

Decker

# Maschinenelemente

Funktion, Gestaltung und Berechnung

Bearbeitet von Karlheinz Kabus

15., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

Mit 791 Bildern, 175 Berechnungsbeispielen  
und einem Tabellenband mit 325 Tabellen  
und Diagrammen  
sowie Berechnungssoftware auf CD-ROM,  
erstellt von  
Bettina Baumgart, Bernd Kretschmer  
und Dr. Peter Möhler

HANSER

*l-Z".G*

# Inhaltsverzeichnis

## Grundlagen

<b>1 Konstruktionstechnik</b>	.13
1.1 Normen und Richtlinien	.13
1.2 Methodisches Konstruieren	.14
1.3 Datenverarbeitung in der Konstruktion	.17
1.4 Festigkeitsberechnung	.24
<b>2 Maße, Toleranzen und Passungen</b>	.39
2.1 Normzahlen und Normmaße	.39
2.2 Maße, Abmaße und Toleranzen	.40
2.3 ISO-Toleranzsystem	.41
2.4 Passungsarten und Passungssysteme	.44
2.5 Passungsauswahl	.47
<b>3 Gestaltabweichungen der Oberflächen</b>	.50
3.1 Form- und Lagetoleranzen	.51
3.2 Rauheit der Oberflächen	.52

## Nichtlösbare Verbindungen

<b>4 Schmelzschweißverbindungen</b>	.55
4.1 Verfahren	.55
4.2 Werkstoffe, Schweißzusätze, Schweißpositionen	.58
4.3 Nahtarten und -formen, Gütesicherung	.61
4.4 Gestaltung	.66
4.5 Berechnung der Spannungen in Schweißnähten	.68
4.6 Schweißverbindungen im Maschinen- und Gerätebau	.79
4.7 Schweißverbindungen im Stahlbau und Kranbau	.84
4.8 Schweißverbindungen im Stahlbau mit Hohlprofilen	.98
4.9 Schweißverbindungen im Druckbehälter- und Kesselbau	.104
<b>5 Pressschweißverbindungen</b>	.115
5.1 Verfahren, Werkstoffe	.115
5.2 Punktschweißverbindungen	.119
5.3 Buckelschweißverbindungen	.124
5.4 Abbrenn-Stumpfschweißverbindungen	.126
5.5 Schweißen von Kunststoffen	.127
<b>6 Lötverbindungen</b>	.130
6.1 Verfahren, Lote	.130
6.2 Gestaltung von Lötverbindungen	.135
6.3 Berechnung von Lötverbindungen	.137
<b>7 Klebverbindungen</b>	.140
7.1 Klebstoffe, Verfahren	.140
7.2 Gestaltung und Festigkeit der Klebverbindungen	.142
7.3 Berechnung von Klebverbindungen	.146
<b>8 Nietverbindungen</b>	.151
8.1 Nietformen, Werkstoffe, Herstellung der Verbindungen	.151
8.2 Berechnung von Nietverbindungen	.153
8.3 Nietverbindungen im Maschinen- und Gerätebau	.157
8.4 Nietverbindungen im Stahlbau und Kranbau	.160
8.5 Nietverbindungen im Leichtmetallbau	.165

<b>Pressverbände</b>	<i>f</i>	170
9.1 Fügevorgang und Gestaltung		170
9.2 Grundlagen der Berechnung zylindrischer Pressverbände		172
9.3 Berechnung bei rein elastischer Beanspruchung		176
9.4 Berechnung bei elastisch-plastischer Beanspruchung		185
9.5 Einpresskraft und Füge Temperaturen		188

Lösbare Verbindungen

<b>10 Befestigungsschrauben</b>		190
10.1 Gewinde		190
10.2 Werkstoffe		192
10.3 Korrosionsschutz		195
10.4 Ausführung von Schrauben und Muttern		195
10.5 Herstellung der Schrauben und Muttern		200
10.6 Unterlegscheiben, Sicherungen		200
10.7 Verbindungsarten, Berechnungsgrundlagen		204
10.8 Kraftfluss, Kerbwirkungen, Gestaltung		205
10.9 Anziehverfahren		207
10.10 Schraubenanziehmoment, Schraubenbeanspruchung beim Anziehen, Anziehfaktor		209
10.11 Nachgiebigkeit von Schraube und Bauteilen		212
10.12 Bleibende Verformung durch Setzen		215
10.13 Wirkungen in vorgespannten Schraubenverbindungen durch eine Betriebslängskraft		216
10.14 Haltbarkeit der Schraubenverbindungen		222
10.15 Systematische Berechnung längsbeanspruchter Schraubenverbindungen		223
10.16 Überslagsberechnung		227
10.17 Gestaltung und Berechnung querbeanspruchter Schraubenverbindungen		228
10.18 Schraubenverbindungen im Stahlbau		231
<b>11 Bewegungsschrauben</b>		235
11.1 Bauformen		235
11.2 Gewinde, Werkstoffe		235
11.3 Kräfte, Reibung, Wirkungsgrad, Selbsthemmung		236
11.4 Berechnung der Haltbarkeit und der Stabilität		239
11.5 Kugelgewindetrieb		240
<b>12 Welle-Nabe-Verbindungen</b>		243
12.1 Längskeilverbindungen		243
12.2 Passfederverbindungen		246
12.3 Keilwellenverbindungen		249
12.4 Zahnwellenverbindungen		251
12.5 Polygonwellenverbindungen		253
12.6 Kegelverbindungen		254
12.7 Spannelementverbindungen		257
12.8 Klemmverbindungen		263
12.9 Stirnzahnverbindungen		265
<b>13 Stift- und Bolzenverbindungen</b>		267
13.1 Stifte		267
13.2 Bolzen		269
13.3 Festigkeitsberechnung		270
<b>14 Federn</b>		276
14.1 Kennlinien, Federarbeit		276
14.2 Schwingverhalten		277
14.3 Zusammenwirken mehrerer Federn		279
14.4 Werkstoffe, Halbzeuge		280
14.5 Zylindrische Schraubenfedern aus runden Drähten oder Stäben		281
14.6 Tellerfedern als Druckfeder		293
14.7 Gewundene Schenkelfedern als Drehfedern		301
14.8 Stabfedern als Drehfedern		307
14.9 Spiralfedern als Drehfedern		310

14.10	Blattfedern als Biegefedern	312
14.11	Weitere Metallfedern	317
14.12	Gummifedern	321

## Drehbewegungselemente

<b>15</b>	<b>Achsen und Wellen</b>	325
15.1	Werkstoffe, Gestaltung	326
15.2	Biegemomente, Längskräfte und Torsionsmomente	328
15.3	Überschlagsberechnung auf Torsion und auf Biegung	331
15.4	Achsen und Wellen gleicher Biegebeanspruchung	332
15.5	Berechnung auf Gestaltfestigkeit (Dauerhaltbarkeit)	334
15.6	Durchbiegung	342
15.7	Verdrehwinkel	348
15.8	Kritische Drehzahlen	349
<b>16</b>	<b>Reibung und Schmierstoffe</b>	353
16.1	Reibung	353
16.2	Schmierstoffe (Übersicht)	354
16.3	Schmieröle	355
16.4	Schmierfette	357
16.5	Festschmierstoffe	359
<b>17</b>	<b>Gleitlager</b>	360
17.1	Hydrostatisch und hydrodynamisch geschmierte Gleitlager, Mehrflächenlager, Grenzschichtschmierung	360
17.2	Schmierstoffzufuhr, Schmiersysteme	364
17.3	Abweichungen von der Lagergeometrie	368
17.4	Gleitwerkstoffe	369
17.5	Wärmewirkungen, Kühlung	373
17.6	Gestaltung der Radiallager	375
17.7	Berechnung der Radiallager	380
17.8	Kunststoff-Gleitlager	393
17.9	Verbundlager mit Kunststoff-Laufsicht	399
17.10	Radiallager überwiegend mit Festschmierstoffen	399
17.11	Gestaltung der Axiallager	402
17.12	Berechnung der Axiallager	405
<b>18</b>	<b>Wälzlager</b>	411
18.1	Aufbau, Kennzeichen	411
18.2	Belastungsmöglichkeiten, Einbaurichtlinien	415
18.3	Besondere Ausführungen von Wälzlagern	421
18.4	Tragfähigkeit und Lebensdauer	423
18.5	Belastung von Kegelrollen- und Schrägkugellagern	428
18.6	Besondere Belastungsfälle	431
18.7	Grenzdrehzahl	432
18.8	Schmierung der Wälzlager	433
<b>19</b>	<b>Lager- und Wellendichtungen</b>	436
19.1	Schleifende Dichtungen	436
19.2	Berührungsfreie Dichtungen	440
<b>20</b>	<b>Wellenkupplungen und -bremsen</b>	443
20.1	Systematische Einteilung der Wellenkupplungen	443
20.2	Starre Kupplungen	443
20.3	Formschlüssig nachgiebige, jedoch drehsteife Wellenkupplungen als Ausgleichskupplungen	445
20.4	Formschlüssig nachgiebige, drehelastische Wellenkupplungen	451
20.5	Schlupfkupplungen als kraftschlüssig drehnachgiebige Kupplungen	461
20.6	Formschlüssige Schaltkupplungen	462
20.7	Reibkupplungen als kraftschlüssige Schaltkupplungen	464
20.8	Fliehkraftkupplungen als drehzahlbestätigte Kupplungen	474

20.9	Momentbetätigte Kupplungen als Sicherheitskupplungen . . . . . *	475
20.10	Richtungsbetätigte Kupplungen als Freilaufkupplungen . . . . .	476
20.11	Bremsen . . . . .	479

## Zahnräder

<b>21</b>	<b>Grundlagen für Zahnräder und Getriebe . . . . .</b>	<b>483</b>
21.1	Rad- und Getriebearten . . . . .	483
21.2	Verzahnungsgesetz . . . . .	486
21.3	Zykloidenverzahnung . . . . .	490
21.4	Evolventenverzahnung . . . . .	492
<b>22</b>	<b>Abmessungen und Geometrie der Stirn- und Kegelräder . . . . .</b>	<b>496</b>
22.1	Null-Außenverzahnung . . . . .	496
22.2	Planverzahnung, Bezugsprofil . . . . .	498
22.3	Null-Innenverzahnung . . . . .	498
22.4	Null-Schrägverzahnung . . . . .	500
22.5	Profilverschiebung . . . . .	503
22.6	Geometrische Grenzen . . . . .	508
22.7	Profilüberdeckung . . . . .	511
22.8	Geradverzahnte Kegelräder . . . . .	513
22.9	Schräg- und bogenverzahnte Kegelräder . . . . .	519
<b>23</b>	<b>Gestaltung und Tragfähigkeit der Stirn- und Kegelräder . . . . .</b>	<b>523</b>
23.1	Zahnkräfte an Stirnrädern . . . . .	523
23.2	Zahnkräfte an Kegelrädern . . . . .	525
23.3	Reibung, Wirkungsgrad, Übersetzungen . . . . .	529
23.4	Gestaltung der Räder aus Stahl und aus Gusseisen . . . . .	532
23.5	Gestaltung der Räder aus Kunststoffen . . . . .	536
23.6	Verzahnpasssysteme, Verzahnungsqualität . . . . .	539
23.7	Schmierung, Schmierstoffe . . . . .	541
23.8	Begriffe der Tragfähigkeit . . . . .	544
23.9	Allgemeine Einflussfaktoren . . . . .	545
23.10	Zahnfußtragfähigkeit der Stirnräder . . . . .	549
23.11	Grübenchentragfähigkeit der Stirnräder . . . . .	551
23.12	Zahnfußtragfähigkeit der Kegelräder . . . . .	553
23.13	Grübenchentragfähigkeit der Kegelräder . . . . .	555
23.14	Berechnung der Räder aus thermoplastischen Kunststoffen auf Tragfähigkeit und Verformung . . . . .	557
23.15	Laufgeräusche, Ausführung von Getrieben . . . . .	561
<b>24</b>	<b>Zahnradpaare mit sich kreuzenden Achsen . . . . .</b>	<b>565</b>
24.1	Eingriffsverhältnisse von Schraub-Stirnradpaaren . . . . .	565
24.2	Zahnkräfte und Wirkungsgrad an Schraub-Stirnradpaaren . . . . .	566
24.3	Tragfähigkeit von Schraub-Stirnradpaaren, Schmierung . . . . .	569
24.4	Hyperboloid- und Hypoid-Schraubradpaare . . . . .	570
24.5	Geometrie der Schneckenradsätze . . . . .	571
24.6	Zahnradkräfte und Wirkungsgrad an Schneckenradsätzen . . . . .	577
24.7	Gestaltung der Schnecken und Schneckenräder . . . . .	579
24.8	Schmierung und Verzahnungsqualität von Schneckenradsätzen . . . . .	581
24.9	Tragfähigkeit von Schneckenradsätzen . . . . .	582
24.10	Ausführung von Schneckenradgetrieben . . . . .	583

## Hülltriebe

<b>25</b>	<b>Kettentriebe . . . . .</b>	<b>585</b>
25.1	Anordnung von Kettentrieben . . . . .	585
25.2	Kettenarten, Endverbindung . . . . .	587
25.3	Kettenräder . . . . .	590
25.4	Spann- und Führungseinrichtungen . . . . .	593
25.5	Auswahl von Rollenketten und deren Berechnung . . . . .	595
25.6	Schmierung der Kettentriebe . . . . .	599

<b>26 Flachriementriebe</b>	601
26.1 Theoretische Grundlage für Riementriebe	601
26.2 Vorspannmöglichkeiten, Triebarten	604
26.3 Riemenwerkstoffe, Endverbindung	606
26.4 Riemenscheiben	608
26.5 Geometrie der Flachriementriebe	610
26.6 Übersetzung, Riemengeschwindigkeit, Biegefrequenz	612
26.7 Berechnung der Antriebe mit Leder- und Geweberiemen	613
26.8 Berechnung von Antrieben mit Mehrschichtriemen	617
26.9 Spannrolltrieb	621
<b>27 Keilriementriebe</b>	623
27.1 Wirkungsweise, Ausführung genormter Keilriemen	623
27.2 Keilriemenscheiben	626
27.3 Berechnung der Antriebe mit Keilriemen und Keilrippenriemen	628
27.4 Weitere Ausführungen von Keilriemen und Keilriementrieben	634
<b>28 Synchron- oder Zahnriementriebe</b>	637
28.1 Ausführung der Synchron- oder Zahnriemen und -Scheiben	638
28.2 Übersetzung und Geometrie der Synchronriementriebe	640
28.3 Berechnung von Antrieben mit Synchron- oder Zahnriemen	641

### Führungselemente für Flüssigkeiten und Gase

<b>29 Rohrleitungen</b>	646
29.1 Grundlagen	646
29.2 Rohrarten	647
29.3 Rohrformstücke	650
29.4 Rohrverbindungen	652
29.5 Dehnungsausgleicher	657
29.6 Rohrhalterungen	660
29.7 Darstellung von Rohrleitungen	662
29.8 Berechnung von Rohrleitungen	663
<b>30 Armaturen</b>	671
30.1 Allgemeines	671
30.2 Ventile	672
30.3 Schieber	674
30.4 Hähne	676
30.5 Klappen	677
30.6 Armaturenantriebe	677
Literaturhinweise	679
Verzeichnis der zitierten und auszugsweise wiedergegebenen Normen, Richtlinien und Merkblätter	687
Sachwortverzeichnis	695

Decker

# Maschinenelemente

Tabellen und Diagramme

Bearbeitet von Karlheinz Kabus

15., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

HANSER

# Inhaltsverzeichnis

## 1 Konstruktionstechnik

Tab. 1.1	Gegenüberstellung der alten und der neuen Kurznamen für einige wichtige Stähle (Auszug aus DIN- und DIN EN-Normen)	9
Tab. 1.2	Mindest-Festigkeitswerte in $N/mm^2$ der Stahlsorten nach DIN EN 10025 für warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen (Auszug, gültig für alle Gütegruppen)	9
Tab. 1.3	Gegenüberstellung der alten und der neuen Werkstoffbezeichnungen für Gusseisen und Temporguss (Auszug aus DIN- und DIN EN-Normen)	10
Tab. 1.4	Gegenüberstellung der alten und der neuen Werkstoffbezeichnungen für einige Leichtmetall-Legierungen (Auszug aus DIN- und DIN EN-Normen)	10
Tab. 1.5	Streckgrenzen $R_e$ bzw. 0,2%-Dehngrenzen und Zugfestigkeiten $R_m$ (bei Grauguss) in $N/mm$ von Eisenwerkstoffen (Auszug aus DIN- und DIN EN-Normen)	11
Tab. 1.6	0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ in $N/mm^2$ verschiedener Leichtmetalllegierungen (Auszug aus DIN- und DIN EN-Normen)	12
Tab. 1.7	Werkstoffbezeichnungen und 0,2%-Dehngrenze $R_{p0,2}$ verschiedener Kupfer-Gusslegierungen (Auszug aus DIN- und DIN EN-Normen)	13
Tab. 1.8	Festigkeitskennwerte in $N/mm^2$ für einige Stahlwerkstoffe (auszugsweise nach [12])	14
Tab. 1.9	Festigkeitskennwerte von Stahl und Gusseisen (Grauguss) für ruhende Beanspruchung	14
Tab. 1.10	Anhaltswerte für die Querschnittsformzahl $f_q$ bei ruhender Biegebeanspruchung	15
Tab. 1.11	Biegebeanspruchte Träger	15
Tab. 1.12	Axiale Flächen- und Widerstandsmomente einiger Querschnittsflächen	16
Tab. 1.13	Formzahlen (weitere siehe die Tabn. 15.3 bis 15.5)	17
Tab. 1.14	Dynamische Stützziffer $n_{\%}$ in Abhängigkeit vom bezogenen Spannungsgefälle $\%$ und von der Streckgrenze oder der Zugfestigkeit (aus VDI 2226)	18
Tab. 1.15	Größenbeiwert $b_g$ für Stähle bei schwingender Beanspruchung (Anhaltswerte)	18
Tab. 1.16	Anhaltswerte für erforderliche Sicherheiten $S_{p\sigma}$ gegen Fließen und $S_{\sigma}$ gegen Bruch in Abhängigkeit vom Lastfall	19
Tab. 1.17	Anhaltswerte für erforderliche Sicherheiten $S_{Derr}$ gegen Dauerbruch	19
Diagr. 1.1	Zug-Druck-Dauerfestigkeit von Baustählen nach DIN EN 10025 (bis 40 mm Dicke)	19
Diagr. 1.2	Dauerfestigkeitsschaubilder von E295 (St 50-2 bis 40 mm Dicke) für Biegung, Zug-Druck und Torsion	19

## 2 Maße, Toleranzen und Passungen

Tab. 2.1	Normzahlen nach DIN 323 (Auszug)	20
Tab. 2.2	ISO-Grundtoleranzen in $\mu m$ (Auszug aus DIN ISO 286-1)	20
Tab. 2.3	Obere Abmaße $es = A_{oW}$ in $\mu m$ von Wellen (Auszug aus DIN ISO 286-1)	21
Tab. 2.4	Untere Abmaße $EI = A_{uB}$ in $\mu m$ von Bohrungen (Auszug aus DIN ISO 286-1)	21
Tab. 2.5	Untere Abmaße $ei = A_{uW}$ in $\mu m$ von Wellen (Auszug aus DIN ISO 286-1)	22
Tab. 2.6	Obere Abmaße $ES = A_{oB}$ in $\mu m$ von Bohrungen (Auszug aus DIN ISO 286-1)	23
Tab. 2.7	Grenzabmaße in $\mu m$ der Allgemeintoleranzen nach DIN ISO 2768-1	23
Tab. 2.8	Für allgemeine Anwendung empfohlene Toleranzklassen nach DIN 7157	24
Tab. 2.9	Zu empfehlende Passungen für allgemeine Anwendung	24

## 3 Gestaltabweichung der Oberflächen

Tab. 3.1	Erreichbare Rautiefen je nach Fertigungsverfahren (Auszug aus DIN 4766)	25
----------	---	----

## 4 Schmelzschweißverbindungen

Tab. 4.1	Fugenformen an Stahl entspr. DIN EN 29692 (Auszug)	26
Tab. 4.2	Grenzwerte für Unregelmäßigkeiten nach DIN EN 25817 (Auszug)	28
Tab. 4.3	Allgemeintoleranzen in $mm$ für Schweißkonstruktionen nach DIN EN ISO 13920 (DIN 8570)	29
Tab. 4.4	Anhaltswerte für zulässige Spannungen in $N/mm^2$ in den Schweißnähten und den Anschlussquerschnitten $S$ von Bauteilen im Maschinenbau	30
Tab. 4.5	Anwendungs-, Stoß- oder Betriebsfaktoren $K_A$ (Allgemeine Erfahrungswerte)	30
Tab. 4.6	Grenzabmaße in $mm$ für vorgefertigte Stahlteile im Hochbau nach DIN 18203-2	31
Tab. 4.7	Zulässige Spannungen in $N/mm^2$ für Stahlbauteile beim Allgemeinen Spannungsnachweis	31
Tab. 4.8	Zulässige Spannungen in $N/mm^2$ für Schweißnähte beim Allgemeinen Spannungsnachweis	31
Tab. 4.9	Knickzahlen $a >$ nach DIN 4114 (Auszug für Druckstäbe, außer Rundrohre)	32



Tab. 4.10	Warmgewalzter gleichschenkliger rundkantiger Winkelstahl nach DIN 1028, Vorzugsreihe.	32
Tab. 4.11	Warmgewalzter ungleichschenkliger rundkantiger Winkelstahl nach DIN 1029, Vorzugsreihe.	33
Tab. 4.12	Warmgewalzter gleichschenkliger T-Stahl mit gerundeten Kanten nach DIN EN 10055 (z. T. DIN 1024).	34
Tab. 4.13	Warmgewalzter rundkantiger U-Stahl nach DIN 1026.	34
Tab. 4.14	Warmgewalzte I-Träger nach DIN 1025-1.	35
Tab. 4.15	Warmgewalzte breite I-Träger nach DIN 1025-2.	35
Tab. 4.16	Charakteristische Werte für Walzstahl nach DIN 18800-1:1990-11 (Auszug).	36
Tab. 4.17	Beiwerte $a_w$ für Grenzschweißnahtspannungen nach DIN 18800-1:1990-11 (Auszug).	36
Tab. 4.18	Grundwerte der zulässigen Spannungen und Zusammenhang mit den zulässigen Ober- spannungen beim Betriebsfestigkeitsnachweis nach DIN 15018 (Auszug).	37
Tab. 4.19	Beispiele für die Zuordnung üblicher Schweißanschlüsse in Normalgüte zu den Kerbfäl- len nach DIN 15018 (Auszug).	38
Tab. 4.20	Beanspruchungsgruppen nach Spannungsspielbereichen und Spannungskollektiven (DIN 15018).	39
Tab. 4.21	Nahtlose Stahlrohre nach DIN 2448.	40
Tab. 4.22	Geschweißte Stahlrohre nach DIN 2458.	40
Tab. 4.23	Kaltgefertigte geschweißte quadratische und rechteckige Stahlrohre nach DIN 59411 (Auszug).	41
Tab. 4.24	Knickzahlen $\langle x \rangle$ für einteilige Druckstäbe nach DIN 4114.	42
Tab. 4.25	Einige Stahlwerkstoffe für Druckbehälter und Kessel (zusammengestellt nach DIN-Nor- men und AD-Merkblättern).	43
Tab. 4.26	Berechnungsbeiwerte $\beta$ für gewölbte Böden (zusammengestellt nach AD-Merkblatt B3)	43
Tab. 4.27	Sicherheitsbeiwerte $S$ und $S'$ und Wanddickenzuschläge $c$ für Druckbehälter und Dampfkessel.	44
Tab. 4.28	Festigkeitskennwerte $K$ in $N/mm^2$ von Stahlwerkstoffen für Druckbehälter und Kessel (Auszug aus DIN-Normen und AD-Merkblättern).	45
Tab. 4.29	Festigkeitskennwerte $K$ in $N/mm^2$ von Stahlrohrwerkstoffen (Auszug aus DIN-Normen)	46
Tab. 4.30	Berechnungsbeiwerte $C$ für ebene Böden und Platten (nach AD-Merkblatt B 5) . . . .	46
<b>5 Pressschweißverbindungen</b>		
Tab. 5.1	Übliche Abmessungen von Punktschweißverbindungen.	47
Tab. 5.2	Zulässige Spannungen in $N/mm^2$ für Punktschweißverbindungen.	47
Tab. 5.3	Abmessungen von Rundbuckeln DIN EN 28167 sowie von Lang- und Ringbuckeln nach DIN 8519.	48
<b>6 Lötverbindungen</b>		
Tab. 6.1	Hartlote nach DIN 8513 (Auswahl).	49
Tab. 6.2	Anhaltswerte für Festigkeit und zulässige Spannungen in $N/mm^2$ für Lötverbindungen	49
<b>7 Klebverbindungen</b>		
Tab. 7.1	Einige Klebstoffe zum Verbinden von Metallen untereinander und mit anderen Werk- stoffen, warm abbindend (Auszug aus VDI 2229).	50
Tab. 7.2	Einige Klebstoffe zum Verbinden von Metallen untereinander und mit anderen Werk- stoffen, warm und kalt/warm abbindend (Auszug aus VDI 2229).	51
Tab. 7.3	Oberflächenbehandlung nach dem Entfetten (Auszug aus VDI 2229).	52
Tab. 7.4	Berechnungskennwerte einiger Loctite-Klebstoffe (aus [53]).	52
Tab. 7.5	Einflussfaktoren $f_1, \dots, f_8$ zur Ermittlung der Zugscherfestigkeit von Klebverbindungen nach [53].	53
<b>8 Nietverbindungen</b>		
Tab. 8.1	Abmessungen in mm der Halbrundniete DIN 660 und Senkniete DIN 661.	54
Tab. 8.2	Anhaltswerte für zulässige Spannungen in $N/mm^2$ von Nietverbindungen im Maschinen- bau.	54
Tab. 8.3	Abmessungen in mm der Halbrundniete DIN 124 für den Stahlbau.	55
Tab. 8.4	Rand- und Lochabstände von Nieten und Schrauben im Stahlbau nach DIN 18800- 1:1981-03 (in Klammern Angaben nach DIN 18800-1:1990-11, sofern sie von der Ausg. 1981-03 abweichen).	55
Tab. 8.5	Anreißmaße und größtzulässige Lochdurchmesser $d^\wedge$ in mm nach DIN 997 für ge- normte Profilstähle.	56
Tab. 8.6	Zulässige Spannungen in $N/mm^2$ für Stahlbauniete beim Allgemeinen Spannungsnach- weis.	56
Tab. 8.7	Werkstoffe für Aluminiumniete und zulässige Spannungen in $N/mm^2$ nach DIN 4113	57

Tab. 8.8	Rand- und Lochabstände von Nieten und Schrauben in Aluminiumkonstruktionen nach DIN 4113.	57
Tab. 8.9	Zulässige Spannungen in $N/mm^2$ der Aluminiumbauteile nach DIN 4113.	57
Tab. 8.10	Knickzahlen $\langle \gamma \rangle$ einiger Aluminiumlegierungen nach DIN 4113 (Auszug).	58
Tab. 8.11	Bezeichnungen und Mindest-Festigkeitswerte von Aluminium und Aluminium-Legierungen für Blech, Bänder und Rohre nach DIN EN 485-2 (Auszug).	58
<b>9 Pressverbände</b>		
Tab. 9.1	Haftsicherheiten und Haftbeiwerte für Pressverbände.	59
Tab. 9.2	Querdehnzahlen $JU$ , Elastizitätsmoduln $E$ und Wärmedehnungsbeiwerte verschiedener Werkstoffe (z. T. nach DIN 7190).	59
Tab. 9.3	Übermaße in $\mu m$ verschiedener Presspassungen mit H7 und h6.	60
Tab. 9.4	Bezogener Plastizitätswert $t$ , (Anhaltswerte nach [5]).	60
<b>10 Befestigungsschrauben</b>		
Tab. 10.1	Abmessungen und Querschnitte des metrischen ISO-Gewindes DIN 13 (Auszug)	61
Tab. 10.2	Kennzeichen und Festigkeitswerte in $N/mm^2$ von Schrauben- und Mutterstahl nach DIN EN 20898 und DIN EN ISO 898.	62
Tab. 10.3	Durchgangslöcher in mm für Schrauben (Auszug aus DIN EN 20273).	62
Tab. 10.4	Für die Berechnung wichtige Abmessungen in mm einiger Schraubenköpfe, Muttern und Unterlegscheiben.	62
Tab. 10.5	Mindesteinschraubtiefen $m_{ef}$ (nach [88]).	63
Tab. 10.6	Richtwerte für den Anziehungsfaktor $\alpha_A$ (Auszug aus VDI 2230).	63
Tab. 10.7	Reibzahlen $f_{iG}$ und $f_{iK}$ für verschiedene Oberflächen- und Schmierzustände nach VDI 2230.	64
Tab. 10.8	Zulässige Montagevorspannkraft $F_{Mzu}$ und Anziehdrehmomente $M_{Azu}$ für Schaftschrauben (nach VDI 2230).	65
Tab. 10.9	Zulässige Montagevorspannkraft $F_{Mzu}$ und Anziehdrehmomente $M_{Azu}$ für Tailenschrauben (nach VDI 2230).	66
Tab. 10.10	Richtwerte für Setzbeträge $l_z$ von Schraubenverbindungen (zusammengestellt nach VDI 2230).	67
Tab. 10.11	Ausschlagsfestigkeit $\sigma_A$ des Kerns von Regelgewinden unter Vorspannung (nach [88]).	67
Tab. 10.12	Zulässige Flächenpressung $p_{flzu}$ gedrückter Bauteile in Schraubenverbindungen (nach [88]).	67
Tab. 10.13	Anhaltswerte für zulässige Betriebsspannungen und mittlere Vorspannungen für Schrauben der Festigkeitsklassen unter 8.8 bei gefühlsmäßigem Anziehen.	68
Tab. 10.14	Anhaltswerte für zulässige Spannungen querbeanspruchter Schraubenverbindungen im Maschinenbau.	68
Tab. 10.15	Erfahrungswerte für übliche Sicherheiten und Reibzahlen bei trockenen und glatten Trennflächen querbeanspruchter Schraubenverbindungen.	68
Tab. 10.16	Zulässige Scherspannungen und Leibungsdrücke in $N/mm^2$ im Stahlbau nach DIN 18800-1:1981-03.	69
Tab. 10.17	Vorspannkraft $F_V$ und Anziehungsmomente $M_A$ von GV- und GVP-Schraubenverbindungen im Stahlbau nach DIN 18800-1:1981-03.	69
Tab. 10.18	Haftreibzahlen $n$ von GV- und GVP-Schraubenverbindungen (aus DASt-Richtlinie 010)	69
Tab. 10.19	Zulässige Zugspannungen von Schrauben im Stahlbau (nach DIN 18800-1:1981-03)	69
<b>11 Bewegungsschrauben</b>		
Tab. 11.1	Abmessungen in mm des Trapez- und des Sägewindes.	70
Tab. 11.2	Anhaltswerte für Reibzahlen und zulässige Spannungen für Bewegungsschrauben	70
<b>12 Welle-Nabe-Verbindungen</b>		
Tab. 12.1	Zulässige Flankenpressungen von Nabenverbindungen (Erfahrungswerte).	71
Tab. 12.2	Abmessungen in mm der Treib-, Einlege- und Nasenkeile nach DIN 6886 und 6887	71
Tab. 12.3	Abmessungen in mm der Passfedern DIN 6885 (niedrige Form).	71
Tab. 12.4	Abmessungen in mm der Passfedern DIN 6885 (hohe Form).	72
Tab. 12.5	Abmessungen in mm der Scheibfedern DIN 6888.	72
Tab. 12.6	Abmessungen in mm des Keilwellen- und Keilnabenprofils.	73
Tab. 12.7	Zu bevorzugende Toleranzklassen für Keilnaben und Keilwellen.	73
Tab. 12.8	Abmessungen in mm des Kerbzahnprofils.	74
Tab. 12.9	Abmessungen in mm des Evolventenzahnprofils (Auswahl).	74
Tab. 12.10	Abmessungen in mm der Polygonprofile P3G und P4C.	75
Tab. 12.11	Abmessungen der kegeligen Wellenenden mit Kegel 1:10 nach DIN 1448 (Auszug).	75
Tab. 12.12	Technische Daten von RINGFEDER-Spannelementen (nach [116a]).	76
Tab. 12.13	Technische Daten von RINGSPANN-Sternscheiben (nach [116b]).	76
Tab. 12.14	Abmessungen der Stirnverzahnung.	77

**13 Stift- und Bolzenverbindungen**

Tab. 13.1	Zulässige Beanspruchungen in $N/mm^2$ für Stift- und Bolzenverbindungen bei Stiften oder Bolzen aus Stahl (Erfahrungswerte)	77
Tab. 13.2	Abmessungen in mm der Sicherungsringe DIN 471 und 472 (Auszug)	78
Tab. 13.3	Genormte Durchmesser $d$ nach ISO und Längen / in mm von Stiften und Bolzen	78

**14 Federn**

Tab. 14.1	Güteeigenschaften (Anhaltswerte) und Verwendungsbeispiele von warmgewalzten Stählen für vergütbare Federn zur Warmformgebung durch Prägen, Biegen oder Wickeln	79
Tab. 14.2	Güteeigenschaften nach DIN 17222 von kaltgewalzten Stahlbändern für Federn zur Kaltformgebung durch Schneiden, Stanzen, Prägen Biegen und Wickeln. Für vielseitige Zwecke geeignet. Ölhärtung	79
Tab. 14.3	Runder Federstahldraht nach DIN 17223-1 und -2 (Auszug)	79
Tab. 14.4	Mindestzugfestigkeit in $N/mm^2$ von rundem Federstahldraht DIN 17223-1 und -2 (Auszug)	80
Tab. 14.5	Grenzabmaße in mm nach DIN 2076 und 17223 für runden Federstahldraht	80
Tab. 14.6	Stabdurchmesser $d$ nach DIN 2077 für warmgewalzten Federstahldraht DIN 17221 (Ausnahme 38Si7 und 54SiCr7) und für nach dem Warmwalzen gemäß DIN 2096 bearbeiteten Federstahl, beide für Federn DIN 2096	80
Tab. 14.7	Auswahl von Dicken $t$ in mm von kaltgewalztem Band aus Stahl nach DIN EN 10140 (DIN 1544) bis Breiten $b = 125$ mm und zulässige Dickenabweichungen	81
Tab. 14.8	Abmessungen in mm von warmgewalztem Federstahl für geschichtete Blattfedern nach DIN 4620	81
Tab. 14.9	Kennwerte bei Raumtemperatur für die Berechnung von Federn nach DIN 2089	81
Tab. 14.10	Zulässige Schubspannungen für zylindrische Schraubefedern bei ruhender (statischer) Beanspruchung	81
Tab. 14.11	Baugrößen für kaltgeformte zylindrische Schraubendruckfedern aus runden Drähten ab $d = 0,5$ mm nach DIN 2098-1	82
Tab. 14.12	Beiwerte $a_F$ , $k_f$ und $Q$ zur Errechnung der zulässigen Abweichungen von zylindrischen Schraubendruckfedern aus runden Drähten (zusammengestellt nach DIN 2095 und 2097)	83
Tab. 14.13	Hubfestigkeiten $r_{kF}$ in $N/mm^2$ bei $r_{ku} = 0$ und zulässige Schubspannungen $r_{k2zul}$ für Schraubendruckfedern (zusammengestellt nach DIN 2089-1)	83
Tab. 14.14	Knickgrenze von zylindrischen Schraubendruckfedern (aus DIN 2089-1)	84
Tab. 14.15	Vorspannbeiwerte (näherungsweise) für kaltgeformte zylindrische Schraubenzugfedern aus runden Drähten (zusammengestellt nach DIN 2089-2)	84
Tab. 14.16	Abmessungen der Tellerfedern in mm nach DIN 2093	85
Tab. 14.17	Grenzabmaße $A_f$ in mm von / bzw. $f$ , $A$ in mm von / $o$ und Grenzabweichungen $A_{\%}$ von $F$ nach DIN 2093	85
Tab. 14.18	Empfohlenes Spiel zwischen Führungselement und Federteller	86
Tab. 14.19	Kennwerte $K_u$ , $K_2$ , $K_3$ , $K_4$ und $K_5$ für Tellerfedern nach DIN 2092	86
Tab. 14.20	Hubfestigkeiten $o_F$ bei $o_v = 0$ und Oberspannung $cr_{0m,ax}$ (zusammengestellt nach DIN 2092)	86
Tab. 14.21	Schichtung der Tellerfedern zu Federsäulen	86
Tab. 14.22	Spannungsbeiwerte $q$ zur Berücksichtigung der Drahtkrümmung von gewundenen Schenkelfedern nach DIN 2088 und zulässige Spannungen $a_{zul}$ und $cr_{2zul}$	87
Tab. 14.23	Zulässige Spannungen $T_{Zul}$ und Hubfestigkeiten $r_F$ von Drehstabfedern aus Edelstahl bei $r_v = 0$ , Stäbe geschliffen, kugelgestrahlt sowie vorgesetzt (zusammengestellt nach DIN 2091)	87
Tab. 14.24	Formbeiwerte $ki$ und zulässige Biegespannungen $Ob_{zul}$ für Blattfedern	87
Tab. 14.25	Grundformen von Gummifedern und deren Berechnungsgleichungen	88
Tab. 14.26	Anhaltswerte für zulässige Spannungen in $N/mm^2$ von Gummifedern	89
Tab. 14.27	Abmessungen und Drehmomente der ROSTA-Gummifederelemente Typ DR-S (nach [138e])	89
Diagr. 14.1	Kennlinien von Tellerfedern nach DIN 2092	90
Diagr. 14.2	Statischer Elastizitätsmodul $E$ in Abhängigkeit von der Härte und vom Formfaktor, statischer Gleitmodul $G$ in Abhängigkeit von der Härte	90

**15 Achsen und Wellen**

Tab. 15.1	Zulässige Spannungen für Überschlagsrechnungen und Festigkeitswerte in $N/mm^2$ für Achsen und Wellen	91
Tab. 15.2	Widerstandsmomente $W^{\wedge}$ und $W_i$ sowie Flächenmomente $I^{\wedge}$ und $I_i$ zweiten Grades verschiedener Querschnitte	91
Tab. 15.3	Anhaltswerte für die Formzahlen $a_{kh}$ und $a_{kt}$ für Achsen und Wellen sowie die für das bezogene Spannungsgefälle einzusetzenden Radien $g$	92
Tab. 15.4	Formzahlen $a_{kb}$ und $a_{kt}$ für Achsen und Wellen mit Absätzen und Querbohrungen	93

Tab. 15.5	Formzahlen $a_{kb}$ und $a_{kt}$ für Achsen und Wellen mit Rundrillen und Kerbwirkungszahlen $\beta_{kb}$ für Achsen und Wellen mit spitzen Ringrillen.	94
Tab. 15.6	Dynamische Stützziffer $n_x$ für Stähle (zusammengestellt nach [5]).	95
Tab. 15.7	Dickenbeiwert $b_b$ ausgehend von 50 mm Dicke (Halbzeugdicke).	95
Tab. 15.8	Oberflächenbeiwert $b_o$ (zusammengestellt nach [5]).	95
Tab. 15.9	Erfahrungswerte für erforderliche Sicherheiten und zulässige Verformungen für Achsen und Wellen.	95
<b>16 Reibung und Schmierstoffe</b>		
Tab. 16.1	Kinematische Viskosität der Schmierstoffe für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrzeuggetriebe nach DIN 51511 und 51512.	96
Tab. 16.2	Konsistenz-Einteilung für Schmierfette nach DIN 51818.	96
Diagr. 16.1	Dynamische Viskosität $n$ in Abhängigkeit von der Temperatur $t$ für Schmieröle nach DIN 51519 mit der Dichte $Q = 900 \text{ kg/m}^3$ .	97
<b>17 Gleitlager</b>		
Tab. 17.1	Schmiernuten nach DIN ISO 12128 (DIN 1591).	98
Tab. 17.2	Schmieraschen nach DIN ISO 12128 (DIN 1591).	98
Tab. 17.3	Schmierlöcher nach DIN ISO 12128 (DIN 1591).	99
Tab. 17.4	Randabstände von Schmiernuten nach DIN ISO 12128 (DIN 1591).	99
Tab. 17.5	Blei- und Zinn-Gusslegierungen nach DIN ISO 4381 (Kurzzeichen und Verwendung).	99
Tab. 17.6	Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen (Guss-Zinnbronze und Rotguss) nach DIN EN 1982 (DIN 1705) für Gleitlager.	100
Tab. 17.7	Kupfer-Blei-Zinn-Gusslegierungen (Guss-Zinn-Bleibronze) nach DIN EN 1982 (DIN 1716) für Gleitlager.	100
Tab. 17.8	Verbundwerkstoffe nach DIN ISO 4383 für dünnwandige Gleitlager (Kurzzeichen und Verwendung).	101
Tab. 17.9	Abmessungen in mm der Gleitlagerbuchsen der Formen C und F nach DIN ISO 4379-1 (DIN 1850-1).	102
Tab. 17.10	Abmaße und Spiele für Gleitlagerungen in Abhängigkeit vom mittleren relativen Lagerspiel $y_m$ nach DIN 31698 (Auszug).	103
Tab. 17.11	Anhaltswerte für zulässige Belastungen einfacher Gleitlager aus Gleitmetall.	104
Tab. 17.12	Erfahrungswerte für die höchstzulässige spezifische Lagerbelastung $p$ bei hydrodynamischen Gleitlagern nach DIN 31652-3.	104
Tab. 17.13	Reibzahlen von Gleitlagern und zu empfehlende Schmierstoffe.	104
Tab. 17.14	Erfahrungswerte für höchstzulässige Lagertemperaturen $t_B$ nach DIN 31652-3.	104
Tab. 17.15	Sommerfeldzahl $So$ in Abhängigkeit von der relativen Exzentrizität $e$ und von der relativen Lagerbreite $B/D$ nach DIN 31652-2.	105
Tab. 17.16	Verlagerungswinkel $\beta$ in Abhängigkeit von der relativen Exzentrizität $E$ und von der relativen Lagerbreite $B/D$ nach DIN 31652-2.	105
Tab. 17.17	Bezogene Reibzahl $pt/\nu\mu$ in Abhängigkeit von der relativen Exzentrizität $e$ und von der relativen Lagerbreite $B/D$ nach DIN 31652-2.	106
Tab. 17.18	Bezogener Schmierstoffdurchsatz $q_1$ infolge Eigendruckentwicklung im Schmierpalt in Abhängigkeit von der relativen Exzentrizität $\epsilon$ und der relativen Lagerbreite $B/D$ nach DIN 31652-2.	106
Tab. 17.19	Bezogener Schmierstoffdurchsatz $q_2$ in Abhängigkeit von der Anordnung der Schmierstoff-Zuführungselemente nach DIN 31652-2.	107
Tab. 17.20	Erfahrungswerte für die kleinstzulässige Schmierfilmdicke $h_{Oim}$ in $\mu\text{m}$ nach DIN 31652-3	107
Tab. 17.21	Thermoplastische Kunststoffe für Gleitlager (aus VDI 2541).	108
Tab. 17.22	Anhaltswerte für zulässige Belastungen von Kunststoff-Gleitlagern bei $\vartheta < 30^\circ\text{C}$ (nach VDI 2541).	109
Tab. 17.23	Charakteristiken und Eigenschaften der gebräuchlichsten Thermoplaste (ungefüllt) nach DIN ISO 6691.	109
Tab. 17.24	Richtwerte für Reibzahlen von Kunststoff-Gleitlagern und Folienlagern aus PTFE (zusammengestellt nach [161h] und VDI 2541).	110
Tab. 17.25	Eigenschaften von Kunststoffen für Gleitlager (nach VDI 2541).	111
Tab. 17.26	Mittleres Einpressübermaß $U$ und mittleres Grundlagerspiel $S$ von thermoplastischen Kunststoffbuchsen (nach VDI 2541).	111
Tab. 17.27	Eigenschaften der Verbundlager mit Kunststoff-Laufschicht (aus VDI 2543).	112
Tab. 17.28	Abmessungen in mm der Nyliners-Kunststoffgleitlager aus PA 66 (nach [161h]).	113
Tab. 17.29	Anhaltswerte für zulässige Belastungen und Verschleiß von Kunststoff-Verbund-Gleitlagern (zusammengestellt nach VDI 2543).	113
Tab. 17.30	Abmessungen in mm der gerollten Lagerbuchsen aus Deva-Metall [161i].	114
Tab. 17.31	Anhaltswerte für zulässige Belastungen einiger Lagermetalle mit Festschmierstoff (zusammengestellt nach Angaben von [161i]).	114
Tab. 17.32	Tragzahl $5o_{ax}$ und Reibbeiwert $K$ bei hydrodynamischen Axial-Gleitlagern (nach VDI 2204).	115

Tab. 17.33	Gemittelte Rautiefe $R_z$ , Schmierfilmdicke $h_f$ beim Übergang in die Flüssigkeitsreibung und Mindestschmierfilmdicke $h_{Qjm}$ (nach VDI 2204 und [161f]). . . . .	115
<b>18 Wälzlager</b>		
Tab. 18.1	Toleranzen für den Einbau von Radial-Wälzlagern nach DIN 5425. . . . .	116
Tab. 18.2	Toleranzen für den Einbau von Axial-Wälzlagern nach DIN 5425. . . . .	117
Tab. 18.3	Daten (nach 172a) für Rillenkugellager DIN 625. . . . .	117
Tab. 18.4	Daten (nach 172a) für Schrägkugellager DIN 628. . . . .	118
Tab. 18.5	Daten (nach 172c) für Nadellager DIN 617. . . . .	118
Tab. 18.6	Daten (nach 172a) für Zylinderrollenlager DIN 5412. . . . .	119
Tab. 18.7	Daten (nach 172a) für weitere Zylinderrollenlager DIN 5412. . . . .	120
Tab. 18.8	Daten (nach 172a) für Kegelrollenlager DIN 720. . . . .	121
Tab. 18.9	Daten (nach [172a]) für weitere Kegelrollenlager DIN 720. . . . .	122
Tab. 18.10	Daten (nach [172a]) für Axial-Rillenkugellager DIN 711. . . . .	122
Tab. 18.11	Temperaturfaktor für Wälzlager. . . . .	123
Tab. 18.12	Übliche nominelle Lebensdauer von Wälzlagern. . . . .	123
Tab. 18.13	Für die Berechnung von Kegelrollen- und Schrägkugellagern einzusetzende Axialbelastungskräfte $F_{aA}$ und $F_{aB}$ . . . . .	123
Tab. 18.14	Anhaltswerte für Drehzahlkonstanten $K$ in Abhängigkeit von der Bauform der Wälzlager. . . . .	124
Tab. 18.15	Beiwerte $Z_s$ , $^{\wedge}D$ und $Z_K$ zur Grenzdrehzahl von Wälzlagern. . . . .	124
<b>19 Lager- und Wellendichtungen</b>		
Tab. 19.1	Abmessungen in mm der Filzringe und Ringnuten nach DIN 5419. . . . .	125
Tab. 19.2	Beispiele für die Beständigkeit der Elastomere von Radial-Wellendichtringen nach DIN 3760. . . . .	125
Tab. 19.3	Abmessungen in mm der Radial-Wellendichtringe nach DIN 3760. . . . .	126
<b>20 Wellenkupplungen und -bremsen</b>		
Tab. 20.1	Kupplungsbeiwerte $K$ für ausgleichsfähige, drehsteife Wellenkupplungen (nach [190b]). . . . .	127
Tab. 20.2	Nenn Drehmomente und Abmessungen in mm von nachgiebigen Wellenkupplungen DIN 740. . . . .	128
Tab. 20.3	Einflussfaktoren für nachgiebige (elastische) Wellenkupplungen. . . . .	129
Tab. 20.4	Gelenkleistung $P_K$ in Abhängigkeit vom Wellendurchmesser $d$ von Kugelgelenken (Wellengelenke DIN 808) und Beugungsbeiwerte $b$ in Abhängigkeit vom Beugungswinkel $a$ (zusammengestellt nach [190b]). . . . .	130
Tab. 20.5	Technische Daten der hochelastischen Kupplung nach Bild 20.29 [190o]. . . . .	130
Tab. 20.6	Technische Daten der hydraulisch betätigten Lamellenkupplung nach Bild 20.45 [190m] . . . . .	131
Tab. 20.7	Technische Daten der Elektromagnet-Lamellenkupplung nach Bild 20.55a [190z] . . . . .	131
<b>22 Abmessungen und Geometrie der Stirn- und Kegelräder</b>		
Tab. 22.1	Modul $m$ in mm nach DIN 780. . . . .	132
Tab. 22.2	Evolventenfunktion $\text{inv } a = \tan a - a$ . . . . .	132
Tab. 22.3	Schrägungswinkelfunktion $\sin \beta$ für Stirnradverzahnungen der Reihe 1 nach DIN 3978 (Auszug). . . . .	132
Diagr. 22.1	Geometrische Grenzen der Evolventenverzahnung mit $a_n = 20^\circ$ und $z_a = m_n$ nach DIN 3960 und DIN 3993. . . . .	133
<b>23 Gestaltung und Tragfähigkeit der Stirn- und Kegelräder</b>		
Tab. 23.1	Anhaltswerte für den Anwendungsfaktor $K_A$ entspr. DIN 3990. . . . .	133
Tab. 23.2	Richtwerte für Zahnbreiten $b$ und Mindestzähnezahlen $z$ von Stirnrädern. . . . .	134
Tab. 23.3	Anhaltswerte für die Wahl von Verzahnungsqualität, Toleranzklasse und Rauheitswert von Verzahnungen aus Metallen und Kunststoffen (zusammengestellt nach [6b] und VDI 2545). . . . .	134
Tab. 23.4	Achsabstandsmaße $\pm A_a$ in um von Gehäusen für Stirnradgetriebe nach DIN 3964. . . . .	135
Tab. 23.5	Toleranzen für Achsschrägung $1/2\beta$ und Achsneigung $f_e$ (Achslagetoleranzen) in um nach DIN 3964. . . . .	135
Tab. 23.6	Zulässige Teilungs- und Eingriffsteilungs-Abweichungen für Verzahnungen auszugsweise nach DIN 3962. . . . .	136
Tab. 23.7	Zahndickenabmaße und Zahndiektoleranzen in um nach DIN 3967. . . . .	136
Tab. 23.8	Viskosität bei 40 °C für Schmieröle von Zahnradgetrieben in Abhängigkeit vom Schmierkennwert $k_v$ nach DIN 51509. . . . .	137
Tab. 23.9	Lastkorrekturfaktoren $p$ und Verzahnungsfaktoren $K$ zur Berechnung des Dynamikfaktors $K_v$ (zusammengestellt nach DIN 3990 und [6b]). . . . .	137
Tab. 23.10	Breitengrundfaktor $K\beta$ (zusammengestellt nach DIN 3990 für Stahlräder mit einer Linienebelastung $w_t = 350$ N/mm). . . . .	137

Tab. 23.11	Korrekturfaktoren $f_w$ für die Linienbelastung $w_x$ (nach DIN 3990).	138
Tab. 23.12	Werkstoffpaarungsfaktor $f_p$ (nach DIN 3990).	138
Tab. 23.13	Eingriffssteifigkeit $c_x$ (nach DIN 3990).	138
Tab. 23.14	Kopffaktor $Y_{Fs}$ für Verzahnungen mit Bezugsprofil nach DIN 867 mit einer Kopfrundung des Verzahnungswerkzeugs $Qfp = 0,25m_n$ und einem Kopfspiel $c_p = 0,25m_n$ (zusammengestellt nach DIN 3990).	138
Tab. 23.15	Anhaltswerte für Zahnradwerkstoffe aus Eisenmetallen (zusammengestellt nach [6b]).	139
Tab. 23.16	Größenfaktoren $Y_x$ für die Zahnfußfestigkeit und $Z_x$ für die Flankenfestigkeit (zusammengestellt nach DIN 3990).	139
Tab. 23.17	Lebensdauerfaktoren $Y_{NT}$ und $Z_{NT}$ (aus DIN 3990).	140
Tab. 23.18	Elastizitätsfaktoren $Z_E$ für einige Werkstoffpaarungen (nach DIN 3990).	140
Tab. 23.19	Berechnungsfaktoren $Z_L$ , $Z_v$ , $Z_R$ und $Z_w$ für den Sicherheitsfaktor $S_H$ (nach DIN 3990).	141
Tab. 23.20	Stirn-Breitenfaktor $K_{\beta p}$ für die Zahnfußspannung von Kegelrädern (Anhaltswerte, zusammengestellt nach DIN 3991).	142
Tab. 23.21	Anhalt für zulässige Belastungskennwerte $c_{7U}$ von thermoplastischen Kunststoffzahnradern (nach VDI 2545).	142
Tab. 23.22	Beiwerte zur Berechnung der Zahntemperatur und der Flankentemperatur von thermoplastischen Kunststoffzahnradern (nach VDI 2545).	142
Tab. 23.23	Zeitschwellfestigkeit $\sigma_{rEN}$ der Zähne von Rädern aus thermoplastischen Kunststoffen (zusammengestellt nach VDI 2545).	143
Tab. 23.24	Elastizitätsfaktoren $Z_E$ von Rädern aus thermoplastischen Kunststoffen (nach VDI 2545).	143
Tab. 23.25	Zeitwältfestigkeit $\sigma_{HN}$ für Zahnradern aus thermoplastischen Kunststoffen (nach VDI 2545).	144
Tab. 23.26	Beiwerte $q>$ und $y/$ zur Berechnung der Zahnverformung (nach VDI 2545).	144
Tab. 23.27	Zahnformfaktoren $Y_{Fa}$ in Abhängigkeit von den Profilverchiebungsfaktoren $x$ und den Ersatzzähnezahlen $z_n$ bzw. $z_m$ (nach DIN 3990).	145
Tab. 23.28	Übliche erforderliche Sicherheitsfaktoren für Zahnradern.	145

**24 Zahnradpaare mit sich kreuzenden Achsen**

Tab. 24.1	Zulässige Belastungskennwerte für Schraubstirnradpaare (Erfahrungswerte nach [204]).	146
Tab. 24.2	Vorzugsreihe für Schneckenradsätze mit Zylinderschnecken, Erzeugungswinkel $\alpha_0 = 20^\circ$ (Auszug aus DIN 3976).	146
Tab. 24.3	Erfahrungswerte für den wirksamen Reibwinkel $g$ von Schneckenradsätzen.	146
Tab. 24.4	Erforderliche Ölviskosität $\nu$ in $mm^2/s$ bei $40^\circ C$ für Schneckengetriebe (nach DIN 51509).	146
Tab. 24.5	Kontaktfaktoren $Z_Q$ (zusammengestellt nach [6c]).	146
Tab. 24.6	Werkstoffkennwerte für Schneckengetriebe (zusammengestellt nach [6c]).	147

**25 Kettentriebe**

Tab. 25.1	Abmessungen und technische Daten von Buchsenketten DIN 8154.	147
Tab. 25.2	Abmessungen und technische Daten von Rollenketten.	148
Tab. 25.3	Detailabmessungen von Kettenrädern nach DIN 8196 für Rollenketten DIN 8187 und 8188.	149
Tab. 25.4	Betriebsfaktoren für Kettentriebe (aus DIN 8195).	149
Tab. 25.5	Zähnezahlfaktoren für Kettentriebe (aus DIN 8195).	149
Tab. 25.6	Zulässige Gelenkpressungen von Rollenketten (zusammengestellt nach [224b]).	150
Diagr. 25.1	Leistungsdiagramm für Rollenketten DIN 8187 (aus DIN 8195).	151
Diagr. 25.2	Leistungsdiagramm für Rollenketten DIN 8188 (aus DIN 8195).	151
Diagr. 25.3	Leistungsdiagramm für Rollenketten DIN 8187 und 8188 mit Kunststoffgleitlagern in den Gelenken (nach [224d]).	152
Diagr. 25.4	Wahl der Schmierungsart für Rollenketten (nach DIN 8195).	152

**26 Flachriementriebe**

Tab. 26.1	Hauptabmessungen in mm der Riemenscheiben nach DIN 111.	153
Tab. 26.2	Zu empfehlende Innenlängen $L_j$ in mm endlos hergestellter Flachriemen.	153
Tab. 26.3	Technische Daten (Mittelwerte) für Flachriemen (außer Mehrschichtriemen).	153
Tab. 26.4	Betriebsfaktoren $C_B$ für Riementriebe nach DIN 2218.	154
Tab. 26.5	Reibungsfaktoren $C$ für Flachriementriebe.	154
Tab. 26.6	Anhaltswerte für die Auflagedehnung $EQ$ und die Achskraft $F_w$ (nach [6c]).	154
Tab. 26.7	Größenauswahl und Standardbreiten der Extremultus-Mehrschichtriemen (nach [230a]).	155
Tab. 26.8	Zulässige Biegefrequenzen/ $B_{zu,i}$ in $s^{-1}$ für Extremultus-Mehrschichtriemen (nach [230a]).	155
Tab. 26.9	Spezifische Nennleistung $P_N$ bei $\beta = 180^\circ$ von Extremultus-Mehrschichtriemen (nach [230a]).	155
Tab. 26.10	Betriebsfaktoren $C_B$ zur Auslegung von Mehrschichtriemen (nach [230a]).	156
Tab. 26.11	Umschlingungsfaktoren $C_p$ (Winkelfaktoren) für Flachriementriebe.	156
Tab. 26.12	Faktoren $C_2$ bis $C_4$ für Extremultus-Mehrschichtriemen (nach [230a]).	156

Tab. 26.13	Technische Daten der Habasit-Mehrschichtriemen (nach [230b]).	. . . . .	156
Tab. 26.14	Vorwahl von Scheibendurchmesser $d_k$ , Riemenausführung und -größe für Habasit-Mehrschichtriemen (nach [230b]).	. . . . .	156
Tab. 26.15	Betriebsfaktoren $C_B$ für Habasit-Mehrschichtriemen (nach [230b]).	. . . . .	157
Tab. 26.16	Faktoren $C_1$ und $C_2$ für Habasit-Mehrschichtriemen (nach [230b]).	. . . . .	157
Tab. 26.17	Dehnkraft $F_e$ und Korrekturfaktor $C_3$ für Habasit-Mehrschichtriemen (nach [230b]).	. . . . .	157
Tab. 26.18	Mindestabstand $e_{mitj}$ für Habasit-Mehrschichtriemen (nach [230b]).	. . . . .	157
Diagr. 26.1	Spezifische Nennleistungen $P^\wedge$ von Habasit-Mehrschichtriemen bei $\beta = 180^\circ$ (nach [230b]).	. . . . .	158
<b>27 Keilriementriebe</b>			
Tab. 27.1	Abmessungen in mm der Normal- und Schmalkeilriemen	. . . . .	159
Tab. 27.2	Abmessungen in mm der Keilriemenscheiben für Schmalkeilriemen DIN 7753 (Auszug aus DIN 2211).	. . . . .	159
Tab. 27.3	Abmessungen in mm und Kenndaten der Keilrippenriemen und -Scheiben (zusammengestellt nach DIN 7867 und Herstellerangaben [236a]).	. . . . .	160
Tab. 27.4	Querschnittsabmessungen in mm der endlosen Breitkeilriemen DIN 7719.	. . . . .	161
Tab. 27.5	Nennleistungen $P_N$ von endlosen Normalkeilriemen (Auszug aus DIN 2218).	. . . . .	161
Tab. 27.6	Nennleistungen $P_N$ von endlosen Schmalkeilriemen (Auszug aus DIN 7753).	. . . . .	162
Tab. 27.7	Nennleistungen $P_N$ von Keilrippenriemen je Rippe (Auswahl nach [236a]).	. . . . .	163
Tab. 27.8	Längenfaktoren $c_L$ von endlosen Normalkeilriemen (klassische Keilriemen) DIN 2215 (nach DIN 2218).	. . . . .	164
Tab. 27.9	Längenfaktoren $c_L$ von endlosen Schmalkeilriemen DIN 7753.	. . . . .	164
Tab. 27.10	Längenfaktoren $c_L$ von Keilrippenriemen DIN 7867 (Auszug nach [236a]).	. . . . .	165
Tab. 27.11	Winkelfaktoren $C_B$ für Keilriemen und Keilrippenriemen.	. . . . .	165
Tab. 27.12	Zulässige Biegefrequenzen $f_{zul}$ in $s^{-1}$ für Keilriemen und Keilrippenriemen.	. . . . .	165
Diagr. 27.1	Richtlinien für die Profilwahl von Normalkeilriemen gemäß DIN 2218.	. . . . .	165
Diagr. 27.2	Richtlinien für die Profilwahl von Schmalkeilriemen gemäß DIN 7753.	. . . . .	166
Diagr. 27.3	Richtlinien für die Profilwahl von Keilrippenriemen DIN 7867 (nach [236a]).	. . . . .	166
<b>28 Synchron- oder Zahnriementriebe</b>			
Tab. 28.1	Abmessungen und Daten für Synchron- oder Zahnriementriebe (nach [240a]).	. . . . .	167
Tab. 28.2	Abmessungen von HTD-Zahnriementriebe (nach [240b]).	. . . . .	167
Tab. 28.3	Faktor $C_L$ und Zuschlag $Q$ für Power Grip HTD-Zahnriemen (nach [240b]).	. . . . .	167
Tab. 28.4	Belastungsfaktoren $C_B$ für Zahnriemen (Synchronriemen) (nach [240b]).	. . . . .	168
Tab. 28.5	Spezifische Nennleistungen $P_N$ von Synchroflex-Zahnriemen (nach [240a]).	. . . . .	169
Tab. 28.6	Spezifische Nennleistungen $P_N$ von Power Grip HTD-Zahnriemen (nach [240b]).	. . . . .	169
Tab. 28.7	Breitenfaktoren $k$ für Power Grip HTD-Zahnriemen (nach [240b]).	. . . . .	169
<b>29 Rohrleitungen</b>			
Tab. 29.1	DN-Stufen nach DIN EN ISO 6708.	. . . . .	170
Tab. 29.2	Nenndruckstufen nach DIN 2401-1 (Auszug).	. . . . .	170
Tab. 29.3	Kennfarben für Rohrleitungen nach dem Durchflussstoff (Auszug aus DIN 2403)	. . . . .	170
Tab. 29.4	Normenübersicht für Stahlrohre.	. . . . .	170
Tab. 29.5	Normenübersicht für Gusseisenrohre.	. . . . .	171
Tab. 29.6	Normenübersicht für Rohre aus Kunststoffen.	. . . . .	171
Tab. 29.7	Abmessungen der Vorschweißflansche für PN 25 nach DIN 2634 (Auszug, Maße in mm).	. . . . .	172
Tab. 29.8	Beziehungen für Temperaturdifferenzen (nach [248]).	. . . . .	172
Tab. 29.9	Richtwerte für die mittlere Strömungsgeschwindigkeit $w$ .	. . . . .	173
Tab. 29.10	Dichte $g$ und kinematische Viskosität $\nu$ einiger Flüssigkeiten und Gase bei der Temperatur $\theta$ .	. . . . .	173
Tab. 29.11	Anhaltswerte für die absolute Rauigkeit $k$ der Rohrrinnenwand bei verschiedenen Rohrarten.	. . . . .	174
Tab. 29.12	Zuschläge für Wanddickenunterschreitung.	. . . . .	174
Tab. 29.13	Anhaltswerte für die Verlustzahl $\xi$ verschiedener Rohrleitungsbauteile.	. . . . .	175
Tab. 29.14	Festigkeitskennwert $K$ und Sicherheitsbeiwert $S$ nach DIN 2413-1 (Auszug).	. . . . .	176
Diagr. 29.1	A, Äe-Diagramm.	. . . . .	176