

Herbert Wittel | Dieter Muhs |  
Dieter Jannasch | Joachim Voßiek

# Roloff / Matek Maschinenelemente

Normung, Berechnung, Gestaltung

19., überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 711 Abbildungen,

75 vollständig durchgerechneten Beispielen  
und einem Tabellenbuch mit 282 Tabellen



**VIEWEG+**  
**TEUBNER**

# 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-Di- agramm – 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 Statisch belastete Bauteile – Dynamisch belastete Bauteile	62
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 (Schmierzustände) .....	73
4.4	Beanspruchung im Bauteilkontakt, Hertzische 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	Berechnungsbeispiel. . . . .	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
	Schmelzschweißen – 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 ISO 5817 – 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 – 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 Niet- und Nietlochdurchmesser – Nietlänge – Tragfähigkeit der Niete – Maßgebende Beanspruchungsart, optimale Nietausnutzung – Erforder- liche Nietzahl – Stabanschlüsse und Stöße – Momentbelastete Niet- anschlüsse	195
	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 Allgemeine Richtlinien – Niet- und Nietlochdurchmesser – Nietlänge	204
	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 Gewindearten – Gewindebezeichnungen – Geometrische Beziehungen	217

8.1.3	Schrauben- und Mutterarten . . . . .	220
	Schraubenarten – Mutterarten – 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
9.3.2	Kegelstifte – Zylinderstifte – Kerbstifte und Kerbnägel – Spannstifte (Spannhülsen) – Spannbuchsen für Lagerungen Berechnung der Stiftverbindungen .....	284
9.4	Querstift-Verbindungen – Steckstift-Verbindungen – Längsstift-(Rund- keil-)Verbindungen 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
10.1.2	Federn mit linearer Kennlinie – Federn mit gekrümmter Kennlinie – Federsysteme 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
10.2.3	Federgröße (Optimierungsgrundsätze) .....	304
10.3	Federstahl – Nichteisenmetalle – Nichtmetallische Werkstoffe Berechnungsgrundlagen und Eigenschaften der Einzelfedern .....	304
10.3.1	Zug- und druckbeanspruchte Federn .....	304
10.3.2	Zugstab – Ringfeder Biegebeanspruchte Federn .....	306
10.3.3	Einfache Blattfeder – Geschichtete Blattfeder – Drehfeder – Spiralfeder – Tellerfeder Drehbeanspruchte Federn aus Metall .....	320
10.3.4	Drehstabfedern – Zylindrische Schraubenfedern mit Kreisquerschnitt – Zylindrische Schraubenfedern mit Rechteckquerschnitt – Kegelige Schraubendruckfedern Federn aus Gummi .....	330
10.4	Eigenschaften – Ausführung, Anwendung – Berechnung 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 Scheibfederverbindungen .....	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	Höchst Drehzahlen.....	506
14.4	Gestaltungsbeispiele für Wälzlagerungen.....	506
14.5	Wälzgelagerte Bauelemente .....	509
	Lagergehäuseeinheiten – Laufrollen – Drehverbindungen – Kugelbuch- sen – Kugelgewindetrieb	
14.6	Lineare Wälzführungen.....	512
14.6.1	Funktion und Eigenschaften.....	512
14.6.2	Tragfähigkeit und nominelle Lebensdauer.....	514
14.6.3	Auswahl von Führungen, Linearsysteme .....	515
• 14.7	Berechnungsbeispiele .....	517
14.8	Literatur und Bildquellennachweis .....	525

## 15 Gleitlager

15.1	Funktion und Wirkung .....	526
15.1.1	Wirkprinzip .....	526
15.1.2	Anordnung der Gleitflächen .....	526
15.1.3	Reibungszustände.....	527
15.1.4	Schmierstoffeinflüsse .....	528
15.1.5	Hydrodynamische Schmierung.....	531
	Schmierkeil – Druckverteilung und Tragfähigkeit	
15.2	Anwendung.....	534
15.3	Gestalten und Entwerfen .....	535
15.3.1	Gleitlagerwerkstoffe.....	535
	Tribologisches Verhalten – Lagerwerkstoffe	
15.3.2	Gestaltungs- und Betriebseinflüsse .....	538
15.3.3	Schmierstoffversorgung der Gleitlager .....	542
	Schmierungsarten – Schmierv Verfahren und Schmiervorrichtungen – Schmierstoffzuführung	
15.3.4	Gestaltung der Radial-Gleitlager.....	546
	Lagerbuchsen, Lagerschalen – Gestaltungsbeispiele	
15.3.5	Gestaltung der Axial-Gleitlager.....	551
15.3.6	Lagerdichtungen.....	554

15.4	Berechnungsgrundlagen . . . . .	557
15.4.1	Berechnung der Radialgleitlager . . . . . Betriebskennwerte (Relativwerte) – Wärmebilanz – Schmierstoffdurchsatz – Berechnungsgang	557
15.4.2	Berechnung der Axialgleitlager . . . . . Spurlager mit ebenen Spurplatten – Einscheiben- und Segment-Spurlager	567
• 15.5	Berechnungsbeispiele . . . . .	573
15.6	Literatur . . . . .	579

## 16 Riemengetriebe

16.1	Funktion und Wirkung . . . . .	581
16.1.1	Aufgaben und Wirkprinzip . . . . .	581
16.1.2	Riemenaufbau und Riemenwerkstoffe . . . . . Flachriemen – Keilriemen – Keilrippenriemen – Synchronriemen (Zahnriemen)	581
16.2	Gestalten und Entwerfen . . . . .	585
16.2.1	Bauarten und Verwendung . . . . . Wahl der Riemenart – Riemenführung – Vorspannmöglichkeiten – Verstell- bzw. Schaltgetriebe	585
16.2.2	Ausführung der Riementriebe . . . . . Allgemeine Gesichtspunkte – Hauptabmessungen der Riemenscheiben – Werkstoffe und Ausführung der Riemenscheiben	588
16.3	Auslegung der Riementriebe . . . . .	592
16.3.1	Theoretische Grundlagen zur Berechnung der Riementriebe . . . . . Kräfte am Riementrieb – Dehn- und Gleitschlupf, Übersetzung – Spannungen, elastisches Verhalten – Übertragbare Leistung, optimale Riemen-geschwindigkeit	592
16.3.2	Praktische Berechnung der Riementriebe . . . . . Riemenwahl – Geometrische und kinematische Beziehungen – Leistungsberechnung – Vorspannung; Wellenbelastung – Kontrollabfragen	597
• 16.4	Berechnungsbeispiele . . . . .	606
16.5	Literatur . . . . .	610

## 17 Kettengetriebe

17.1	Funktion und Wirkung . . . . .	611
17.1.1	Aufgaben und Einsatz . . . . .	611
17.1.2	Kettenarten, Ausführung und Anwendung . . . . . Bolzenketten – Buchsenketten – Rollenketten – Sonderbauformen	611
17.1.3	Kettenräder . . . . .	615
17.1.4	Verbindungsglieder für Rollenketten . . . . .	615
17.1.5	Mechanik der Kettengetriebe . . . . .	616
17.2	Gestalten und Entwerfen von Rollenkettengetrieben . . . . .	617
17.2.1	Verzahnungsangaben . . . . .	617
17.2.2	Festlegen der Zähnezahlen für die Kettenräder . . . . .	618
17.2.3	Gestalten der Kettenräder . . . . .	618
17.2.4	Kettenauswahl . . . . .	619
17.2.5	Gliederzahl, Wellenabstand . . . . .	620
17.2.6	Anordnung der Kettengetriebe . . . . .	622
17.2.7	Durchhang des Kettentrums . . . . .	622
17.2.8	Hilfseinrichtungen . . . . .	622
17.2.9	Schmierung und Wartung der Kettengetriebe . . . . .	624

17.3	Berechnung der Kräfte am Kettengetriebe .....	625
• 17.4	Berechnungsbeispiel .....	626
17.5	Literatur .....	628

## 18 Elemente zur Führung von Fluiden (Rohrleitungen)

18.1	Funktionen, Wirkungen und Einsatz .....	629
18.2	Bauformen .....	629
18.2.1	Rohre .....	629
18.2.2	Schläuche .....	631
18.2.3	Formstücke .....	632
18.2.4	Armaturen .....	632
	Ventile – Schieber – Hähne – Klappen	
18.3	Gestalten und Entwerfen .....	636
18.3.1	Vorschriften, Begriffe und Definitionen .....	636
18.3.2	Rohrverbindungen .....	638
	Schweißverbindungen für Stahlrohre – Flanschverbindungen – Rohrverschraubungen – Muffenverbindungen	
18.3.3	Dehnungsausgleicher .....	642
18.3.4	Rohrhalterungen .....	643
18.3.5	Gestaltungsrichtlinien für Rohrleitungsanlagen .....	644
18.3.6	Darstellung der Rohrleitungen .....	645
18.4	Berechnungsgrundlagen .....	645
18.4.1	Rohrquerschnitt und Druckverlust .....	645
18.4.2	Berechnung der Wanddicke gegen Innendruck .....	647
	Rohre aus Stahl – Rohre aus duktilem Gusseisen – Rohre aus Kunststoff – Berücksichtigung von Druckstößen	
• 18.5	Berechnungsbeispiele .....	652
18.6	Literatur .....	655

## 19 Dichtungen

19.1	Funktion und Wirkung .....	657
19.2	Berührungsdichtungen zwischen ruhenden Bauteilen (Statische Dichtungen) .....	659
19.2.1	Unlösbare Berührungsdichtungen .....	659
19.2.2	Lösbare Dichtungen .....	660
19.3	Berührungsdichtungen zwischen relativ bewegten Bauteilen (Dynamische Dichtungen) .....	666
19.3.1	Dichtungen für Drehbewegungen .....	666
19.3.2	Dichtungen für Längsbewegung ohne oder mit Drehbewegung .....	671
19.4	Berührungsfreie Dichtungen zwischen relativ bewegten Bauteilen .....	674
19.5	Literatur und Bildquellennachweis .....	676

## 20 Zahnräder und Zahnradgetriebe (Grundlagen)

20.1	Funktion und Wirkung .....	677
20.1.1	Zahnräder und Getriebearten .....	678
20.1.2	Verzahnungsgesetz .....	681
20.1.3	Flankenprofile und Verzahnungsarten .....	683
	Zykloidverzahnung – Triebstockverzahnung – Evolventenverzahnung	
20.1.4	Bezugsprofil, Herstellung der Evolventenverzahnung .....	687

20.2	Zahnradwerkstoffe .....	689
20.3	Schmierung der Zahnradgetriebe .....	691
20.4	Getriebewirkungsgrad .....	693
20.5	Konstruktionshinweise für Zahnräder und Getriebegehäuse .....	694
20.5.1	Gestaltungsvorschläge .....	694
	Stirnräder – Kegelräder – Schnecken und Schneckenräder – Getriebegehäuse	
20.5.2	Darstellung, Maßeintragung .....	697
	Zeichnerische Darstellung – Maßeintragung	
20.6	Literatur .....	699

## 21 Stirnräder mit Evolventenverzahnung

21.1	Geometrie der Stirnräder .....	701	
21.1.1	Begriffe und Bestimmungsgrößen .....	701	
21.1.2	Verzahnungsmaße der Nullräder .....	703	
21.1.3	Eingriffsstrecke, Profilüberdeckung .....	704	
21.1.4	Profilverschiebung (Geradverzahnung) .....	705	
	Anwendung – Zahnunterschnitt, Grenzzähnezahl – Spitzgrenze und Mindestzahndicke am Kopfkreis – Paarung der Zahnräder, Getriebe- arten – Rad- und Getriebeabmessungen bei $V$ -Radpaaren		
21.1.5	Evolventenfunktion und ihre Anwendung bei $V$ -Getrieben .....	712	
	Anwendung der Evolventenfunktion – Summe der Profilverschiebungs- faktoren und ihre Aufteilung – 0,5-Verzahnung		
•	21.1.6	Berechnungsbeispiele (Geometrie der Geradverzahnung) .....	714
21.2	Geometrie der Schrägstirnräder mit Evolventenverzahnung .....	717	
21.2.1	Grundformen, Schrägungswinkel .....	717	
21.2.2	Verzahnungsmaße .....	718	
21.2.3	Eingriffsverhältnisse, Gesamtüberdeckung .....	719	
21.2.4	Profilverschiebung (Schrägverzahnung) .....	720	
	Ersatzzähnezahl, Grenzzähnezahl – Profilverschiebungsfaktoren – Rad- und Getriebeabmessungen für $V$ -Radpaarungen		
•	21.2.5	Berechnungsbeispiele (Geometrie der Schrägverzahnung) .....	723
21.3	Toleranzen, Verzahnungsqualität .....	724	
21.3.1	Flankenspiele und Zahndickenabmaße .....	724	
21.3.2	Prüfmaße für die Zahndicke .....	726	
•	21.3.3	Berechnungsbeispiele (Toleranzen, Verzahnungsqualität) .....	727
21.4	Entwurfsberechnung (Außenverzahnung) .....	729	
21.4.1	Vorwahl der Hauptabmessungen .....	729	
	Wellendurchmesser $d_{sh}$ zur Aufnahme des Ritzels – Übersetzung $i$ , Zäh- nezahlverhältnis $u$ – Ritzelzähnezahl $z_1$ – Zahnradbreite $b$ – Schrä- gungswinkel $\beta$ , Steigungsrichtung der Zahnflanken – Modul		
21.4.2	Vorgehensweise zur Ermittlung der Verzahnungsgeometrie .....	733	
21.5	Tragfähigkeitsnachweis für Außenradpaare .....	733	
21.5.1	Schadensmöglichkeiten an Zahnradern .....	733	
	Zahnbruch – Ermüdungserscheinungen an den Zahnflanken – Fressen		
21.5.2	Kraftverhältnisse .....	734	
	Kräfte am Gerad-Stirnradpaar – Kräfte am Schräg-Stirnradpaar		
21.5.3	Belastungseinflussfaktoren .....	737	
21.5.4	Nachweis der Zahnfußtragfähigkeit .....	740	
	Auftretende Zahnfußspannung – Zahnfuß-Grenzfestigkeit $\sigma_{FP}$		
21.5.5	Nachweis der Grübchentragfähigkeit .....	742	
	Auftretende Flankenpressung – Flanken-Grenzfestigkeit $\sigma_{HF}$		
•	21.5.6	Berechnungsbeispiele (Tragfähigkeitsnachweis) .....	746

## 22 Kegelräder und Kegelradgetriebe

22.1	Grundformen, Funktion und Verwendung	749
22.2	Geometrie der Kegelräder	749
22.2.1	Geradverzahnte Kegelräder	749
	Übersetzung, Zähnezahlnverhältnis, Teilkegelwinkel – Allgemeine Radabmessungen – Eingriffsverhältnisse – Grenzzähnezahl und Profilver-schiebung	
22.2.2	Schrägverzahnte Kegelräder	754
	Übersetzung, Zähnezahlnverhältnis – Radabmessungen – Eingriffsverhältnisse – Grenzzähnezahl und Profilver-schiebung	
22.3	Entwurfsberechnung	757
	Wellendurchmesser $d_{sh}$ zur Aufnahme des Ritzels – Übersetzung, Zähnezahlnverhältnis – Zähnezahl – Schrägungswinkel – Zahn-breite – Zahnradwerkstoffe und Verzahnungsqualität – Modul	
22.4	Tragfähigkeitsnachweis	759
22.4.1	Kraftverhältnisse	759
22.4.2	Nachweis der Zahnfußtragfähigkeit	761
22.4.3	Nachweis der Grübchentragfähigkeit	762
• 22.5	Berechnungsbeispiele für Kegelradgetriebe	763

## 23 Schraubrad- und Schneckengetriebe

23.1	Schraubradgetriebe	770
23.1.1	Funktion und Wirkung	770
23.1.2	Geometrische Beziehungen	770
	Übersetzungen – Schrägungswinkel – Geschwindigkeitsverhältnisse – Radabmessungen, Achsabstand	
23.1.3	Eingriffsverhältnisse	771
23.1.4	Kraftverhältnisse (Null-Verzahnung)	772
23.1.5	Berechnung der Getriebeabmessungen (Null-Verzahnung)	774
23.2	Schneckengetriebe	774
23.2.1	Funktion und Wirkung	774
	Ausführungsformen und Herstellung – Verwendung	
23.2.2	Geometrische Beziehungen bei Zylinderschneckengetrieben mit $\Sigma = 90^\circ$ Achsenwinkel	776
	Übersetzung – Abmessungen der Schnecke – Abmessungen des Schneckenrades – Achsabstand	
23.2.3	Eingriffsverhältnisse	779
23.2.4	Kraftverhältnisse	780
	Kräfte an der Schnecke	
23.2.5	Entwurfsberechnung für Schneckengetriebe	781
	Vorwahl der Hauptabmessungen – Werkstoffvorwahl	
23.2.6	Tragfähigkeitsnachweis	783
	Grübchentragfähigkeit – Zahnfußtragfähigkeit – Durchbiegsicherheit der Schneckenwelle – Temperatursicherheit bei Tauchschmierung	
• 23.2.7	Berechnungsbeispiele	786
	Sachwortverzeichnis	789