

Dieter Muhs
Herbert Wittel
Dieter Jannasch
Joachim Voßiek

Roloff / Matek

Maschinenelemente

Normung
Berechnung
Gestaltung

18., vollständig überarbeitete Auflage

Mit 703 Abbildungen,
74 vollständig durchgerechneten Beispielen
und einem Tabellenbuch

Viewegs Fachbücher der Technik



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.

Umschlaggestaltung unter Verwendung eines Motivs der Firma Mädler GmbH

1. Auflage 1963
- 2., überarbeitete und erweiterte Auflage 1966
- 3., durchgesehene und verbesserte Auflage 1968
- 4., überarbeitete und ergänzte Auflage 1970
- 5., durchgesehene Auflage 1972
- 6., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage 1974
- 7., durchgesehene und verbesserte Auflage 1976
- 8., vollständig neu bearbeitete Auflage 1983
- 9., durchgesehene und verbesserte Auflage 1984
- 10., neu bearbeitete Auflage 1986
- 11., durchgesehene Auflage 1987
- 12., neu bearbeitete Auflage 1992
- 13., überarbeitete Auflage 1994
- 14., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage 2000
- 15., durchgesehene Auflage August 2001
- 16., überarbeitete und erweiterte Auflage Juli 2003
- 17., überarbeitete Auflage Mai 2005
- 18., vollständig überarbeitete Auflage 2007

Alle Rechte vorbehalten

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlag | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2007

Lektorat: Ewald Schmitt / Imke Zander

Der Vieweg Verlag ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media.
www.vieweg.de



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Umschlaggestaltung: Ulrike Weigel, www.CorporateDesignGroup.de

Technische Redaktion: Gabriele McLemore, Wiesbaden

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

Satz: Druckhaus „Thomas Müntzer“, Bad Langensalza

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Těšínská Tiskárna, a. s., Tschechien

Anzeigen: Christian Kannenberg, www.gwv-media.de

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Printed in Czech Republic

ISBN 978-3-8348-0262-0

Lehrbuch und Tabellenbuch

Vorwort zur 18. Auflage

„*Roloff/Matek Maschinenelemente*“ ist seit mehr als 40 Jahren zu einem Synonym geworden für umfassende Informationen, Normenaktualität, leichte Verständlichkeit und sofortige Nutzbarkeit der Auslegungs- oder Berechnungsgleichungen. Das haben die Konstrukteure in Ausbildung und Beruf längst erkannt. Er ist von den Konstruktions-Schreibtischen nicht mehr wegzudenken und findet nach dem Studium oder der Ausbildung wie selbstverständlich weitere Verwendung im Beruf.

Im Fach- und Tabellenbuch werden die wichtigsten Maschinenelemente in 23 einzelnen, in sich abgeschlossenen Kapiteln dargestellt und können somit unabhängig voneinander erarbeitet werden. Durchgehend werden einheitliche Bezeichnungen vorgesehen: so z. B. S (Sicherheit), K_A (Anwendungsfaktor), W_t (Torsionswiderstandsmoment) etc. Gleichungen von untergeordneter Bedeutung werden nicht mehr besonders hervorgehoben; die Zählnummern dagegen bleiben zugunsten der Verweismöglichkeit erhalten. Jedes Kapitel schließt mit Literaturhinweisen ab, die auf Möglichkeiten zum Weiterstudium verweisen. Ein ausführliches Sachwortverzeichnis am Ende sowohl des Lehrbuches als auch des Tabellenbuches gestattet es, gesuchte Begriffe schnell aufzufinden.

Besonderer Wert wurde auf die Herleitung der einzelnen Berechnungsgleichungen gelegt, um den Einfluss der Formelgrößen besser beurteilen zu können. Zum besseren Verständnis des logischen Zusammenwirkens einzelner Beziehungen zueinander werden für die Berechnung einzelner Elemente teilweise Ablaufpläne angegeben, die wiederum die Grundlage für die Erstellung eigener Programme darstellen können. Eine Reihe vollständig durchgerechneter Beispiele, die den einzelnen Kapiteln oder Abschnitten zugeordnet sind, sollen dem Lernenden helfen, den erarbeiteten Stoff gezielt anwenden zu können und ihm eine Richtlinie für eigene Berechnungen geben.

Die für die Berechnung und Konstruktion erforderlichen Zahlenunterlagen, Diagramme, Normenauszüge und Erfahrungsangaben sind in einem beigelegten umfangreichen *Tabellenbuch* in kompakter, übersichtlicher Form für einen schnellen und sicheren Zugriff zusammengestellt. Im Lehrbuch selbst sind nur solche Angaben und Diagramme aufgeführt, die unmittelbar mit dem Text verbunden und deshalb zum Verständnis notwendig sind.

In der jetzt vorliegenden 18. Auflage wurden die Kapitel Kleben und Löten zusammengefasst und das Kapitel Tribologie vorgezogen, da es die Grundlage für nachfolgende Kapitel wie Lager bildet. Bei den Nietverbindungen wurden die ISO-Blindnieten sowie die bisher nicht genormten Stanzniet- und Clinchverbindungen als moderne Verfahren zur Verbindung blechförmiger Bauteile neu aufgenommen. Bei den Welle-Nabe-Verbindungen wurden die Kegelspannsysteme überarbeitet und bei den Zahnrädern die Berechnung innenverzahnter Zahnräder aufgenommen.

Das Erscheinen neuer Normen machte wieder eine Reihe von Aktualisierungen erforderlich. Dies betrifft die Werkstofftabellen, die auch das Neuzeichnen aller Dauerfestigkeitsschaubilder erforderlich machten sowie neue umfangreiche Aktualisierungen der Kapitel Federn und Rohrleitungen. Überarbeitet wurden ebenfalls das Kapitel Kleben, die statische Tragfähigkeit und die erweiterte Lebensdauer in Kapitel 14, die Berechnungen im Kapitel Dichtungen, die Sicherung von Schraubenverbindungen sowie die Profiltabellen in Kapitel 1.

Dem Lehrbuch beigelegt ist eine CD mit Modulen des in der Praxis weit verbreiteten Berechnungsprogramms für Maschinenelemente *MDESIGN* von *TEDATA*. Damit kann bereits sehr früh im Unterricht bzw. Studium auf praxisbewährte Berechnungshilfen zurückgegriffen werden.

Unter der Internetadresse www.roloff-matek.de wird dem Leser zusätzlich ein Forum geboten. Hier kann der Leser direkt mit dem Autorenteam und dem Verlag in Kontakt treten und sowohl aktuelle Informationen zum Lehrsystems erfahren als auch Vorschläge zur weiteren Verbesserung einbringen. *Power-Point-Folien* zur Präsentation einzelner Maschinenelemente ergänzen das Angebot. Sie eignen sich unterstützend für die Lehrveranstaltungen, aber auch für deren Nachbereitung im Selbststudium. Zur Abrundung des Angebotes werden dort zusätzlich Berechnungsformulare auf *EXCEL*-Basis zum Herunterladen bereitgestellt. Sie sind für Entwurfsarbeiten in der Konstruktionsphase gedacht.

Eine auf das Buch abgestimmte *Aufgabensammlung* sowie eine *interaktive Formelsammlung* ergänzen das Lehr- und Lernsystem Roloff/Matek Maschinenelemente.

Für das Arbeiten in der Konstruktionspraxis mit dem vorliegenden Buch weisen wir darauf hin, dass es zwingend erforderlich ist, die jeweils *aktuelle* und vor allem *vollständige* Ausgabe der entsprechenden DIN-Normen und der anderen maßgebenden Regelwerke der Berechnung der Bauteile zugrunde zu legen. Für die praktische Auslegung von Kaufteilen, wie z. B. *Kupplungen*, *Spannelemente*, *Lager*, *Ketten- und Riementreibe* usw. sind jeweils die aktuellen Berechnungsunterlagen und Leistungsdaten der betreffenden Lieferfirmen maßgebend, die vielfach von denen im Lehrbuch abweichen können. Gleiches gilt sinngemäß auch für solche Güter der Zulieferindustrie, die keine Maschinenelemente im eigentlichen Sinne sind, wie z. B. *Klebstoffe*, *Lote* und *Schmierstoffe*. Trotz sorgfältigster Recherchen kann bei direkter und indirekter Bezugnahme auf Vorschriften, Regelwerke, Firmenschriften u. a. keine Gewähr für die Richtigkeit übernommen werden.

Abschließend möchten wir den Firmen danken, die uns durch zahlreiche Informationen wie Zeichnungen, Funktions- und Verwendungsbeschreibungen, Richt-, Einbau- und Tabellenwerte nun schon jahrzehntelang kontinuierlich und zuverlässig unterstützt haben. Mit diesen und anderen Unterlagen sowie durch wertvolle Hinweise und Anregungen haben sie unsere Arbeit wesentlich erleichtert, auch wenn nicht alle Informationen aus Zeitgründen bzw. infolge Umfangsbeschränkungen verwendet werden konnten. Bedanken möchten sich die Autoren bei den Lesern auch für die vielen konstruktiven Zuschriften, die häufig Veränderungen in nachfolgenden Auflagen bewirkten. Natürlich hoffen wir, dass sie auch weiterhin durch konstruktive Kritik zur Verbesserung des Buches beitragen werden. Dem Verlag, insbesondere dem Lektorat Technik danken die Autoren für die Anregung zur weiteren Abstimmung des Systems auf immer neue Erfordernisse der Leser und die Bereitschaft zu dessen kontinuierlichen Weiterentwicklung.

Braunschweig, Reutlingen, Augsburg im Frühjahr 2007

Dipl.-Ing. Dieter Muhs
Dipl.-Ing. Herbert Wittel
Dr.-Ing. Dieter Jannasch
Dr.-Ing. Joachim Voßiek

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeine und konstruktive Grundlagen

1.1	Arten und Einteilung der Maschinenelemente	1
1.2	Grundlagen des Normenwesens	1
1.2.1	Nationale und internationale Normen, Technische Regelwerke	2
1.2.2	Werdegang einer DIN-Norm	2
1.2.3	Dezimalklassifikation (DK)	3
1.3	Normzahlen (Vorzugszahlen und -maße)	3
1.3.1	Bedeutung der Normzahlen	3
1.3.2	Aufbau der Normzahlreihen	3
	Grundreihen – Abgeleitete Reihen – Zusammengesetzte Reihen – Rundwertreihen	
1.3.3	Anwendung der Normzahlen	5
	Ermittlung der Maßstäbe – Darstellung der Beziehungen im NZ-Dia- gramm – Rechnen mit NZ	
• 1.3.4	Berechnungsbeispiele	7
1.4	Allgemeine konstruktive Grundlagen	8
1.4.1	Konstruktionsmethodik	9
	Lösungsweg zur Schaffung neuer Produkte – Bewertungsverfahren	
1.4.2	Grundlagen des Gestaltens	15
1.4.3	Rechnereinsatz im Konstruktions- und Entwicklungsprozess	17
1.5	Literatur	19

2 Toleranzen, Passungen, Oberflächenbeschaffenheit

2.1	Toleranzen	21
2.1.1	Maßtoleranzen	21
	Grundbegriffe – Größe der Maßtoleranz – Anwendungsbereiche für die Grundtoleranzgrade – Lage der Toleranzfelder – Direkte Angabe von Maßtoleranzen – Maße ohne Toleranzangabe	
2.1.2	Formtoleranzen	24
2.1.3	Lagetoleranzen	25
2.1.4	Toleranzangaben in Zeichnungen	25
	Maßtoleranzen – Form- und Lagetoleranzen	
2.2	Passungen	26
2.2.1	Grundbegriffe	26
2.2.2	ISO-Passsysteme	28
	System Einheitsbohrung (EB) – System Einheitswelle (EW)	
2.2.3	Passungsauswahl	28
2.3	Oberflächenbeschaffenheit	29
2.3.1	Gestaltabweichung	29
2.3.2	Oberflächenangaben in Zeichnungen	32
• 2.4	Berechnungsbeispiele	33
2.5	Literatur	36

3 Festigkeitsberechnung

3.1	Allgemeines	37
3.2	Beanspruchungs- und Belastungsarten	37
3.3	Werkstoffverhalten, Festigkeitskenngrößen	42
3.3.1	Statische Festigkeitswerte (Werkstoffkennwerte)	42
3.3.2	Dynamische Festigkeitswerte (Werkstoffkennwerte)	46
	Grenzspannungslinie (Wöhlerlinie) – Dauerfestigkeitsschaubilder (DFS) – Dauerfestigkeitskennwerte	
3.4	Statische Bauteilfestigkeit	50
3.5	Gestaltfestigkeit (dynamische Bauteilfestigkeit)	51
3.5.1	Konstruktionskennwerte	52
	Kerbwirkung und Stützwirkung – Oberflächengüte – Bauteilgröße – Oberflächenverfestigung – Sonstige Einflüsse – Konstruktionsfaktor (Gesamteinflussfaktor)	
3.5.2	Ermittlung der Gestaltfestigkeit (Bauteilfestigkeit)	57
	Gestaltwechselfestigkeit (Bauteilwechselfestigkeit) – Gestaltdauerfestig- keit (Bauteildauerfestigkeit)	
3.6	Sicherheiten	60
3.7	Praktische Festigkeitsberechnung	62
3.7.1	Überschlägige Berechnung	62
	Statisch belastete Bauteile – Dynamisch belastete Bauteile	
3.7.2	Statischer Festigkeitsnachweis	63
3.7.3	Dynamischer Festigkeitsnachweis (Ermüdungsfestigkeitsnachweis) ..	64
3.7.4	Festigkeitsnachweis im Stahlbau	65
• 3.8	Berechnungsbeispiele	65
3.9	Literatur	69

4 Tribologie

4.1	Funktion und Wirkung	71
4.2	Reibung, Reibungsarten	71
4.3	Reibungszustände (Schmierungszustände)	73
4.4	Beanspruchung im Bauteilkontakt, Hertzsche Pressung	74
4.5	Schmierstoffe	76
4.5.1	Schmieröle	76
	Eigenschaften der Schmieröle – Einteilung der Schmieröle	
4.5.2	Schmierfette	84
4.5.3	Sonstige Schmierstoffe	85
4.6	Schmierungsarten	85
4.7	Schäden an Maschinenelementen	86
4.7.1	Verschleiß	86
4.7.2	Korrosion	87
4.7.3	Schadensbilder	88
4.8	Literatur	88

5 Kleb- und Lötverbindungen

5.1	Klebverbindungen	89
5.1.1	Funktion und Wirkung	89
	Physikalisch abbindende Klebstoffe (Lösungsmittel- und Dispersionskleb- stoffe) – Chemisch abbindende Klebstoffe (Reaktionsklebstoffe)	
5.1.2	Herstellen der Klebverbindungen	92

	5.1.3	Gestalten und Entwerfen	93
		Beanspruchung und Festigkeit – Einflüsse auf die Festigkeit – Gestalten der Klebverbindung	
	5.1.4	Berechnungsgrundlagen	97
•	5.1.5	Berechnungsbeispiele	99
	5.1.6	Literatur (Kleben)	99
5.2		Lötverbindungen	100
	5.2.1	Funktion und Wirkung	100
	5.2.2	Herstellen der Lötverbindungen	104
	5.2.3	Gestalten und Entwerfen	105
	5.2.4	Berechnungsgrundlagen	107
•	5.2.5	Berechnungsbeispiele	110
	5.2.6	Literatur (Löten)	110

6 Schweißverbindungen

6.1		Funktion und Wirkung	112
	6.1.1	Wirkprinzip und Anwendung	112
	6.1.2	Schweißverfahren	114
		Schmelzschiessen – Pressschweißen – Wahl des Schweißverfahrens	
	6.1.3	Auswirkungen des Schweißvorganges	114
		Entstehung der Schrumpfungen und Spannungen – Auswirkungen der Schweißschrumpfung – Zusammenwirken von Eigen- und Lastspannungen	
6.2		Gestalten und Entwerfen	118
	6.2.1	Schweißbarkeit der Bauteile	118
		Schweißbeignung der Werkstoffe – Konstruktionsbedingte Schweißsicherheit – Fertigungsbedingte Schweißsicherheit (Schweißmöglichkeit) – Schweißzusatzwerkstoffe	
	6.2.2	Stoß- und Nahtarten	123
		Begriffe – Stumpfnah – Kehlnah – Sonstige Nähte – Fugenvorbereitung	
	6.2.3	Gütesicherung	128
		Bewertungsgruppen für Lichtbogenschweißverbindungen an Stahl nach DIN EN 25817 – Allgmeintoleranzen für Schweißkonstruktionen nach DIN EN ISO 13920	
	6.2.4	Zeichnerische Darstellung der Schweißnähte nach DIN EN 22553 ..	129
		Symbole – Lage der Symbole in Zeichnungen – Bemaßung der Nähte – Arbeitspositionen nach DIN EN ISO 6947 und DIN 1912-2 – Ergänzende Angaben – Beispiel	
	6.2.5	Schweißgerechtes Gestalten	133
		Allgemeine Konstruktionsrichtlinien – Gestaltungsbeispiele – Vorwiegend ruhend beanspruchte Stahlbauten – Geschweißte Maschinenteile – Druckbehälter – Punktschweißverbindungen	
6.3		Berechnung von Schweißkonstruktionen	146
	6.3.1	Schweißverbindungen im Stahlbau	146
		Berechnung der Beanspruchungen (z. B. Schnittgrößen, Spannungen, Durchbiegungen) aus den Einwirkungen (Lasten) – Berechnungsbeispiel – Nachweisverfahren – Berechnung der Bauteile – Berechnung der Schweißnähte im Stahlbau – Berechnung der Punktschweißverbindungen	
	6.3.2	Schweißverbindungen im Kranbau	166
	6.3.3	Berechnung der Schweißverbindungen im Maschinenbau	167
		Ermittlung der angreifenden Belastung – Beanspruchung auf Zug, Druck, Schub oder Biegung – Beanspruchung auf Verdrehen (Torsion) – Zusammengesetzte Beanspruchung – Zulässige Spannungen im Maschinenbau	

	6.3.4	Berechnung geschweißter Druckbehälter nach AD 2000-Regelwerk Zylindrische Mäntel und Kugeln – Gewölbte Böden – Ebene Platten und Böden – Ausschnitte in der Behälterwand	170
•	6.4	Berechnungsbeispiele	176
	6.5	Literatur	184

7 Nietverbindungen

	7.1	Allgemeines	186
	7.2	Die Niete	187
	7.2.1	Nietformen	187
	7.2.2	Nietwerkstoffe	191
	7.2.3	Bezeichnung der Niete	192
	7.3	Herstellung der Nietverbindungen	192
	7.3.1	Allgemeine Hinweise	192
	7.3.2	Warmnietung	193
	7.3.3	Kaltnietung	194
	7.4	Verbindungsarten, Schnittigkeit	194
	7.5	Nietverbindungen im Stahl- und Kranbau	195
	7.5.1	Allgemeine Richtlinien	195
	7.5.2	Berechnung der Bauteile	195
	7.5.3	Berechnung der Niete und Nietverbindungen	195
		Niet- und Nietlochdurchmesser – Nietlänge – Tragfähigkeit der Niete – Maßgebende Beanspruchungsart, optimale Nietausnutzung – Erforderliche Nietzahl – Stabanschlüsse und Stöße – Momentbelastete Niet- anschlüsse	
	7.5.4	Gestaltung der Nietverbindungen	201
	7.6	Nietverbindungen im Leichtmetallbau	202
	7.6.1	Allgemeines	202
	7.6.2	Aluminiumniete	203
	7.6.3	Werkstoffe	203
	7.6.4	Berechnung der Bauteile und Niete	204
		Allgemeine Richtlinien – Niet- und Nietlochdurchmesser – Nietlänge	
	7.6.5	Bauliche Durchbildung	205
	7.6.6	Korrosionsschutz	205
	7.7	Nietverbindungen im Maschinen- und Gerätebau	206
	7.7.1	Anwendungsbeispiele	206
	7.7.2	Maßnahmen zur Erhöhung der Dauerfestigkeit	207
	7.7.3	Festigkeitsnachweise	207
	7.8	Stanzniet- und Clinchverbindungen	208
	7.8.1	Stanznieten	208
	7.8.2	Clinchen	210
•	7.9	Berechnungsbeispiele	212
	7.10	Literatur und Bildquellenverzeichnis	215

8 Schraubenverbindungen

	8.1	Funktion und Wirkung	217
	8.1.1	Aufgaben und Wirkprinzip	217
	8.1.2	Gewinde	217
		Gewindearten – Gewindebezeichnungen – Geometrische Beziehungen	

8.1.3	Schrauben- und Mutternarten	220
	Schraubenarten – Mutternarten – Sonderformen von Schrauben, Muttern und Gewindeteilen – Bezeichnung genormter Schrauben und Muttern	
8.1.4	Scheiben und Schraubensicherungen	223
	Scheiben – Schraubensicherungen	
8.1.5	Herstellung, Werkstoffe und Festigkeiten der Schrauben und Muttern	224
	Herstellung – Werkstoffe und Festigkeiten	
8.2	Gestalten und Entwerfen	225
8.2.1	Gestaltung der Gewindeteile	225
8.2.2	Gestaltung der Schraubenverbindungen	228
8.2.3	Vorauslegung der Schraubenverbindung	231
8.3	Berechnung von Befestigungsschrauben	233
8.3.1	Kraft- und Verformungsverhältnisse bei vorgespannten Schraubenverbindungen	233
	Kräfte und Verformungen im Montagezustand – Kräfte und Verformungen bei statischer Betriebskraft als Längskraft – Kräfte und Verformungen bei dynamischer Betriebskraft als Längskraft – Einfluss der Kräfteinleitung in die Verbindung – Kraftverhältnisse bei statischer oder dynamischer Querkraft	
8.3.2	Setzverhalten der Schraubenverbindungen	239
8.3.3	Dauerhaltbarkeit der Schraubenverbindungen, dynamische Sicherheit	240
8.3.4	Anziehen der Verbindung, Anziehdrehmoment	241
	Kräfte am Gewinde, Gewindemoment – Anziehdrehmoment	
8.3.5	Montagevorspannkraft, Anziehungsfaktor und -verfahren	244
8.3.6	Beanspruchung der Schraube beim Anziehen	246
8.3.7	Einhaltung der maximal zulässigen Schraubenkraft, Berechnung der statischen Sicherheit	247
8.3.8	Flächenpressung an den Auflageflächen	248
8.3.9	Praktische Berechnung der Befestigungsschrauben im Maschinenbau	248
	Nicht vorgespannte Schrauben – Vorgespannte Schrauben, Rechnungsgang	
8.3.10	Lösen der Schraubenverbindung, Sicherungsmaßnahmen	250
	Losdrehmoment – Selbsttätiges Losdrehen, Lockern der Verbindung – Sicherungsmaßnahmen, Anwendung und Wirksamkeit der Sicherungselemente	
8.4	Schraubenverbindungen im Stahlbau	252
8.4.1	Anwendung	252
8.4.2	Schraubenarten	252
8.4.3	Zug- und Druckstabanschlüsse	253
	Gestaltung der Verbindungen – Scher-Lochleibungsverbindungen – Verbindungen mit hochfesten Schrauben (HV-Schrauben) – Berechnung der Bauteile	
8.4.4	Moment(schub)belastete Anschlüsse	256
8.4.5	Konsolanschlüsse	258
8.5	Bewegungsschrauben	259
8.5.1	Entwurf	260
8.5.2	Nachprüfung auf Festigkeit	260
8.5.3	Nachprüfung auf Knickung	262
8.5.4	Nachprüfung des Muttergewindes (Führungsgewinde)	263
8.5.5	Wirkungsgrad der Bewegungsschrauben, Selbsthemmung	264
• 8.6	Berechnungsbeispiele	264
8.7	Literatur	272

9 Bolzen-, Stiftverbindungen und Sicherungselemente

9.1	Funktion und Wirkung	274
9.2	Bolzen	274
9.2.1	Formen und Verwendung	274
9.2.2	Gestalten und Entwerfen der Bolzenverbindungen im Maschinenbau Einbaufälle und Biegemomente – Festlegen der Bauteilabmessungen	275
9.2.3	Berechnen der Bolzenverbindungen im Maschinenbau	277
9.2.4	Gestalten und Entwerfen von Bolzenverbindungen nach Stahlbau- Richtlinien	278
9.2.5	Gestaltung – Festlegen der Bauteilabmessungen Berechnen der Bolzenverbindungen nach Stahlbau-Richtlinien	279
9.3	Stifte und Spannbuchsen	280
9.3.1	Formen und Verwendung	280
	Kegelstifte – Zylinderstifte – Kerbstifte und Kerbnägel – Spannstifte (Spannhülsen) – Spannbuchsen für Lagerungen	
9.3.2	Berechnung der Stiftverbindungen	284
	Querstift-Verbindungen – Steckstift-Verbindungen – Längsstift-(Rund- keil-)Verbindungen	
9.4	Sicherungselemente	286
9.4.1	Sicherungsringe (Haltringe)	286
9.4.2	Splinte und Federstecker	288
9.4.3	Stellringe	289
9.4.4	Achshalter	289
9.5	Gestaltungs- und Anwendungsbeispiele	290
• 9.6	Berechnungsbeispiele	293
9.7	Literatur	298

10 Elastische Federn

10.1	Funktion und Wirkung	299
10.1.1	Federrate, Federkennlinie	299
	Federn mit linearer Kennlinie – Federn mit gekrümmter Kennlinie – Federsysteme	
10.1.2	Federungsarbeit	301
10.1.3	Schwingungsverhalten, Federwirkungsgrad und Dämpfung	301
10.2	Gestalten und Entwerfen	303
10.2.1	Federarten	303
10.2.2	Federwerkstoffe	303
	Federstahl – Nichteisenmetalle – Nichtmetallische Werkstoffe	
10.2.3	Federgröße (Optimierungsgrundsätze)	304
10.3	Berechnungsgrundlagen und Eigenschaften der Einzelfedern	304
10.3.1	Zug- und druckbeanspruchte Federn	304
	Zugstab – Ringfeder	
10.3.2	Biegebeanspruchte Federn	306
	Einfache Blattfeder – Geschichtete Blattfeder – Drehfeder – Spiralfeder – Tellerfeder	
10.3.3	Drehbeanspruchte Federn aus Metall	320
	Drehstabfedern – Zylindrische Schraubenfedern mit Kreisquerschnitt – Zylindrische Schraubenfedern mit Rechteckquerschnitt – Kegelige Schraubendruckfedern	
10.3.4	Federn aus Gummi	330
	Eigenschaften – Ausführung, Anwendung – Berechnung	
• 10.4	Berechnungsbeispiele	333
10.5	Literatur	339

11 Achsen, Wellen und Zapfen

11.1	Funktion und Wirkung	341
11.2	Gestalten und Entwerfen	342
11.2.1	Gestaltungsgrundsätze	342
	Gestaltungsrichtlinien hinsichtlich der Festigkeit – Gestaltungsrichtlinien hinsichtlich des elastischen Verhaltens	
11.2.2	Entwurfsberechnung	345
	Werkstoffe und Halbzeuge – Berechnungsgrundlagen – Ermittlung des Entwurfsdurchmessers	
11.3	Kontrollberechnungen	356
11.3.1	Festigkeitsnachweis	356
11.3.2	Elastisches Verhalten	358
	Verformung bei Torsionsbeanspruchung – Verformung bei Biegebeanspruchung	
11.3.3	Kritische Drehzahl	361
	Schwingungen, Resonanz – Biegekritische Drehzahl – Verdrehkritische Drehzahl	
• 11.4	Berechnungsbeispiele	365
11.5	Literatur	372

12 Elemente zum Verbinden von Wellen und Naben

12.1	Funktion und Wirkung	373
12.2	Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	373
12.2.1	Pass- und Scheibenfederverbindungen	373
	Gestalten und Entwerfen – Berechnung	
12.2.2	Keil- und Zahnwellenverbindungen	377
	Gestalten und Entwerfen – Berechnung	
12.2.3	Polygonverbindungen	379
	Gestalten und Entwerfen – Berechnung	
12.2.4	Stirnzahnverbindungen	380
12.2.5	Stiftverbindungen	380
12.3	Kraftschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	381
12.3.1	Zylindrische Pressverbände	381
	Gestalten und Entwerfen – Berechnung – Angaben zur Herstellung von Pressverbänden – Drehzahleinfluss bei Pressverbänden	
12.3.2	Kegelpressverbände	389
	Gestalten und Entwerfen – Berechnung	
12.3.3	Spannelement-Verbindungen	393
	Lösbare Kegelspannsysteme (LKS) – Sternscheiben – Druckhülsen – Hydraulische Spannbuchsen – Toleranzring	
12.3.4	Klemmverbindung	400
	Gestalten und Entwerfen – Berechnung	
12.3.5	Keilverbindungen	402
	Gestalten und Entwerfen – Berechnung	
12.3.6	Kreiskeil-Verbindung	404
	Gestalten und Entwerfen – Berechnung	
12.4	Stoffschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	404
• 12.5	Berechnungsbeispiele	405
12.6	Literatur und Bildquellennachweis	409

13 Kupplungen und Bremsen

13.1	Funktion und Wirkung von Kupplungen	410
13.2	Berechnungsgrundlagen zur Kupplungsauswahl	411
13.2.1	Anlaufdrehmoment, zu übertragendes Kupplungsmoment	411
13.2.2	Beschleunigungsdrehmoment, Trägheitsmoment	413
13.2.3	Betriebsverhalten von Antriebs- und Arbeitsmaschinen	415
13.2.4	Kupplungsdrehmoment	416
	Stoßfreies Anfahren mit konstantem Drehmoment – Drehmomentstoß – Geschwindigkeitsstoß – Periodisches Wechseldrehmoment	
13.2.5	Auslegung nachgiebiger Wellenkupplungen	419
	Nach Herstellerangaben – Mit Hilfe von Anwendungsfaktoren – Nach der ungünstigsten Lastart (DIN 740 T2)	
13.2.6	Auslegung von schaltbaren Reibkupplungen	422
	Anlaufvorgang – Drehmomente bei Reibkupplungen – Bestimmung der Kupplungsgröße	
13.3	Nicht schaltbare Kupplungen	425
13.3.1	Starre Kupplungen	425
13.3.2	Nachgiebige Kupplungen (Ausgleichskupplungen)	426
	Getriebebewegliche (drehstarre) Kupplungen – Drehnachgiebige Kupplungen	
13.4	Schaltbare Kupplungen	436
13.4.1	Fremdbetätigte Kupplungen (Schaltkupplungen)	436
	Formschlüssige Schaltkupplungen – Kraft-(Reib-)schlüssige Schaltkupplungen	
13.4.2	Momentbetätigte Kupplungen (Sicherheitskupplungen)	446
13.4.3	Drehzahlbetätigte Kupplungen (Fliehkraftkupplungen)	448
13.4.4	Richtungsbetätigte Kupplungen (Freilaufkupplungen)	449
13.4.5	Induktionskupplungen	451
	Synchronkupplung – Asynchron- und Wirbelstromkupplung	
13.4.6	Hydrodynamische Kupplungen	453
	Mit konstanter Füllung – Mit veränderlicher Füllung	
13.5	Hinweise für Einsatz und Auswahl von Kupplungen	455
13.6	Bremsen	458
13.6.1	Funktion und Wirkung	458
13.6.2	Berechnung	459
13.6.3	Bauformen	459
• 13.7	Berechnungsbeispiele	463
13.8	Literatur und Bildquellennachweis	473

14 Wälzlager und Wälzlagerungen

14.1	Funktion und Wirkung	475
14.1.1	Aufgaben und Wirkprinzip	475
14.1.2	Einteilung der Lager	476
14.1.3	Richtlinien zur Anwendung von Wälzlagern	476
14.1.4	Ordnung der Wälzlager	477
	Aufbau der Wälzlager, Wälzkörperformen, Werkstoffe – Grundformen der Wälzlager, Druckwinkel, Lastwinkel – Standardbauformen der Wälzlager, ihre Eigenschaften und Verwendung – Weitere Bauformen – Bau- maße und Kurzzeichen der Wälzlager	
14.2	Gestalten und Entwerfen von Wälzlagerungen	487
14.2.1	Lageranordnung	487
	Fest-Los-Lagerung – Stützlagerung – Lagerkombinationen – Mehrfache Lagerung	

14.2.2	Lagerauswahl	489
14.2.3	Gestaltung der Lagerungen	490
	Tolerierung der Anschlussbauteile – Konstruktive Gestaltung der Lager- stelle	
14.2.4	Schmierung der Wälzlager	493
	Fettschmierung – Ölschmierung – Feststoffschmierung	
14.2.5	Lagerabdichtungen.....	497
14.2.6	Vorauswahl der Lagergröße	498
14.3	Berechnung der Wälzlager	498
14.3.1	Statische Tragfähigkeit.....	499
	Statische Tragzahl C_0 – Statisch äquivalente Belastung	
14.3.2	Dynamische Tragfähigkeit.....	499
	Bestimmungsgrößen nach DIN ISO 281 – Lebensdauergleichung nach DIN ISO 281 – Bestimmen der dynamisch äquivalenten Lagerbelastung (P und $n = \text{konstant}$) – Bestimmen der dynamisch äquivalenten Lager- belastung (P und $n \neq \text{konstant}$)	
14.3.3	Minderung der Lagertragzahlen C und C_0	504
14.3.4	Erreichbare Lebensdauer – modifizierte Lebensdauerberechnung...	504
14.3.5	Gebrauchsdauer	505
14.3.6	Höchststrehzahlen.....	506
14.4	Gestaltungsbeispiele für Wälzlagerungen	506
14.5	Wälzgelagerte Bauelemente	509
	Lagergehäuseeinheiten – Laufrollen – Drehverbindungen – Kugelhülsen – Linearwälzführungen – Linearantriebseinheiten – Kugelgewindetrieb	
• 14.6	Berechnungsbeispiele	513
14.7	Literatur und Bildquellennachweis	521

15 Gleitlager

15.1	Funktion und Wirkung	522
15.1.1	Wirkprinzip	522
15.1.2	Anordnung der Gleitflächen	522
15.1.3	Reibungszustände.....	523
15.1.4	Schmierstoffeinflüsse	524
15.1.5	Hydrodynamische Schmierung.....	527
	Schmierkeil – Druckverteilung und Tragfähigkeit	
15.2	Anwendung.....	530
15.3	Gestalten und Entwerfen	531
15.3.1	Gleitlagerwerkstoffe.....	531
	Tribologisches Verhalten – Lagerwerkstoffe	
15.3.2	Gestaltungs- und Betriebseinflüsse	534
15.3.3	Schmierstoffversorgung der Gleitlager.....	538
	Schmierungsarten – Schmiervverfahren und Schmiervrichtungen – Schmierstoffzuführung	
15.3.4	Gestaltung der Radial-Gleitlager.....	542
	Lagerbuchsen, Lagerschalen – Gestaltungsbeispiele	
15.3.5	Gestaltung der Axial-Gleitlager.....	547
15.3.6	Lagerdichtungen.....	550
15.4	Berechnungsgrundlagen	553
15.4.1	Berechnung der Radialgleitlager	553
	Betriebskennwerte (Relativwerte) – Wärmebilanz – Schmierstoffdurch- satz – Berechnungsgang	
15.4.2	Berechnung der Axialgleitlager	563
	Spurlager mit ebenen Spurplatten – Einscheiben- und Segment-Spurlager	

• 15.5	Berechnungsbeispiele	569
15.6	Literatur	575

16 Riementriebe

16.1	Funktion und Wirkung	577
16.1.1	Aufgaben und Wirkprinzip	577
16.1.2	Riemenaufbau und Riemenwerkstoffe	577
	Flachriemen – Keilriemen – Keilrippenriemen – Synchronriemen (Zahnriemen)	
16.2	Gestalten und Entwerfen	581
16.2.1	Bauarten und Verwendung	581
	Wahl der Riemenart – Riemenführung – Vorspannmöglichkeiten – Ver- stell- bzw. Schaltgetriebe	
16.2.2	Ausführung der Riementriebe	584
	Allgemeine Gesichtspunkte – Hauptabmessungen der Riemenscheiben – Werkstoffe und Ausführung der Riemenscheiben	
16.3	Auslegung der Riementriebe	588
16.3.1	Theoretische Grundlagen zur Berechnung der Riementriebe	588
	Kräfte am Riementrieb – Dehn- und Gleitschlupf, Übersetzung – Span- nungen, elastisches Verhalten – Übertragbare Leistung, optimale Rie- mengeschwindigkeit	
16.3.2	Praktische Berechnung der Riementriebe	593
	Riemenwahl – Geometrische und kinematische Beziehungen – Lei- stungsberechnung – Vorspannung; Wellenbelastung – Kontrollabfragen	
• 16.4	Berechnungsbeispiele	602
16.5	Literatur	606

17 Kettentriebe

17.1	Funktion und Wirkung	607
17.1.1	Aufgaben und Einsatz	607
17.1.2	Kettenarten, Ausführung und Anwendung	607
	Bolzenketten – Buchsenketten – Rollenketten – Sonderbauformen	
17.1.3	Kettenräder	611
17.1.4	Verbindungsglieder für Rollenketten	611
17.1.5	Mechanik der Kettentriebe	612
17.2	Gestalten und Entwerfen von Rollenkettentrieben	613
17.2.1	Verzahnungsangaben	613
17.2.2	Festlegen der Zähnezahlen für die Kettenräder	614
17.2.3	Gestalten der Kettenräder	614
17.2.4	Kettenauswahl	615
17.2.5	Gliederzahl, Wellenabstand	616
17.2.6	Anordnung der Kettentriebe	618
17.2.7	Durchhang des Kettentrums	618
17.2.8	Hilfseinrichtungen	618
17.2.9	Schmierung und Wartung der Kettentriebe	620
17.3	Berechnung der Kräfte am Kettentrieb	621
• 17.4	Berechnungsbeispiele	622
17.5	Literatur	624

18 Elemente zur Führung von Fluiden (Rohrleitungen)

18.1	Funktionen, Wirkungen und Einsatz	625
18.2	Bauformen	625
18.2.1	Rohre	625
18.2.2	Schläuche	627
18.2.3	Formstücke	628
18.2.4	Armaturen	628
	Ventile – Schieber – Hähne – Klappen	
18.3	Gestalten und Entwerfen	632
18.3.1	Vorschriften, Begriffe und Definitionen	632
18.3.2	Rohrverbindungen	634
	Schweißverbindungen für Stahlrohre – Flanschverbindungen – Rohrverschraubungen – Muffenverbindungen	
18.3.3	Dehnungsausgleicher	638
18.3.4	Rohrhalterungen	639
18.3.5	Gestaltungsrichtlinien für Rohrleitungsanlagen	640
18.3.6	Darstellung der Rohrleitungen	641
18.4	Berechnungsgrundlagen	641
18.4.1	Rohrquerschnitt und Druckverlust	641
18.4.2	Berechnung der Wanddicke gegen Innendruck	643
	Rohre aus Stahl – Rohre aus duktilem Gusseisen – Rohre aus Kunststoff – Berücksichtigung von Druckstößen	
• 18.5	Berechnungsbeispiele	648
18.6	Literatur	651

19 Dichtungen

19.1	Funktion und Wirkung	653
19.2	Berührungsdichtungen zwischen ruhenden Bauteilen (Statische Dichtungen)	655
19.2.1	Unlösbare Berührungsdichtungen	655
19.2.2	Lösbare Dichtungen	656
19.3	Berührungsdichtungen zwischen relativ bewegten Bauteilen (Dynamische Dichtungen)	662
19.3.1	Dichtungen für Drehbewegungen	662
19.3.2	Dichtungen für Längsbewegung ohne oder mit Drehbewegung	667
19.4	Berührungsfreie Dichtungen zwischen relativ bewegten Bauteilen	670
19.5	Literatur und Bildquellennachweis	672

20 Zahnräder und Zahnradgetriebe (Grundlagen)

20.1	Funktion und Wirkung	673
20.1.1	Zahnräder und Getriebearten	674
20.1.2	Verzahnungsgesetz	677
20.1.3	Flankenprofile und Verzahnungsarten	679
	Zykloidverzahnung – Triebstockverzahnung – Evolventenverzahnung	
20.1.4	Bezugsprofil, Herstellung der Evolventenverzahnung	683
20.2	Zahnradwerkstoffe	685
20.3	Schmierung der Zahnradgetriebe	687
20.4	Getriebewirkungsgrad	689

20.5	Konstruktionshinweise für Zahnräder und Getriebegehäuse	690
20.5.1	Gestaltungsvorschläge	690
	Stirnräder – Kegelräder – Schnecken und Schneckenräder	
20.5.2	Darstellung, Maßeintragung	693
	Zeichnerische Darstellung – Maßeintragung	
20.6	Literatur	694

21 Stirnräder mit Evolventenverzahnung

21.1	Geometrie der Stirnräder	696
21.1.1	Begriffe und Bestimmungsgrößen	696
21.1.2	Verzahnungsmaße der Nullräder	698
21.1.3	Eingriffsstrecke, Profilüberdeckung	699
21.1.4	Profilverschiebung (Geradverzahnung)	700
	Anwendung – Zahnunterschnitt, Grenzzähnezahl – Spitzgrenze und Mindestzahndicke am Kopfkreis – Paarung der Zahnräder, Getriebe- arten – Rad- und Getriebeabmessungen bei <i>V</i> -Radpaaren	
21.1.5	Evolventenfunktion und ihre Anwendung bei <i>V</i> -Getrieben	707
	Anwendung der Evolventenfunktion – Summe der Profilverschiebungsfaktoren und ihre Aufteilung – 0,5-Verzahnung	
•	21.1.6 Berechnungsbeispiele (Geometrie der Geradverzahnung)	709
21.2	Geometrie der Schrägstirnräder mit Evolventenverzahnung	712
21.2.1	Grundformen, Schrägungswinkel	712
21.2.2	Verzahnungsmaße	713
21.2.3	Eingriffsverhältnisse, Gesamtüberdeckung	714
21.2.4	Profilverschiebung (Schrägverzahnung)	715
	Ersatzzähnezahl, Grenzzähnezahl – Profilverschiebungsfaktoren – Rad- und Getriebeabmessungen für <i>V</i> -Radpaarungen	
•	21.2.5 Berechnungsbeispiele (Geometrie der Schrägverzahnung)	718
21.3	Toleranzen, Verzahnungsqualität	719
21.3.1	Flankenspiele und Zahndickenabmaße	719
21.3.2	Prüfmaße für die Zahndicke	721
•	21.3.3 Berechnungsbeispiele (Toleranzen, Verzahnungsqualität)	722
21.4	Entwurfsberechnung (Außenverzahnung)	724
21.4.1	Vorwahl der Hauptabmessungen	724
	Wellendurchmesser d_{sh} zur Aufnahme des Ritzels – Übersetzung i , Zäh- nezahlverhältnis u – Ritzelzähnezahl z_1 – Zahnradbreite b – Schrä- gungswinkel β , Steigungsrichtung der Zahnflanken – Modul	
21.4.2	Vorgehensweise zur Ermittlung der Verzahnungsgeometrie	728
21.5	Tragfähigkeitsnachweis für Außenradpaare	728
21.5.1	Schadensmöglichkeiten an Zahnrädern	728
	Zahnbruch – Ermüdungserscheinungen an den Zahnflanken – Fressen	
21.5.2	Kraftverhältnisse	729
	Kräfte am Gerad-Stirnradpaar – Kräfte am Schräg-Stirnradpaar	
21.5.3	Belastungseinflussfaktoren	732
21.5.4	Nachweis der Zahnfußtragfähigkeit	735
	Auf tretende Zahnfußspannung – Zahnfuß-Grenzfestigkeit σ_{FP}	
21.5.5	Nachweis der Grübchentragfähigkeit	737
	Auf tretende Flankenpressung – Flanken-Grenzfestigkeit σ_{HP}	
•	21.5.6 Berechnungsbeispiele (Tragfähigkeitsnachweis)	741

22 Kegelräder und Kegelradgetriebe

22.1	Grundformen, Funktion und Verwendung	744
22.2	Geometrie der Kegelräder	744
22.2.1	Geradverzahnte Kegelräder	744
	Übersetzung, Zähnezahlerhältnis, Teilkegelwinkel – Allgemeine Radabmessungen – Eingriffsverhältnisse – Grenzzähnezahl und Profilverschiebung	
22.2.2	Schrägverzahnte Kegelräder	749
	Übersetzung, Zähnezahlerhältnis – Radabmessungen – Eingriffsverhältnisse – Grenzzähnezahl und Profilverschiebung	
22.3	Entwurfsberechnung	752
	Wellendurchmesser d_{sh} zur Aufnahme des Ritzels – Übersetzung, Zähnezahlerhältnis – Zähnezahl – Schrägungswinkel – Zahnbreite – Zahnradwerkstoffe und Verzahnungsqualität – Modul	
22.4	Tragfähigkeitsnachweis	754
22.4.1	Kraftverhältnisse	754
22.4.2	Nachweis der Zahnfußtragfähigkeit	756
22.4.3	Nachweis der Grübchentragfähigkeit	757
• 22.5	Berechnungsbeispiele für Kegelradgetriebe	758

23 Schraubrad- und Schneckengetriebe

23.1	Schraubradgetriebe	765
23.1.1	Funktion und Wirkung	765
23.1.2	Geometrische Beziehungen	765
	Übersetzungen – Schrägungswinkel – Geschwindigkeitsverhältnisse – Radabmessungen, Achsabstand	
23.1.3	Eingriffsverhältnisse	766
23.1.4	Kraftverhältnisse (Null-Verzahnung)	767
23.1.5	Berechnung der Getriebeabmessungen (Null-Verzahnung)	769
23.2	Schneckengetriebe	769
23.2.1	Funktion und Wirkung	769
	Ausführungsformen und Herstellung – Verwendung	
23.2.2	Geometrische Beziehungen bei Zylinderschneckengetrieben mit $\Sigma = 90^\circ$ Achsenwinkel	771
	Übersetzung – Abmessungen der Schnecke – Abmessungen des Schneckenrades – Achsabstand	
23.2.3	Eingriffsverhältnisse	774
23.2.4	Kraftverhältnisse	775
	Kräfte an der Schnecke	
23.2.5	Entwurfsberechnung für Schneckengetriebe	776
	Vorwahl der Hauptabmessungen – Werkstoffvorwahl	
23.2.6	Tragfähigkeitsnachweis	778
	Grübchentragfähigkeit – Zahnfußtragfähigkeit – Durchbiegsicherheit der Schneckenwelle – Temperatursicherheit bei Tauchschmierung	
• 23.2.7	Berechnungsbeispiele	781

Sachwortverzeichnis	784
--------------------------------------	-----