlebenszyklus	1
1.2 Grundlagen	3
1.3 Phasen des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses	10
1.4 Gestaltungshinweise zu bestimmten Forderungen	15
1.5 CAD in der Praxis	19
2 Normzahlen, Toleranzen, Passungen	32
2.1 Normzahlen	32
2.2 ISO-Passungen	32
2.3 Maßtoleranzen	34
2.4 Eintragen von Toleranzen in Zeichnungen	35
2.5 Verwendungsbeispiele für Passungen	35
3 Praktische Festigkeitsberechnungen im Maschinenbau	41
4 Klebverbindungen	41
4.1 Allgemeines	41
4.2 Klebstoffe	41
4.3 Herstellung der Klebverbindung	42
4.4 Berechnung	43
4.5 Gestaltungshinweise	44
5 Schweißverbindungen	44
5.1 Grundsätze	44
5.2 Berechnung von Schweißverbindungen	48
5.3 Berechnungsbeispiele	54
6 Nietverbindungen	57
6.1 Allgemeines	57
6.2 Nietformen	57

6.3	Nietwerkstoffe	57
6.4	Herstellen der Nietverbindungen	57
6.5	Verbindungsarten, Schnittigkeit	58
6.6	Nietverbindungen im Stahlbau	58
7	Schraubenverbindungen	62
7.1	Allgemeines	62
7.2	Gewinde	62
7.3	Schrauben und Muttern	63
7.4	Schraubensicherungen	64
7.5	Scheiben	65
7.6	Berechnung von Befestigungsschrauben	65
7.7	Berechnung der Bewegungsschrauben	80
8	Bolzen, Stiftverbindungen, Sicherungselemente	86
8.1	Allgemeines	86
8.2	Bolzen	86
8.3	Stifte	86
8.4	Bolzensicherungen	87
8.5	Gestaltung der Bolzen- und Stiftverbindungen	88
9	Federn	89
9.1	Allgemeines	89
9.2	Kenngößen an Federn	89
9.3	Federwerkstoffe	92
9.4	Zug- und druckbeanspruchte Metallfedern	92
9.5	Biegebeanspruchte Metallfedern	92
9.6	Drehbeanspruchte Metallfedern	103
10	Achsen, Wellen und Zapfen	109
10.1	Allgemeines	109
10.2	Werkstoffe, Normen	109
10.3	Berechnung der Achsen	109
10.4	Berechnung der Wellen	109
10.5	Auszuführende Achsen- und Wellendurchmesser	111
10.6	Berechnung der Zapfen	111
10.7	Gestaltung	111
10.8	Tragfähigkeit für Wellen und Achsen	115
11	Nabenverbindungen	119
11.1	Übersicht	119
11.2	Zylindrische Pressverbände	122
11.3	Kegelige Pressverbände (Kegelsitzverbindungen)	128
11.4	Klemmsitzverbindungen	131
11.5	Keilsitzverbindungen	132
11.6	Ringfederspannverbindungen	132
11.7	Längsstiftverbindung	134
11.8	Querstiftverbindung	134

11.9 Passfederverbindungen (Nachrechnung)	136
11.10 Keilwellenverbindung	137
12 Kupplungen	137
12.1 Allgemeines	137
12.2 Feste Kupplungen	138
12.3 Bewegliche, unelastische Kupplungen	139
12.4 Elastische Kupplungen	139
12.5 Schaltkupplungen	141
13 Lager	143
13.1 Allgemeines	143
13.2 Wälzlager	143
13.3 Gleitlager	164
14 Zahnräder	179
14.1 Allgemeines	179
14.2 Verzahnungsgesetz	179
14.3 Begriffe, allgemeine Verzahnungsmaße	180
14.4 Verzahnungsarten	181
14.5 Geradstirnräder	189
14.6 Schrägstirnräder	193
14.7 Kegelräder	196
14.8 Schneckengetriebe	199
14.9 Gestaltung der Zahnräder aus Metall	203
14.10 Schmierung der Zahnradgetriebe	204
14.11 Zahnräder aus Kunststoff	204

K Fördertechnik

1 Überblick über das Gesamtgebiet der Fördertechnik	2
1.1 Begriffsbestimmungen	2
1.2 Besonderheiten der Fördertechnik	3
1.3 Einteilung der Fördermittel	3
1.4 Transportarbeit, Transportleistung	3
2 Die Baukastensystematik in der Fördertechnik	4
2.1 Begriffsbestimmungen	4
2.2 Nutzen des Baukastenprinzips für die Betreiber und Hersteller förder- technischer Anlagen	5
2.3 Komponenten der Fördertechnik	5
3 Bauelemente der Fördertechnik	5
3.1 Bauelemente der Seiltriebe	6
3.2 Bauelemente für Kettentriebe	14
3.3 Lastaufnahmeeinrichtungen und Ladehilfsmittel	16

4	Antriebe	21
4.1	Handantrieb	21
4.2	Elektrische Antriebe	22
4.3	Pneumatische Antriebe	23
4.4	Hydrostatische Antriebe	23
4.5	Dampfmaschinen, Verbrennungsmotoren, Hybridmotoren	23
5	Steuerungen in der Fördertechnik	24
5.1	Ablaufsteuerungen	24
5.2	Mikroprozessorsteuerungen	25
6	Bremsen und Rücklaufsperrn	27
6.1	Reibungsbremsen	27
6.2	Rücklaufsperrn	30
7	Hebezeuge	31
7.1	Handhebezeuge	31
7.2	Elektroseilzüge	33
7.3	Seilwinden für den Forsteinsatz	37
8	Krane und Hängebahnen	37
8.1	Berechnung von Kranen	37
8.2	Kranbauformen	40
8.3	Laufkrane	40
8.4	Konsolkrane, Säulendrehkrane, Wandschwenkkrane	40
8.5	Hängekrane, Hängebahnen	41
8.6	Portalkrane	42
8.7	Fahrzeugkrane	42
8.8	Verladeanlagen und Hafenkrane	43
8.9	Stapelkrane und Regalförderzeuge	45
9	Stetigförderer	49
9.1	Definition, Einteilung, Hauptanwendungen	49
9.2	Gurtförderer	49
9.3	Gliederbandförderer	52
9.3	Becherwerke	54
9.4	Schaufelradlader	55
9.5	Rutschförderer	56
9.6	Pneumatische Förderanlagen	58
10	Stetigförderer für Stückgut	64
10.1	Rollenförderer	64
10.2	Kreisförderer	64
10.3	Zielsteuerungen für Stückgutfördersysteme	67

11 Flurförderzeuge	69
11.1 Flurförderer ohne Lastaufnahmeeinrichtung	69
11.2 Flurförderer mit eigener Lastaufnahmeeinrichtung	70
11.3 Automatisch gesteuerte Flurförderer	71
11.4 Flurförderzeuge im Untertagebergbau	72

L Kraft- und Arbeitsmaschinen

1 Dampfturbinen	2
1.1 Erzeugung der kinetischen Energie	2
1.2 Nutzung der kinetischen Energie	4
1.3 Geschwindigkeitsstufung (Curtisrad)	7
1.4 Druckstufung (Zoellyturbine)	10
1.5 Überdruckstufung	12
1.6 Labyrinthdichtung	12
1.7 Regelung	13
1.8 Radialturbinen	13
1.9 Turbinenanlagen	13
2 Wasserturbinen	14
2.1 Stauanlagen	14
2.2 Durchfluss, Höhenwerte	15
2.3 Freistrahlturbinen	15
2.4 Francisturbinen	19
2.5 Kaplan turbinen	22
2.6 Spezifische Drehzahl	24
2.7 Kavitation	24
3 Windkraftanlagen	25
3.1 Nutzung der kinetischen Energie	25
3.2 Aufbau einer Windkraftanlage	25
3.3 Getriebe und Generator	26
4 Pumpen	27
4.1 Fördermenge, Förderhöhe	27
4.2 Pumpenleistung und Wirkungsgrad	27
4.3 Kolbenpumpen	28
4.4 Kreisel pumpen	33
4.5 Vergleich zwischen Kolben- und Kreisel pumpen	38
5 Verdichter	39
5.1 Mehrstufige Verdichtung und Kühlung	39
5.2 Verdichterleistung und Wirkungsgrad	40
5.3 Kolbenverdichter	40
5.4 Kreisel verdichter (Turboverdichter)	43

6	Verbrennungsmotoren	47
6.1	Grundlagen	47
6.2	Bauteile der Verbrennungsmotoren	53
6.3	Gemischbildung bei Ottomotoren	66
6.4	Gemischbildung bei Dieselmotoren	72
6.5	Maßnahmen zur Verminderung der Abgasschadstoffe bei Verbrennungsmotoren	82
6.6	Zweitaktmotoren	85
6.7	Motorschmierung	87
6.8	Motorkühlung	91
6.9	Aufladung von Verbrennungsmotoren	93
6.10	Alternative Verbrennungsmotoren	96

M Spanlose Fertigung

1	Urformen	1
1.1	Gießverfahren	1
1.2	Modelle und Kokillen	1
1.3	Formerei	3
1.4	Herstellung der Schmelze	4
1.5	Strangguss	7
1.6	Schleuderguss	9
1.7	Druckguss	10
1.8	Feinguss (Schalenformverfahren)	11
2	Trennen und Umformen	12
2.1	Trennverfahren	12
2.2	Umformverfahren	20
2.3	Stahlbleche und ihre Verarbeitung	36
3	Verbindende Verfahren	39
3.1	Schweißen	39
3.2	Thermisches und nichtthermisches Schneiden	51
3.3	Löten	55

N Zerspantechnik

1	Drehen und Grundbegriffe der Zerspantechnik	1
1.1	Bewegungen	1
1.2	Zerspangeometrie	2
1.3	Kräfte und Leistungen	6
1.4	Wahl der Schnittgeschwindigkeit	9
1.5	Berechnung der Hauptnutzungszeit	11

2 Hobeln und Stoßen	12
2.1 Bewegungen	12
2.2 Zerspangeometrie	12
2.3 Kräfte und Leistungen	12
2.4 Wahl der Schnittgeschwindigkeit	12
2.5 Berechnung der Hauptnutzungszeit t_h	14
3 Räumen	15
3.1 Bewegungen	15
3.2 Zerspangeometrie	15
3.3 Schnittkraft (Räumkraft)	16
3.4 Wahl der Schnittgeschwindigkeit	16
3.5 Berechnung der Hauptnutzungszeit t_h	16
4 Fräsen	17
4.1 Bewegungen	17
4.2 Zerspangeometrie	18
4.3 Kräfte und Leistungen	20
4.4 Wahl der Schnittgeschwindigkeit und Grundregeln für Fräsen	22
4.5 Berechnung der Hauptnutzungszeit t_h	24
5 Bohren	26
5.1 Bewegungen	26
5.2 Zerspangeometrie	26
5.3 Kräfte und Leistungen	27
5.4 Wahl von Schnittgeschwindigkeit und Vorschub	28
5.5 Berechnung der Hauptnutzungszeit t_h (Maschinenlaufzeit)	28
6 Schleifen	33
6.1 Bewegungen	33
6.2 Zerspangeometrie	33
6.3 Schleifkraft und Schleifleistung	33
6.4 Wahl von Geschwindigkeit, Vorschub und Zustellung	34
6.5 Oberflächen-Rautiefen	34
6.6 Berechnung der Hauptnutzungszeit t_h (Maschinenlaufzeit)	35
7 Hartbearbeitungen durch Drehen, Bohren und Fräsen	36
7.1 Anwendungen	36
7.2 Schneidstoffe	37
7.3 Bauteilbelastungen	38
7.4 Spanformen	39
7.5 Randbedingungen und Einstellgrößen beim Hartdrehen	39
7.6 Anforderungen an eine Hartbearbeitungsmaschine	39

O Werkzeugmaschinen

1 Grundlagen	1
1.1 Definition	1
1.2 Gebrauchswertparameter einer Werkzeugmaschine	1
1.3 Kenngrößen und Kennlinien von Werkzeugmaschinen	3
2 Baugruppen von Werkzeugmaschinen	4
2.1 Arbeitsspindeln (Hauptspindeln) und ihre Lagerungen	4
2.2 Hauptantriebe	13
2.3 Vorschub- und Stellantriebe	21
2.4 Geradfürungen an Werkzeugmaschinen	34
2.5 Gestelle von Werkzeugmaschinen	46
2.6 Werkzeug- und Werkstückspanner	54
3 Steuerungs- und Automatisierungstechnik an Werkzeugmaschinen	58
3.1 Baugruppen und Aufgaben	58
3.2 Konventionelle Steuerungstechnik an Werkzeugmaschinen	58
3.3 Numerische Steuerungen	61
3.4 Die numerische Achse	63
4 Entwicklung der Werkzeugmaschine zum Komplettbearbeitungszentrum	68
4.1 Weichbearbeitung von Teilen mit überwiegend runder Gestalt	68
4.2 Hartbearbeitung von Teilen mit überwiegend runder Gestalt	72
4.3 Bearbeitung von Teilen mit prismatischer Gestalt	76
5 Werkzeugmaschinen zur Herstellung von Verzahnungen	80
5.1 Grundlagen der spanenden Verzahnungsherstellung	80
5.2 Verzahnmaschinen mit geometrisch bestimmten Schneiden zur Bearbeitung von Zylinderrädern und Zylinderschnecken	81
5.3 Verzahnmaschinen mit geometrisch unbestimmten Schneiden zur Bearbeitung von Zylinderrädern und Zylinderschnecken	86
5.4 Verzahnmaschinen zur Kegelradherstellung	89
6 Werkzeugmaschinen zur Feinstbearbeitung	91
6.1 Definition der Feinstbearbeitung	91
6.2 Spanende Feinstbearbeitungsmaschinen für Werkzeuge mit geometrisch bestimmter Schneide	91
6.3 Spanende Feinstbearbeitungsmaschinen für Werkzeuge mit geometrisch unbestimmter Schneide	92
6.4 Umformende Feinstbearbeitungswerkzeuge	99
7 Umformende und schneidende Werkzeugmaschinen (Auswahl)	100
7.1 Maschineneinteilung	100
7.2 Werkzeugmaschinen zum Massivumformen	100
7.3 Werkzeugmaschinen zur Blechbearbeitung	107

P Programmierung von Werkzeugmaschinen

Einleitung	1
1 Geometrische Grundlagen für die Programmierung	5
1.1 Koordinatensystem	5
1.2 Lage der Achsrichtungen	5
1.3 Bezugspunkte im Arbeitsbereich einer CNC-Werkzeugmaschine	6
1.4 Bezugspunktverschiebung	6
1.5 Zeichnerische Grundlagen für die Programmierung	8
2 Steuerungsarten und Interpolationsmöglichkeiten	10
2.1 Punktsteuerungsverhalten	10
2.2 Streckensteuerung	10
2.3 Bahnsteuerung	11
2.4 Interpolationsarten	12
2.5 Ebenenauswahl	16
3 Manuelles Programmieren	17
3.1 Kurzbeschreibung	17
3.2 Aufbau eines CNC-Programms	17
3.3 Gliederung eines CNC-Programms	17
3.4 Satzaufbau	18
3.5 Kreisprogrammierung beim Drehen und Fräsen	23
3.6 Werkzeugkorrekturen beim Drehen und Fräsen	25
3.7 Programmierbeispiel	29
3.8 Besondere Programmierfunktionen für das Bohren, Fräsen und Drehen	36

Q Steuerungstechnik

1 Steuerungstechnische Grundlagen	1
1.1 Grundbegriffe der Steuerungstechnik	1
1.2 Unterscheidungsmerkmale für Steuerungen	3
1.3 Grafische Darstellung von Steuerungsabläufen	4
2 Signalverarbeitung in Steuerungen	9
2.1 Signalarten	9
2.2 Zahlensysteme und Codes	10
2.3 Logische Grundverknüpfung binärer Signale	11
2.4 Grundlagen und Anwendung der Schaltalgebra	13
2.5 Das Karnaugh-Veitch-Diagramm	16
2.6 Die Speicherfunktion	17
2.7 Zeitelemente und Zähler in Steuerungen	20

3 Steuerungsmittel	22
3.1 Mechanische Steuerungen und Speicher	22
3.2 Elektrische Steuerungen	24
3.3 Fluidische Steuerungen	30
4 Speicherprogrammierbare Steuerungen	39
4.1 Das Automatisierungssystem	39
4.2 Grundlagen der Programmierung nach IEC 61131-3	42
4.3 Bibliotheksfähige Programmbausteine	48
4.4 Ablaufsteuerungen	53
4.5 Analoge Signale in digitalen Steuerungen	62
4.6 Busankopplung der speicherprogrammierbaren Steuerung	69
5 Sicherheitsanforderungen an Steuerungen	73

R Regelungstechnik

1 Grundlagen	1
1.1 Grundbegriffe	1
1.2 Grafische Darstellung von Regelkreisen mithilfe des Wirkungsplans	4
1.3 Beschreibung des Verhaltens von Regelkreisgliedern	7
2 Regelstrecken	10
2.1 Einteilung der Strecken	11
2.2 Regelstrecken mit Ausgleich (P-Strecken)	12
2.3 Regelstrecken ohne Ausgleich (I-Strecken)	14
2.4 Regelstrecken mit Verzögerung (PT_n -Strecken)	15
2.5 Regelstrecken mit Totzeit (T -Strecken)	18
3 Regler	21
3.1 Einteilung der Regler	21
3.2 Unstetige Regler am Beispiel des Zweipunktreglers	21
3.3 Stetige Regler	22
3.4 Quasistetige Regler	31
4 Zusammenwirken zwischen Regler und Strecke	32
4.1 Beurteilungskriterien	32
4.2 Regelung mit stetigen Reglern	33
4.3 Regelung mit Zweipunktreglern	38
4.4 Regelung mit einer SPS	40
5 Fuzzy-Regelung	41
5.1 Fuzzy-Mengen	41
5.2 Fuzzifizierung	43

5.3	Regelwerk und Inferenz	44
5.4	Defuzzifizierung	47

S Betriebswirtschaft

Teil A: Betriebswirtschaftliche Grundlagen

1	Aufgaben und Zielsetzungen	1
1.1	Anwendungsgebiete der Betriebswirtschaft im technischen Umfeld	1
1.2	Hauptaufgaben	1
1.3	Betriebswirtschaftliche Ziele und Erfolgsfaktoren	1
1.4	Kennzahlen	2
1.5	Wertschöpfungskette des Unternehmens	2
2	Unternehmensplanung und Unternehmensorganisation	3
2.1	Unternehmensstrategie	3
2.2	Die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens im Markt	4
2.3	Die Aufbauorganisation des Unternehmens	5
2.4	Prozessorganisation	7
2.5	Führungsorganisation	7
2.6	Projektmanagement	8
3	Finanzierung	9
3.1	Aufgaben der Finanzierung	9
3.2	Finanzierungsarten	10
3.3	Finanzkennzahlen	10
4	Industrielle Kosten- und Wirtschaftlichkeitsrechnung	11
4.1	Aufgaben	11
4.2	Kostenplanung	11
4.3	Produktkalkulation	13
4.4	Kostenstellenrechnung	14
4.5	Deckungsbeitragsrechnung	15
4.6	Break-Even-Analyse	16
4.7	Betriebsergebnis und Absatzsegmentrechnung	17
4.8	Wirtschaftlichkeits- und Investitionsrechnung	18
5	Produktmarketing und marktorientierte Produktgestaltung	20
5.1	Marketing-Instrumente	20
5.2	Marktforschung	21
5.3	Marketingstrategien	21
5.4	Target Costing	22
5.5	Wertanalyse	23

Teil B: Arbeitswissenschaft

1 Arbeitswissenschaft im technischen Umfeld	24
1.1 Aufgaben und Zweck der Arbeitswissenschaft	24
1.2 Ziele der Arbeitswissenschaft	24
1.3 Rechtliche Vorschriften	24
2 Grundlagen des Arbeitsstudiums	28
2.1 Das Arbeitssystem	29
2.2 Der Mensch im Arbeitssystem	32
2.3 Arbeitsleistung	32
2.4 Arbeitsteilung	32
2.5 Einzel-, Gruppen- und Mehrstellenarbeit	32
2.6 Fertigungsarten	33
3 Arbeitsvorbereitung und Arbeitsplanung	41
3.1 Arbeitsplanerstellung	42
3.2 Datenermittlung	45
3.3 Vorgabezeitermittlung (Synthese)	49
3.4 Methoden der Zeitermittlung	56
3.5 Leistungsgrad	57
3.6 Prozesszeiten	58
3.7 Systeme vorbestimmter Zeiten (SvZ)	64
3.8 Rationalisierung der Zeitermittlung	68

Teil C: Qualitätsmanagement

1 Qualitätsmanagement	71
1.1 Entwicklung des Qualitätsmanagements	71
1.2 Begriffe des Qualitätsmanagements	72
1.3 Normen für Qualitätsmanagementsysteme	72
1.4 Normenreihe DIN EN ISO 9000:2000 ff.	73
1.5 Forderungen an QM-Systeme der DIN EN ISO 9000:2000 ff.	73
1.6 European Foundation for Quality Management (EFQM)	74
2 Qualitätsmanagementmethoden	76
2.1 Statistische Prozessregelung (SPC)	76
2.2 Grundlagen der Statistik	76
2.3 Qualitätsregelkarten (QRK)	77
2.4 Prozessfähigkeitsuntersuchung PFU	83

T Produktionslogistik

1 Grundlagen der Produktionslogistik	1
1.1 Strategische Bedeutung	1
1.2 Hauptaufgaben und Ziele der Produktionslogistik	1

1.3	Organisationstypen der Produktionslogistik	2
1.4	ERP-Systeme	3
1.5	Prozesse in der Produktionslogistik	7
2	Produktionslogistik mit ERP-Systemen	7
2.1	Programmplanung	7
2.2	Materialplanung	8
2.3	Terminplanung	13
2.4	Kapazitätsplanung	16
2.5	Rückmeldung und Betriebsdatenerfassung	17
2.6	Materialfluss im Fertigungsprozess	18
3	Supply Chain Management	19
4	Spezielle Steuerungsmethoden in der Produktionslogistik	19
4.1	KANBAN-Fertigung	19
4.2	Belastungsorientierte Auftragsfreigabe	19
4.3	Steuerung mit Fortschrittszahlen	20
5	Kostenüberwachung und Wirtschaftlichkeitsrechnung	21
5.1	Produktkalkulation	21
5.2	Wirtschaftlichkeitsrechnung	22
6	Logistikcontrolling	22
6.1	Durchlaufzeitcontrolling	22
6.2	Lagercontrolling	23
6.3	Auftragskontrolle	24

Sachwortverzeichnis