

---

Herbert Wittel · Dieter Jannasch ·  
Joachim Voßiek · Christian Spura

# Roloff/Matek Maschinenelemente

Normung, Berechnung, Gestaltung

24., überarbeitete und aktualisierte Auflage

Mit 731 Abbildungen, 79 vollständig durchgerechneten  
Beispielen und einem Tabellenbuch mit 296 Tabellen

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeine und konstruktive Grundlagen</b>	<b>1</b>
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
1.3	Normzahlen (Vorzugszahlen und -maße)	3
1.3.1	Bedeutung der Normzahlen	3
1.3.2	Aufbau der Normzahlreihen	3
1.3.3	Anwendung der Normzahlen	4
1.3.4	Berechnungsbeispiele	7
1.4	Allgemeine konstruktive Grundlagen	8
1.4.1	Konstruktionsmethodik	9
1.4.2	Grundlagen des Gestaltens	14
1.4.3	Rechnereinsatz im Konstruktions- und Entwicklungsprozess	19
	Literatur	21
<b>2</b>	<b>Toleranzen, Passungen, Oberflächenbeschaffenheit</b>	<b>23</b>
2.1	Toleranzen	23
2.1.1	Maßtoleranzen	23
2.1.2	Formtoleranzen	27
2.1.3	Lagetoleranzen	27
2.1.4	Toleranzangaben in Zeichnungen	27
2.2	Passungen	29
2.2.1	Grundbegriffe	29
2.2.2	ISO-Passsysteme	30
2.2.3	Passungsauswahl	31
2.2.4	Tolerierungsgrundsätze	32
2.2.5	Toleranzketten	33
2.3	Oberflächenbeschaffenheit	33
2.3.1	Gestaltabweichung	33
2.3.2	Oberflächenangaben in Zeichnungen	36
2.4	Berechnungsbeispiele	37
	Literatur	40
<b>3</b>	<b>Festigkeitsberechnung</b>	<b>43</b>
3.1	Allgemeines	43
3.2	Beanspruchungs- und Belastungsarten	44
3.3	Werkstoffverhalten, Festigkeitskenngrößen	49
3.3.1	Statische Festigkeitswerte (Werkstoffkennwerte)	49
3.3.2	Dynamische Festigkeitswerte (Werkstoffkennwerte)	52
3.4	Statische Bauteilfestigkeit	58

3.5	Gestaltfestigkeit (dynamische Bauteilfestigkeit) . . . . .	59
3.5.1	Konstruktionskennwerte . . . . .	59
3.5.2	Ermittlung der Gestaltfestigkeit (Bauteilfestigkeit) . . . . .	65
3.6	Sicherheiten . . . . .	69
3.7	Praktische Festigkeitsberechnung . . . . .	70
3.7.1	Überschlägige Berechnung . . . . .	70
3.7.2	Statischer Festigkeitsnachweis . . . . .	72
3.7.3	Dynamischer Festigkeitsnachweis (Ermüdungsfestigkeitsnachweis) . . . . .	73
3.7.4	Dynamischer Festigkeitsnachweis – Einzelbelastungen, Lastkollektive, Zeitfestigkeit, Dauerfestigkeit . . . . .	74
3.7.5	Tragfähigkeitsnachweis im Stahlbau . . . . .	78
3.8	Berechnungsbeispiele . . . . .	80
	Literatur . . . . .	86
<b>4</b>	<b>Tribologie</b> . . . . .	<b>89</b>
4.1	Funktion und Wirkung . . . . .	89
4.2	Reibung, Reibungsarten . . . . .	90
4.3	Reibungszustände (Schmierungszustände) . . . . .	91
4.4	Beanspruchung im Bauteilkontakt, Hertz'sche Pressung . . . . .	93
4.5	Schmierstoffe . . . . .	96
4.5.1	Schmieröle . . . . .	96
4.5.2	Schmierfette . . . . .	99
4.5.3	Sonstige Schmierstoffe . . . . .	100
4.6	Schmierungsarten . . . . .	100
4.7	Schäden an Maschinenelementen . . . . .	101
4.7.1	Verschleiß . . . . .	101
4.7.2	Korrosion . . . . .	102
4.7.3	Schadensbilder . . . . .	103
	Literatur . . . . .	104
<b>5</b>	<b>Kleb- und Lötverbindungen</b> . . . . .	<b>105</b>
5.1	Klebverbindungen . . . . .	105
5.1.1	Funktion und Wirkung . . . . .	105
5.1.2	Herstellen der Klebverbindungen . . . . .	108
5.1.3	Gestalten und Entwerfen . . . . .	109
5.1.4	Berechnungsgrundlagen . . . . .	114
5.1.5	Berechnungsbeispiele . . . . .	115
5.2	Lötverbindungen . . . . .	116
5.2.1	Funktion und Wirkung . . . . .	116
5.2.2	Herstellen der Lötverbindungen . . . . .	120
5.2.3	Gestalten und Entwerfen . . . . .	121
5.2.4	Berechnungsgrundlagen . . . . .	123
5.2.5	Berechnungsbeispiel . . . . .	126
	Literatur . . . . .	127
<b>6</b>	<b>Schweißverbindungen</b> . . . . .	<b>129</b>
6.1	Funktion und Wirkung . . . . .	129
6.1.1	Wirkprinzip und Anwendung . . . . .	129
6.1.2	Schweißverfahren . . . . .	130
6.1.3	Auswirkungen des Schweißvorganges . . . . .	133
6.2	Gestalten und Entwerfen . . . . .	136
6.2.1	Schweißbarkeit der Bauteile . . . . .	136
6.2.2	Stoß- und Nahtarten . . . . .	141

6.2.3	Gütesicherung . . . . .	146
6.2.4	Zeichnerische Darstellung von Schweißverbindungen nach DIN EN ISO 2553 . . . . .	147
6.2.5	Schweißgerechtes Gestalten . . . . .	153
6.3	Berechnung von Schweißkonstruktionen . . . . .	166
6.3.1	Schweißverbindungen im Stahlbau . . . . .	166
6.3.2	Berechnung der Schweißverbindungen im Maschinenbau . . . . .	184
6.3.3	Berechnung geschweißter Druckbehälter nach AD 2000-Regelwerk . . . . .	189
6.4	Berechnungsbeispiele . . . . .	195
	Literatur . . . . .	205
<b>7</b>	<b>Nietverbindungen</b> . . . . .	<b>209</b>
7.1	Allgemeines . . . . .	209
7.2	Die Niete . . . . .	210
7.2.1	Nietformen . . . . .	210
7.2.2	Nietwerkstoffe . . . . .	214
7.2.3	Bezeichnung der Niete . . . . .	215
7.3	Herstellung der Nietverbindungen . . . . .	215
7.3.1	Allgemeine Hinweise . . . . .	215
7.3.2	Warmnietung . . . . .	216
7.3.3	Kaltnietung . . . . .	217
7.4	Verbindungsarten, Schnittigkeit . . . . .	217
7.5	Nietverbindungen im Stahlbau . . . . .	218
7.5.1	Allgemeine Richtlinien . . . . .	218
7.5.2	Berechnung der Bauteile . . . . .	218
7.5.3	Berechnung der Niete und Nietverbindungen . . . . .	221
7.5.4	Gestaltung der Nietverbindungen . . . . .	226
7.6	Nietverbindungen im Aluminiumbau . . . . .	227
7.6.1	Allgemeines . . . . .	227
7.6.2	Aluminiumniete . . . . .	228
7.6.3	Werkstoffe . . . . .	228
7.6.4	Berechnung der Bauteile und Niete . . . . .	229
7.7	Nietverbindungen im Maschinen- und Gerätebau . . . . .	229
7.7.1	Anwendungsbeispiele . . . . .	229
7.7.2	Maßnahmen zur Erhöhung der Dauerfestigkeit . . . . .	230
7.7.3	Festigkeitsnachweise . . . . .	230
7.8	Stanzniet- und Clinchverbindungen . . . . .	232
7.8.1	Stanznieten . . . . .	232
7.8.2	Clinchen . . . . .	233
7.9	Berechnungsbeispiele . . . . .	236
	Literatur . . . . .	239
<b>8</b>	<b>Schraubenverbindungen</b> . . . . .	<b>241</b>
8.1	Funktion und Wirkung . . . . .	241
8.1.1	Aufgaben und Wirkprinzip . . . . .	241
8.1.2	Gewinde . . . . .	242
8.1.3	Schrauben- und Mutternarten . . . . .	244
8.1.4	Scheiben und Schraubensicherungen . . . . .	248
8.1.5	Herstellung, Werkstoffe und Festigkeiten der Schrauben und Muttern . . . . .	249
8.2	Gestalten und Entwerfen . . . . .	250
8.2.1	Gestaltung der Gewindeteile . . . . .	250
8.2.2	Gestaltung der Schraubenverbindungen . . . . .	250
8.2.3	Vorauslegung der Schraubenverbindung . . . . .	256

8.3	Berechnung von Befestigungsschrauben	258
8.3.1	Kraft- und Verformungsverhältnisse bei vorgespannten Schraubenverbindungen	258
8.3.2	Setzverhalten der Schraubenverbindungen	265
8.3.3	Dauerhaltbarkeit der Schraubenverbindungen, dynamische Sicherheit	266
8.3.4	Anziehen der Verbindung, Anziehdrehmoment	268
8.3.5	Montagevorspannkraft, Anziehungsfaktor und -verfahren	271
8.3.6	Beanspruchung der Schraube beim Anziehen	273
8.3.7	Einhaltung der maximal zulässigen Schraubenkraft, Berechnung der statischen Sicherheit	274
8.3.8	Flächenpressung an den Auflageflächen	275
8.3.9	Praktische Berechnung der Befestigungsschrauben im Maschinenbau	276
8.3.10	Lösen der Schraubenverbindung, Sicherungsmaßnahmen	277
8.4	Schraubenverbindungen im Stahlbau	279
8.4.1	Anwendung	279
8.4.2	Schraubenarten	279
8.4.3	Geschraubte Anschlüsse	280
8.4.4	Moment(schub)belastete Anschlüsse	284
8.4.5	Konsolanschlüsse	286
8.5	Bewegungsschrauben	287
8.5.1	Entwurf	287
8.5.2	Nachprüfung auf Festigkeit	288
8.5.3	Nachprüfung auf Knickung	290
8.5.4	Nachprüfung des Muttergewindes (Führungsgewinde)	291
8.5.5	Wirkungsgrad der Bewegungsschrauben, Selbsthemmung	292
8.6	Berechnungsbeispiele	292
	Literatur	303
<b>9</b>	<b>Bolzen-, Stiftverbindungen und Sicherungselemente</b>	<b>305</b>
9.1	Funktion und Wirkung	305
9.2	Bolzen	305
9.2.1	Formen und Verwendung	305
9.2.2	Gestalten und Entwerfen der Bolzenverbindungen im Maschinenbau	306
9.2.3	Berechnen der Bolzenverbindungen im Maschinenbau	308
9.2.4	Gestalten und Entwerfen von Bolzenverbindungen im Stahlbau	310
9.2.5	Bemessung für massive Rundbolzen nach DIN EN 1993-1-8	312
9.3	Stifte und Spannbuchsen	314
9.3.1	Formen und Verwendung	314
9.3.2	Berechnung der Stiftverbindungen	318
9.4	Sicherungselemente	320
9.4.1	Sicherungsringe (Haltringe)	320
9.4.2	Splinte und Federstecker	323
9.4.3	Achshalter	323
9.5	Gestaltungs- und Anwendungsbeispiele	324
9.6	Berechnungsbeispiele	330
	Literatur	336
<b>10</b>	<b>Federn</b>	<b>337</b>
10.1	Funktion und Wirkung	337
10.1.1	Federrate, Federkennlinie	338
10.1.2	Federungsarbeit	339
10.1.3	Schwingungsverhalten und Dämpfung	341
10.1.4	Federarten	342

10.1.5	Federwerkstoffe	343
10.1.6	Auswahl und Optimierung von Federn	343
10.2	Zug- und druckbeanspruchte Federn	344
10.2.1	Zugstäbe	344
10.2.2	Ringfedern	344
10.3	Biegebeanspruchte Federn	345
10.3.1	Einfache Blattfedern	345
10.3.2	Geschichtete Blattfedern	347
10.3.3	Drehfedern	348
10.3.4	Spiralfedern	350
10.3.5	Tellerfedern	351
10.4	Torsionsbeanspruchte Federn aus Metall	359
10.4.1	Drehstabfedern	359
10.4.2	Zylindrische Schraubenfedern mit Kreisquerschnitt	361
10.4.3	Zylindrische Schraubenfedern mit Rechteckquerschnitt	369
10.4.4	Kegelige Schraubendruckfedern	370
10.5	Federn aus Gummi	370
10.5.1	Eigenschaften von Gummi	370
10.5.2	Ausführung, Anwendung	371
10.6	Berechnungsbeispiele	374
	Literatur	382
<b>11</b>	<b>Achsen, Wellen und Zapfen</b>	<b>383</b>
11.1	Funktion und Wirkung	383
11.2	Gestalten und Entwerfen	384
11.2.1	Gestaltungsgrundsätze	384
11.2.2	Entwurfsberechnung	387
11.3	Kontrollberechnungen	401
11.3.1	Festigkeitsnachweis	401
11.3.2	Elastisches Verhalten	401
11.3.3	Kritische Drehzahl	406
11.4	Berechnungsbeispiele	410
	Literatur	418
<b>12</b>	<b>Elemente zum Verbinden von Wellen und Naben</b>	<b>419</b>
12.1	Funktion und Wirkung	419
12.2	Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	419
12.2.1	Pass- und Scheibenfederverbindungen	419
12.2.2	Keil- und Zahnwellenverbindungen	424
12.2.3	Polygonverbindungen	426
12.2.4	Stirnzahnverbindungen	428
12.2.5	Stiftverbindungen	428
12.3	Kraftschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	429
12.3.1	Zylindrische Pressverbände	429
12.3.2	Kegelpressverbände	438
12.3.3	Spannelement-Verbindungen	442
12.3.4	Klemmverbindung	448
12.3.5	Keilverbindungen	451
12.4	Stoffschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	453
12.5	Berechnungsbeispiele	453
	Literatur	462

<b>13</b>	<b>Kupplungen und Bremsen</b> . . . . .	463
13.1	Funktion und Wirkung von Kupplungen . . . . .	463
13.2	Berechnungsgrundlagen zur Kupplungsauswahl . . . . .	464
13.2.1	Anlaufdrehmoment, zu übertragendes Kupplungsmoment . . . . .	464
13.2.2	Beschleunigungsdrehmoment, Trägheitsmoment . . . . .	466
13.2.3	Betriebsverhalten von Antriebs- und Arbeitsmaschinen . . . . .	468
13.2.4	Kupplungsdrehmoment . . . . .	469
13.2.5	Auslegung nachgiebiger Wellenkupplungen . . . . .	472
13.2.6	Auslegung von schaltbaren Reibkupplungen . . . . .	476
13.3	Nicht schaltbare Kupplungen . . . . .	479
13.3.1	Starre Kupplungen . . . . .	479
13.3.2	Nachgiebige Kupplungen (Ausgleichskupplungen) . . . . .	480
13.4	Schaltbare Kupplungen . . . . .	491
13.4.1	Fremdbetätigte Kupplungen (Schaltkupplungen) . . . . .	492
13.4.2	Momentbetätigte Kupplungen (Sicherheitskupplungen) . . . . .	501
13.4.3	Drehzahlbetätigte Kupplungen (Fliehkraftkupplungen) . . . . .	504
13.4.4	Richtungsbetätigte Kupplungen (Freilaufkupplungen) . . . . .	504
13.4.5	Induktionskupplungen . . . . .	507
13.4.6	Hydrodynamische Kupplungen . . . . .	509
13.5	Hinweise für Einsatz und Auswahl von Kupplungen . . . . .	511
13.6	Bremsen . . . . .	515
13.6.1	Funktion und Wirkung . . . . .	515
13.6.2	Berechnung . . . . .	515
13.6.3	Bauformen . . . . .	516
13.7	Berechnungsbeispiele . . . . .	520
	Literatur . . . . .	532
<b>14</b>	<b>Wälzlager und Wälzlagerungen</b> . . . . .	535
14.1	Funktion und Wirkung . . . . .	535
14.1.1	Aufgaben und Wirkprinzip . . . . .	535
14.1.2	Einteilung der Lager . . . . .	536
14.1.3	Richtlinien zur Anwendung von Wälzlagern . . . . .	536
14.1.4	Ordnung der Wälzlager . . . . .	537
14.2	Gestalten und Entwerfen von Wälzlagerungen . . . . .	547
14.2.1	Lageranordnung . . . . .	547
14.2.2	Lagerauswahl . . . . .	550
14.2.3	Gestaltung der Lagerungen . . . . .	550
14.2.4	Schmierung der Wälzlager . . . . .	555
14.2.5	Lagerabdichtungen . . . . .	558
14.2.6	Vorauswahl der Lagergröße . . . . .	559
14.3	Berechnung der Wälzlager . . . . .	560
14.3.1	Statische Tragfähigkeit . . . . .	560
14.3.2	Dynamische Tragfähigkeit . . . . .	561
14.3.3	Minderung der Lagertragzahlen $C$ und $C_0$ . . . . .	565
14.3.4	Erreichbare Lebensdauer – modifizierte Lebensdauerberechnung . . . . .	566
14.3.5	Gebrauchsdauer . . . . .	567
14.3.6	Höchst Drehzahlen . . . . .	567
14.4	Gestaltungsbeispiele für Wälzlagerungen . . . . .	568
14.5	Wälzgelagerte Bauelemente . . . . .	571

14.6	Lineare Wälzführungen . . . . .	574
14.6.1	Funktion und Eigenschaften . . . . .	574
14.6.2	Tragfähigkeit und nominelle Lebensdauer . . . . .	577
14.6.3	Auswahl von Führungen, Linearsysteme . . . . .	578
14.7	Berechnungsbeispiele . . . . .	580
	Literatur . . . . .	589
<b>15</b>	<b>Gleitlager</b> . . . . .	<b>591</b>
15.1	Funktion und Wirkung . . . . .	591
15.1.1	Wirkprinzip . . . . .	591
15.1.2	Anordnung der Gleitflächen . . . . .	591
15.1.3	Reibung und Schmierstoffeinflüsse . . . . .	592
15.1.4	Hydrodynamische Schmierung . . . . .	594
15.2	Anwendung . . . . .	597
15.3	Gestalten und Entwerfen . . . . .	598
15.3.1	Gleitlagerwerkstoffe . . . . .	598
15.3.2	Gestaltungs- und Betriebseinflüsse . . . . .	602
15.3.3	Schmierstoffversorgung der Gleitlager . . . . .	605
15.3.4	Gestaltung der Radial-Gleitlager . . . . .	609
15.3.5	Gestaltung der Axial-Gleitlager . . . . .	615
15.3.6	Lagerdichtungen . . . . .	620
15.4	Berechnungsgrundlagen . . . . .	621
15.4.1	Berechnung der Radialgleitlager . . . . .	621
15.4.2	Berechnung der Axialgleitlager . . . . .	632
15.5	Berechnungsbeispiele . . . . .	639
	Literatur . . . . .	647
<b>16</b>	<b>Riemengetriebe</b> . . . . .	<b>649</b>
16.1	Funktion und Wirkung . . . . .	649
16.1.1	Aufgaben und Wirkprinzip . . . . .	649
16.1.2	Riemenaufbau und Riemenwerkstoffe . . . . .	649
16.2	Gestalten und Entwerfen . . . . .	653
16.2.1	Bauarten und Verwendung . . . . .	653
16.2.2	Ausführung der Riemengetriebe . . . . .	657
16.3	Auslegung der Riemengetriebe . . . . .	660
16.3.1	Theoretische Grundlagen zur Berechnung der Riemengetriebe . . . . .	660
16.3.2	Praktische Berechnung der Riemengetriebe . . . . .	666
16.4	Berechnungsbeispiele . . . . .	675
	Literatur . . . . .	682
<b>17</b>	<b>Kettengetriebe</b> . . . . .	<b>683</b>
17.1	Funktion und Wirkung . . . . .	683
17.1.1	Aufgaben und Einsatz . . . . .	683
17.1.2	Kettenarten, Ausführung und Anwendung . . . . .	683
17.1.3	Kettenräder . . . . .	687
17.1.4	Verbindungsglieder für Rollenketten . . . . .	688
17.1.5	Mechanik der Kettengetriebe . . . . .	688
17.2	Gestalten und Entwerfen von Rollenkettengetrieben . . . . .	689
17.2.1	Verzahnungsangaben . . . . .	690
17.2.2	Festlegen der Zähnezahlen für die Kettenräder . . . . .	691
17.2.3	Gestalten der Kettenräder . . . . .	692
17.2.4	Kettenauswahl . . . . .	693



17.2.5	Gliederzahl, Achsabstand . . . . .	694
17.2.6	Anordnung der Kettengetriebe . . . . .	695
17.2.7	Durchhang des Kettentums . . . . .	696
17.2.8	Hilfseinrichtungen . . . . .	696
17.2.9	Schmierung und Wartung der Kettengetriebe . . . . .	696
17.3	Berechnung der Kräfte am Kettengetriebe . . . . .	698
17.4	Berechnungsbeispiel . . . . .	700
	Literatur . . . . .	703
<b>18</b>	<b>Elemente zur Führung von Fluiden (Rohrleitungen)</b> . . . . .	<b>705</b>
18.1	Funktionen, Wirkungen und Einsatz . . . . .	705
18.2	Bauformen . . . . .	705
18.2.1	Rohre . . . . .	705
18.2.2	Schläuche . . . . .	707
18.2.3	Formstücke . . . . .	708
18.2.4	Armaturen . . . . .	708
18.3	Gestalten und Entwerfen . . . . .	712
18.3.1	Vorschriften, Begriffe und Definitionen . . . . .	712
18.3.2	Rohrverbindungen . . . . .	714
18.3.3	Dehnungsausgleicher . . . . .	718
18.3.4	Rohrhalterungen . . . . .	719
18.3.5	Gestaltungsrichtlinien für Rohrleitungsanlagen . . . . .	721
18.3.6	Darstellung der Rohrleitungen . . . . .	721
18.4	Berechnungsgrundlagen . . . . .	722
18.4.1	Rohrquerschnitt und Druckverlust . . . . .	722
18.4.2	Berechnung der Wanddicke gegen Innendruck . . . . .	724
18.5	Berechnungsbeispiele . . . . .	729
	Literatur . . . . .	733
<b>19</b>	<b>Dichtungen</b> . . . . .	<b>735</b>
19.1	Funktion und Wirkung . . . . .	735
19.2	Berührungsdichtungen zwischen ruhenden Bauteilen (Statische Dichtungen) . . . . .	737
19.2.1	Unlösbare Berührungsdichtungen . . . . .	737
19.2.2	Lösbare Dichtungen . . . . .	738
19.3	Berührungsdichtungen zwischen relativ bewegten Bauteilen (Dynamische Dichtungen) . . . . .	745
19.3.1	Dichtungen für Drehbewegungen . . . . .	745
19.3.2	Dichtungen für Längsbewegung ohne oder mit Drehbewegung . . . . .	750
19.4	Berührungsfreie Dichtungen zwischen relativ bewegten Bauteilen . . . . .	753
	Literatur . . . . .	755
<b>20</b>	<b>Zahnräder und Zahnradgetriebe (Grundlagen)</b> . . . . .	<b>757</b>
20.1	Funktion und Wirkung . . . . .	757
20.1.1	Zahnräder und Getriebearten . . . . .	757
20.1.2	Verzahnungsgesetz . . . . .	761
20.1.3	Flankenprofile und Verzahnungsarten . . . . .	763
20.1.4	Bezugsprofil, Herstellung der Evolventenverzahnung . . . . .	768
20.2	Zahnradwerkstoffe . . . . .	770
20.3	Schmierung der Zahnradgetriebe . . . . .	772
20.4	Getriebewirkungsgrad . . . . .	774
20.5	Konstruktionshinweise für Zahnräder und Getriebegehäuse . . . . .	775
20.5.1	Gestaltungsvorschläge . . . . .	775
20.5.2	Darstellung, Maßeintragung . . . . .	780
	Literatur . . . . .	781

<b>21</b>	<b>Stirnräder mit Evolventenverzahnung</b>	783
21.1	Geometrie der Stirnräder	783
21.1.1	Begriffe und Bestimmungsgrößen	783
21.1.2	Verzahnungsmaße der Nullräder	785
21.1.3	Eingriffsstrecke, Profilüberdeckung	787
21.1.4	Profilverschiebung (Geradverzahnung)	788
21.1.5	Evolventenfunktion und ihre Anwendung bei $V$ -Getrieben	795
21.1.6	Berechnungsbeispiele (Geometrie der Geradverzahnung)	798
21.2	Geometrie der Schrägstirnräder mit Evolventenverzahnung	801
21.2.1	Grundformen, Schrägungswinkel	801
21.2.2	Verzahnungsmaße	802
21.2.3	Eingriffsverhältnisse, Gesamtüberdeckung	804
21.2.4	Profilverschiebung (Schrägverzahnung)	805
21.2.5	Berechnungsbeispiele (Geometrie der Schrägverzahnung)	808
21.3	Toleranzen, Verzahnungsqualität	810
21.3.1	Flankenspiele und Zahndickenabmaße	810
21.3.2	Prüfmaße für die Zahndicke	811
21.3.3	Berechnungsbeispiele (Toleranzen, Verzahnungsqualität)	813
21.4	Entwurfsberechnung (Außenverzahnung)	815
21.4.1	Vorwahl der Hauptabmessungen	815
21.4.2	Vorgehensweise zur Ermittlung der Verzahnungsgeometrie	818
21.5	Tragfähigkeitsnachweis für Außenradpaare	820
21.5.1	Schadensmöglichkeiten an Zahnradern	820
21.5.2	Kraftverhältnisse	821
21.5.3	Belastungseinflussfaktoren	823
21.5.4	Nachweis der Zahnfußtragfähigkeit	827
21.5.5	Nachweis der Grübchentrugfähigkeit	830
21.5.6	Berechnungsbeispiele (Tragfähigkeitsnachweis)	833
<b>22</b>	<b>Kegelräder und Kegelradgetriebe</b>	839
22.1	Grundformen, Funktion und Verwendung	839
22.2	Geometrie der Kegelräder	840
22.2.1	Geradverzahnte Kegelräder	840
22.2.2	Schrägverzahnte Kegelräder	845
22.3	Entwurfsberechnung	848
22.4	Tragfähigkeitsnachweis	851
22.4.1	Kraftverhältnisse	851
22.4.2	Nachweis der Zahnfußtragfähigkeit	853
22.4.3	Nachweis der Grübchentrugfähigkeit	854
22.5	Berechnungsbeispiele für Kegelradgetriebe	855
<b>23</b>	<b>Schraubrad- und Schneckengetriebe</b>	863
23.1	Schraubradgetriebe	863
23.1.1	Funktion und Wirkung	863
23.1.2	Geometrische Beziehungen	863
23.1.3	Eingriffsverhältnisse	865
23.1.4	Kraftverhältnisse (Null-Verzahnung)	865
23.1.5	Berechnung der Getriebeabmessungen (Null-Verzahnung)	867
23.2	Schneckengetriebe	868
23.2.1	Funktion und Wirkung	868
23.2.2	Geometrische Beziehungen bei Zylinderschneckengetrieben mit $\Sigma \approx 90^\circ$ Achsenwinkel	870

23.2.3	Eingriffsverhältnisse . . . . .	873
23.2.4	Kraftverhältnisse . . . . .	874
23.2.5	Entwurfsberechnung für Schneckengetriebe . . . . .	875
23.2.6	Tragfähigkeitsnachweis . . . . .	877
23.2.7	Berechnungsbeispiele . . . . .	882
	Literatur . . . . .	888
<b>24</b>	<b>Umlaufgetriebe</b> . . . . .	<b>889</b>
24.1	Funktion und Wirkung . . . . .	889
24.1.1	Vergleich von Stand- und Umlaufgetrieben . . . . .	891
24.1.2	Das Umlaufgetriebeprinzip . . . . .	891
24.1.3	Symbolische Darstellung der Umlaufgetriebe nach WOLF . . . . .	892
24.2	Berechnung von Umlaufgetrieben . . . . .	893
24.2.1	Standübersetzung und Standwirkungsgrad . . . . .	893
24.2.2	Grafischer Drehzahlplan nach KUTZBACH . . . . .	894
24.2.3	Drehzahlen und Umlaufübersetzungen . . . . .	895
24.2.4	Drehmomente . . . . .	897
24.2.5	Leistungen . . . . .	899
24.2.6	Leistungsflüsse . . . . .	900
24.2.7	Umlaufwirkungsgrade . . . . .	902
24.2.8	Selbsthemmung und Selbstbremsung . . . . .	903
24.3	Gestalten und Entwerfen . . . . .	904
24.3.1	Belastungsausgleich, Lastverteilung und Zentrierung . . . . .	904
24.3.2	Einbaubedingungen (Einfach-, Doppel- und Stufenplanet) . . . . .	905
24.3.3	Zusammengesetzte Umlaufgetriebe . . . . .	906
24.3.4	Prinzipielle Vorgehensweise bei der Getriebekonstruktion . . . . .	908
24.4	Berechnungsbeispiele . . . . .	909
	Literatur . . . . .	912
	<b>Sachwortverzeichnis</b> . . . . .	<b>915</b>