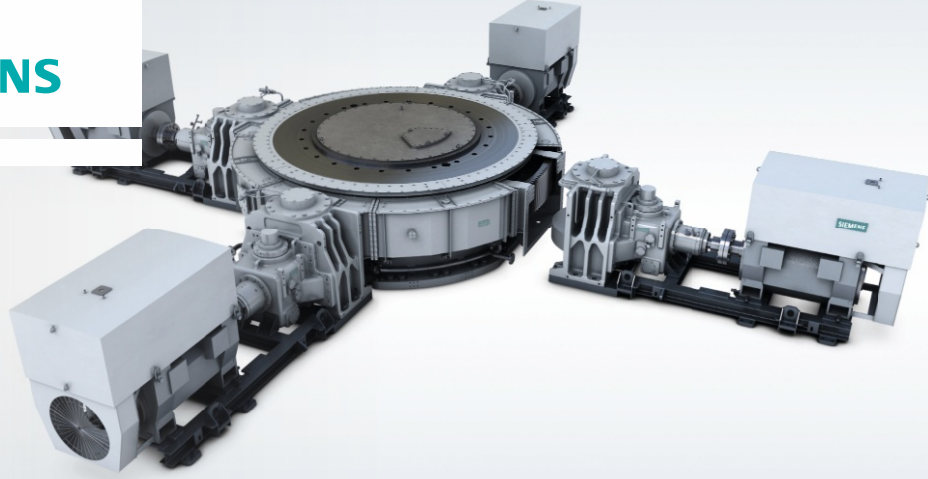


SIEMENS



Alfred Böge · Wolfgang Böge *Hrsg.*

Handbuch Maschinenbau

Grundlagen und Anwendungen
der Maschinenbau-Technik

22. Auflage

 Springer Vieweg

Handbuch Maschinenbau

Alfred Böge · Wolfgang Böge
Herausgeber

Handbuch Maschinenbau

Grundlagen und Anwendungen der
Maschinenbau-Technik

22., überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 1946 Abbildungen und 424 Tabellen

 Springer Vieweg

Herausgeber

Alfred Böge
Braunschweig, Deutschland

Wolfgang Böge
Wolfenbüttel, Deutschland

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

ISBN 978-3-658-06597-3
DOI 10.1007/978-3-658-06598-0

ISBN 978-3-658-06598-0 (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, 2015

Das 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.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Lektorat: Thomas Zipsner

Technische Redaktion und Satz: Klementz publishing services, Freiburg

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

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer.com
(www.springer-vieweg.de)

Vorwort zur 22. Auflage

Das Handbuch Maschinenbau beschreibt in verständlicher und praxisnaher Form die Inhalte für den Studienbedarf und die Berufspraxis von Ingenieuren und Technikern. Es hat sich dadurch einen festen Platz in der Techniker- und Ingenieurausbildung erworben.

Anwendungsorientierte Fragestellungen führen in das jeweilige Fachgebiet ein. Berechnungs- und Dimensionierungsgleichungen werden mit vielen Abbildungen hergeleitet und anhand praktischer Beispiele verdeutlicht. Insbesondere an Hochschulen für angewandte Wissenschaften (HAW), in den Bachelor- und Masterstudiengängen sowie in Technik- und Berufsakademien ist das Handbuch Maschinenbau damit als Arbeitsbuch für das technische Studium unverzichtbar. Dies gilt speziell auch für die Auswahl, Einordnung und Kontrolle von Informationen aus dem Internet. Den ungefilterten Ergebnissen, die Online-Suchmaschinen liefern, setzt das Handbuch Maschinenbau ein strukturiertes, verlässliches und anwendungsorientiertes Fachwissen entgegen. Auch in der Berufspraxis ist es daher als Fachkompendium im ständigen Zugriff von bleibendem Wert.

Auch in der nun vorliegenden 22. Auflage haben Autorinnen und Autoren, Herausgeber und Verlag in gründlicher, abgestimmter Arbeit alle Inhalte, Normen sowie alle weiteren Quellen auf Aktualität geprüft und auf den neuesten Stand gebracht.

Zu Beginn aller Abschnitte des Handbuchs Maschinenbau stehen nun Übersichten über die Tabellen des gesamten Abschnitts. Diese Übersichten können bei Querverweisen das Auffinden von Tabellen in anderen Abschnitten erleichtern.

Darüber hinaus ist das Auffinden und Auswählen von Normen wesentlich erweitert worden. Alle in einem Kapitel angesprochenen Normen werden jetzt am Ende eines jeden Kapitels bzw. Abschnitts übersichtlich aufgelistet. Hier befinden sich auch Hinweise zur weiterführenden Literatur.

Im Abschnitt D Festigkeitslehre ist im Kapitel Knickungsberechnungen im Stahlbau die seit Juli 2012 geltende Norm DIN EN 1993-1-1 eingearbeitet worden. Außerdem wurden die Poisson-Zahl und das Hooke'sche Gesetz für Schubbeanspruchung aufgenommen.

Der Abschnitt F Elektrotechnik ist völlig neu erarbeitet worden. Neben den elementaren Gesetzmäßigkeiten der Gleich- und Wechselstromkreise werden unter anderem Schaltungen in der elektrischen Messtechnik vorgestellt, grundlegende Bauelemente der Leistungshalbleiter behandelt und der Aufbau und die Wirkungsweise von Gleich-, Wechsel- und Drehstrommotoren erläutert.

Im Abschnitt I Maschinenelemente wurde intensiv an Detailverbesserungen für jedes einzelne Maschinenelement gearbeitet. Das betrifft hauptsächlich die Klarheit der Erläuterungen, die Genauigkeit der Berechnungsgleichungen und die strukturellen Veränderungen in den Lösungen komplexer Beispiele, zum Beispiel zu den Zahnradern. Außerdem wurden die Normenhinweise stark ausgedehnt.

Der Abschnitt K Fördertechnik wurde überarbeitet und um eine Einführung in die seit 2012/2013 gültige Normengruppe EN 13001 Konstruktion und Sicherheit von Kranen und deren Tragwerken erweitert. Ferner gibt es nun eine Einführung in das Fachgebiet Unstetigförderer für Schüttgüter, ein Grenzgebiet zu den Erdbewegungs- und Baumaschinen.

Im Abschnitt P Programmierung von Werkzeugmaschinen wurde der Begriff der Virtuellen (Werkzeug-) Maschine aufgenommen und erläutert. Er stellt eine wichtige Größe auf dem Weg zur fortschreitenden Digitalisierung der Produktionswelt dar.

Im Kapitel S Betriebswirtschaft, Teil B Arbeitswissenschaft, sind die Kapitel Das Arbeitssystem und Datenermittlung in der Arbeitsvorbereitung und Arbeitsplanung komplett überarbeitet worden, da beim Arbeitssystem und bei den Ablaufarten weitergehende Betrachtungen erfolgen. Das Arbeitssystem wird nunmehr durch acht Systemelemente beschrieben und die Ablaufarten für Mensch, Betriebsmittel und Arbeitsgegenstand wurden um die Aufgabe des Arbeitssystems und den Informationsfluss erweitert. Damit kommt zum Ausdruck, dass Prozesse als Ganzes im Rahmen des Industrial Engineerings zu betrachten sind.

In sämtlichen Abschnitten wurden zudem die zahlreichen Anregungen, Verbesserungsvorschläge und kritischen Hinweise von Lehrern, Fachleuten aus Industrie und Handwerk und Studierenden dankbar berücksichtigt und verarbeitet.

Ein herzlicher Dank der Autorinnen und Autoren und des Herausgebers gilt zu guter Letzt dem Lektorat Maschinenbau des Springer Vieweg Verlags, namentlich Herrn Dipl.-Ing. Thomas Zipsner und Frau Imke Zander. Ihr Engagement und Fachwissen haben einmal mehr in besonderem Maße zum Gelingen dieser mittlerweile 22. Auflage des Handbuchs Maschinenbau beigetragen.

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

Wolfenbüttel, November 2014

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	15
2.3 Einteilung der elementaren Funktionen	17
2.4 Ganze rationale Funktionen	18
2.5 Gebrochene rationale Funktionen	22
2.6 Irrationale Funktionen	25
2.7 Transzendente Funktionen	26
3 Trigonometrie	28
3.1 Definition der trigonometrischen Funktionen	28
3.2 Trigonometrische Funktionen für beliebige Winkel	28
3.3 Beziehungen für den gleichen Winkel	29
3.4 Graphen der trigonometrischen Funktionen	29
3.5 Sinussatz und Kosinussatz	30
3.6 Arkusfunktionen	31
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	42
5 Differenzial- und Integralrechnung	47
5.1 Folgen	47
5.2 Reihen	49
5.3 Grenzwerte von Funktionen	52
5.4 Ableitung einer Funktion	55
5.5 Integralrechnung	62

B Naturwissenschaftliche Grundlagen

Tabellenübersicht	1
 B1 Physik	
1 Physikalische Größen und und Größenarten	2
2 Basisgrößen und abgeleitete Größen	2
3 Größengleichungen	3
4 Dimension einer Größe	4
5 Einheiten	5
6 Basiseinheiten, abgeleitete Einheiten, kohärente Einheiten, Hilfs- oder Sondereinheiten	5
7 Das Meter ist die Basiseinheit der Basisgröße Länge	7
8 Das Kilogramm ist die Basiseinheit der Basisgröße Masse	7
9 Die Sekunde ist die Basiseinheit der Basisgröße Zeit	7
10 Krafteinheit Newton	7
11 Arbeits- und Energieeinheit Joule	8
12 Skalare und Vektoren	9
13 Geschwindigkeit	9
14 Beschleunigung	10
15 Masse	11
16 Dichte	11
17 Gewichtskraft	12
18 Statisches Gleichgewicht	12
19 Dynamisches Gleichgewicht	14
 B2 Chemie	
1 Stoffe	22
2 Aufbau der Materie	22
2.1 Atomaufbau und atomare Konstanten	22
2.2 Elementsymbole und Atommassen	22
2.3 Radioaktivität und Kernchemie	23
3 Periodensystem der Elemente (PSE)	23
3.1 Atommodelle und Quantenzahlen	23
3.2 Aufbau des Periodensystems	24
3.3 Elektronenkonfiguration	25
3.4 Periodische Eigenschaften der Elemente	26
4 Chemische Bindung	28
4.1 Ionenbindung (Salze)	29
4.2 Atombindung (Moleküle)	30
4.3 Metallbindung (Metalle und Legierungen)	32
4.4 Koordinationsverbindungen (Komplexe)	32
4.5 Zwischenmolekulare Kräfte	34

5 Chemische Reaktionen	34
5.1 Stöchiometrie	34
5.2 Thermochemie	35
5.3 Chemisches Gleichgewicht	35
5.4 Katalyse	36
5.5 Chemische Reaktionen	36
6 Säuren und Basen	37
6.1 Definitionen und Eigenschaften	37
6.2 Benennung von Säuren und Salzen	37
6.3 Beispiele für Säuren und Basen	37
6.4 Luftschadstoffe und saurer Regen	38
6.5 Bauchemie und Wasserhärte	38
6.6 Verbrennungsvorgänge	38
6.7 Anorganische Basen	38
6.8 Stärke von Säuren und Basen	38
6.9 Neutralisation und Hydrolyse	39
6.10 Konzentrationsmaße	40
7 Fällungen und Wasserhärte	40
7.1 Löslichkeitsprodukt	40
7.2 Wasserhärte	41
7.3 Wasserreinigung	41
7.4 Kennwerte der Wasserqualität	41
7.5 Trinkwasseraufbereitung	41
8 Elektrochemie	42
8.1 Oxidation und Reduktion	42
8.2 Elektrochemische Zellen	42
8.3 Normalpotential	42
8.4 Galvanische Elemente und Korrosion	43
8.5 Batterien und Akkumulatoren	44
8.6 Brennstoffzellen	45
8.7 Elektrolyse	46
8.8 Metallgewinnung	46
8.9 Galvanotechnik	47
9 Organische Chemie	47
9.1 Kohlenwasserstoffe	47
9.2 Stoffklassen	47

C Technische Mechanik

Tabellenübersicht	1
Formelzeichen und Einheiten	2
1 Statik starrer Körper in der Ebene	5
1.1 Grundlagen	5
1.2 Zusammensetzen, Zerlegen und Gleichgewicht von Kräften in der Ebene	9
1.3 Schwerpunkt (Massenmittelpunkt)	14
1.4 Guldin'sche Regeln	20
1.5 Standsicherheit, Gleichgewichtslagen	21
1.6 Statik der ebenen Fachwerke	22
1.7 Reibung	26
2 Dynamik	39
2.1 Bewegungslehre (Kinematik)	39
2.2 Mechanische Arbeit W und Leistung P , Wirkungsgrad η , Übersetzung i	51
2.3 Dynamik der Verschiebewegung (Translation) des starren Körpers	55
2.4 Dynamik der Drehung (Rotation) des starren Körpers	62
2.5 Gegenüberstellung der Gesetze für Drehung und Schiebung	70
2.6 Gerader zentrischer Stoß	71
3 Hydrostatik	77
3.1 Eigenschaften der Flüssigkeiten und Gase	77
3.2 Hydrostatischer Druck (Flüssigkeitsdruck, hydraulische Pressung)	77
3.3 Druck-Ausbreitungsgesetz	77
3.4 Anwendung des Druck-Ausbreitungsgesetzes	77
3.5 Hydraulische Kraftübertragung	78
3.6 Druckverteilung durch Gewichtskraft der Flüssigkeit	79
3.7 Hydrostatische Kräfte gegen ebene Wände offener Gefäße	80
3.8 Auftrieb	80
3.9 Schwimmen	81
3.10 Gleichgewichtslagen schwimmender Körper	81
4 Hydrodynamik; Eindimensionale stationäre inkompressible Strömung	82
4.1 Einführung	82
4.2 Stromlinie, Bahnlinie, Stromfaden und Stromröhre	82
4.3 Kontinuitätsgleichung für die eindimensionale Strömung (Stromfadenströmung)	83
4.4 Bernoulligleichung	83
4.5 Impulssatz	85
4.6 Eindimensionale inkompressible reibungsbehaftete Strömung	86
4.7 Ähnlichkeitsgesetze der Strömungsmechanik	97
4.8 Strömungswiderstand umströmter Körper	99
4.9 Düsen- und Diffusorströmung	101
4.10 Grenzschicht	103
4.11 Strömungstechnische Messtechnik	104
4.12 Numerische Berechnung instationärer Strömungen	108

5 Gasdynamik; Eindimensionale kompressible stationäre Strömung	109
5.1 Einführung	109
5.2 Schallgeschwindigkeit und Schallausbreitung	110
5.3 Energiegleichung der kompressiblen eindimensionalen Strömung; Bernoulligleichung der kompressiblen Strömung	112
5.4 Ruhegrößen und kritischer Zustand	114
5.5 Das Geschwindigkeitsdiagramm der Energiegleichung	116
5.6 Die Durchflussfunktion	116
5.7 Isentrope Strömung in Düsen und Blenden	118
5.8 Beschleunigte kompressible Strömung	119
5.9 Verdichtungsstoß	128

D Festigkeitslehre

Tabellenübersicht	1
Formelzeichen und Einheiten	2
1 Allgemeines	4
1.1 Aufgaben der Festigkeitslehre	4
1.2 Schnittverfahren	4
1.3 Spannung	6
1.4 Formänderung	7
1.5 Hooke'sches Gesetz (Elastizitätsgesetz)	7
1.6 Die Grundbeanspruchungsarten	8
1.7 Zusammengesetzte Beanspruchung	9
1.8 Festigkeit	9
1.9 Zulässige Spannung und Sicherheit	14
2 Die einzelnen Beanspruchungsarten	17
2.1 Zug und Druck	17
2.2 Biegung	22
2.3 Knickung	60
2.4 Abscheren	69
2.5 Torsion (Verdrehung)	71
2.6 Flächenpressung	76
3 Zusammengesetzte Beanspruchungen	79
3.1 Gleichzeitiges Auftreten mehrerer Normalspannungen	79
3.2 Gleichzeitiges Auftreten mehrerer Schubspannungen	82
3.3 Gleichzeitiges Auftreten von Normal- und Schubspannungen	82
4 Beanspruchung bei Berührung zweier Körper	87
4.1 Voraussetzungen	87
4.2 Bedeutung der Formelzeichen	87
4.3 Berechnungsgleichungen	87

E Werkstofftechnik

Tabellenübersicht	1
Formelzeichen und Einheiten	3
1 Grundlagen	5
1.1 Allgemeines	5
2 Metallkundliche Grundlagen	7
2.1 Struktur der Metalle und Legierungen	7
2.2 Eigenschaften und Verhalten der Metallgitter	9
2.3 Verhalten bei höheren Temperaturen	11
2.4 Zweistofflegierungen (binäre Legierungen)	12
2.5 Kristall- und Gefügeveränderungen	16
3 Eisen und Stahl	17
3.1 Stahlerzeugung	17
3.2 Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm	19
3.3 Stahlsorten	23
3.4 Eisen-Kohlenstoff-Gusswerkstoffe	34
3.5 Die Wärmebehandlung der Stähle, Stoffeigenschaft ändern	38
4 Nichteisenmetalle	46
4.1 Bezeichnung der NE-Metalle	46
4.2 Aluminium und Al-Legierungen	46
4.3 Kupfer	49
4.4 Titan	53
4.5 Magnesium	53
4.6 Nickel	54
4.7 Blei	54
4.8 Zink	55
4.9 Zinn	55
5 Kunststoffe (Polymere)	55
5.1 Herstellungsweg und wichtige Begriffe	55
5.2 Struktur der Polymere	56
5.3 Duroplastische Kunststoffe	58
5.4 Thermoplastische Kunststoffe	60
5.5 Elastomere	66
6 Werkstoffe besonderer Herstellungsart oder Verarbeitung	67
6.1 Pulvermetallurgie	67
6.2 Keramische Werkstoffe	68
6.3 Verbundwerkstoffe	70
6.4 Druckgusswerkstoffe	72

7 Oberflächenbeanspruchung durch Korrosion, Verschleiß und Schutzmaßnahmen.	73
7.1 Korrosion	73
7.2 Tribologie	74
7.3 Verschleiß	77
7.4 Lager- und Gleitwerkstoffe	74
7.5 Beschichtungen und Schichtwerkstoffe	78
8 Prüfung metallischer Werkstoffe	80
8.1 Prüfung der Härte	80
8.2 Zugversuch	83
8.3 Kerbschlagbiegeversuch	84
8.4 Prüfung der Festigkeit bei höheren Temperaturen	85
8.5 Untersuchung von Verarbeitungseigenschaften	85
8.6 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	85

F Thermodynamik

Tabellenübersicht	1
Formelzeichen und Einheiten	2
1 Grundbegriffe	3
1.1 Temperatur	3
1.2 Druck	3
1.3 Volumen	4
1.4 Spezifische Wärmekapazität	6
1.5 Wärmeausdehnung	10
1.6 Aggregatzustände	13
2 Wärme und Arbeit	15
2.1 Thermodynamisches System	15
2.2 Innere Energie	15
2.3 Wärme	16
2.4 Arbeit	16
2.5 Dissipationsenergie	18
2.6 Erster Hauptsatz	18
2.7 Kreisprozesse	18
2.8 Thermischer Wirkungsgrad	19
2.9 Zweiter Hauptsatz	19
2.10 Entropie	19
2.11 Exergie und Anergie	20
3 Zustandsänderungen idealer Gase	21
3.1 Thermische Zustandsgleichung	21
3.2 Zustandsänderungen	22
3.3 Isochore Zustandsänderung	23
3.4 Isobare Zustandsänderung	24

3.5	Isotherme Zustandsänderung	25
3.6	Isentrope Zustandsänderung	26
3.7	Polytrope Zustandsänderung	28
3.8	Carnot-Prozess	30
3.9	Drosselung	31
3.10	Gasmischungen	31
4	Wärmeübertragung	33
4.1	Allgemeines	33
4.2	Wärmeleitung	34
4.3	Wärmeübergang (Wärmekonvektion)	35
4.4	Wärmedurchgang	36
4.5	Wärmestrahlung	39

G Elektrotechnik

Formelzeichen und Einheiten	1
1 Grundlagen der Elektrotechnik	3
1.1 Einfacher Stromkreis	3
1.2 Erweiterter Gleichstromkreis	8
1.3 Kenngrößen der Elektrotechnik	10
2 Sinusförmige Wechselspannung	13
2.1 Frequenz	14
3 Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom)	19
3.1 Leitungssysteme für Drehstrom	20
3.2 Kraft im Magnetfeld	23
4 Drehstrommotor	24
4.1 Asynchronmotor	25
4.2 Motordaten	30
4.3 Stern dreieckschalter	31
4.4 Belastungscharakteristik	32
4.5 Synchronmotor	34
4.6 Reluktanzmotoren	34
4.7 Frequenzumrichter	35
4.8 Gleichstrommotoren	40
4.9 Wechselstrommotoren	42
4.10 Schrittmotoren	43
5 Netzformen und VDE-Bestimmungen	46
5.1 Schutzeinrichtungen und Schutzmaßnahmen	48
5.2 Überstrom-Schutzeinrichtungen	48

5.3	Weitere Schutzeinrichtungen	49
5.4	Gefährliche Körperströme	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

Tabellenübersicht	1	
1	Einführung in die Konstruktionsmethodik	5
1.1	Einordnung des konstruktiven Entwicklungsprozesses in den Produktlebenszyklus	5
1.2	Grundlagen	7
1.3	Phasen des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses	14
1.4	Gestaltungshinweise zu bestimmten Forderungen	17
1.5	CAD in der Praxis	23
2	Normzahlen, Toleranzen, Passungen	36
2.1	Normzahlen	36
2.2	ISO-Passungen	36
2.3	Maßtoleranzen	38
2.4	Eintragen von Toleranzen in Zeichnungen	39
2.5	Verwendungsbeispiele für Passungen	39

3	Praktische Festigkeitsberechnungen im Maschinenbau	45
4	Klebverbindungen	45
4.1	Allgemeines	45
4.2	Klebstoffe	46
4.3	Herstellung der Klebverbindung	46
4.4	Berechnung	47
4.5	Gestaltungshinweise	48
5	Schweißverbindungen	49
5.1	Grundsätze	49
5.2	Berechnung von Schweißverbindungen	55
5.3	Berechnungsbeispiele	60
6	Nietverbindungen	63
6.1	Allgemeines	63
6.2	Nietformen	63
6.3	Nietwerkstoffe	63
6.4	Herstellen der Nietverbindungen	63
6.5	Verbindungsarten, Schnittigkeit	64
6.6	Nietverbindungen im Stahlbau	64
7	Schraubenverbindungen	69
7.1	Allgemeines	69
7.2	Gewinde	69
7.3	Schrauben und Muttern	69
7.4	Schraubensicherungen	71
7.5	Scheiben	71
7.6	Berechnung von Befestigungsschrauben	72
7.7	Berechnung der Bewegungsschrauben	87
8	Bolzen, Stiftverbindungen, Sicherungselemente	95
8.1	Allgemeines	95
8.2	Bolzen	95
8.3	Stifte	95
8.4	Bolzensicherungen	96
8.5	Gestaltung der Bolzen- und Stiftverbindungen	97
9	Federn	98
9.1	Allgemeines	98
9.2	Kenngrößen an Federn	98
9.3	Federwerkstoffe	101
9.4	Zug- und druckbeanspruchte Metallfedern	101
9.5	Biegebeanspruchte Metallfedern	102
9.6	Drehbeanspruchte Metallfedern	113

10 Achsen, Wellen, Zapfen	119
10.1 Allgemeines	119
10.2 Werkstoffe, Normen	119
10.3 Berechnung der Achsen	119
10.4 Berechnung der Wellen	119
10.5 Auszuführende Achsen- und Wellendurchmesser	120
10.6 Berechnung der Zapfen	121
10.7 Gestaltung	121
10.8 Tragfähigkeit für Wellen und Achsen	125
11 Nabenverbindungen	130
11.1 Übersicht	130
11.2 Zylindrische Pressverbände	133
11.3 Keglige Pressverbände (Kegelsitzverbindungen)	139
11.4 Klemmsitzverbindungen	143
11.5 Keilsitzverbindungen	143
11.6 Ringfederspannverbindungen	145
11.7 Längsstiftverbindung	146
11.8 Querstiftverbindung	146
11.9 Passfederverbindungen (Nachrechnung)	146
11.10 Keilwellenverbindung	148
12 Kupplungen	150
12.1 Allgemeines	150
12.2 Feste Kupplungen	150
12.3 Bewegliche, unelastische Kupplungen	152
12.4 Elastische Kupplungen	152
12.5 Schaltkupplungen	153
13 Lager	156
13.1 Allgemeines	156
13.2 Wälzlager	156
13.3 Gleitlager	177
14 Zahnräder	194
14.1 Allgemeines	194
14.2 Verzahnungsgesetz	194
14.3 Begriffe, allgemeine Verzahnungsmaße	195
14.4 Verzahnungsarten	196
14.5 Geradstirnräder	204
14.6 Schrägstirnräder	208
14.7 Kegelräder	213
14.8 Schneckengetriebe	216
14.9 Gestaltung der Zahnräder aus Metall	220
14.10 Schmierung der Zahnradgetriebe	221
14.11 Zahnräder aus Kunststoff	221

K Fördertechnik

Tabellenübersicht	1
Formelzeichen und Einheiten	2
1 Überblick über das Gesamtgebiet der Fördertechnik	3
1.1 Begriffsbestimmungen	3
1.2 Besonderheiten der Fördertechnik	4
1.3 Einteilung der Fördermittel	4
1.4 Transportarbeit, Transportleistung	4
2 Die Baukastensystematik in der Fördertechnik	5
2.1 Begriffsbestimmungen	5
2.2 Nutzen des Baukastenprinzips für die Betreiber und Hersteller fördertechnischer Anlagen	6
2.3 Komponenten der Fördertechnik	6
3 Bauelemente der Fördertechnik	6
3.1 Bauelemente der Seiltriebe	7
3.2 Bauelemente für Kettentriebe	15
3.3 Lastaufnahmeeinrichtungen und Ladehilfsmittel	17
4 Antriebe	22
4.1 Handantrieb	22
4.2 Elektrische Antriebe	23
4.3 Pneumatische Antriebe	24
4.4 Hydrostatische Antriebe	24
4.5 Dampfmaschinen, Verbrennungsmotoren, Hybridmotoren	24
5 Steuerungen in der Fördertechnik	25
5.1 Ablaufsteuerungen	25
5.2 Mikroprozessorsteuerungen	27
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 und deren Tragwerken	38
8.2 Kranbauformen	42
8.3 Laufkrane	42

8.4	Konsolkrane, Säulendrehkrane, Wandschwenkkrane	44
8.5	Hängekrane, Hängebahnen	44
8.6	Portalkrane	45
8.7	Fahrzeugkrane	45
8.8	Stapelkrane und Regalförderzeuge	46
9	Flurförderzeuge	49
9.1	Flurförderer ohne Lastaufnahmeeinrichtung	49
9.2	Flurförderer mit eigener Lastaufnahmeeinrichtung	50
9.3	Automatisch gesteuerte Flurförderer	51
10	Stetigförderer für Stückgut	52
10.1	Rollenförderer	52
10.2	Rutschförderer für Stückgut	52
10.3	Kreisförderer	53
10.4	Zielsteuerungen für Stückgutfördersysteme	56
11	Unstetigförderer für Stückgut	57
11.1	Radlader, Load & Carry	58
11.2	Schwer-Lkw	58
11.3	Dumper	58
11.4	Unstetigförderer im Untertagebergbau	59
12	Stetigförderer für Schüttgut	60
12.1	Definition, Einteilung, Hauptanwendungen	60
12.2	Gurtförderer	60
12.3	Gliederbandförderer	63
12.4	Kratzförderer und Schwingrinnen	65
12.5	Becherwerke	66
12.6	Pneumatische Förderanlagen	67
12.7	Schaufelradlader	72
12.8	Verladeanlagen und Hafenkranne	74

L Kraft- und Arbeitsmaschinen

Tabellenübersicht	1
Formelzeichen und Einheiten	2
1 Dampfturbinen	3
1.1 Erzeugung der kinetischen Energie	3
1.2 Nutzung der kinetischen Energie	5
1.3 Geschwindigkeitsstufung (Curtisrad)	8
1.4 Druckstufung (Zoellyturbine)	11
1.5 Überdruckstufung	13

1.6	Labyrinthdichtung	13
1.7	Regelung	14
1.8	Radialturbinen	14
1.9	Turbinenanlagen	14
2	Wasserturbinen	15
2.1	Stauanlagen	15
2.2	Durchfluss, Höhenwerte	16
2.3	Freistrahlturbinen	16
2.4	Francisturbinen	20
2.5	Kaplanturbinen	23
2.6	Spezifische Drehzahl	25
2.7	Kavitation	25
3	Windkraftanlagen	26
3.1	Nutzung der kinetischen Energie	26
3.2	Aufbau einer Windkraftanlage	26
3.3	Getriebe und Generator	27
4	Pumpen	28
4.1	Fördermenge, Förderhöhe	28
4.2	Pumpenleistung und Wirkungsgrad	28
4.3	Kolbenpumpen	29
4.4	Kreiselpumpen	34
4.5	Vergleich zwischen Kolben- und Kreiselpumpen	39
5	Verdichter	40
5.1	Mehrstufige Verdichtung und Kühlung	40
5.2	Verdichterleistung und Wirkungsgrad	41
5.3	Kolbenverdichter	41
5.4	Kreiselerdichter (Turboverdichter)	44
6	Verbrennungsmotoren	48
6.1	Grundlagen	48
6.2	Bauteile der Verbrennungsmotoren	54
6.3	Gemischbildung bei Ottomotoren	67
6.4	Gemischbildung bei Dieselmotoren	73
6.5	Maßnahmen zur Verminderung der Abgasschadstoffe bei Verbrennungsmotoren	83
6.6	Zweitaktmotoren	86
6.7	Motorschmierung	88
6.8	Motorkühlung	92
6.9	Aufladung von Verbrennungsmotoren	94
6.10	Alternative Verbrennungsmotoren	97