

Decker Maschinenelemente

Funktion, Gestaltung und Berechnung

Bearbeitet von

Von: Karl-Heinz Decker, Überarbeitet von: Frank Rieg, Gerhard Engelken, Frank Weidermann, Reinhard Hackenschmidt, und Bettina Alber-Laukant

20., neu bearbeitete Auflage 2018. Buch. 820 S. Mit einem gesonderten Band "Tabellen und Diagramme" (218 Druckseiten). Gebunden

ISBN 978 3 446 45029 5

Format (B x L): 16.6 x 23.1 cm

Gewicht: 1977 g

[Weitere Fachgebiete > Technik > Maschinenbau Allgemein](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

beck-shop.de
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

HANSER



Leseprobe

zu

Maschinenelemente

Funktion, Gestaltung, Berechnung

von Decker

ISBN (Buch): 978-3-446-45029-5

ISBN (E-Book): 978-3-446-45304-3

Weitere Informationen und Bestellungen unter

www.hanser-fachbuch.de

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Inhaltsverzeichnis

Grundlagen

1 Konstruktionstechnik	15
1.1 Normen und Richtlinien	15
1.2 Maße, Toleranzen und Passungen	16
1.3 Gestaltabweichungen der Oberflächen	29
1.4 Methodisches Konstruieren	36
1.5 Datenverarbeitung in der Konstruktion	39
1.6 Literatur	43
2 Werkstoffe	45
2.1 Einteilung der Werkstoffe	46
2.2 Werkstoffauswahl	49
2.3 Werkstoffe im Maschinenbau	50
2.4 Berechnung von Maschinenelementen	61
2.5 Welche Werkstoffkennwerte wofür verwenden?	66
2.6 Literatur	68
3 Festigkeitsberechnungen	69
3.1 Einführung	69
3.2 Betriebsfestigkeit nach der FKM-Richtlinie	115
3.3 Einführung in die Finite-Elemente-Analyse	143
3.4 Literatur	154
Nichtlösbare Verbindungen	
4 Schmelzschweißverbindungen	156
4.1 Verfahren	156
4.2 Schweißbare Werkstoffe	167
4.3 Schweißpositionen, Stoß- und Nahtarten, Zertifizierung im Metallbau	168
4.4 Gestaltung	177
4.5 Berechnung der Spannungen in Schweißnähten	179
4.6 Schweißverbindungen im Maschinen- und Gerätebau	193
4.7 Literatur	197
5 Pressschweißverbindungen	199
5.1 Verfahren, Werkstoffe	199
5.2 Punktschweißverbindungen	203
5.3 Buckelschweißverbindungen	208
5.4 Abbrenn-Stumpfschweißverbindungen	210
5.5 Schweißen von Kunststoffen	211
5.6 Literatur	214
6 Lötverbindungen	215
6.1 Verfahren, Lote	215
6.2 Gestaltung von Lötverbindungen	220
6.3 Berechnung von Lötverbindungen	222
6.4 Literatur	224
7 Kleverbindungen	225
7.1 Wirkmechanismen	225
7.2 Klebstoffe	227
7.3 Gestaltung und Festigkeit der Kleverbindungen	229

7.4	Berechnung von Klebverbindungen	232
7.5	Literatur	236
8	Nietverbindungen	238
8.1	Nietformen, Werkstoffe, Herstellung der Verbindungen	238
8.2	Berechnung von Nietverbindungen	240
8.3	Nietverbindungen im Maschinen- und Gerätebau	244
8.4	Nietverbindungen im Leichtmetallbau	247
8.5	Stanznieten	251
8.6	Hybridfügen – Stanznietkleben	253
8.7	Literatur	253
Lösbare Verbindungen		
9	Reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	254
9.1	Fügevorgang und Gestaltung	254
9.2	Grundlagen der Berechnung zylindrischer Pressverbände	256
9.3	Berechnung bei rein elastischer Beanspruchung	260
9.4	Berechnung bei elastisch-plastischer Beanspruchung	269
9.5	Einpresskraft und Fügetemperaturen	272
9.6	Spannelementverbindungen	273
9.7	Klemmverbindungen	280
9.8	Literatur	283
10	Befestigungsschrauben	284
10.1	Gewinde	284
10.2	Ausführung von Schrauben und Muttern	286
10.3	Werkstoffe	291
10.4	Korrosionsschutz	294
10.5	Herstellung der Schrauben und Muttern	295
10.6	Sichern von Schraubenverbindungen	295
10.7	Berechnung: Grundlagen und Verbindungsarten	298
10.8	Berechnung: Vordimensionierung und Überschlag	299
10.9	Berechnung: Kraftfluss, Kerbwirkungen, Gestaltung	300
10.10	Anziehverfahren	303
10.11	Berechnung: Schraubenanziehmoment, Schraubenbeanspruchung beim Anziehen, Anzieh faktor	304
10.12	Berechnung: Nachgiebigkeit von Schraube und Bauteilen	308
10.13	Berechnung: Bleibende Verformung durch Setzen	310
10.14	Berechnung: Betriebskräfte Zug, Druck und Schwingungen auf vorgespannte Schraubenverbindungen	312
10.15	Berechnung: Haltbarkeit der Schraubenverbindungen	318
10.16	Systematische Berechnung längsbeanspruchter Schraubenverbindungen	320
10.17	Gestaltung und Berechnung querbeanspruchter Schraubenverbindungen	323
10.18	Spezialschrauben	326
10.19	Literatur	327
11	Bewegungsschrauben	329
11.1	Bauformen	329
11.2	Gewinde, Werkstoffe	329
11.3	Kräfte, Reibung, Wirkungsgrad, Selbsthemmung	330
11.4	Berechnung der Haltbarkeit und der Stabilität	333
11.5	Kugelgewindetrieb	334
11.6	Literatur	336
12	Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	337
12.1	Längskeilverbindungen	337
12.2	Passfederverbindungen	340
12.3	Keilwellenverbindungen	343
12.4	Zahnwellenverbindungen	345
12.5	Polygonwellenverbindungen	346

12.6	Kegelverbindungen	348
12.7	Stirnahnverbindungen	350
12.8	Literatur	352
13	Stift- und Bolzenverbindungen	353
13.1	Stifte	353
13.2	Bolzen	355
13.3	Festigkeitsberechnung	356
13.4	Literatur	361
14	Federn	362
14.1	Kennlinien, Federarbeit	362
14.2	Schwingverhalten	363
14.3	Zusammenwirken mehrerer Federn	364
14.4	Werkstoffe, Halbzeuge	366
14.5	Zylindrische Schraubenfedern aus runden Drähten oder Stäben	366
14.6	Tellerfedern als Druckfedern	378
14.7	Gewundene Schenkelfedern als Drehfedern	387
14.8	Stabfedern als Drehfedern	393
14.9	Spiralfedern als Drehfedern	396
14.10	Blattfedern als Biegefedorne	398
14.11	Ringfedern als Druckfeder	400
14.12	Luftfedern	403
14.13	Weitere Metallfedern	405
14.14	Gummifedern	408
14.15	Literatur	410
Drehbewegungselemente		
15	Achsen und Wellen	412
15.1	Werkstoffe, Gestaltung	413
15.2	Biegemomente, Längskräfte und Torsionsmomente	414
15.3	Überschlagsberechnung auf Torsion und Biegung	418
15.4	Achsen und Wellen gleicher Biegebeanspruchung	419
15.5	Berechnung auf Gestaltfestigkeit (Dauerhaltbarkeit)	420
15.6	Durchbiegung	428
15.7	Verdrehwinkel	452
15.8	Kritische Drehzahlen	453
15.9	Tragfähigkeitsberechnung von Wellen und Achsen nach DIN 743	456
15.10	Literatur	467
16	Tribologie: Reibung, Schmierung und Verschleiß	469
16.1	Reibung	469
16.2	Verschleiß	471
16.3	Schmierstoffe (Übersicht)	473
16.4	Schmieröle	474
16.5	Schmierfette	482
16.6	Schmierpasten	483
16.7	Schmierwachse	483
16.8	Festschmierstoffe	484
16.9	Gleitlacke	484
16.10	Literatur	485
17	Gleitlager	487
17.1	Hydrostatisch und hydrodynamisch geschmierte Gleitlager, Mehrflächenlager, Grenzschichtschmierung	487
17.2	Schmierstoffzufuhr, Schmiersysteme	491
17.3	Abweichungen von der Lagergeometrie	496
17.4	Gleitwerkstoffe	497
17.5	Wärmewirkungen, Kühlung	506
17.6	Gestaltung der Radiallager	507

17.7	Berechnung der hydrodynamisch geschmierten Radiallager	511
17.8	Gestaltung der Axiallager	529
17.9	Berechnung der Axiallager	532
17.10	Wartungsfreie Gleitlager	537
17.11	Literatur	538
18	Wälzlager	540
18.1	Aufbau, Kennzeichen	540
18.2	Belastungsmöglichkeiten, Einbaurichtlinien	544
18.3	Besondere Ausführungen von Wälzlagern.	550
18.4	Tragfähigkeit und Lebensdauer	552
18.5	Belastung von Kegelrollen- und Schrägkugellagern.	557
18.6	Besondere Belastungsfälle	560
18.7	Grenzdrehzahl	561
18.8	Schmierung der Wälzlager	562
18.9	Literatur	564
19	Lager- und Wellendichtungen	567
19.1	Schleifende Dichtungen	567
19.2	Berührungsreie Dichtungen	573
19.3	Literatur	576
20	Wellenkupplungen und -bremsen	577
20.1	Einteilung der Wellenkupplungen	577
20.2	Starre Kupplungen	577
20.3	Drehsteife Ausgleichskupplungen	578
20.4	Formschlüssig nachgiebige, drehelastische Wellenkupplungen	584
20.5	Kraftschlüssig drehnachgiebige Kupplungen.	597
20.6	Formschlüssige Schaltkupplungen	599
20.7	Reibkupplungen als kraftschlüssige Schaltkupplungen	601
20.8	Fliehkraftkupplungen als drehzahlbetätigte Kupplungen	615
20.9	Momentbetätigte Kupplungen als Sicherheitskupplungen	616
20.10	Richtungsbetätigte Kupplungen als Freilaufkupplungen	619
20.11	Bremsen	624
20.12	Mehrmassen-Torsionsschwinger	629
20.13	Literatur	635
Zahnräder		
21	Grundlagen für Zahnräder und Getriebe	636
21.1	Rad- und Getriebearten	636
21.2	Verzahnungsgesetz	639
21.3	Zykloidenverzahnung	643
21.4	Evolventenverzahnung	645
21.5	Berechnung von Planetengetrieben	649
21.6	Literatur	666
22	Abmessungen und Geometrie der Stirn- und Kegelräder	667
22.1	Null-Außenverzahnung.	667
22.2	Planverzahnung, Bezugsprofil	669
22.3	Null-Innenverzahnung	669
22.4	Null-Schrägverzahnung.	671
22.5	Profilverschiebung.	674
22.6	Geometrische Grenzen.	679
22.7	Profilüberdeckung.	682
22.8	Geradverzahnte Kegelräder.	684
22.9	Schräg- und bogenverzahnte Kegelräder	690
22.10	Literatur	693

23 Gestaltung und Tragfähigkeit der Stirn- und Kegelräder	695
23.1 Zahnräte an Stirnrädern	695
23.2 Zahnräte an Kegelräden	697
23.3 Reibung, Wirkungsgrad, Übersetzung	701
23.4 Gestaltung der Räder aus Stahl und aus Gusseisen	703
23.5 Gestaltung der Räder aus Kunststoffen	708
23.6 Verzahnpasssysteme, Verzahnungsqualität	710
23.7 Schmierung, Schmierstoffe	713
23.8 Begriffe der Tragfähigkeit	715
23.9 Allgemeine Einflussfaktoren	718
23.10 Zahnufttragfähigkeit der Stirnräder	723
23.11 Flanken- bzw. Grübchentragfähigkeit der Stirnräder	725
23.12 Zahnufttragfähigkeit der Kegelräder	728
23.13 Flanken- bzw. Grübchentragfähigkeit der Kegelräder	730
23.14 Berechnung der Räder aus thermoplastischen Kunststoffen auf Tragfähigkeit und Verformung	732
23.15 Laufgeräusche, Ausführung von Getrieben	737
23.16 Literatur	740
24 Zahnradpaare mit sich kreuzenden Achsen	742
24.1 Eingriffsverhältnisse von Schraub-Zahnradpaaren	742
24.2 Zahnräte und Wirkungsgrad an Schraub-Zahnradpaaren	743
24.3 Tragfähigkeit von Schraub-Zahnradpaaren, Schmierung	746
24.4 Hyperboloid- und Hypoid-Schraubradpaare	747
24.5 Geometrie der Schneckenradsätzen	748
24.6 Zahnräte und Wirkungsgrad an Schneckenradsätzen	754
24.7 Gestaltung der Schnecken und Schneckenräder	756
24.8 Schmierung und Verzahnungsqualität von Schneckenradsätzen	758
24.9 Tragfähigkeit von Schneckenradsätzen	760
24.10 Ausführung von Schneckengetrieben	761
24.11 Literatur	762
Hülltriebe	
25 Kettentriebe	764
25.1 Anordnung von Kettenrieben	764
25.2 Kettenarten, Endverbindung	766
25.3 Kettenräder	769
25.4 Spann- und Führungseinrichtungen	772
25.5 Auswahl von Rollenketten und deren Berechnung	774
25.6 Schmierung der Kettentriebe	778
25.7 Literatur	779
26 Flachriementriebe	780
26.1 Theoretische Grundlage für Riementriebe	780
26.2 Vorspannmöglichkeiten, Triebarten	783
26.3 Riemerwerkstoffe, Endverbindung	785
26.4 Riemenscheiben	786
26.5 Geometrie der Flachriementriebe	789
26.6 Übersetzung, Riemengeschwindigkeit, Biegefrequenz	791
26.7 Berechnung der Antriebe mit Leder- und Geweberiemen	792
26.8 Berechnung von Antrieben mit Mehrschichtriemen	796
26.9 Spannrollentrieb	800
26.10 Literatur	801
27 Keilriementriebe	802
27.1 Wirkungsweise, Ausführung genormter Keilriemen	802
27.2 Keilriemenscheiben	805
27.3 Berechnung der Antriebe mit Keilriemen und Keilrippenriemen	807
27.4 Weitere Ausführungen von Keilriemen und Keilriementrieben	813
27.5 Literatur	814

28 Synchron- oder Zahnriementriebe	816
28.1 Ausführung der Synchron- oder Zahnriemen und -scheiben	817
28.2 Übersetzung und Geometrie der Synchronriementriebe	819
28.3 Berechnung von Antrieben mit Synchron- oder Zahnriemen	820
28.4 Literatur	824
Führungselemente für Flüssigkeiten und Gase	
29 Rohrleitungen	825
29.1 Grundlagen	825
29.2 Rohrarten	827
29.3 Rohrformstücke	829
29.4 Rohrverbindungen	831
29.5 Dehnungsausgleicher	836
29.6 Rohrhalterungen	838
29.7 Darstellung von Rohrleitungen	841
29.8 Berechnung von Rohrleitungen	841
29.9 Literatur	848
30 Armaturen	850
30.1 Allgemeines	850
30.2 Ventile	851
30.3 Schieber	853
30.4 Hähne	855
30.5 Klappen	855
30.6 Armaturenantriebe	856
30.7 Literatur	857
Sachwortverzeichnis	859

Inhaltsverzeichnis

1	Konstruktionstechnik	
Tab. 1.1	Normzahlen nach DIN 323 (Auszug)	15
Tab. 1.2	Grundtoleranzen T in μm (Auszug aus DIN EN ISO 286-1)	15
Tab. 1.3	Obere Abmaße es in μm von Wellen (Auszug aus DIN EN ISO 286-1)	16
Tab. 1.4	Untere Abmaße EI in μm von Bohrungen (Auszug aus DIN EN ISO 286-1)	16
Tab. 1.5	Untere Abmaße ei in μm von Wellen (Auszug aus DIN EN ISO 286-1)	17
Tab. 1.6	Obere Abmaße ES in μm von Bohrungen (Auszug aus DIN EN ISO 286-1)	18
Tab. 1.7	Grenzabmaße in mm der Allgemeintoleranzen (nach DIN EN ISO 2768-1)	18
Tab. 1.8	Für allgemeine Anwendung empfohlene Toleranzklassen (nach DIN 7157)	19
Tab. 1.9	Zu empfehlende Passungen für allgemeine Anwendung	19
Tab. 1.10	Erreichbare Rautiefe, je nach Fertigungsverfahren (Auszug aus DIN 4766)	20
2	Werkstoffe	
Tab. 2.1	Gegenüberstellung der alten und der neuen Kurznamen für einige wichtige Stähle (Auszug aus DIN- und DIN EN-Normen)	21
Tab. 2.2	Mindest-Festigkeitswerte in N/mm^2 der Stahlsorten nach DIN EN 10025 für warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen (Auszug, gültig für alle Gütegruppen) .	21
Tab. 2.3	Gegenüberstellung der alten und der neuen Werkstoffbezeichnungen für Gussseisen und Temperguss (Auszug aus DIN- und DIN EN-Normen)	22
Tab. 2.4	Gegenüberstellung der alten und der neuen Werkstoffbezeichnungen für einige Leichtmetall-Legierungen (Auszug aus DIN- und DIN EN-Normen)	22
Tab. 2.5	Streckgrenzen R_e bzw. 0,2%-Dehngrenzen und Zugfestigkeiten R_m (bei Grauguss) in N/mm^2 von Eisenwerkstoffen (Auszug aus DIN- und DIN EN-Normen)	23
Tab. 2.6	0,2%-Dehngrenzen $R_{p0,2}$ in N/mm^2 verschiedener Leichtmetall-Legierungen (Auszug aus DIN- und DIN EN-Normen)	24
Tab. 2.7	Werkstoffbezeichnungen und 0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2}$ verschiedener Kupfer-Gusslegierungen (Auszug aus DIN- und DIN EN-Normen)	25
Tab. 2.8	Festigkeitskennwerte in N/mm^2 für einige Stahlwerkstoffe (auszugsweise nach [3.17]) .	26
Tab. 2.9	Festigkeitskennwerte von Stahl und Gussseisen (Grauguss) für ruhende Beanspruchung .	26
Tab. 2.10	Anhaltswerte für die Querschnittsformzahl f_q bei ruhender Biegebeanspruchung .	26
Tab. 2.11	Übersicht über die Materialkennwerte in den einzelnen Kapiteln und ihre Fundstellen .	27
3	Festigkeitsberechnungen	
Tab. 3.1	Biegebeanspruchte Träger	28
Tab. 3.2	Axiale Flächen- und Widerstandsmomente einiger Querschnittsflächen	29
Tab. 3.3	Formzahlen	30
Tab. 3.4	Dynamische Stützziffer n_χ in Abhängigkeit vom bezogenen Spannungsgefälle χ und von der Streckgrenze R_e bzw. $R_{p0,2}$ oder der Zugfestigkeit R_m (nach VDI 2226)	31
Tab. 3.5	Größenbeiwert b_2 für Stähle bei schwingender Beanspruchung (Anhaltswerte)	31
Tab. 3.6	Anhaltswerte für erforderliche Sicherheiten S_{Fert} gegen Fließen und S_{Bert} gegen Bruch in Abhängigkeit vom Lastfall	32
Tab. 3.7	Anhaltswerte für erforderliche Sicherheiten S_{Fert} gegen Dauerbruch	32
Tab. 3.8	Druckfestigkeitsfaktor f_o und Schubfestigkeitsfaktor f_t (nach FKM-Richtlinie [3.17]) .	32
Tab. 3.9	Graugussfaktor K_{NL} (nach FKM-Richtlinie [3.17])	32
Tab. 3.10	Anisotropiefaktor K_A (nach FKM-Richtlinie [3.17])	32
Tab. 3.11	Schweißnahtfaktor α_W nach DIN 18800 Teil 1 (nach FKM-Richtlinie [3.17])	33
Tab. 3.12	Sicherheitsfaktor j (nach FKM-Richtlinie [3.17])	33
Tab. 3.13	Zug-Druck-Wechselfestigkeitsfaktor $f_{W,o}$ und Schubwechselfestigkeitsfaktor $f_{W,t}$ (nach FKM-Richtlinie [3.17])	33
Tab. 3.14	Bauteilklassen für Nennspannung (Normalspannung) (nach [3.20])	34
Tab. 3.15	Der Graugussfaktor K_{NLE} berücksichtigt das nichtlinear-elastische Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Grauguss bei Zug-Druck- und Biegebelastung (nach FKM-Richtlinie [3.17])	34
Tab. 3.16	Eigenspannungsfaktor $K_{E,o}$, $K_{E,t}$ und Mittelspannungsempfindlichkeit M_o , M_t (nach FKM-Richtlinie [3.17])	34
Tab. 3.17	Knickpunktzyklenzahlen N_D und Neigungsexponenten sowie Werte $f_{II,o}$ und $f_{II,t}$ der Bauteile-Wöhlerlinien (WL) (nach FKM-Richtlinie [3.17])	35
Tab. 3.18	Konstante K_f (nach FKM-Richtlinie [3.17])	35

Tab. 3.19	Effektiver Durchmesser d_{eff} (nach FKM-Richtlinie [3.17])	35
Tab. 3.20	Konstanten a_G und b_G (nach FKM-Richtlinie [3.17])	36
Tab. 3.21	Bezogene Spannungsgefälle $\bar{G}_o(r)$ und $\bar{G}_t(r)$ für einfache Bauformen ¹⁾ (nach FKM-Richtlinie [3.17])	36
Tab. 3.22	Konstante $a_{R,o}$ und minimale Zugfestigkeit in der Werkstoffgruppe, $R_{m,N,\min}$ (nach FKM-Richtlinie [3.17])	37
Tab. 3.23	Konstante a_M und b_M (nach FKM-Richtlinie [3.17])	37
Tab. 3.24	Ertragbare Minersumme D_M , empfohlene Werte (nach FKM-Richtlinie [3.17])	37
Tab. 3.25	Technologische Größeneinflussfaktoren $K_{d,m}$ und $K_{d,p}$	37
Tab. 3.26	Berechnung des Mittelspannungsfaktors $K_{AK,zd}$ (nach FKM-Richtlinie [3.17])	38
Tab. 3.27	Druckfestigkeitsfaktor f_σ und Schubfestigkeitsfaktor f_r (nach FKM-Richtlinie [3.17])	39
Tab. 3.28	Temperaturfaktoren zur Berücksichtigung des Temperatureinflusses bei zulässigen Werkstoffkennwerten (nach FKM-Richtlinie [3.17])	39
Tab. 3.29	Dehnungskennwerte (nach FKM-Richtlinie [3.17])	40
Tab. 3.30	Eigenspannungsvektor K_E und Mittelspannungsempfindlichkeit M für geschweißte Bauteile (nach FKM-Richtlinie [3.17])	40
Tab. 3.31	Zusätzlicher Teilsicherheitsfaktor j_z für nicht geschweißte und geschweißte Bauteile (nach FKM-Richtlinie [3.17])	40
Tab. 3.32	Materialsicherheitsfaktor j_F für geschweißte und nichtgeschweißte Bauteile (nach FKM-Richtlinie [3.17])	40
Diagr. 3.1	Zug-Druck-Dauerfestigkeitsschaubilder von Baustählen nach DIN EN 10025 (bis 40 mm Dicke)	41
Diagr. 3.2	Dauerfestigkeitsschaubilder von E295 (St50-2 bis 40 mm Dicke) für Biegung (1), Zug-Druck (2) und Torsion (3)	41
Diagr. 3.3	Technologische Größeneinflussfaktoren $K_{d,m}$ und $K_{d,p}$	41
4	Schmelzschweißverbindungen	
Tab. 4.1	Fugenformen an Stahl entspr. DIN EN 29692 (Auszug)	42
Tab. 4.2	Grenzwerte für Unregelmäßigkeiten nach DIN EN 25817 (Auszug)	44
Tab. 4.3	Allgemeintoleranzen in mm für Schweißkonstruktionen (nach DIN EN ISO 13920 (DIN 8570))	45
Tab. 4.4	Anhaltswerte für zulässige Spannungen in N/mm ² in den Schweißnähten und den Anschlussquerschnitten S von Bauteilen des Maschinenbaus	46
Tab. 4.5	Eigenschaften von Autogen-Schweißstäben (nach Angaben der Fa. Oerlikon. [4.7])	46
Tab. 4.6	Verschiedene Schutzgase für MIG/MAG- und WIG-Schweißen (nach [4.1])	47
Tab. 4.7	Farbkennzeichnung von Druckgas-Flaschen	48
Tab. 4.8	Eine Auswahl unlegierter Massivdrahtelektroden für Baustähle und Maschinenbaustähle nach DIN EN ISO 14341-A (nach Angaben der EWM AG)	48
Tab. 4.9	Eine Auswahl hochlegierter Massivdrahtelektroden, nichtrostend nach DIN EN ISO 14343-A bzw. AWS A-5.9 (nach Angaben der EWM AG)	48
Tab. 4.10	Eine Auswahl Massivdrahtelektroden für Aluminiumlegierungen nach DIN EN ISO 18273 (nach Angaben der EWM AG)	49
Tab. 4.11	Aluminium-Knet- und Gusslegierungen	49
Tab. 4.12	Warmgewalzter rundkantiger U-Stahl (nach DIN 1026)	50
Tab. 4.13	Beispiele für die Zuordnung üblicher Schweißanschlüsse in Normalgüte zu den Kerbfällen nach DIN 15018 (Auszug)	51
Tab. 4.14	Nahtlose Stahlrohre (nach DIN 2448)	53
Tab. 4.15	Geschweißte Stahlrohre (nach DIN 2458)	53
Tab. 4.16	Einige Stahlwerkstoffe für Druckbehälter und Kessel (zusammengestellt nach DIN-Normen und AD-Merkblättern)	54
Tab. 4.17	Festigkeitskennwerte K in N/mm ² von Stahlwerkstoffen für Druckbehälter und Kessel (Auszug aus DIN-Normen und AD-Merkblättern)	55
Tab. 4.18	Festigkeitskennwerte K in N/mm ² von Stahlrohrwerkstoffen (Auszug aus DIN-Normen)	56
5	Pressschweißverbindungen	
Tab. 5.1	Übliche Abmessungen in mm von Punktschweißverbindungen	57
Tab. 5.2	Zulässige Spannungen in N/mm ² für Punktschweißverbindungen	57
Tab. 5.3	Abmessungen in mm von Rundbuckeln (nach DIN EN 28167) sowie von Lang- und Ringbuckeln (nach DIN 8519)	58
6	Lötverbindungen	
Tab. 6.1	Hartlote – Lotzusätze (Auswahl nach DIN EN ISO 17672)	59
Tab. 6.2	Anhaltswerte für Festigkeit und zulässige Spannungen in N/mm ² für Lötverbindungen	59

7	Klebverbindungen	
Tab. 7.1	Einige Klebstoffe zum Verbinden von Metallen untereinander und mit anderen Werkstoffen, warm abbindend (Auszug aus VDI 2229)	60
Tab. 7.2	Einige Klebstoffe zum Verbinden von Metallen untereinander und mit anderen Werkstoffen, kalt und kalt/warm abbindend (Auszug aus VDI 2229)	61
Tab. 7.3	Oberflächenbehandlung nach dem Entfetten (Auszug aus VDI 2229)	62
Tab. 7.4	Berechnungskennwerte einiger Loctite-Klebstoffe (nach LOCTITE)	62
Tab. 7.5	Einflussfaktoren $f_1 \dots f_8$ zur Ermittlung der Zugscherfestigkeit von Klebverbindungen (nach LOCTITE)	63
8	Nietverbindungen	
Tab. 8.1	Abmessungen in mm der Halbrundniete DIN 660 und Senkniete DIN 661	64
Tab. 8.2	Anhaltswerte für zulässige Spannungen in N/mm ² von Nietverbindungen im Maschinenbau	64
Tab. 8.3	Werkstoffe für Aluminiumniete und zulässige Scherspannungen in N/mm ² (nach DIN 4113-1/A1)	65
Tab. 8.4	Rand- und Lochabstände von Nieten und Schrauben in Aluminiumkonstruktionen (nach DIN 4113-1/A1)	65
Tab. 8.5	Zulässige Spannungen in N/mm ² der Aluminiumbauteile (nach DIN 4113-1/A1)	65
Tab. 8.6	Knickzahlen ω einiger Aluminiumlegierungen nach DIN 4113-1/A1 (Auszug)	66
Tab. 8.7	Bezeichnungen und Mindest-Festigkeitswerte von Aluminium und Aluminiumlegierungen für Bleche, Bänder und Rohre nach DIN EN 485-2 (Auszug)	66
9	Pressverbände	
Tab. 9.1	Haftsicherheiten und Haftbeiwerte für Pressverbände	67
Tab. 9.2	Querdehnzahlen ν , Elastizitätsmoduln E und Wärmedehnungsbeiwerte α verschiedener Werkstoffe (z. T. nach DIN 7190)	67
Tab. 9.3	Übermaße in μm verschiedener Presspassungen mit H7 und h6	68
Tab. 9.4	Bezogener Plastizitätsdurchmesser ξ (Anhaltswerte nach [9.4])	68
Tab. 9.5	Technische Daten von RINGFEDER-Spannlementen (Werksangaben)	69
Tab. 9.6	Technische Daten von RINGSPANN-Sternscheiben (Werksangaben)	69
10	Befestigungsschrauben	
Tab. 10.1	Abmessungen und Querschnitte des metrischen ISO-Gewindes DIN 13 (Auszug)	70
Tab. 10.2	Kennzeichen und Festigkeitswerte in N/mm ² von Schrauben- und Mutternstahl (nach DIN EN 20898 und DIN EN ISO 898-2:2012-08)	71
Tab. 10.3	Durchgangslöcher D_1 in mm für Schrauben (Auszug aus DIN EN 20273)	71
Tab. 10.4	Für die Berechnung wichtige Abmessungen in mm einiger Schraubenköpfe, Muttern und Unterlegscheiben	71
Tab. 10.5	Mindesteinschraubtiefen m_{erf} (nach [10.6])	72
Tab. 10.6	Richtwerte für den Anziehfaktor α_A (Auszug aus VDI 2230)	72
Tab. 10.7	Reibwerte μ_G und μ_K für verschiedene Oberflächen- und Schmierzustände (nach [10.11])	73
Tab. 10.8	Zulässige Montagevorspannkräfte $F_{M\text{zul}}$ und Anziehmomente $M_{A\text{zul}}$ für Schaftschrauben (nach VDI 2230)	74
Tab. 10.9	Zulässige Montagevorspannkräfte $F_{M\text{zul}}$ und Anziehmomente $M_{A\text{zul}}$ für Taillenschrauben (nach VDI 2230)	75
Tab. 10.10	Richtwerte für Setzbeträge f_Z von Schraubenverbindungen (nach VDI 2230)	76
Tab. 10.11	Ausschlagsfestigkeit σ_A des Kerns von Regelgewinden unter Vorspannung (nach [10.4])	76
Tab. 10.12	Zulässige Flächenpressungen $p_B\text{zul}$ gedrückter Bauteile in Schraubenverbindungen	76
Tab. 10.13	Anhaltswerte für zulässige Betriebsspannungen und mittlere Vorspannungen für Schrauben der Festigkeitsklassen unter 8.8 bei gefühlsmäßigem Anziehen	77
Tab. 10.14	Anhaltswerte für zulässige Spannungen querbeanspruchter Schraubenverbindungen im Maschinenbau	77
Tab. 10.15	Erfahrungswerte für übliche Sicherheiten und Reibwerte bei trockenen und glatten Trennflächen querbeanspruchter Schraubenverbindungen mit Reibhemmung	77
11	Bewegungsschrauben	
Tab. 11.1	Abmessungen in mm des Trapez- und des Sägengewindes	78
Tab. 11.2	Anhaltswerte für Reibwerte und zulässige Spannungen für Bewegungsschrauben	78

12 Welle-Nabe-Verbindungen		
Tab. 12.1	Zulässige Flankenpressungen von Nabenvverbindungen (Erfahrungswerte)	79
Tab. 12.2	Abmessungen in mm der Treib-, Einlege- und Nasenkeile (nach DIN 6886 und 6887)	79
Tab. 12.3	Abmessungen in mm der Passfedern (nach DIN 6885)	79
Tab. 12.4	Abmessungen in mm der Passfedern (nach DIN 6885)	80
Tab. 12.5	Abmessungen in mm der Scheibenfedern (nach DIN 6888)	80
Tab. 12.6	Abmessungen in mm des Keilwellen- und Keilnabenprofils	81
Tab. 12.7	Zu bevorzugende Toleranzklassen für Keilnaben und Keilwellen	81
Tab. 12.8	Abmessungen in mm des Kerbzahnprofils	82
Tab. 12.9	Abmessungen in mm des Evolventenzahnprofils (Auswahl)	82
Tab. 12.10	Abmessungen in mm der Polygonprofile P3G und P4C	83
Tab. 12.11	Abmessungen der kegeligen Wellenenden mit Kegel 1:10 nach DIN 1448-1 (Auszug)	83
Tab. 12.12	Abmessungen der Stirnverzahnung	84
13 Stift- und Bolzenverbindungen		
Tab. 13.1	Zulässige Beanspruchungen in N/mm ² für Stift- und Bolzenverbindungen bei Stiften oder Bolzen aus Stahl (Erfahrungswerte)	84
Tab. 13.2	Abmessungen in mm der Sicherungsringe nach DIN 471 und 472 (Auszug)	85
Tab. 13.3	Genormte Durchmesser <i>d</i> nach ISO und Längen <i>l</i> in mm von Stiften und Bolzen	85
14 Federn		
Tab. 14.1	Mechanische Eigenschaften und Verwendungsbeispiele von warmgewalzten Stählen für vergütbare Federn (nach DIN EN 10089)	86
Tab. 14.2	Güteeigenschaften (nach DIN EN 10132-4) für Kaltband aus Stahl zur Wärmebehandlung, speziell Federstähle	87
Tab. 14.3	Runder Federstahldraht (nach DIN EN 10270-1 und -2)	87
Tab. 14.4	Zugfestigkeiten für Drahtsorten SL, SM, DM, SH und DH für patentiert-gezogenen unlegierten Federstahldraht (nach DIN EN 10270-1)	88
Tab. 14.5	Zugfestigkeiten der Drahtsorten FDC, FDCrV und FDSiCr für ölschlüssvergüteten Federstahldraht (nach DIN EN 10270-2)	90
Tab. 14.6	Zugfestigkeiten der Drahtsorten TDC, TDCrV, TDSiCr, VDC, VDCrV und VDSiCr für ölschlüssvergüteten Federstahldraht (nach DIN EN 10270-2)	91
Tab. 14.7	Zugfestigkeiten für nichtrostenden Federstahldraht (nach DIN EN 10270-3)	92
Tab. 14.8	Elastizitäts- und Schubmodul für nichtrostenden Federstahldraht (nach DIN EN 10270-3)	92
Tab. 14.9	Werkstoff-Kennwerte bei Raumtemperatur für die Berechnung von Federn (nach DIN EN 13906-1 und -2)	92
Tab. 14.10	Aspekte für die Verwendung der verschiedenen nichtrostenden Stahlsorten (nach DIN EN 10151)	93
Tab. 14.11	Zulässige Schubspannung für zylindrische Schraubenfedern bei ruhender (statischer) Beanspruchung (nach DIN EN 13906-1 u. -2)	93
Tab. 14.12	Baugrößen für kaltgeformte zylindrische Schraubendruckfedern aus runden Drähten ab <i>d</i> = 0,5 mm (nach DIN 2098-1)	94
Diagr. 14.1	Zeitfestigkeitsschaubild für warmgeformte Federn aus warmgewalzten Stählen (nach DIN EN 10089) mit geschliffener oder geschälter Oberfläche, kugelgestrahl	94
Diagr. 14.2	Dauerfestigkeitsschaubild für warmgeformte Federn aus warmgewalzten Stählen (nach DIN EN 10089) mit geschliffener oder geschälter Oberfläche, kugelgestrahl	95
Diagr. 14.3	Zeitfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus patentiert-gezogenem Federstahldraht der Sorte SH oder DH (nach EN 10270-1), kugelgestrahl	96
Diagr. 14.4	Zeitfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus vergütetem Federstahldraht der Sorte TD (nach EN 10270-2), kugelgestrahl	96
Diagr. 14.5	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus patentiert-gezogenem Federstahldraht der Sorte TD (nach EN 10270-1), kugelgestrahl	97
Diagr. 14.6	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus patentiert-gezogenem Federstahldraht der Sorte DH (nach EN 10270-1), nicht kugelgestrahl	97
Diagr. 14.7	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus vergütetem Federstahldraht der Sorte TD (nach EN 10270-2), kugelgestrahl	98
Diagr. 14.8	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus vergütetem Federstahldraht der Sorte TD (nach EN 10270-2), nicht kugelgestrahl	98
Diagr. 14.9	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus vergütetem Federstahldraht der Sorte VD (nach EN 10270-2), kugelgestrahl	99
Diagr. 14.10	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus vergütetem Federstahldraht der Sorte VD (nach EN 10270-2), nicht kugelgestrahl	99
Diagr. 14.11	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus nichtrostendem Federstahldraht X10CrNi18-8 (nach EN 10270-3), nicht kugelgestrahl	100
Diagr. 14.12	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus nichtrostendem Federstahldraht X7CrNiAl17-7 (nach EN 10270-3), nicht kugelgestrahl	100

Tab. 14.13	Zulässige Abweichungen bei verschiedenen Drahtsorten (nach DIN EN 10270-1 bis -3)	101
Tab. 14.14	Knickgrenze von zylindrischen Schraubendruckfedern (nach DIN EN 13906-1)	101
Tab. 14.15	Vorspannbeiwerte k_0 (näherungsweise) für kaltgeformte zylindrische Schraubenzugfedern aus runden Drähten	101
Tab. 14.16	Abmessungen der Tellerfedern in mm (nach DIN 2093) (Kräfte F_n für Stahlfederteller)	102
Tab. 14.17	Grenzabmaße A_t in mm von t bzw. t' , A_l in mm von l_0 und Grenzabweichungen A_F von F (nach DIN 2093)	102
Tab. 14.18	Empfohlenes Spiel zwischen Führungselement und Federteller (nach DIN 2093)	103
Tab. 14.19	Kennwerte K_1, K_2, K_3, K_4 und K_5 für Tellerfedern (nach DIN 2092) ($\delta = D_e/D_i$)	103
Tab. 14.20	Hubfestigkeiten σ_F bei $\sigma_U = 0$ und Oberspannung $\sigma_{O\max}$ von Tellerfedern aus Edelstahl (nach DIN 2092)	103
Tab. 14.21	Schichtung der Tellerfedern zu Federsäulen	103
Tab. 14.22	Spannungsbeiwerte q zur Berücksichtigung der Drahtkrümmung von gewundenen Schenkelfedern und zulässige Spannungen σ_{zul} und σ_{q2zul}	104
Tab. 14.23	Zulässige Schubspannungen τ_{zul} und Hubfestigkeiten τ_F von Drehstabfedern aus Edelstahl bei $\tau_U = 0$, Stäbe geschliffen und kugelgestrahlt sowie vorgesetzt (nach DIN 2091)	104
Tab. 14.24	Formbeiwerte k_1 und zulässige Biegespannungen σ_b_{zul} für Blattfedern	104
Tab. 14.25	Grundformen von Gummifedern und deren Berechnungsgleichungen	105
Tab. 14.26	Anhaltswerte für zulässige Spannungen in N/mm ² von Gummifedern	106
Tab. 14.27	Abmessungen und Drehmomente der ROSTA-Gummifederelemente Typ DR-S	106
Diagr. 14.13	Kennlinien von Tellerfedern (nach DIN 2092)	107
Diagr. 14.14	Statischer Elastizitätsmodul E in Abhängigkeit von der Härte und vom Formfaktor, statischer Gleitmodul G in Abhängigkeit von der Härte	107
15 Achsen und Wellen		
Tab. 15.1	Zulässige Spannungen für Überschlagsberechnungen und Festigkeitswerte in N/mm ² für Achsen und Wellen	108
Tab. 15.2	Widerstandsmomente W_b und W_t sowie Flächenmomente I_b und I_t zweiten Grades verschiedener Querschnitte	108
Tab. 15.3	Anhaltswerte für die Formzahlen a_{kb} und a_{kt} für Achsen und Wellen sowie die für das bezogene Spannungsgefälle χ einzusetzenden Radien q	109
Tab. 15.4	Formzahlen a_{kb} und a_{kt} für Achsen und Wellen mit Absätzen und mit Querbohrung	110
Tab. 15.5	Formzahlen a_{kb} und a_{kt} für Achsen und Wellen mit Rundrillen und Kerbwirkungszahlen β_{kb} für Achsen und Wellen mit spitzen Ringrillen	111
Tab. 15.6	Bezogenes Spannungsgefälle χ für verschiedene Kerbformen und Beanspruchungsarten (nach Siebel [15.11])	112
Tab. 15.7	Auswahl an Biegelinien	113
Tab. 15.8	Technologischer Größeneinfluss K_1 (d_{eff} nach DIN 743-2)	116
Tab. 15.9	Statische Stützwirkung K_{2F} (nach DIN 743-1)	117
Tab. 15.10	Erhöhungsfaktor der Fließgrenze γ_F bei Umdrehungskerben (nach DIN 743-1)	117
Tab. 15.11	Geometrischer Größeneinfluss $K_2(d)$ (nach DIN 743-2)	117
Tab. 15.12	Einflussfaktor der Oberflächenrauheit (nach DIN 743-2)	117
Tab. 15.13	Einflussfaktor der Oberflächenverfestigung (Auszug aus DIN 743-2)	117
Diagr. 15.1	Dynamische Stützziffern n_χ in Abhängigkeit von Werkstoff und bezogenem Spannungsgefälle χ (nach Siebel [15.11])	118
Diagr. 15.2	Oberflächenbeiwert b_1 in Abhängigkeit von Rautiefe und Bruchfestigkeit	119
Diagr. 15.3	Größenbeiwert b_2 in Abhängigkeit vom Durchmesser	119
16 Tribologie: Reibung, Schmierung und Verschleiß		
Tab. 16.1	Verschiedene Reibwerte (nach [16.1], [16.5], [16.6])	120
Tab. 16.2	Kinematische Viskosität der Schmieröle für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrzeuggetriebe	120
Tab. 16.3	Umschlüsselung von DIN-VG und SAE-Klassen	121
Tab. 16.4	NLGI-Konsistenzklassen nach DIN 51818 und Anwendung von Schmierfetten (nach Möller und Boor)	121
Tab. 16.5	Zahlenwerte für die Koeffizienten a , b und c der Vogelschen Gleichung für die Temperaturabhängigkeit der dynamischen Viskosität η für die US-amerikanische SAE-Klasse von Motorölen (nach [16.2])	122
Tab. 16.6	Grundöle für moderne Schmieröle (nach Angaben von Klüber Lubrication München [16.9])	122
Tab. 16.7	Reibwerte von Festschmierstoffen im Beharrungszustand (nach Bartz und Holinski)	122
Tab. 16.8	Einfluss des Dickschlusses auf das Schmierfettverhalten (nach Klüber Lubrication München KG [16.9])	123
Diagr. 16.1	Dynamische Viskosität η in Abhängigkeit von der Temperatur t für Schmieröle (nach DIN 51519) mit der Dichte $\varrho = 900 \text{ kg/m}^3$	124

17 Gleitlager		
Tab. 17.1	Schmiernuten (nach DIN ISO 12128 (DIN 1591))	125
Tab. 17.2	Schmiertaschen (nach DIN ISO 12128 (DIN 1591))	125
Tab. 17.3	Schmierlöcher (nach DIN ISO 12128 (DIN 1591))	126
Tab. 17.4	Randabstände von Schmiernuten (nach DIN ISO 12128 (DIN 1591))	126
Tab. 17.5	Blei- und Zinn-Gusslegierungen für Gleitlager (nach DIN ISO 4381) (Kurzzeichen und Verwendung)	126
Tab. 17.6	Kupfer-Zinn- und Kupfer-Zinn-Zink-Gusslegierungen (Guss-Zinnbronze und Rotguss) (nach DIN EN 1982 (DIN 1705)) für Gleitlager	127
Tab. 17.7	Kupfer-Blei-Zinn-Gusslegierungen (Guss-Zinn-Bleibronze) (nach DIN EN 1982 (DIN 1716)) für Gleitlager	127
Tab. 17.8	Verbundwerkstoffe (nach DIN ISO 4383) für dünnwandige Gleitlager (Kurzzeichen und Verwendung)	128
Tab. 17.9	Abmessungen in mm der Gleitlagerbuchsen der Formen C und F nach DIN ISO 4379-1 (DIN 1850-1) (Auszug)	129
Tab. 17.10	Abmaße und Spiele für Gleitlagerungen in Abhängigkeit vom mittleren relativen Lagerspiel ψ_m nach DIN 31698 (Auszug)	130
Tab. 17.11	Anhaltswerte für zulässige Belastungen einfacher Gleitlager aus Gleitmetall	131
Tab. 17.12	Erfahrungswerte für die höchstzulässige spezifische Lagerbelastung \bar{p} bei hydrodynamischen Gleitlagern (nach DIN 31652-3)	131
Tab. 17.13	Reibwerte von Gleitlagern und zu empfehlende Schmierstoffe	131
Tab. 17.14	Erfahrungsrichtwerte für die höchstzulässige Lagertemperatur t_B (nach DIN 31652-3)	131
Tab. 17.15	Sommerzahl S_o in Abhängigkeit von der relativen Exzentrizität ε und von der relativen Lagerbreite B/D (nach DIN 31652-2)	132
Tab. 17.16	Verlagerungswinkel β in Abhängigkeit von der relativen Exzentrizität ε und von der relativen Lagerbreite B/D (nach DIN 31652-2)	132
Tab. 17.17	Bezogener Reibwert μ/ψ_{eff} in Abhängigkeit von der relativen Exzentrizität ε und von der relativen Lagerbreite B/D (nach DIN 31652-2)	133
Tab. 17.18	Bezogener Schmierstoffdurchsatz q_1 infolge Eigendruckentwicklung im Schmierspalt in Abhängigkeit von der relativen Exzentrizität ε und der relativen Lagerbreite B/D (nach DIN 31652-2)	133
Tab. 17.19	Bezogener Schmierstoffdurchsatz q_2 in Abhängigkeit von der Anordnung der Schmierstoff-Zuführungselemente (nach DIN 31652-2)	134
Tab. 17.20	Erfahrungsrichtwerte für die kleinstzulässige Schmierfilmdicke $h_{0\lim}$ in μm (nach DIN 31652-3)	134
Tab. 17.21	Thermoplastische Kunststoffe für Gleitlager (aus VDI 2541)	134
Tab. 17.22	Anhaltswerte für zulässige Belastungen von Kunststoff-Gleitlagern bei $t_a \leq 30^\circ\text{C}$ (nach VDI 2541)	135
Tab. 17.23	Charakteristiken und Eigenschaften der gebräuchlichsten Thermoplaste (ungefüllt) (nach DIN ISO 6691)	136
Tab. 17.24	Richtwerte für Reibwerte von Kunststoff-Gleitlagern (links) und Folienlagern aus PTFE, das die niedrigsten Reibwerte aufweist (rechts) (nach VDI 2541)	137
Tab. 17.25	Eigenschaften von Kunststoffen für Gleitlager (aus VDI 2541)	138
Tab. 17.26	Tragzahl $S_{o\text{ax}}$ und Reibbeiwert K bei hydrodynamischen Axial-Gleitlagern (nach VDI 2204)	139
Tab. 17.27	Gemittelte Rautiefe R_z , Schmierfilmdicke h_{fl} beim Übergang in die Flüssigkeitsreibung und Mindestschmierfilmdicke $h_{0\lim}$ (nach VDI 2204)	139
Tab. 17.28	Spezifische Lagerbelastungen und Gleitgeschwindigkeiten bei Automotive-Anwendungen (nach Angaben von KS Gleitlager)	140
Tab. 17.29	Thermoplastische Kunststoffe für Gleitlager (Auswahl, nach [17.4])	140
Tab. 17.30	Lagerschalen für die Lager Nr. 1, 2, 4 und 5	140
18 Wälzlager		
Tab. 18.1 a	Wellentoleranzen für Radiallager mit zylindrischer Bohrung (nach FAG)	141
Tab. 18.1 b	Gehäusetoleranzen für Radiallager (nach FAG)	142
Tab. 18.2 a	Wellentoleranzen für Axiallager (nach FAG)	143
Tab. 18.2 b	Gehäusetoleranzen für Axiallager (nach FAG)	143
Tab. 18.3 a	Daten (nach FAG) für Rillenkugellager nach DIN 625	144
Tab. 18.3 b	Faktor f_0 für Rillenkugellager (nach FAG)	145
Tab. 18.3 c	Faktoren e , X und Y für Rillenkugellager (nach FAG)	146
Tab. 18.4 a	Daten (nach FAG) für Schräkgugellager nach DIN 628	147
Tab. 18.4 b	Bestimmen der dynamisch äquivalenten Belastung von Schräkgugellagern (nach FAG)	148
Tab. 18.4 c	Bestimmen der statisch äquivalenten Belastung von Schräkgugellagern (nach FAG)	148
Tab. 18.5	Daten (nach INA) für Nadellager (nach DIN 617)	149
Tab. 18.6	Daten (nach FAG) für Zylinderrollenlager (nach DIN 5412)	150
Tab. 18.7	Daten (nach FAG) für weitere Zylinderrollenlager (nach DIN 5412)	151

Tab. 18.8	Daten (nach FAG) für Kegelrollenlager (nach DIN 720)	152
Tab. 18.9	Daten (nach FAG) für Kegelrollenlager (nach DIN 720)	153
Tab. 18.10a	Daten (nach FAG) für einseitig wirkende Axial-Rillenkugellager (nach DIN 711)	153
Tab. 18.10b	Daten (nach FAG) für zweiseitig wirkende Rillenkugellager (nach DIN 711)	154
Tab. 18.11	Temperaturfaktor für Wälzlager	154
Tab. 18.12	Übliche nominelle Lebensdauer von Wälzlagern	154
Tab. 18.13	Für die Berechnung von Kegelrollen- und Schräkgugellagern ¹⁾ einzusetzende Axialbelastungskräfte F_{aA} und F_{aB} (nach FAG)	155
Tab. 18.14	Anhaltswerte für Drehzahlkonstanten K in Abhängigkeit von der Bauform der Wälzläger	155
Tab. 18.15	Beiwerte Z_S , K_D und Z_K zur Grenzdrehzahl von Wälzlagern	156
Tab. 18.16	Lebensdauerbeiwert a_1	156
Tab. 18.17	Lebensdauerbeiwert a_{ISO} nach DIN ISO 281	157
Tab. 18.18	Hilfsgrößen zur Bestimmung des Viskositätsverhältnisses K	158
Tab. 18.19	Verunreinigungsbeiwert e_C	158
19 Lager- und Wellendichtungen		
Tab. 19.1	Abmessungen in mm der Filzringe und Ringnuten (nach DIN 5419)	159
Tab. 19.2	Beispiele für die Beständigkeit der Elastomere von Radial-Wellendichtringen (nach DIN 3760)	159
Tab. 19.3	Abmessungen in mm der Radial-Wellendichtringe (nach DIN 3760)	160
Tab. 19.4	Eigenschaften von elastomerem Werkstoffen für Simmerringe® (nach Angaben von Freudenberg Simrit)	160
Tab. 19.5	Übersicht über synthetische Öle (nach Angaben von Freudenberg Simrit)	161
20 Wellenkupplungen und -bremsen		
Tab. 20.1	Kennwerte für elastische ROTEX-Kupplungen (KTR) (ψ für alle Größen = 0,8)	162
Tab. 20.2	Kennwerte für hochelastische BoWex-ELASTIC-Kupplungen (KTR)	163
Tab. 20.3	Einflussfaktoren für nachgiebige (elastische) Wellenkupplungen	165
Tab. 20.4	Temperaturgrenzen für Zahnkranzmaterialien (KTR)	166
Tab. 20.5	Spezielle Einsatzbereiche für elastische Kupplungen (KTR)	166
Tab. 20.6	Reibwerte und Kennwerte für verschiedene Reibpaarungen (nach VDI 2241)	167
Tab. 20.7	Brems- und Kupplungsbeläge für verschiedene Anwendungsgebiete (Bremskerl)	168
22 Abmessungen und Geometrie der Stirn- und Kegelräder		
Tab. 22.1	Modulen m in mm (nach DIN 780)	170
Tab. 22.2	Evolventenfunktion $\text{inv } \alpha = \tan \alpha - \hat{\alpha}$	170
Tab. 22.3	Schrägungswinkelfunktion $\sin \beta$ für Stirnradverzahnungen der Reihe 1 nach DIN 3978 (Auszug)	170
Diagr. 22.1	Geometrische Grenzen der Evolventenverzahnung mit $\alpha_n = 20^\circ$ und $h_a = m_n$ (nach DIN 3960 und DIN 3993)	171
23 Gestaltung und Tragfähigkeit der Stirn- und Kegelräder		
Tab. 23.1	Anhaltswerte für den Anwendungsfaktor K_A (nach DIN 3990)	171
Tab. 23.2	Richtwerte für Zahnbreiten b und Mindestzähnezahlen z von Stirnrädern	172
Tab. 23.3	Anhaltswerte für die Wahl von Verzahnungsqualität, Toleranzklasse und Rauheitswert von Verzahnungen aus Metallen und Kunststoffen (nach [23.1] und VDI 2545)	172
Tab. 23.4	Achsabstandsabmaße $\pm A_a$ in μm um Gehäusen für Stirnradgetriebe (nach DIN 3964) . .	173
Tab. 23.5	Toleranzen für Achsschränkung $f_{\Sigma\beta}$ und Achsneigung $f_{\Sigma\alpha}$ (Achslagetoleranzen) in μm (nach DIN 3964)	173
Tab. 23.6	Zulässige Teilungs- und Eingriffsteilungs-Abweichungen für Verzahnungen auszugsweise (nach DIN 3962)	174
Tab. 23.7	Zahndickenabmaße und Zahndickentoleranzen in μm (nach DIN 3967)	174
Tab. 23.8	Viskosität bei 40°C für Schmieröle von Zahnradgetrieben in Abhängigkeit vom Schmierkennwert k_S/v (nach DIN 51509)	175
Tab. 23.9	Faktoren K_1 und K_2 zur Bestimmung des Dynamikfaktors K_v	175
Tab. 23.10	Toleranzen für Flankenlinien-Winkelabweichung $f_{H\beta}$ in μm (nach DIN 3962)	175
Tab. 23.11	Faktor K' zur Berücksichtigung der Ritzellage	175
Tab. 23.12a	Einlaufbeträge für Flankenlinienabweichung y_β (nach DIN 3990)	176
Tab. 23.12b	Einlaufbeträge für Eingriffsteilungsabweichung y_α (nach DIN 3990)	176
Tab. 23.13	Einflussfaktoren K_1 , K_2 und K_3 für Kegelräder (nach DIN 3991, T1)	177
Tab. 23.14	Spannungskorrekturfaktor Y_{Sa} (nach DIN 3990), Bezugsprofil (nach DIN 867) mit einer Kopfrundung des Verzahnungswerkzeugs	177
Tab. 23.15	Anhaltswerte für Zahnradwerkstoffe aus Eisenmetallen (nach ISO 6336-5)	178

Tab. 23.16	Größenfaktoren Y_X für die Zahnfußfestigkeit und Z_X für die Flankenfestigkeit (nach DIN 3990)	178
Tab. 23.17	Lebensdauerfaktoren Y_{NT} und Z_{NT} (nach DIN 3990)	179
Tab. 23.18	Elastizitätsfaktoren Z_E für einige Werkstoffpaarungen (nach DIN 3990)	179
Tab. 23.19	Berechnungsfaktoren Z_L , Z_v , Z_R und Z_w für den Sicherheitsfaktor S_H (nach DIN 3990)	180
Tab. 23.20	Stirnradfaktoren K_{Ha}	181
Tab. 23.21	Anhalt für zulässige Belastungskennwerte c_{zul} von thermoplastischen Kunststoffzahnrädern (nach VDI 2545)	181
Tab. 23.22	Beiwerte zur Berechnung der Zahntemperatur und der Flankentemperatur von thermoplastischen Kunststoffzahnrädern (nach VDI 2545)	181
Tab. 23.23	Zeitschwellfestigkeit σ_{FN} der Zähne von Rädern aus thermoplastischen Kunststoffen (nach VDI 2545)	182
Tab. 23.24	Elastizitätsfaktoren Z_E von Rädern aus thermoplastischen Kunststoffen (nach VDI 2545)	182
Tab. 23.25	Zeitwälzfestigkeit σ_{HN} für Zahnräder aus thermoplastischen Kunststoffen (aus VDI 2545)	183
Tab. 23.26	Beiwerte φ und ψ zur Berechnung der Zahnverformung (aus VDI 2545)	183
Tab. 23.27	Zahnformfaktoren Y_Fa in Abhängigkeit von den Profilverziehungs faktoren x und den Ersatzzähnezahlen z_n bzw. z_v (nach DIN 3990)	184
Tab. 23.28	Übliche erforderliche Sicherheitsfaktoren für Zahnräder	184
24 Zahnradpaare mit sich kreuzenden Achsen		
Tab. 24.1	Zulässige Belastungskennwerte für Schraub-Stirnradpaare (Erfahrungswerte nach Thomas/Charchut)	185
Tab. 24.2	Vorzugsreihe für Schneckenradsätze mit Zylinderschnecken, Erzeugungswinkel $\alpha_0 = 20^\circ$ (nach DIN 3976)	185
Tab. 24.3	Erfahrungswerte für den wirksamen Reibwinkel ϱ von Schneckenradsätzen	185
Tab. 24.4	Erforderliche Ölviskosität ν in mm^2/s bei 40°C für Schneckengetriebe (nach DIN 51509)	185
Tab. 24.5	Kontaktfaktoren Z_q (nach [24.2])	185
Tab. 24.6	Werkstoffkennwerte für Schneckengetriebe (nach [24.2])	186
25 Kettentriebe		
Tab. 25.1	Abmessungen und technische Daten von Buchsenketten (nach DIN ISO 606)	187
Tab. 25.2	Abmessungen und technische Daten von Rollenketten (nach DIN ISO 606)	188
Tab. 25.3	Detailabmessungen von Kettenrädern nach DIN ISO 606 für Rollenketten	189
Tab. 25.4	Anwendungsfaktor f_1 für Kettentriebe (nach DIN ISO 10823)	189
Tab. 25.5	Betriebsbedingungen für treibende Maschinen	189
Tab. 25.6	Betriebsbedingungen für angetriebene Maschinen	189
Tab. 25.7	Zähnezahlfaktor f_2 für Kettentriebe (nach DIN ISO 10823)	189
Tab. 25.8	Achsabstandsfaktor f_4 für Kettentriebe (nach DIN ISO 10823)	190
Tab. 25.9	Zulässige Gelenkpressungen von Rollenketten (nach [iwis]) Werte unter der Stufenlinie möglichst vermeiden	190
Diagr. 25.1	Typisches Leistungsschaubild für eine Auswahl von Einfachketten Typ B nach DIN ISO 606 basierend auf einem Kettenrad mit 19 Zähnen (nach DIN ISO 10823)	191
Diagr. 25.2	Typisches Leistungsschaubild für eine Auswahl von Einfachketten Typ A nach DIN ISO 606 basierend auf einem Kettenrad mit 19 Zähnen (nach DIN ISO 10823)	192
Diagr. 25.3	Wahl der Schmierungsart für Rollenketten (nach DIN ISO 10823)	193
26 Flachriementriebe		
Tab. 26.1	Hauptabmessungen in mm der Riemenscheiben (nach DIN 111)	194
Tab. 26.2	Zu empfehlende Innenlängen L_i in mm endlos hergestellter Flachriemen	194
Tab. 26.3	Technische Daten (Mittelwerte) für Flachriemen (außer Mehrschichtriemen)	194
Tab. 26.4	Betriebsfaktoren C_B für Riementriebe (nach DIN 2218)	195
Tab. 26.5	Reibungsfaktoren C_μ für Flachriementriebe	195
Tab. 26.6	Anhaltswerte für die Auflagedehnung ε_0 und die Achskraft F_w von Flachriemen (nach [26.1])	195
Tab. 26.7	Größenauswahl und Standardbreiten der Extremultus-Mehrschichtriemen (nach Siegling)	196
Tab. 26.8	Zulässige Biegefrequenzen $f_{B,zul}$ in s^{-1} für Extremultus-Mehrschichtriemen (nach Siegling)	196
Tab. 26.9	Spezifische Nennleistung P_N bei $\beta = 180^\circ$ von Extremultus-Mehrschichtriemen (nach Siegling)	196
Tab. 26.10	Betriebsfaktoren C_B zur Auslegung von Mehrschichtriemen (nach Siegling)	197
Tab. 26.11	Umschlingungsfaktoren C_β (Winkelkoeffizienten) für Flachriementriebe	197
Tab. 26.12	Faktoren C_2 bis C_4 für Extremultus-Mehrschichtriemen (nach Siegling)	197

Tab. 26.13	Technische Daten der Habasit-Mehrschichtriemen (nach Habasit)	197
Tab. 26.14	Vorwahl von Scheibendurchmesser d_k , Riemenausführung und -größe für Habasit-Mehrschichtriemen (nach Habasit)	197
Tab. 26.15	Betriebsfaktoren C_B für Habasit-Mehrschichtriemen (nach Habasit)	198
Tab. 26.16	Faktoren C_1 und C_2 für Habasit-Mehrschichtriemen (nach Habasit)	198
Tab. 26.17	Dehnkraft F_e und Korrekturfaktor C_3 für Habasit-Mehrschichtriemen (nach Habasit)	198
Tab. 26.18	Mindestachsabstand e_{min} für Habasit-Mehrschichtriemen (nach Habasit)	198
Diagr. 26.1	Spezifische Nennleistungen P_N von Habasit-Mehrschichtriemen bei $\beta = 180^\circ$ (nach Habasit)	199
27 Keilriementriebe		
Tab. 27.1	Abmessungen in mm der Normal- und Schmalkeilriemen	200
Tab. 27.2	Abmessungen in mm der Keilriemenscheiben für Schmalkeilriemen (nach DIN 7753) (Auszug aus DIN 2211)	200
Tab. 27.3	Abmessungen in mm und Kenndaten der Keilrippenriemen und -scheiben (nach DIN 7867 und Herstellerangaben Conti Tech)	201
Tab. 27.4	Querschnittsabmessungen in mm der endlosen Breitkeilriemen (nach DIN 7719)	202
Tab. 27.5	Nennleistungen P_N von endlosen Normalkeilriemen (nach DIN 2218)	202
Tab. 27.6	Nennleistungen P_N von endlosen Schmalkeilriemen (nach DIN 7753)	203
Tab. 27.7	Nennleistungen P_N von Keilrippenriemen je Rippe (Auszug nach Conti Tech)	204
Tab. 27.8	Längenfaktoren c_L von endlosen Normalkeilriemen (klassische Keilriemen) DIN 2215 (nach DIN 2218)	205
Tab. 27.9	Längenfaktoren c_L von endlosen Schmalkeilriemen (DIN 7753) (fettgedruckte Längen sind Nennlängen)	205
Tab. 27.10	Längenfaktor c_L von Keilrippenriemen DIN 7867 (Auszug nach Conti Tech)	206
Tab. 27.11	Winkelfaktoren c_β für Keilriemen und Keilrippenriemen	206
Tab. 27.12	Zulässige Biegefrequenzen $f_{B,zul}$ in s^{-1} für Keilriemen und Keilrippenriemen	206
Diagr. 27.1	Richtlinien für die Profilwahl von Normalkeilriemen (nach DIN 2218)	206
Diagr. 27.2	Richtlinien für die Profilwahl von Schmalkeilriemen (nach DIN 7753)	207
Diagr. 27.3	Richtlinien für die Profilwahl von Keilrippenriemen DIN 7867 (nach Conti Tech)	207
28 Synchron- oder Zahnriementriebe		
Tab. 28.1	Abmessungen und Daten für Synchron- oder Zahnriementriebe (nach WHM)	208
Tab. 28.2	Abmessungen von HTD-Zahnriementrieben (nach WF)	208
Tab. 28.3	Faktor C_L und Zuschlag C_i für Power Grip HTD-Zahnriemen (nach WF)	208
Tab. 28.4	Belastungsfaktoren C_B für Zahnriemen (Synchronriemen) (nach WF)	209
Tab. 28.5	Spezifische Nennleistungen P_N von Synchroflex-Zahnriemen (nach WHM)	210
Tab. 28.6	Spezifische Nennleistungen P_N von Power Grip HTD-Zahnriemen (nach WF)	210
Tab. 28.7	Breitenfaktor k für Power Grip HTD-Zahnriemen (nach WF)	210
29 Rohrleitungen		
Tab. 29.1	Bevorzugte DN-Stufen (nach DIN EN ISO 6708)	211
Tab. 29.2	Nenndruckstufen (nach DIN EN 1333 (Fettdruck) und ISO 2944)	211
Tab. 29.3	Kennfarben für Rohrleitungen nach dem Durchflussstoff (nach DIN 2403)	211
Tab. 29.4	Normenübersicht für Stahlrohre	211
Tab. 29.5	Stahlrohre (nach DIN EN 10216) – Nahtlose Stahlrohre	212
Tab. 29.6	Stahlrohre (nach DIN EN 10217) – Geschweißte Stahlrohre	213
Tab. 29.7	Abmessungen der Vorschweißflansche für PN 25 (nach DIN EN 1092-1) (Auszug, Maße in mm)	214
Tab. 29.8	Beziehungen für Temperaturdifferenzen (nach GF)	215
Tab. 29.9	Richtwerte für die mittlere Strömungsgeschwindigkeit w	215
Tab. 29.10	Dichte ϱ und kinematische Viskosität v einiger Flüssigkeiten und Gase bei der Temperatur ϑ	215
Tab. 29.11	Anhaltswerte für die absolute Rauigkeit k der Rohrinnenwand bei verschiedenen Rohrarten	216
Tab. 29.12	Zuschläge für Wanddickenunterschreitung	216
Tab. 29.13	Anhaltswerte für die Verlustzahl ζ verschiedener Rohrleitungseinbauteile	217
Tab. 29.14	Festigkeitskennwert K und Sicherheitsbeiwert S (nach DIN 2413) (Auszug)	218
Tab. 29.15	Festigkeitswerte K in N/mm^2 von Stahlrohrwerkstoffen	218
Diagr. 29.1	λ , Re -Diagramm	219

Vorwort

Von dem nun in der 20. Auflage vorliegenden Lehrbuch **Decker Maschinenelemente** wurde die 1. Auflage 1963 von Karl-Heinz Decker verfasst und hat seitdem Generationen von Ingenieuren und Technikern während des Studiums und im Berufsleben begleitet. Es ist für den Unterrichts- und Vorlesungsgebrauch an Fachschulen, Fachhochschulen und Universitäten gedacht, aber auch für das Selbststudium und für die Konstruktionspraxis geeignet. Die wichtigsten Maschinenelemente sind in einer knappen und übersichtlichen Form dargestellt. Dabei ist jede Maschinenelementgruppe in sich geschlossen behandelt, damit der Lehrstoff wahlweise und von anderen Elementen unabhängig durchgearbeitet werden kann.

Das Fachgebiet Maschinenelemente ist sehr umfangreich und erweitert sich durch neue Entwicklungen und Forschungsergebnisse ständig. Davon können im Rahmen der Ausbildung zum Ingenieur oder Techniker nur die wesentlichen Hauptgebiete behandelt werden. Die Vertiefung dieser Kenntnisse muss sich dann durch die Beschäftigung mit Konstruktionsproblemen in der Praxis ergeben.

Zum besseren Verständnis sind weit über hundert Berechnungsbeispiele jeweils im Anschluss an den behandelten Stoff eingefügt und zur Unterscheidung vom übrigen Inhalt farbig unterlegt. Auf die Herleitung der Berechnungsgleichungen wurde besonderer Wert gelegt; trägt dies doch zum tieferen Verständnis bei. Mit den zahlreichen Tabellen und Diagrammen, die im beiliegenden Tabellenband zusammengefasst wurden, werden dem Leser die Unterlagen in die Hand gegeben, die er zum Berechnen der Maschinenelemente braucht. Im Lehrbuch sind nur die tabellarisch geordneten Angaben und Diagramme vorhanden, die zum Verständnis des Textes notwendig sind. Der Tabellenband kann auch unabhängig vom Lehrbuch benutzt werden, vorzugsweise in Verbindung mit der Formelsammlung **Decker Maschinenelemente – Formeln**.

Die Grundlagenkapitel wurden in dieser 20. Auflage vollständig überarbeitet und dem Thema Werkstoffe ein eigenes Kapitel eingeräumt. Die in den letzten Jahren erfolgte Herausgabe neuer Normen machte eine Überarbeitung bzw. Neubearbeitung mehrerer Kapitel erforderlich. Dabei wurden auch die neuen umfangreichen Berechnungsverfahren berücksichtigt.

In der 20. Auflage sind alle Daten (Excel-Arbeitsblätter, Aufgaben, Beispiele, Berechnungstools) nunmehr online unter www.hanser-fachbuch.de/decker verfügbar. Hinzu kommt jetzt auch das Programm Paket BayMP (Bayreuther Maschinenelemente-Programme). Die unter www.baymp.de kostenlos erhältlichen Programme ermöglichen die Auslegung wichtiger Maschinenelemente (Wellen, Lager, Federn, Getriebe, Kupplungen usw.) entweder online, computergestützt unter Windows-, Linux- oder Mac-OS, auf verschiedenen wissenschaftlichen Taschenrechnern oder unter Android für mobile Geräte wie Smartphones, Mobiltelefone, Netbooks und Tablet-Computer. Ein Link für die Nutzung der Berechnungssoftware **MDESIGN Student** ermöglicht es Studenten und Auszubildenden, als zukünftige Mitarbeiter in Konstruktion und Entwicklung professionelle Werkzeuge für die Auslegung und Berechnung von Maschinenelementen kennenzulernen und zu nutzen.

Mit diesen Hilfen kann man eine Vielzahl von Aufgaben aus dem im gleichen Verlag erschienenen zugehörigen Aufgabenbuch **Decker Maschinenelemente – Aufgaben** vollständig oder teilweise lösen. Dessen 15. Auflage ist umfassend auf die vorliegende 20. Auflage dieses Lehrbuches abgestimmt.

Allen Kolleginnen und Kollegen von Fach- und Hochschulen und aus der Industrie, die durch Kritik und Anregungen zur Verbesserung und Erweiterung des Buches beigetragen haben, sei herzlich gedankt, ebenso den vielen Firmen, die Unterlagen zur Verfügung stellten, sowie Herrn Prof. h.c. Dr.-Ing. *Willi Gründer*, Geschäftsführer der Fa. TEDATA Gesellschaft für technische Informationssysteme mbH Bochum, für die Bereitstellung des Programms MDESIGN. Verlag und Bearbeiter hoffen, dass dieses Buch wie bisher den Ingenieuren und Technikern während des Studiums und in der Praxis ein nützlicher Helfer sein wird.

*Frank Rieg, Frank Weidermann, Gerhard Engelken,
Reinhard Hackenschmidt, Bettina Alber-Laukant*

Hinweise zur Benutzung des Buches

Bei der Berechnung von Maschinenelementen werden zahlreiche Gesetze und Rechenverfahren der Technischen Mechanik und der Festigkeitslehre angewendet. Deshalb sind Grundkenntnisse auf diesem Fachgebiet erforderlich. Hierfür wird das Buch *Mechanik und Festigkeitslehre* von Karlheinz Kabus empfohlen, erschienen im Carl Hanser Verlag München 2017. Beide Bücher sind weitgehend aufeinander abgestimmt.

Die Bilder, Tabellen, Diagramme und Formeln sind kapitelweise nummeriert. Alle Tabellen befinden sich im beiliegenden Tabellenband, ebenso die für Berechnungen benötigten Diagramme.

Wegen der zur Zeit auf vielen Gebieten der Technik stattfindenden Übernahme internationaler und europäischer Normen in das deutsche Normenwerk als DIN ISO- und DIN EN-Normen ist es sehr schwierig, den gerade aktuellen Stand zu erfassen. Bei den Werkstoffen mit inzwischen geänderten Bezeichnungen sind die neuen Kurzzeichen angegeben worden.

Der Inhalt von DIN-Normen wird mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Die Festigkeits- und Tragfähigkeitsberechnungen sind überwiegend so aufgebaut, dass Bauteile mit vorgegebenen Abmessungen und Werkstoffen nachgerechnet werden können, wie dies auch in der Konstruktionspraxis üblich ist. Den Berechnungsgleichungen ist jeweils ihre Bedeutung in Kursivschrift vorangestellt. Nach der Formel folgt eine ausführliche Legende mit den zu bevorzugenden SI-Einheiten oder abgeleiteten SI-Einheiten und mit der Bedeutung der einzelnen Größen sowie entsprechenden Hinweisen. Es wurden fast ausschließlich Größengleichungen verwendet, Zahlenwertgleichungen nur in seltenen Ausnahmefällen.

Die Bilder zu den Beispielen sind Berechnungsskizzen, bei denen die Normen für technische Zeichnungen weitgehend angewendet wurden. Innerhalb der Berechnungen in den Beispielen ist jeweils mit den angegebenen Zwischenergebnissen weitergerechnet worden, d. h., diese Werte wurden in den Rechner wieder neu eingegeben. Beim Weiterrechnen mit den vom Rechner angezeigten ungerundeten Werten ergeben sich teilweise geringfügig abweichende Endergebnisse.

Das Arbeiten nach diesem Lehrbuch in der Praxis erfolgt grundsätzlich auf eigene Verantwortung, eine Gewähr kann nicht übernommen werden. Es sind stets die letzten Ausgaben der Normen und technischen Regeln sowie der Firmendruckschriften zu beachten.

Bei den *Formelzeichen* ist dieses Werk weitgehend an die Vorgaben in den DIN-Normen angelehnt. Es wurde aber bewusst davon abgewichen, wenn sich Widersprüche ergeben, z. B. bei der Verwendung unterschiedlicher Formelzeichen für denselben physikalischen Sachverhalt in verschiedenen Normen und Druckschriften. Dies trifft u. a. – wie allgemein üblich – für den Reibwert (die Reibungszahl) μ und für die Querkontraktionszahl ν zu. In diesen Fällen folgt das Lehrbuch der Darstellung, wie sie in den meisten Lehrbüchern üblich ist.

Bei den *Maßeinheiten* werden die Einheiten bevorzugt benutzt, mit denen in der Praxis üblicherweise gearbeitet wird. Die Drehzahl wird i. Allg. in min^{-1} angegeben. Für mechanische Spannungen und Drücke wird konsequent N/mm^2 angegeben.

Alle zusätzlichen Arbeitsmaterialien in Form von Berechnungsprogrammen, Excel-Arbeitsblättern und Programme zur Berechnung von ausgewählten Maschinenelementen sind nunmehr online verfügbar unter www.hanser-fachbuch.de/decker. Die kostenfreie Nutzung der Auslegungs- und Berechnungssoftware MDESIGN Student ist unter www.mdesign.info/decker möglich.

2 Werkstoffe

Dem Konstrukteur stehen zur Bauteilgestaltung heute mehr als 80 000 Werkstoffe zur Verfügung, von denen etwa 40 000 metallisch und 40 000 nichtmetallisch sind [2.2]. Die Festigkeit von Maschinenelementen ist von der Belastung (Einsatz), der Bauteilform (Design), der Herstellung (Verarbeitung) und dem gewählten Material abhängig. Die Vorhersage der Haltbarkeit beruht normalerweise auf Berechnungsmethoden und Kennwerten – diese sind aber stark von den vier genannten Faktoren abhängig.

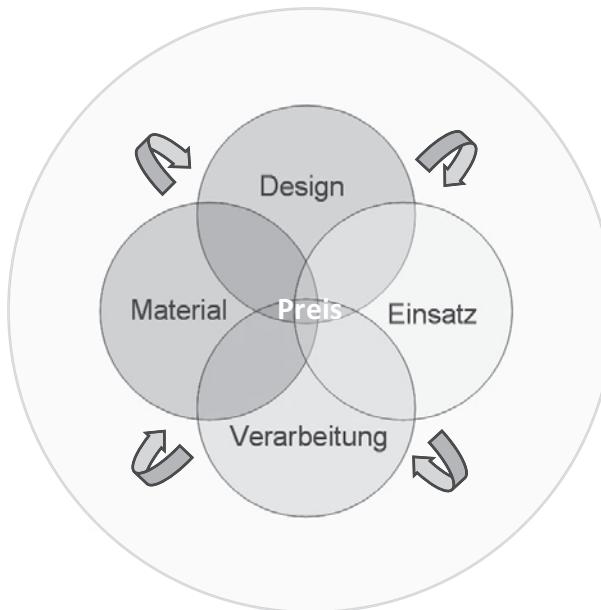


Bild 2.1 Zusammenhang zwischen Design, Einsatz, Verarbeitung und Material bei der Konstruktion von Maschinenelementen

Die Schwierigkeit bei der richtigen Dimensionierung und Materialauswahl ist, dass sich die Aspekte Material, Design, Einsatz und Verarbeitung überlagern. Für ein Maschinenelement ist ein gewisser Bauraum vorgesehen, welcher das Design und damit die Verarbeitung entscheidend beeinflusst. Entsprechend den vorliegenden Einsatzbedingungen ist beispielsweise der Kontakt mit Schmierstoffen oder ein Korrosionsschutz obligatorisch. Während Bauteile aus Faserverbundwerkstoffen durch die Dicke an Festigkeit gewinnen, steigt bei Keramiken oder thermoplastischen Kunststoffen durch ein größeres Materialvolumen die Fehlerhäufigkeit an, wodurch die Festigkeit sinkt. Metallische Werkstoffe sind in ihren Eigenschaften stark variierbar, sowohl durch Zusatzstoffe als auch durch Oberflächen- oder Wärmebehandlung (Härtung etc.).

Dieses Kapitel soll einen Überblick über Werkstoffe und ihren Einsatz bei Maschinenelementen geben. Dazu folgt zunächst ein Überblick über die Werkstoffklassen und deren Auswahl. Die wichtigsten Materialien und ihre Eigenschaften schließen sich daran an. Die für die Konstruktion nötigen materialabhängigen Festigkeitswerte werden erläutert, und der Unterschied zwischen Bauteilkennwert und Materialkennwert wird verdeutlicht.

2.1 Einteilung der Werkstoffe

2

Materialien werden in Keramik-, Metall-, Polymer- (oder Kunststoff) und Verbundwerkstoffe gegliedert. Überwiegend kommen bei der Konstruktion metallische Werkstoffe zum Einsatz, obwohl zunehmend Polymere, Verbundwerkstoffe und Keramiken Anwendung finden. Einen für die Auslegung maßgeblichen kompakten Überblick geben sogenannte Ashby-Diagramme. Diese Werkstoffschaubilder definieren Suchfelder mit Werkstoff-Familien. Dafür werden Werkstoffkennwerte in einem x - y - oder x - y - z -Diagramm aufgetragen und Eigenschaftswerte vergleichend dargestellt. Meist sind zwei Werte gegeneinander aufgetragen und dokumentieren so die Abhängigkeit.

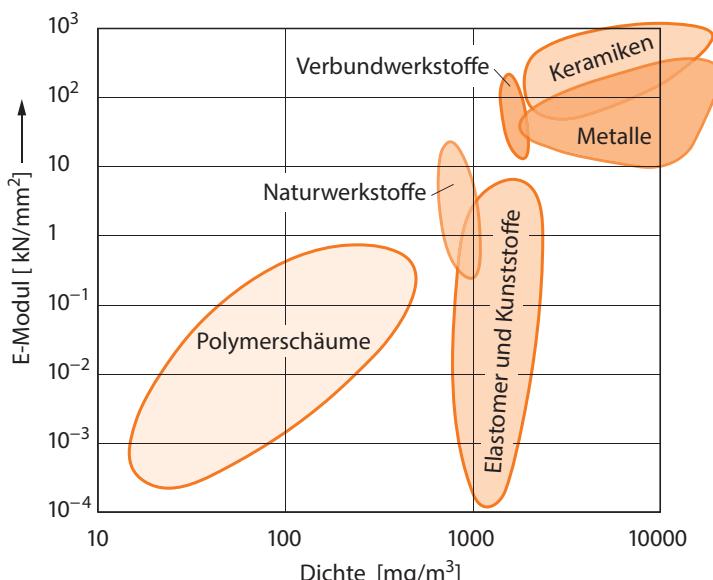


Bild 2.2 Werkstoffklassen, aufgetragen in einem Ashby-Diagramm, hier in der Eigenschaftskombination Dichte/E-Modul [2.1]

Für den ersten Überblick ist diese Art der Darstellung ausreichend, es muss aber festgehalten werden, dass sich bereits innerhalb einer Werkstoffgruppe die Eigenschaften stark unterscheiden können.

Für alle Werkstoffe ist das Verhalten beim Einwirken äußerer Kräfte und Momente entscheidend für die Anwendung als Maschinenelement. Hierzu zählt nicht nur die Festigkeit, sondern auch die Verformbarkeit und Schadenstoleranz. Diese Eigenschaften werden durch den atomaren, kristallinen oder molekularen Aufbau der Werkstoffe bestimmt. Während metallische Werkstoffe aus Gefügen aus positiv geladenen Metallionen in einer negativ geladenen Elektronenwolke bestehen und durch Gitterdefekte die Verformbarkeit erklärt werden kann, bestehen Kunststoffe aus Makromolekülen, deren Eigenschaften von den atomaren Wechselwirkungen der chemischen Gruppe bestimmt werden. Dadurch ist zähes Verhalten ebenso möglich wie sprödes. Um ein Bauteil korrekt auslegen zu können, müssen folglich die Werkstoffeigenschaften bekannt sein und beachtet werden. Einen knappen Überblick gibt die folgende Gruppierung.

Eine weiterreichende Unterteilung der Werkstoffe ergibt die Einteilung in vier Werkstoffgruppen:

1. Metalle

Diese Werkstoffe bestehen aus metallischen Elementen, sowohl rein als auch gemischt (legiert).

- Eisenmetalle: Stähle mit Legierungselementen, Gusseisen
- Nichteisenmetalle: Aluminium, Magnesium, Kupfer, Nickel, Titan und deren Legierungen, hitzebeständige Metalle (z. B. Wolfram, Molybdän), Edelmetalle (z. B. Gold, Silber, Platin), leichtschmelzende Legierungen (z. B. Zinn, Zink, Blei)

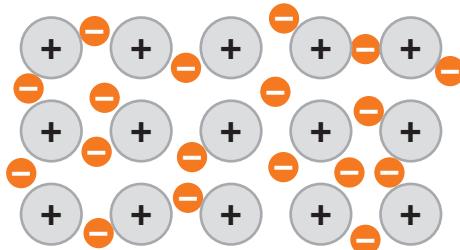


Bild 2.3 Aufbau der metallischen Bindung, positive Atomrumpfe und delokalisierte Elektronenwolke

Der Atomaufbau ist regelmäßig und dicht. Die typische metallische Bindung entsteht durch positiv geladene Atomrumpfe und delokalisierte Elektronen. Dadurch sind Metalle sehr gute elektrische und thermische Leiter, die Bruchzähigkeit, Festigkeit und Steifigkeit sind bei gleichzeitiger hoher Duktilität gut. Die Werkstoffgruppe kann durch viele Urformverfahren verarbeitet werden. Negative Eigenschaften sind die zum Teil hohen Dichten, maximale Betriebstemperaturen von in der Regel unter 1 000 °C und die teilweise hohe Anfälligkeit gegen Korrosion.

Maschinenelemente aus Metallen: Fast alle Maschinenelemente können aus Metallen bestehen, insbesondere aus Eisenwerkstoffen.

2. Kunststoffe

Kunststoffe, auch Polymere genannt, bestehen meist aus organischen Strukturen mit Kohlenstoffatomen, welche lange Molekülketten bilden. Durch chemische Vorgänge kann eine Vielzahl von weiteren Elementen innerhalb eines Makromoleküls miteinander verbunden werden. Polymere besitzen eine geringe Dichte und geringe E-Module und sind deshalb sehr flexibel. Werden die Festigkeitskennwerte auf die Masse bezogen, sind die mechanischen Eigenschaften gerade für den Leichtbau interessant. Man unterscheidet:

- Thermoplasten (z. B. PP, PA, POM) mit unvernetzten Strukturen
- Elastomere (Silikon, Kautschuk, ...) und thermoplastische Elastomere (TPU, TPE, ...) mit wenig vernetzten Strukturen
- Duroplaste (Bakelit), stark vernetzt

Polymere sind korrosionsbeständig, weisen gute elektrische Isolationseigenschaften und Dämpfungseigenschaften auf und besitzen ein großes Farbspektrum mit möglicher Transparenz. Thermoplaste bieten eine große konstruktive Gestaltungsfreiheit bei einfacher und wirtschaftlicher Fertigung komplizierter Massenteile. Zu den Nachteilen gehören die geringe Warmfestigkeit, geringe Bauteilsteifigkeit, zum Teil geringe Verschleißfestigkeit und vor allem bei den Thermoplasten maximale Betriebstemperaturen von unter 200 °C. Kunststoffe können sehr einfach durch Zusatzstoffe wie Fasern (Glas, Aramid, Kohlenstoff) stark positiv in ihren mechanischen Eigenschaften beeinflusst werden, was in großem Rahmen betrieben wird. Als Maschinenelemente finden Kunststoffe in Gleitlagern und Dichtungen Einsatz. Thermoplastische Kunststoffe werden zudem für Maschinengehäuse verwendet.

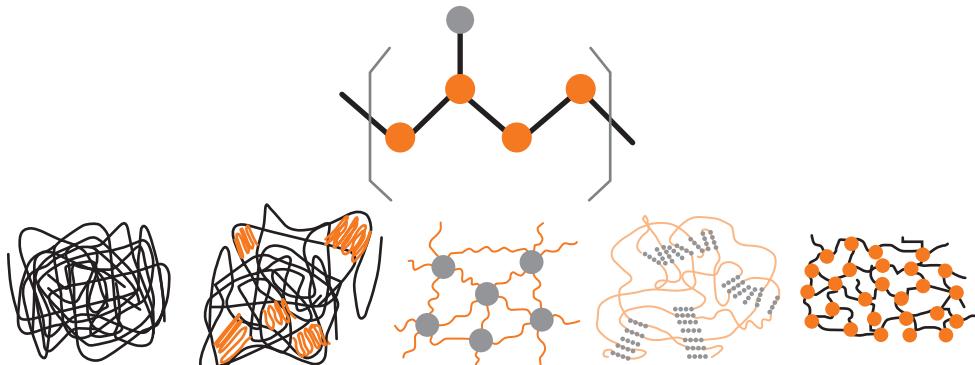


Bild 2.4 Makromolekulare Strukturen von Kunststoffen. Von links nach rechts: amorph, teilkristallin, wenig vernetztes Elastomer, physikalisch vernetztes Thermoplastisches Elastomer, stark vernetzter Duropunkt

3. Keramiken und Gläser

Keramiken sind anorganische Verbindungen aus Metallen und Nichtmetallen, wie Oxide, Karbide und Nitride. Anorganische Verbindungen lassen sich unterteilen in:

- Keramiken (z. B. Aluminiumoxid, Siliziumkarbid, Siliziumnitrid)
- Gläser
- Graphit
- Betone

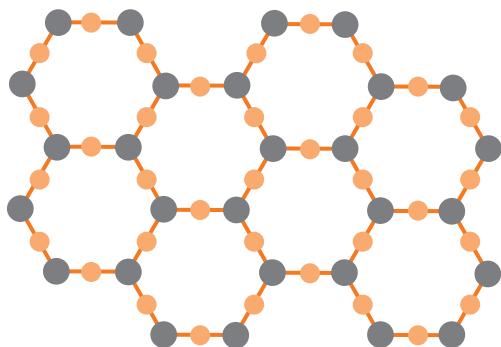


Bild 2.5 Beispiel einer keramischen Struktur mit zwei Ionen

Keramiken sind kovalent gebunden. Die Kristallstrukturen wiederholen sich regelmäßig, wobei verschiedene Kristallgitter (z. B. kubisch, rhombisch, monoklin) vorkommen. Keramiken sind verschleißfest, steif und fest. Obwohl der E-Modul und die Festigkeit denen von Metallen ähnlich sind, sind sie sehr hart, spröde und brechen leicht. Neue Entwicklungen weisen eine höhere Bruchzähigkeit auf, aber die Schadenstoleranz ist trotzdem gering. Die Formgebung erfolgt beispielweise durch Pressen und Gießen mit anschließendem Brennen. Durch die hohe Festigkeit und die Schwindung durch den Brennvorgang ist die Nachbearbeitung schwierig und teuer. Die thermische Wechselfestigkeit ist schlecht. Vorteile liegen in der relativ niedrigen Dichte, der extrem hohen Temperaturbeständigkeit, der Isolationsfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit gegenüber Medien sowie einer möglichen optischen Transparenz. Gute Gleiteigenschaften vieler Keramiken qualifizieren diese Werkstoffe für den Einsatz in tribologischen Systemen im Maschinenbau, beispielweise für Wälzläger aus Siliziumnitrid im Einsatz bei hohen Temperaturen und korrosiven Medien.

4. Verbundwerkstoffe

Verbundwerkstoffe werden auch Komposite genannt. Durch die Kombination von zwei oder mehr der oben genannten Werkstoffklassen lassen sich die positiven Eigenschaften zweier Werkstoffgruppen sehr flexibel kombinieren. Eine Reihe natürlich vorkommender Materialien wie Holz oder Knochen zählen ebenfalls zu den Verbundwerkstoffen.

Es wird unterschieden in:

- Faserverbunde (GFK, CFK)
- Partikelverbunde (z. B. Metall mit Keramikpulver)
- Schichtverbundwerkstoffe oder Laminat (z. B. Fasermatten mit Schaumkern)
- Durchdringungsverbundwerkstoffe (z. B. Metallschaum mit einer zweiten Phase)

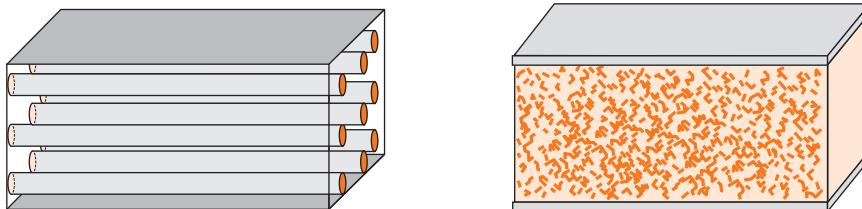


Bild 2.6 Schematische Darstellung zweier Verbundwerkstoffe, links Faserverbund, rechts Schichtverbund mit Partikelverbund

Verbunde wie GFK und CFK erreichen hohe Festigkeiten sowie hohe Steifigkeiten bei sehr geringem spezifischem Gewicht. Dabei werden die Fasern meistens in eine polymere Harzmatrix eingebettet. Durch die Anordnung der Fasern in Matten und Mattenaufbauten ist eine belastungsgerechte Optimierung von Bauteilen möglich. Durch duroplastische Matrizen werden gute chemische und thermische Beständigkeiten erreicht. Zu den Nachteilen zählen die relativ geringe Zähigkeit, die anisotropen Werkstoffeigenschaften durch den Schichtaufbau und hohe Fertigungskosten bei großen und komplizierten Teilen. Durch die dauerhafte Verbindung des Matrixsystems mit den Füllstoffen ist die Wieder- und Weiterverwertung schwierig. Ein großes Problem ist das Versagen der Verbunde. Ohne eine vorher sichtbare Verformung oder Schädigung ist katastrophales Versagen möglich, was die Überwachung der Bauteile im Einsatz erschwert.

2.2 Werkstoffauswahl

Jeder Werkstoff hat Eigenschaften, die ihn für eine spezielle Anwendung empfehlen. Es gilt also, die im Einsatzfall auftretenden Beanspruchungen mit den Werkstoffeigenschaften in Einklang zu bringen. Nicht zuletzt ist heute der Preis ein wichtiges Kriterium für die Werkstoffauswahl, ebenso wie die Umweltverträglichkeit. Die Voraussetzung für ein Maschinenelement, welches den Belastungen standhält, ist ein entsprechender Werkstoff mit einer werkstoffgerechten Konstruktion und Fertigung. Beispielsweise wird für Getriebewellen kein kerbempfindlicher Werkstoff Anwendung finden, da durch Nuten und Wellenabsätze die Kerbwirkung in diesen Maschinenelementen von sich aus erhöht ist.

Verbundwerkstoffe können verblüffend hohe Festigkeitswerte aufweisen, wichtiger ist jedoch bei sicherheitsrelevanten Anwendungen ein verlässliches Werkstoffverhalten hinsichtlich der Festigkeitseigenschaften ohne große Eigenschaftsstreuung. Deshalb ist Stahl der meistverwendete Werkstoff für sicherheitsrelevante Bauteile im Maschinenbau.

Für die Auswahl ist zunächst der Anwendungsfall zu konkretisieren: Soll das Bauteil elastisch oder plastisch verformt werden? Ist die Verformung reversibel? Je nach Anforderung ergeben sich andere Dimensionierungskennwerte. Für ein Blechbauteil ist die Umformung entscheidend. Das Material muss sich umformen lassen. Das Verhalten an stark durch den Um-

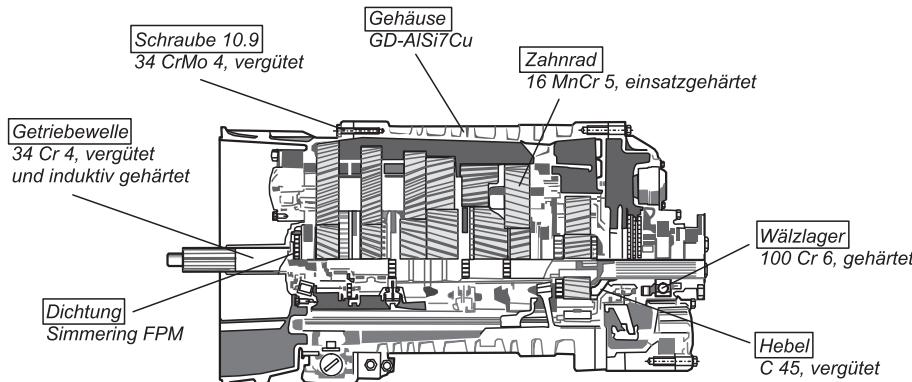


Bild 2.7 Verwendung verschieden Werkstoffe in einem Nutzfahrzeuggetriebe [2.3]

formstempel belasteten Stellen ist wichtig, damit das Blech während der Formgebung nicht reißt. Nach erfolgter Umformung ist der Grad des Rückfederns des Materials entscheidend. Kunststoffkonstruktionen zeichnen sich durch materialspezifische Verbindungs möglichkeiten wie Schnapp- oder Clipsverbindungen aus. Es tritt die Frage auf, wie eine Schnappverbindung konstruiert werden soll, damit das Fügen ohne Schaden vorstatten gehen kann und die gewünschten Eigenschaften erhalten bleiben. Diese zwei Beispiele verdeutlichen, dass für jeden Anwendungsfall andere Bezugswerte für die Dimensionierung erforderlich sind.

2.3 Werkstoffe im Maschinenbau

Aus dem Einsatz im Maschinenbau ergeben sich konkrete Anforderungen für den verwendeten Werkstoff. Es erfolgen stoßartige, zyklische und schwingende Beanspruchungen. Durch notwendige konstruktive Kerben ist die Kerbwirkung stark erhöht. Der Einsatz von Schmierstoffen und anderen korrosiven Medien ist durch die Einsatzumgebung vorgegeben.

Bild 2.8 zeigt einen Vierzylindermotor mit den jeweils verwendeten Werkstoffen [2.3]. Deutlich ist die Verwendung von Eisen- und Nichteisenwerkstoffen zu erkennen. Im Folgenden werden diese Werkstoffe besprochen. Dabei werden die Eigenschaften, die Struktur und die Werkstoffbezeichnungen dargestellt.

Eisenwerkstoffe Stahl und Gusseisen

Aus dem Anforderungsprofil ergibt sich der weitreichende Einsatz von Eisenwerkstoffen im Maschinenbau. Die hohe Schwingfestigkeit und hohe Zähigkeit bei gleichzeitig weit varierbaren Härten und Oberflächenfestigkeiten zeichnet diese Werkstoffe aus.

Eisenwerkstoffe sind zumeist Gemische (Legierungen) aus Eisen und Kohlenstoff in unterschiedlicher Zusammensetzung.

Laut DIN EN 10020 ist Stahl ein Werkstoff, dessen Massenanteil an Eisen größer ist als der jedes anderen Elementes, dessen Kohlenstoffgehalt im Allgemeinen kleiner als 2,06 % ist und der andere Elemente enthält. Eine begrenzte Anzahl von Chromstählen kann mehr als 2,06 % Kohlenstoff enthalten, aber 2,06 % ist die übliche Grenze zwischen Stahl und Guss eisen. Durch den Kohlenstoffanteil wird das Urformverfahren bestimmt. Mit steigendem Kohlenstoffanteil wird der Stahl fester, aber auch spröder. Während Stahl geschmiedet, gewalzt oder gezogen werden kann, wird Gusseisen – wie der Name sagt – gegossen. Der höhere Anteil an Kohlenstoff macht das Gusseisen spröde, weshalb weiteres Umformen nach dem Gussprozess zumeist nur schwer möglich ist.

21.5 Berechnung von Planetengetrieben

Einteilung der Planetengetriebe

Der Erfinder *James Watt* gilt mit großer Wahrscheinlichkeit als erster Anwender eines Planetengetriebes, indem er im 18. Jahrhundert ein solches bei einer Dampfmaschine installierte. Seit dieser Zeit haben sich Planetengetriebe immer mehr auf dem industriellen Markt etabliert, was nicht zuletzt an den hervorragenden Eigenschaften bezüglich spezieller Anwendungsaufgaben liegt. Typische Einsatzgebiete für Planetengetriebe sind:

- Windenergieanlagen,
- Hybridkraftfahrzeuge,
- Kraftfahrzeug-Automatikgetriebe,
- Differenzialgetriebe,
- Nabenschaltungen von Fahrrädern.

Dies ist lediglich ein Auszug der möglichen Anwendungsgebiete. Die Eigenschaften von Planetengetrieben, welche die bevorzugte Anwendung in diesen Gebieten rechtfertigen, sind:

1. koaxiale Anordnung der An- und Abtriebswellen, siehe Bild 21.18,
2. runde und kompakte Bauweise, siehe Bild 21.19,
3. geringe Masse,
4. extrem hohe oder niedrige Übersetzungen in wenigen Planetenradstufen möglich,
5. hohe übertragbare Leistung je benötigter Raum des Getriebes,
6. Überlagerungen von Drehzahlen bzw. Bewegungen möglich,
7. Leistungsverzweigung möglich.

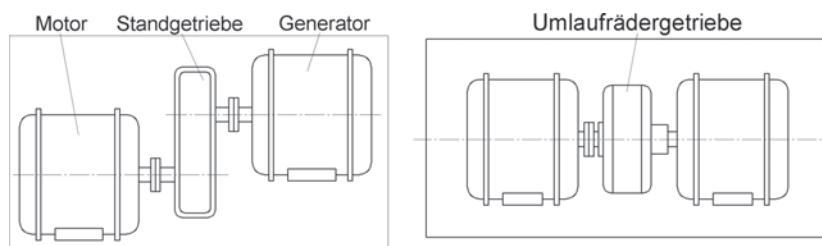


Bild 21.18 Vergleich einer Antriebsanlage bei der Umsetzung mittels a) Standgetriebe und b) Planetengetriebe

21

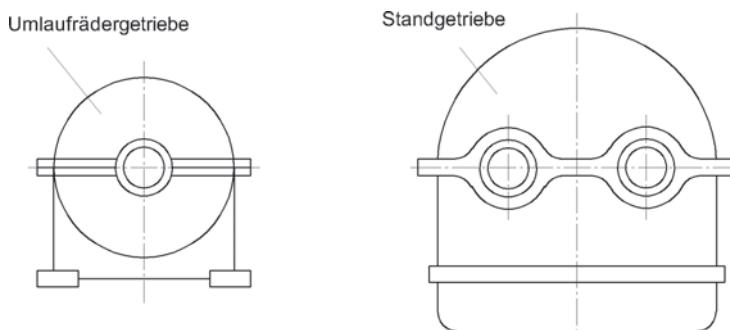


Bild 21.19 Vergleich der Größenverhältnisse zwischen Standgetriebe und Planetengetriebe

Die Eigenschaften aus 6 und 7 resultieren daraus, dass Planetengetriebe einen kinematischen Freiheitsgrad $F = 2$ aufweisen können – allgemeiner, zusammengesetzte Planetengetriebe haben einen kinematischen Freiheitsgrad $F \geq 2$. Diese Eigenschaft ist gegenüber Standgetrieben besonders hervorzuheben und eröffnet einzigartige Anwendungen. Die anderen Vorteile resultieren aus der allgemeinen Konstruktion von Planetengetrieben. Jedoch sind diesen Vorteilen folgende Nachteile gegenüberzustellen:

- höherer Fertigungsaufwand gegenüber Standgetrieben,
- komplizierterer Aufbau gegenüber Standgetrieben.

Die folgenden Seiten geben eine kurze, jedoch detaillierte Einführung in die Berechnung von Planetengetrieben. Dabei wird sich an den Arbeiten von *Volmer* [21.1] und der VDI-Richtlinie 2157 orientiert. Für ein weiterführendes Studium ist die VDI-Richtlinie 2157 zu empfehlen, welche mit dem vorgestellten Berechnungskonzept übereinstimmt und somit eine schnelle tiefergehende Einarbeitung problemlos gestattet.

In Bild 21.20 ist ein **einfaches Planetengetriebe** (elementares Planetengetriebe) dargestellt. Für die Darstellung der Getriebesinnbilder wird die Darstellung von *Wolf* [21.2] verwendet. Im Allgemeinen besteht ein einfaches Planetengetriebe aus einem **Steg** 5 (auch **Planetenträger** genannt), in welchem die **Planetenträger** 3 gelagert sind. Diese stehen im Eingriff zu den beiden **Zahnräder** 2 und 4, wobei das Zentralrad 2 auch **Sonnenrad** und das Zentralrad 4 auch **Hohlrad** genannt werden. Dabei fluchten die zwei Zentralradwellen und die Stegwelle. Für ein einfaches Planetengetriebe sind in der Tabelle Bild 21.21 einige gebräuchliche Bauformen dargestellt.

Als **rückkehrendes** Planetengetriebe wird ein Planetengetriebe mit koaxialen Anschlusswellen bezeichnet. Im Gegensatz zum weitverbreiteten Sprachgebrauch wird ein **Umlaufrädergetriebe** dadurch unterschieden, dass es sich dabei um ein einfaches Planetengetriebe handelt, bei welchem der Steg umlaufend und im Allgemeinen das Hohlrad fest ist. Damit entspricht dies einem **Zweiwellenbetrieb**. Für die Berechnung von Planetengetrieben wird jedoch der **Dreiwellenbetrieb** betrachtet. Schließlich ergibt sich der Zweiwellenbetrieb durch Festsetzen einer Welle im Dreiwellenbetrieb. Hierbei stehen die drei Drehmomente der Wellen im Gleichgewicht. Ob dabei wirklich drei bewegungsfähige Wellen vorhanden sind, ist für die Betrachtung unerheblich. Es müssen lediglich drei Glieder (Wellen) vorhanden sein, denen die Drehmomente für das Gleichgewicht zugeordnet werden können. Diese Systematik setzt sich auch bei **zusammengesetzten (gekoppelten) Planetengetrieben** fort.

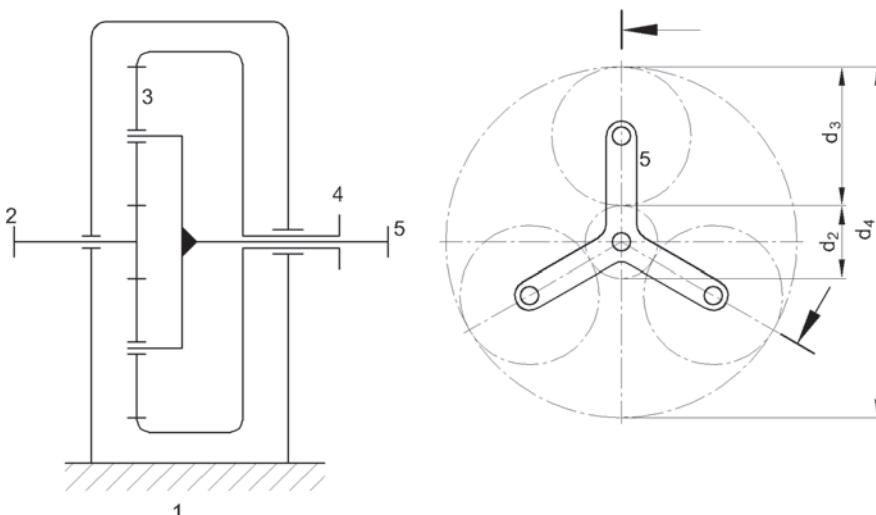


Bild 21.20 Normal-Planetengtriebe mit drei Planetenräder und festem Hohlrad

Planetengetriebe mit Stirnrädern			
Bauform	Getriebesymbol	Standübersetzung	Standgetriebewirkungsgrad
1		$i_0 = \frac{z_H}{z_S}$ $i_0 < 0$	$\eta_0 = \eta_{V,SP} \cdot \eta_{L,P} \cdot \eta_{V,PH}$ $\eta_0 \approx 98,0 \%$
2		$i_0 = -\frac{z_H}{z_S}$ $i_0 > 0$	$\eta_0 = \eta_{V,SP1} \cdot \eta_{L,P1} \cdot \eta_{V,P1P2}$ $\cdot \eta_{L,P2} \cdot \eta_{V,P2H}$ $\eta_0 \approx 96,5 \%$
3		$i_0 = \frac{z_H \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_S}$ $i_0 < 0$	$\eta_0 = \eta_{V,SP} \cdot \eta_{L,P} \cdot \eta_{V,P'H}$ $\eta_0 \approx 98,0 \%$
4		$i_0 = \frac{z_{S2} \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_{S1}}$ $i_0 < 0$	$\eta_0 = \eta_{V,S1P} \cdot \eta_{L,P} \cdot \eta_{V,P'S2}$ $\eta_0 \approx 98,0 \%$
5		$i_0 = \frac{z_{S2} \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_{S1}}$ $i_0 > 0$	$\eta_0 = \eta_{V,S1P} \cdot \eta_{L,P} \cdot \eta_{V,P'S2}$ $\eta_0 \approx 97,5 \%$
6		$i_0 = \frac{z_{S2} \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_{S1}}$ $i_0 > 0$	$\eta_0 = \eta_{V,S1P} \cdot \eta_{L,P} \cdot \eta_{V,P'S2}$ $\eta_0 \approx 98,5 \%$

Bild 21.21 Systematik der einfachen rückkehrenden Umlaufrädergetriebe

Planetengetriebe mit Stirnrädern			
Bauform	Getriebesinnbild	Standübersetzung	Standgetriebewirkungsgrad
7		$i_0 = \frac{z_{H2} \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_{H1}}$ $i_0 > 0$	$\eta_0 = \eta_{V,H1P} \cdot \eta_{L,P} \cdot \eta_{V,P'H2}$ $\eta_0 \approx 98,5 \%$
8		$i_0 = \frac{z_H \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_S}$ $i_0 > 0$	$\eta_0 = \eta_{V,SP} \cdot \eta_{L,P} \cdot \eta_{V,P'H}$ $\eta_0 \approx 98,5 \%$
9		$i_0 = -\frac{z_{z2}}{z_{z1}}$ $i_0 < 0$	Für Planetengetriebe mit Kegelrädern ist eine allgemeingültige Angabe des Wirkungsgrades nicht möglich, da die Einzelwirkungsgrade von vielen konstruktiven Größen abhängen.
10		$i_0 = -\frac{z_{z2}}{z_{z1}}$ $i_0 = -1$	
11		$i_0 = \frac{z_{H2} \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_{H1}}$ $i_0 < 0$	
12		$i_0 = \frac{z_{z2} \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_{z1}}$ $i_0 < 0$	
i_0 z_H, z_{H1}, z_{H2} z_S, z_{S1}, z_{S2} $z_P, z_{P'}$ z_{z1}, z_{z2} η_0 $\eta_{V,xy}$ $\eta_{L,x}$			
Standübersetzung Zähnezahl des Hohlrades Zähnezahl des Sonnenrades Zähnezahl des Planetenrades Zähnezahl eines allgemeinen Zahnrades Standgetriebewirkungsgrad Verzahnungswirkungsgrad zwischen dem Zahnrad x und y Lagerwirkungsgrad des Zahnrades x			

Bild 21.21 Systematik der einfachen rückkehrenden Umlaufrädergetriebe (Fortsetzung)

Berechnung von Planetengetrieben

In einem normalen Standgetriebe wird als Betrachtungspunkt für die Berechnungen das ortsfeste Gehäuse gewählt. Im allgemeinen Fall sind jedoch in einem einfachen Planetengetriebe drei bewegungsfähige Wellen vorhanden, wodurch die Betrachtungsweise geändert werden muss. Schließlich kann somit jede der drei Wellen Bezugswelle für die Berechnungen der Drehzahlen und Leistungen sein. Folglich wird die Berechnung nicht zwingend auf das Gehäuse bezogen und verallgemeinert.

Bei der Berechnung von Planetengetrieben spielt deren Betrachtung als Standgetriebe dennoch eine zentrale Rolle. Dabei bezeichnet ein Standgetriebe ein Getriebe, welches raumfeste Achsen oder Wellen besitzt. Somit sind beispielsweise aufgeflossene Stirnradgetriebe oder Planetengetriebe mit festem Steg (daraus folgt, dass die Planetenachsen stillstehen) Standgetriebe. Bei solchen Standgetrieben stellt die Ermittlung der Drehzahlen und der Drehmomente an den jeweiligen Wellen keine Schwierigkeit dar. Deshalb ist es auch üblich, bei diesen Berechnungen nur die Beträge der jeweiligen Größen zu betrachten und die Vorzeichen zu vernachlässigen. Dies liegt auch daran, dass bei diesen Getrieben meist klar ersichtlich ist, welche Welle Antriebs- und welche Abtriebswelle ist. Diese vereinfachte Betrachtung lässt sich jedoch nicht auf Planetengetriebe übertragen, da aufgrund der Leistungsverzweigung nicht sofort ersichtlich ist, ob eine Welle den An- oder Abtrieb darstellt, wie später mit der Gl. (21.17), der Richtung des Gleitwälzflusses, gezeigt wird.

Alle hier aufgeführten Berechnungen lassen sich auf Standgetriebe übertragen. Schließlich stellen diese lediglich einen Spezialfall dieser Berechnung dar.

In Analogie zur Berechnung für Standgetriebe wird das Drehzahlverhältnis der beiden **Zentralradwellen** relativ zum feststehenden Steg als wichtigste Bezugsgröße genutzt. Dieses Verhältnis verkörpert wie bei Standgetrieben das Verhältnis zwischen An- und Abtriebsdrehzahl und wird folglich als **Standübersetzung (Standübersetzungsverhältnis)** bezeichnet.

In den Berechnungen bezeichnet die Indizierung der Drehzahl n_{23} , dass die Drehzahl der Welle 2 relativ zu 3 betrachtet wird. Der Index 1 steht dabei immer für das Getriebegehäuse.

Bei **absoluten Größen** (auch als äußere Größen bezeichnet), das heißt bei Betrachtungen um das ruhende Getriebegehäuse, wird der Index 1 nicht explizit benannt $-n_{21} = n_2$. Diesem gegenüber stehen die **relativen Größen** (auch als innere Größen bezeichnet), wie z. B. n_{23} , welche die Betrachtung von einem beliebigen Punkt, hier dem Glied 3, aus beschreiben. Wird ein Verhältnis k_{ij} berechnet, dann gibt der erste Index den Zähler und der zweite den Nenner an, wie z. B. $k_{23} = n_{21}/n_{31} = n_2/n_3$.

Wie bereits erwähnt, müssen bei den Berechnungen die Vorzeichen beachtet werden. Dabei werden eine eingehende Leistung als positiv (in Analogie zu endothermen Prozessen) und eine ausgehende Leistung als negativ (in Analogie zu exothermen Prozessen) definiert. Ähnlich dazu wird auch eine Unterscheidung bei den Zahnrädern getroffen. Ein außenverzahntes Zahnrad wird als positiv und ein innenverzahntes als negativ definiert.

Für ein Standgetriebe ergibt sich die Übersetzung (unter Beachtung der Drehrichtung bei z und unter Vernachlässigung von Wirkungsgraden bei den Drehmomenten) durch:

$$i_0 = -\frac{z_{\text{Abtrieb}}}{z_{\text{Antrieb}}} = \frac{n_{\text{Antrieb}}}{n_{\text{Abtrieb}}} = -\frac{T_{\text{Abtrieb}}}{T_{\text{Antrieb}}} \quad (21.8)$$

i_0	Standübersetzung,
z	Zähnezahl,
n in min^{-1}	Drehzahl,
T in $\text{N} \cdot \text{m}$	Drehmoment.

Bei der Berechnung der Standübersetzung eines Planetengetriebes wird ausgenutzt, dass sich die Gesamtübersetzung als Produkt der Teilstübersetzungen ergibt. Das bedeutet, dass ausgehend vom Antrieb alle Teilstübersetzungen bis zum Abtrieb berechnet und im Anschluss

Sachwortverzeichnis

- 3D-CAD 39
3D-CAD-Modellierung 43

Abbrenn-Stumpfschweißverbindung 210
Abbrennstumpfschweißen 201
Abfasung 770
abgeleitete Reihe 17
Abklingkonstante 589
Abmaß 19
Abrasion 471–472
abrasive Beanspruchung 470
Abscherkraft 222, 232
Abscherkraft der Schweißverbindung 206
Abschnittsmatrix 443
Absenkung 432
absolute Rauigkeit 843
absolute Viskosität 475
Absperrklappe 856
Absperrorgan 850
Absperrschieber 854
Absperrventil 851
ACEA 477
ACEA-Klasse 477
Achsabstand 750, 775, 790, 808, 820
Achse 412
Achsenwinkel 686, 742
Achskraft 776, 796, 809
Achskraft F_w 821
ACM 568
AD-Merkblatt 16, 323
Additiv 480
Adhäsion 470, 472
allgemeiner Baustahl 203
Allgemeintoleranz 23, 179
Alterungsbeständigkeit 478, 481
Aluminium 499
Aluminiumbronze 203
Aluminiumlegierung 203
Aluminiumrohr 828
Amontons-Coulombsches Reibungsgesetz 470
Anfangsvektor 443
Anforderungsliste 36
Angularfedersteifigkeit 587
Anker 606
Anlassen 55
Anlaufkupplung 615
Anlaufreibung 469
Anpressfeder 603
Anpresskraft 610
Antriebsdrehmoment 332, 702

Antriebsleistung 702
Antriebsmaschine 578
Antriebsnennleistung 744, 755
Antriebsstrang 611
Anwendungsfaktor 695, 718, 726
Anziehfaktor 304, 307, 320
Anziehverfahren 303
API 477
API Commercial-Klasse 477
API Service-Klasse 477
äquivalente Belastung 560
Arbeitsdruck 826
Arbeitshub 330
Arbeitsmaschine 578
Arbeitssatz 431
Armatur 850
Armaturenantrieb 856
Armzahl 705
Ashby-Diagramm 46
ATF 478
Aufgabenstellung 38
Aufhängung 839
Auflegestreckung 794, 796, 798
Aufspannbuchse 507
Augenlager 508
Augenschraube 287
Ausarbeiten 38
Ausbeute 782
Ausgleichskupplung 578
Ausklinnen 489
Ausknicken 377
Auslastungsgrad 132
Auslaufhahn 855
Auslaufreibung 469
Ausnahmereihe 17
Ausschlagsfestigkeit 319
Ausschlagsspannung 102
Ausschlagsspannung 424
Ausschussprüfung 28
Außenbackenbremse 625
Außengewinde 285
Außenrad 636
Außenradpaar 682
Außenspannsatz 274–275
Außenteil 254
äußere Teilkegellänge 691
äußerer Fußkreisdurchmesser 691
äußerer Kopfkreisdurchmesser 691
äußerer Schrägungswinkel 691
äußerer Sprungwinkel 691–692
äußerer Stirnmodul 691
äußerer Teilkreisdurchmesser 691

Auswuchten 787
automatisches Getriebe 478
Automotive-Gleitlager 516
Axial-Kippsegmentlager 534
Axial-Nadellager 550
Axial-Pendelrollenlager 542, 550
Axial-Rillenkugellager 542, 550
Axialfedersteifigkeit 587
Axialkraft 696–697, 699, 745, 755
Axialkugellager 544
Axiallager 487, 502, 529, 540
Axialmodul 750
Axialschnitt 748
Axialsegmentlager 534
Axialteilung 750

Balken 147
Balken-Fachwerk 151
Balkenabschnitt 445
Balkenelement 448
Balkenproblem 448
Balligmachen 737
Baustähle 56
Bauteilfließgrenze 458
Bauteilkennwert 61
Bauteilklassie 126
Befestigungsschraube 284
Belastungskennwert 732, 746
Berechnung des Axiallagers 532
Berechnungsdruck 826
berührungsreie Dichtung 573
Beschleunigungsmoment 611
Betriebs-Eingriffswinkel 674, 676–677, 696, 725
Betriebs-Flankenspiel 713
Betriebs-Wälzkreisdurchmesser 677
Betriebsfaktor 695, 774
Betriebsfestigkeit 115, 422
Betriebskraft 316
Betriebslängskraft 312, 320
Betriebsspiel 543
Betriebswälzkreis 674
Betriebszustand 521
Bewegungsreibung 469
Bewegungsschraube 329
Bewertungsgruppe 173
bezogene Reibungszahl 520
bezogener Plastizitätsdurchmesser 270
bezogenes Spannungsgefälle 422–423, 460
bezogenes wirksames Übermaß 259–260

- Bezugs-Planrad 686
 Bezugprofil 669
 Biegebeanspruchung 185
 Biegefeder 398
 Biegefrequenz 791, 809
 biegekritische Drehzahl 453–454
 Biegelinie 428
 Biegemoment 72, 414
 Biegespannung 185, 282,
 357–358, 389, 396, 399, 414,
 418, 421, 456, 706, 787, 792
 Biege widerstandsmoment 86
 Biegezugspannung 391
 Bindefestigkeit 227
 Biomedizin-Bereich 327
 Blattfeder 398, 400
 Blechmutter 290
 Blei 499
 Bleibronze 499, 502
 Blindniet 240, 245, 247
 Blockfett 482
 Blocklänge 368
 Blow-by-Gas 476
 Bogen 829
 Bogenverzahnung 690
 Bogenzahn-Kupplung 580
 Bohrbuchse 548
 Bolzen 355, 357
 Bolzengewinde 285
 Bolzenschweißen 200
 Bolzenverbindung 353, 356
 Borkenkäfer 504
 BoWex 580
 Brechbolzenkupplung 618
 Breitenballigkeit 719
 Breitenfaktor 719, 723, 726, 728
 Breitenkennwert 823
 Breitkeilriemen 804, 814
 Bremse 624
 Bremsflüssigkeit 627
 Bremskraftverstärker 627
 Bremssattel 626, 628
 Bremsscheibe 626
 Bremszange 628
 Brille 567
 Bronze 499–500
 Bruchdehnung 63
 Bruchsicherheit 776
 Buchsenkette 766
 Buckelschweißen 199
 Buckelschweißverbindung 208
 Bundbuchse 508
 Bürstenhalter 609
 Cavex-Schneckengetriebe 753
 CFK 49
 Compilation 149, 151
 Conax-Kupplung 605
 Dämpfung 588
 Dämpfungsarbeit 401, 589
 Dämpfungsgrad 589, 591
 Dämpfungskonstante 589
 Dämpfungsleistung 594
 Dämpfungsverhalten 587
 Dämpfungswärme 594
 DASt-Richtlinie 16
 Datenverarbeitung 39
 Dauerbruch 457
 Dauerfestigkeit 64, 386, 501, 731
 Dauerfestigkeit für Flankenpres-
 sung 726
 Dauerfestigkeitsschaubild 64,
 104, 106, 386, 424
 Dauerfestigkeitswert 64
 Dauerhalbarkeit 319, 420
 Dauerschaltbetrieb 614
 Dauerschwingversuche 101
 Dauerwechseldrehmoment 593
 Deformation 470
 Dehngrenze 63
 Dehnschaft 302
 Dehnschlupf 782
 Dehnschraube 285, 315, 832
 Dehnung 81
 Dehnungsausgleicher 836
 Dehnungsbetrieb 783
 Dehnverband 255
 Destillat 480
 Detail-Methode 718
 DEXRON 478
 Dichtlippe 568, 570
 Dichtscheibe 543
 Dichtung 318, 833
 Dickenfaktor 126
 Diffusionshemmer 501
 DIN-Norm 15
 Dispersion 473
 DN 825
 Dochtöler 493
 Doppelbürstenhalter 609
 Doppelgelenkwelle 582
 Doppelkeilriemen 813
 Doppelkerbstift 355
 Doppelparallelplattenschieber
 854
 Doppelplattenkeilschieber 854
 Doppelschrägverzahnung 672
 Doppelschrägahn 637
 Dornriet 240
 Drahtkugellager 551
 Drallorientierung 569
 Drehbeschleunigung 630
 Drehbewegungselement 412
 drehelastische Wellenkupplung
 584
 Drehfeder 362, 388, 393, 396,
 630
 Drehfederkennlinie 621
 Drehfedersteifigkeit 588
 Drehflankenspiel 667
 Drehmasse 590, 592, 630
 Drehmassenmatrix 631
 Drehmoment 413, 697
 Drehmomentbegrenzer 617
 Drehmomentenschlüssel 304,
 323
 Drehmomentstoß 593
 Drehmomentvergrößerungsfak-
 tor 594
 drehnachgiebige Kupplung 597
 Drehschieber 855
 Drehschrauber 304
 Drehschwinger 629
 Drehschwingung 456
 Drehschwingungsdämpfer 393
 Drehstabfeder 393, 395, 456
 drehsteife Ausgleichskupplung
 578
 Drehstoß 585
 Drehwinkel 362, 389
 Drehwinkelvergrößerung 390
 Drehzahlgrundgleichung 654
 Drehzahlplan nach Kutzbach
 656
 Drehzahlwächter 617
 Dreischichtlager 503
 Dreistofflager 502
 Drosselklappe 856
 Druckbeanspruchung 84
 Druckbehälter 828
 Druckfeder 366–367, 369, 371,
 374, 400
 Druckgeräterichtlinie 825
 Druckhülse 279–280
 Druckkammerlager 487–488
 Druckluftanlage 606
 Druckmutter 301
 Druckverband 255
 Druckspannung 84, 242, 333,
 414, 421
 Druckumlaufschmierung
 778–779
 Druckverlust 843–844
 Dunkerley 454
 Dünnenschichtlackierung 294
 Duplex-Rollenkette 766
 Duplexbremse 625
 Durchbiegung 390, 428, 432–433
 Durchflusswiderstand 852
 durchflutete Lamellenkupplung
 607
 Durchgangshahn 855
 Durchhang 764
 Durchlaufträger 148, 151, 438,
 528
 Durchmesserverhältnis 258
 Durchsteckschraube 324
 Durchsteckverbindung 298
 Durchziehniel 240
 Duroplaste 47
 DVS-Merkblatt 16
 Dynamikfaktor 719, 723, 726,
 728
 dynamisch äquivalente Belastung
 552

- Dynamische Beanspruchung 101, 375, 378, 426
 dynamische Belastung 394
 dynamische Drehfedersteifigkeit 588
 dynamische Stützziffer 111, 423
 dynamische Tragzahl 553
 dynamische Viskosität 475, 517
- EAS-compact-Kupplung 618
 EAS-NC-Kupplung 618
 Eaton-Pumpe 494
 Eckhahn 855
 Eckventil 852
 Eigenfrequenz 364, 453, 630–631
 Eigengewichtsbetrieb 783
 Eigenspannungsfaktor 126
 Eigenvektor 630
 Eigenwert 630
 Eigenwertaufgabe 630–631
 Einbauspiel 274
 Einbettfähigkeit 498
 Einflanken-Wälzprüfung 711
 Einflussfaktor 718
 Einflussfaktor der Mittelspannungsempfindlichkeit 462
 Einflussfaktor der Oberflächenrauheit 459
 Einflussfaktor der Oberflächenverfestigung 459, 462
 Eingriffsbreite 743
 Eingriffslinie 642
 Eingriffspunkt 642
 Eingriffsstörung 681
 Eingriffsstoß 737
 Eingriffsstrecke 644, 681
 Eingriffsteilung 667–668, 682
 Eingriffswinkel 645–646, 667
 Eingriffszähnezahl 820
 Einheits-Achsabstand 712
 Einheits-Zahndicke 712
 Einheitsbohrung 26
 Einheitswelle 26
 Einkomponentenkleber 228
 Einlaufverhalten 498
 Einlaufvorgang 516
 Einlegekeil 338–339
 Einmassenschwinger 590
 Einpresskraft 272
 Einsatzstahl 57, 203
 Einscheiben-Trockenkupplung 603
 Einschraubenverbindung 299
 Einschraubtiefe 302
 Einspannbuchse 507
 Einspannung 76
 Eisen 499
 Eisen-Kohlenstoff-Diagramm 52
 Eisenbahnpufer 401
 Eisenwerkstoff 50
- elastisch-plastische Beanspruchung 269
 elastische Hysterese 470
 elastische Linie 428
 elastische Wellenkupplung 586
 Elastizitätsfaktor 725, 730, 735
 Elastizitätsmodul 62, 100, 259, 294, 366, 382, 409
 Elastohydrodynamik 521
 Elastomere 47
 Elastomerkupplung 587
 elektromagnetische Einflächenkupplung 607
 elektromagnetische Lamellenkupplung 608
 Elektronenstrahllöten 219
 Element-Steifigkeitsmatrix 145, 148, 151, 154
 Emulsion 473
 Endlasche 768
 ENSAT 290
 Entwerfen 38
 EP-Zusatz 472, 477, 481
 Epizykloid 643
 Epoxidharz 505
 Ergänzungskegel 685–686
 Ermüdungsfestigkeitsnachweis 117
 Erosionsschaden 504
 Ersatz-Drehfedersteifigkeit 592
 Ersatz-Stirnradpaar 743
 Ersatzquerschnitt 309
 Ersatzsystem 592
 Ersatzzähnezahl 672–673, 680, 690
 ertragbare Ausschlagsspannung 458
 ETP-Buchse 280
 Euler 95, 333
 Evolventenfunktion 646
 Evolventenverzahnung 645
 Evolventenzahn 638
 Evolventenzahnprofil 345
 Extremultus-Mehrschichtrömen 796
 Exzenterspanner 772
 Exzentrizität 489
 Eytelweinsche Gleichung 781, 802
 Fächelschweißen 213
 Fächerscheibe 296
 Fahrzeugbremse 626
 Fahrzeugfeder 400
 Fangrille 573
 Faserverbunde 49
 FE-Berechnung 43
 FEA 144, 422, 448, 452
 FEA-Programm 152
 Feder 362
 Federarbeit 363, 380
 Federhub 373
- Federkennlinie 362, 409
 Federkraft 379, 404, 610
 Federnachgiebigkeit 363
 Federpaket 384
 Federsäule 384
 Federstähle 57
 Federsteifigkeit 362, 373, 380, 390, 394, 399, 404, 409, 587
 Federtrommel 398
 Federweg 362, 372–373, 399
 Feingewinde 286
 Feinkornbaustahl 203
 FEM 144
 fertigungsgerechte Gestaltung 37
 Fertigungssimulation 40, 42
 fester Schmierstoff 473
 Festigkeitsberechnung 80, 851
 Festigkeitskennwert 66
 Festigkeitsklasse 320, 323
 Festigkeitsnachweis 113, 340, 425
 Festkörperreibung 469
 Festlager 76, 544, 546
 Festschmierstoff 473, 484, 505
 Fett-Tauchschmierung 713
 Fettdruckbuchse 492
 fettgeschmierte Gleitlager 521
 Fettkammerschmierung 493
 Fettöl 473, 480
 Fettrillendichtung 574
 Fettsschmierung 492, 562
 Feuerverzinkung 294
 Filzring 567
 Finite-Elemente-Analyse 143, 154, 448
 Finite-Elemente-Methode 143
 Finite-Elemente-Programm 42
 Finite-Elemente-Typen 153
 Fitting 829, 835
 FKM 568
 FKM-Richtlinie 16, 115
 Flächenmoment 2. Grades 189
 Flächenpressung 319, 347, 357–360
 Flächenträgheitsmomente 86
 Flachkeil 339
 Flachkopfschraube 287
 Flachriementrieb 780, 789
 Flachschieber 853
 Flammlöten 216–217
 Flammpunkt 478
 Flankenform 751
 Flankenkehlnaht 184
 Flankenlinie 636
 Flankenpressung 334, 339, 342, 344–345, 351, 725–726, 730
 Flankenrichtungsabweichung 719
 Flankenspiel 667, 676
 Flankentemperatur 733
 Flankentragfähigkeit 716, 725, 735

- Flankenzentrierung 343
 Flanschentlastungskraft 314
 Flanschkupplung 586
 Flanschläger 508, 548
 Flanschverbindung 831–832, 834
 Flash 501
 Fliehkräfteabhebung 623
 Fliehkräftekupplung 615
 Fliehzugkraft 776
 Fliehzugspannung 793
 Flugmotor 495–496, 509
 Flugzeugbau 247
 fluider Schmierstoff 473
 Flüssigkeitsreibung 469–470, 489
 Flüssigreibung 476
 Flussmittel 217
 Flyerkette 766
 Foliennahtschweißen 201
 For-life-Schmierung 562
 Form- und Lagetoleranz 30
 Formfaktor 409, 723
 formschlüssige Welle-Nabe-Verbindung 337
 Formschlussverbindung 337
 Formtoleranz 30
 Formzahl 422–423, 457, 460, 750
 freie Knicklänge 94
 Freilaufkupplung 619
 Freimaßtoleranz 179
 Freiträger 434
 Frequenzverhältnis 591
 Fresstragfähigkeit 717
 Frischölschmierung 496
 Fugendruck 257
 Fugenlöten 218, 220
 Fugenpressung 257–258, 264, 271, 280–281, 349
 Fügeteil 259
 Fügetemperatur 272
 Führungseinrichtung 772
 Führungslager 487
 Fülldrahtelektroden 164
 Füllsimulation 43
 Fußeingriffsstrecke 714
 Fußflanke 643
 Fußkegelwinkel 687
 Fußkreisdurchmesser 668, 673, 676, 687, 750, 770
 Fußwinkel 687
 FVA-Referenzöl 478
 Galling 717
 Gallkette 766
 Galnikal 472
 Gasschmelzschweißen 157
 Geberzylinder 627
 Gegenrad 636
 Gehäusegleitlager 508
 Gelbchromatieren 294
 gelenkiges Lager 445
 Gelenkkette 766
 Gelenklager 509
 Gelenkpressung 776
 Gelenkstift 357
 Gelenkverbindung 355
 Gelenkwelle 582
 Genauigkeitsklasse 712
 Geometrieelement 19
 geometrische Produktspezifikation 18
 geometrische Reihe 16
 geometrischer Größeneinfluss 459, 461
 Geradführung 551
 Geraudsitz-Durchgangsventil 852
 Geraudzahn 638
 Geraudzahnrad 674
 Gerbergelenk 445, 451
 gerollte Buchse 507
 Gesamt-Steifigkeitsmatrix 154
 Gesamtdurchbiegung 432, 435
 Gesamteinflussfaktor 459
 Gesamtfehernachgiebigkeit 364
 Gesamtfeedersteifigkeit 364
 Gesamtfederweg 402
 Gesamtneigungswinkel 435
 Gesamtüberdeckung 683
 Gesamtübersetzung 702
 Gesamtwirkungsgrad 701, 744, 755
 Gesamtzugkraft 776
 geschlitzte Tellerfeder 407
 Geschwindigkeitsfaktor 726
 Gestaltabweichung 29
 Gestaltänderungsenergie-Hypothese 422, 426
 Gestaltfestigkeit 420
 Gestaltfestigkeitswert 457–458
 Gestaltungsrichtlinie 177
 Getriebeöl 476–477, 715
 Getriebewelle 415, 449
 Getriebezug 638, 701
 Gewebe 785
 Gewinde 284
 Gewindeanziehmoment 305
 Gewindestolzen 370
 Gewindemuffe 835
 Gewinderohr 827
 Gewindestift 288, 293
 Gewindestopfen 370
 GFK 49
 Gleichheit der Schubspannung 91
 Gleichlaufgelenk 583
 Gleichmaßdehnung 62
 Gleichstreckenlast 430
 Gleichung von Vogel 479
 Gleichungssystem 151
 Gleit-Bohrreibung 471
 Gleitgeschwindigkeit 512, 714, 743, 747, 753
 Gleitlack 474, 484
 Gleitlager 487, 500, 516
 Gleitlagerscheibe 529
 Gleitlagerwerkstoff 500
 Gleitreibung 469
 Gleitringdichtung 572
 Gleitschicht 501
 Gleitschlupf 782
 Gleitwerkstoff 497
 Gliederkette 766
 Gliederzahl 775
 Gliederzahl faktor 775
 Globoidschnecke 748–749
 Glühen 55
 Graphit 48, 473, 483–484
 Grauguss 60
 Grenzdrehzahl 561
 Grenzmaß 19–20
 Grenzschichtschmierung 487
 Größenbeiwert 107, 425
 Größeneinfluss 424
 Größenfaktor 723, 726, 731
 Großrad 636, 639
 Größtkraft 243
 Grübchen 760
 Grübchenbildung 471
 Grübchentragfähigkeit 716, 725
 Grundabmaß 22
 Grundgleichung der Balkenbiegung 428
 Grundkreis 643
 Grundkreisdurchmesser 668, 673
 Grundreihe 17
 Grundschrägungswinkel 673, 725, 730
 Grundtoleranz 21
 Gümbel'scher Halbkreis 519
 Gummi 409, 505
 Gummifeder 408, 584
 Gusseisen 50, 60, 281
 Gütegrad 366
 Gutprüfung 28
 Habasit-Mehrschichtrienen 798
 Haftbeiwert 272
 Haftkraft 258
 Haftreibwert 324
 Haftschmierstoff 713
 Haftsicherheit 324
 Hahn 850, 855
 Haigh 106
 Haigh-Diagramm 64
 Hakenose 370
 Halbrundkerbnagel 355
 halbumschlossenes Lager 523
 Halszapfen 413
 Haltbarkeit der Schraubenverbindung 318
 Haltebremse 628
 Handschmierung 778
 Harmonische 594
 Härte 409
 Härtens 55
 Hartlot 219
 Hartlöten 217

- Hartlötverbindung 223
Hartverchromen 498
Hastelloy 599
Hauptverschleißmechanismus 472
Heizelementschweißen 211
HELICOIL 290
Hertz'sche Pressung 96
Hertzsche Pressung 620, 717, 735, 760
Hertzscher Kontakt 471
Hexaeder 151
Hexagonalriemen 813
Hintereinanderschaltung von Federn 364
Hirth-Verzahnung 350
HNBR 568
hochelastische Flanschkupplung 586
Hochfrequenzschweißen 213
Hochlaufzeit 613
hochlegierter Stahl 59
Hochtemperaturlöten 215, 219
Hochtemperaturpaste 483
Hohlflanken-Zylinderschnecke 753
Hohlflankenschnecke 752
Hohlkeil 339
Hohlriet 245
Hohlrad 636, 650, 669, 681
Hohlwelle 412
homogene Randbedingung 145
homokinetisches Gelenk 583
Hooke'sche Gerade 100
Hooke'sches Gesetz 144
Hubfestigkeit 376, 386
Hubspannung 375, 386, 391, 394
Hüllprinzip 28, 31
Hülltrieb 764
Hülsenkette 766–767
Hydrauliköl 478
hydraulische Kupplung 605
hydraulische Spannbuchse 280
hydraulischer Kettenspanner 773
hydraulischer Wandler 598
hydrodynamisch geschmierte Gleitlager 488
hydrodynamische Schmierung 514
hydrodynamisches Axiallager 530, 532
hydrodynamisches Gleitlager 475
hydrodynamisches Radiallager 516
hydrostatisch geschmierte Gleitlager 487
HYGUARD-Kupplung 618
Hyperboloid-Schraubradpaar 747
Hypoid-Schraubradpaar 747
Hypoidöl 472
Hypozykloid 643
Induktionslöten 216, 218–219
Industrie-Einscheiben-Trockenkupplung 603
Industrie-Scheibenbremse 628
Industriebremse 626
Industriekupplung 602
inhomogene Randbedingung 147
Innengewinde 285
Innenradpaar 681, 683
Innenteil 254
Innenverzahnung 670
Innenzentrierung 343
innere Teilkegellänge 691
innerer Modul 687
innerer Teilkreisdurchmesser 691
Integrationskonstante 430
ISO 15
ISO-Toleranzsystem 20
Istabmaß 20
Istmaß 19
Istoberfläche 29
Käfig 541
Kältemaschinenöl 481
Kalthärter 228, 232
Kalt Niet 239
Kantenpressung 496
Kapillarviskosimeter 476
Kardan-Gelenkwelle 582
Kavitationschäden 504
Kegel-Spannsatz 279
Kegelfeder 405
Kegelhahn 855
kegelige Druckfeder 405
Kegelrad 636, 667, 684, 690, 707, 710, 728
Kegelradgetriebe 738
Kegelreibkupplung 601
Kegelrollenlager 540, 542, 548, 557
Kegelrollentrieb 785
Kegelschmiernippel 492
Kegelstift 353, 360
Kegelverbindung 348
Kegelwinkel 348
Kehlnaht 169
Keilriemenscheibe 805
Keilriementrieb 802
Keilrippenriemen 804, 807
Keilschieber 853
Keilspalt 488
Keilspaltverhältnis 533
Keilstahl 342
Keilwellenverbindung 343
keramisches Lager 505
Kerbnagel 355
Kerbquerschnitt 423
Kerbspannung 109, 422, 456
Kerbspannungskonzept 456
Kerbstift 353–354, 357
Kerbwirkung 108, 413
Kerbwirkungszahl 110, 422–423, 457, 459, 461
Kerbzahl 109
Kerbzahnprofil 345
Kernquerschnitt 319
Kesselformel 401
Kettenart 766
Kettengeschwindigkeit 775
Kettenkraft 776
Kettenrad 769
Kettenspanner 772
Kettenteilung 766
Kettentrieb 764
kinematische Viskosität 475
Kippsegment 531
Kippsegmentlager 511
Klammerverbindung 834
Klappe 850, 855
Klauenkupplung 600
Klebstoff 225
Kleverbinding 225
Kleinrad 636, 639
Klemmrollen-Freilauf 620
Klemmstück-Freilauf 619
Klemmverbindung 280–281
Klemmwinkel 620
Knebelkerbstift 355
Knicklänge 376
Knicksicherheit 333
Knickung 94
Köcherbürstenhalter 609
Kohäsion 225
Kolben 476, 495
Kolbenfresser 503
Kolbenlöten 216
Kolbenpumpe 495
Kolbenring 476
Kolbenschieberventil 852
konsistenter Schmierstoff 473
Konsistenz 482
Konsole 839
Konstruieren 36
Konstruktionstechnik 15
Kontaktklebstoff 228
Kontaktverschweißung 470
Kontinuitätsgleichung 842
Konvektion 513, 534
Konzipieren 38
Kopfbahn 679
Kopfeingriffsstrecke 714
Kopfflanke 643
Kopfhöhe 667
Kopfkegelwinkel 687
Kopfkreisdurchmesser 668, 673, 676, 686, 750, 770, 819
Kopfkürzungsfaktor 681
Kopfschraube 287
Kopfspiel 667
Kopfwinkel 687
Korrosionsschutz 294

- Kraft 151
 Kraftamplitude 316
 Krafteinleitungs faktor 314
 Kräfteplan 71
 Kraftfahrzeugkupplung 407, 602
 Kraftfluss 300
 kraftschlüssiger Hülltrieb 802
 Kraftverhältnis 311, 320
 Krananlage 624
 Kreisbogenzahn 638
 Kreuzgelenk 582–583
 Kreuzlochmutter 289
 Kreuzlochschraube 287
 Kreuzstück 829
 Kristallstruktur 51
 kritische Drehzahl 453
 Kronenmutter 289
 Krümmer 829
 Kugelbüchse 552
 Kugelevolvent 684
 Kugelevolventenverzahnung 685
 Kugelgewindetrieb 334
 Kugelhahn 855
 Kugellager 540
 Kugelumlaufspindel 334
 Kunststoff 504, 785
 Kunststofffetting 831
 Kunststoffrohr 828
 Kupfer 499
 Kupferrohr 828
 Kupplung 577
 Kupplungsbeiwert 580
 Kupplungsgröße 609
 Kupplungskennlinie 587, 589
 Kurbeltrieb 510
 Kurbelwelle 509, 528
 Kurbelwellengleitlager 510
 Kurzname 56
 Kurzzeitfestigkeit 64
 Kutzbachplan 656
- Labyrinth 575
 Labyrinthdichtung 574
 Lager 76, 151
 Lagerbohrung 541
 Lagerbuchse 507
 Lagerkraftpolardiagramm 528
 Lagermetall 499, 501
 Lagerreihe 541
 Lagerschaden 502
 Lagerschale 509
 Lagerspiel 510, 514
 Lagetoleranz 30
 Lamellenkupplung 602–603, 610
 laminare Rohrströmung 843
 Laminat 49
 längsbeanspruchte Schraubenverbindung 320
 Längskeil 338
 Längskeilverbindung 337
 Längskraft 258, 414
 Längspressverband 254
- Längspressverbindung 349
 Längsstift 360
 Laserstrahllöten 218–219
 Lastspiel 316
 Lasttrum 764, 776, 782
 Lasttrumspannung 793
 Laufgeräusche 737
 Lauftoleranz 30
 Lebensdauer 552
 Lebensdauerfaktor 723, 726, 731
 Leder 785
 Leertrum 772, 782–783
 Leertrumkraft 800
 legiertes Öl 480
 Leibung 206, 242, 324
 Leichtmetallniet 239
 Leichtschaltähn 855
 Leitpaste 483
 Lichtbogenlöten 218
 Lichtstrahlköten 216, 218
 Lichtstrahlschweißen 212
 Linear-Kugellager 552
 Linearführung 552
 Linienbelastung 728
 Linksflanke 645
 Linkssteigung 671
 Linsenausgleicher 836
 Linsenbalg 836
 Linsensenschraube 287
 Lochleibung 242
 Lockern 295
 LOCTITE 297
 lösbare Verbindung 254
 Losdrehen 295
 Losdrehssicherung 296
 Loslager 76, 544, 546
 Lot 215
 Lotbadlöten 216–217
 Löten im Gasofen 216
 Löttemperatur 215
 Lötverbindung 215, 220, 222
 Lötvorschraubung 835
 Luftfahrt-Norm 247
 Luftfeder 403
 Luftschlauch-Kupplung 606–607
 Lyra-Bogen 836
- M-Anordnung 583
 Magnesiumlegierung 203
 Magnetkupplung 598
 Maschinenelement 36
 Maß 16, 19
 Massenträgheitsmoment 590
 Massivbuchse 507
 Maßreihe 541
 Maßtoleranz 20
 Maximum-Material-Bedingung 31
 Maximum-Material-Grenzmaß 20
 Mehrflächengleitlager 511
 Mehrflächenlager 489
- Mehrmassen-Torsionsschwingung 629
 Mehrscheiben kupplung 610
 Mehrschichtriemen 796
 Mehrschraubenverbindung 298
 Mehrstoffflager 500
 Mehrwegehahn 855
 Membranfeder 607
 Membranventil 852
 Messing 203, 500
 Metalastic-Feder 408
 Metall-Kunststoff-Verbundlager 504–505
 Metallbalgkupplung 584
 Metaldichtung 834
 Metallfeder 405, 584
 Metallkupplung 588
 Metallseife 482
 Metallweichstoffdichtung 833
 methodisches Konstruieren 36
 Mikrodrall 570
 Mikroschlupf 471
 Mindestdrehzahl 533
 Mindesteinschrauttiefe 302
 Mindestklemmkraft 315, 320, 324
 Mindestübermaß 261
 Mindestzähnezahl 680
 Mineralöl 473
 Mischreibung 470, 489, 516
 Mischschaltung von Federn 364
 Mitnahmebetrieb 621
 Mittelkraft 316
 Mittelspannung 64, 101, 458
 Mittelspannungsempfindlichkeit 126
 Mittenrauwert 33
 Mittensteigungswinkel 750
 Mittenzylinder 750
 mittlere Stirnteilung 691
 mittlere Teilkegellänge 691
 mittlerer Fußkreisdurchmesser 691
 mittlerer Kopfkreisdurchmesser 691
 mittlerer Modul 687
 mittlerer Schrägungswinkel 692
 mittlerer Stirnmodul 691
 mittlerer Teilkreisdurchmesser 691
 Modellierung der Fläche 39
 Modul 667, 686, 819
 Molybdändisulfid 473, 481, 483–484
 Momentenanschluss 243
 Montagehülse 571
 Montagepaste 483
 Montagevorspannkraft 306, 315, 320, 323–324
 Montagevorspannung 306
 Motorenöl 476

- Motorrad-Lamellen-Nasskupplung 605
 Muffe 829
 Muffenverbindung 835
 Mutter 292, 295
 Muttergewinde 285
 Nachgiebigkeit 308, 310, 320
 Nadellager 540, 547
 Naht 169
 Nahtdicke 169
 Nahtform 170
 Nahthäufung 177
 Nahtvolumen 178
 Nahtwurzel 177
 Nasenflachkeil 339
 Nasenhohlkeil 339
 Nasenkeil 339
 Nasskupplung 602
 Nasslauf 608
 Nasssumpfschmierung 495–496
 NBR 568
 Nehmerzylinder 624
 Neigungsgeraden 430
 Neigungswinkel 433, 435
 Nenndrehmoment 580
 Nenndruck 825
 Nennleistung 695, 793
 Nennmaß 19
 Nennmoment 695
 Nennspannung 456
 Nennspannungskonzept 456
 Nennumfangskraft 723
 Nennweite 825
 Newtonsche Flüssigkeit 475
 Nichteisenmetalle 61
 nichtlösbare Verbindung 156
 nichtmetallischer Lagerstoff 504
 nichtrostender Stahl 203
 nichtschaltbare Kupplung 577
 niedriglegierter Stahl 59
 Nietstift 245
 Nietverbindung 238, 240
 Nietverbindung im Leichtmetallbau 247
 Nietverbindung im Maschinen- und Gerätebau 244
 Nikasil 472
 Nilosring 567–568
 Nitrieren 56
 Nitrierstahl 57
 NLGI-Klasse 482
 nominelle Lebensdauer 553
 Norm 15
 Normaleingriffsteilung 673
 Normaleingriffswinkel 672, 750
 Normalflankenspiel 667
 Normalglühen 55
 Normalisieren 55
 Normaliernielen 802
 Normalmodul 672, 691
 Normalprofil 672
 Normalschnitt 748
 Normalspannung 182
 Normalteilung 673, 750
 Normmaß 16–17
 Normmutter 301
 Normzahl 16
 Notlaufverhalten 498
 Nuklearbereich 326
 Null-Achssabstand 668, 673
 Null-Außenverzahnung 667
 Null-Innenverzahnung 669
 Null-Rad 667
 Null-Radpaar 676, 688
 Null-Schrägverzahnung 671
 Null-Verzahnung 667
 Nulllinie 20
 Nutmutter 289
 Nutzkraft 781
 O-Anordnung 557, 559
 O-Ring 572–573
 obere Vergleichsspannung 425
 oberes Abmaß 20
 Oberflächenangabe 35
 Oberflächenbeiwert 108, 424
 Oberflächeneinfluss 424
 Oberflächenrüttung 471–472
 Oberkasten 738
 Oberspannung 102, 421
 Ofenlöten 217, 219
 Oktoidenverzahnung 684
 Öl 473
 Öl-Spritzschmierung 713, 715
 Öl-Tauchschmierung 713, 715
 Öltaggregat 506
 Oldham-Kupplung 581
 Ölmanöel 503
 Ölnebelschmierung 563
 Ölzpumpe 495
 Öl schmierung 563
 Ölumlaufschmierung 564
 Ölviskosität 759
 Orthozykloid 643–644
 Ortstoleranz 30
 Ösenform 370
 Ovalnut 508
 Ovalschieber 853
 Oxidkeramik 505
 P3G 346
 P4C 346
 Packhahn 855
 Palloidverzahnung 692
 Parallelschaltung von Federn 364
 Partikelverbunde 49
 Passfederhut 418
 Passfederverbindung 340–341, 710
 Passfläche 24
 Passkerbstift 355, 359
 Passmaß 20
 Passschraube 323–324
 Passteil 24
 Passtoleranz 24
 Passtoleranzfeld 24
 Passung 16, 19, 23
 Passungsart 23
 Passungsrost 499
 Passungssystem 23–24
 Pendelkugellager 542
 Pendellast 545
 Pendelrollenlager 546
 Penetration 482
 Pfeilzahn 637
 Pflanzenöl 481
 Pflastersteinbildung 504
 Phasenwinkel 591
 Pitting 471, 717
 Planetengetriebe 638
 Planetengetrieben 649
 Planetenträger 650
 Planox-Kupplung 606
 Planrad-Radius 687
 Planverzahnung 669
 plastische Stützzahl 124
 plastische Formzahl 125
 Plastisol 228
 Platte 151
 Plattenschieber 854
 Pleuellager 510
 Pleuellagerschale 503
 PN 825
 Poise 475
 Poissonzahl 62
 polares Flächenmoment 2. Grades 188
 Polflächen-Kupplung 607–608
 Poly-V-Riemen 511
 Polyadditionsklebstoff 228
 Polyamid (PA) 294, 504
 Polyamid-Zahnrad 709
 Polycarbonat (PC) 294
 Polyethylen 504
 Polygoneffekt 773
 Polygonumschlung 775
 Polygonwellenverbindung 346
 Polykondensationsklebstoff 228
 Polymerisationsklebstoff 228
 Polynom-Approximation 588
 Polyoxymethylen (POM) 294
 Polystyrol (PS) 294
 Polytetrafluorethylen 504
 Potenzproduktansatz 588
 Pourpoint 478, 481
 Power Grip HTD-Zahnriemen 818, 822
 Präzisionsstahlrohr 827
 Pressschweißverbindung 199
 Presssitz 357
 Pressstumpfschweißen 201
 Pressungsverhältnis 266
 Pressverband 254
 Produktklasse 286

- Produktkonfigurator 41
 Produktplanung 38
 Profilbezugslinie 669
 Profilseitenverschiebung 689
 Profilüberdeckung 682, 687, 692, 737, 742–743, 753
 Profilverschiebung 674–675, 743, 750, 755
 Profilverschiebungsfaktor 675, 677
 Projektionsfläche 512
 Prozesskette 39
 Prüfdruck 826
 Prüfmaß 20
 PTFE 568
 Punktlast 545
 Punktmatrize 444
 Punktschweißverbindung 203
 Punktschweißen 199
 Punktverzahnung 644
 PVD-Verfahren 501

 querbeanspruchte Schraubenverbindung 323
 Querdehnzahl 259
 Querkontraktionszahl 62, 100, 382
 Querkraftgelenk 445
 Querpressverband 254
 Querschnittsverhältnis 270
 Querstift 359

 Rad 636
 Rad aus Kunststoff 708
 Radbreite 757
 Radial-Gleitlager 512
 Radial-Kippsegmentlager 511
 Radial-Wellendichtring 568
 Radialfedersteifigkeit 587
 Radialkraft 696–697, 699, 745, 755
 Radiallager 487, 507, 511, 540
 Radialspiel 543
 Raffinat 480
 Randbedingung 151, 430
 Randschichtfaktor 126
 Rauheit 33
 Rauheitsfaktor 126, 726
 räumlichen Spannungszustandes 91
 Rautiefe 33
 Rechtsflanke 645
 Rechtssteigung 671
 Reduktionsverfahren 438
 Reduzierstück 829
 Regelgewinde 286
 Regelorgan 850
 Regleröl 481
 Reibarbeit 613
 Reibbelag 603, 626
 Reibkraft 470, 701
 Reibkupplung 601

 Reibleistung 511–512, 520, 532, 571
 reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindung 254
 Reibschlussverbindung 337
 Reibschweißen 212
 Reibung 469, 701
 Reibungsart 471
 Reibungsmechanismus 470–471
 Reibungsverlust 520
 Reibwert 307, 323
 Reibwinkel 401
 Reibzahl 533
 relative Exzentrizität 517
 relative Lagerbreite 512
 relative Rauigkeit 843
 relative Schmierfilmdicke 533
 relative Stützziffer 723
 relative Übergangs-Exzentrizität 522
 relativer Oberflächenfaktor 723
 relatives Lagerspiel 514
 Relaxation 375
 Resonanz 453, 592
 Resonanzdrehzahl 594
 Resonanzfaktor 594
 Restklemmkraft 315
 resultierende Normalspannung 187
 resultierende Schubspannung 192
 Reynolds-Zahl 517, 843
 Ribe-Triform 288
 Richtlinie 15
 Richtungstoleranz 30
 Riemenbreite 794, 796, 798, 821, 823
 Riemen Geschwindigkeit 791, 793, 807, 819
 Riemenlänge 820
 Riemenscheibe 786
 Riemenschloss 803
 Riemenspannkraft 781
 Riementrieb 780, 784
 Riemenwerkstoff 785
 Rillenkugellager 542–543, 545, 550
 Rimostat-Rutschkupplung 616
 Ringfeder 400
 Ringkegel-Spannelement 273
 Ringnut 543
 Ringschmierung 493, 513
 RINGSPANN-Scheibe 278
 RINGSPANN-Sternscheibe 277
 Ringspurlager 529
 Ritzel 636, 704
 Rizinusöl 481
 Rohniet 238
 Rohrart 827
 Rohraufhängung 840
 Rohrbogen 829
 Rohrformstück 829

 Rohrführung 839
 Rohrhalterung 838
 Rohrinnendurchmesser 842
 Rohrkraft 837
 Rohrleitung 825, 840–841
 Rohrleitungsverlust 843
 Rohrnet 245
 Rohrreibungszahl 843
 Rohrschweißverbindung 831
 Rohrverbindung 831
 Rohrverschraubung 835
 Rohrwanddicke 845
 Roll-Bohrreibung 471
 Rollenbettradius 770
 Rollenbettwinkel 770
 Rollendruckkraft 800
 Rollenkette 766, 770, 774
 Rollenlager 540
 Rollennahtschweißen 201
 Rollfeder 397–398
 Rollkreis 643
 Rollreibung 469, 471
 Rotary-Kette 766
 Rotationsviskosimeter 476
 ROTEX®-Kupplung 585
 Rotguss 499–500
 Rückdrehmoment 332
 Rückenkegel 686
 Rückflanke 645
 Rückhub 330
 Rücklaufsperrre 623–624
 Rückrechnung 151
 Rückschlagklappe 856
 Rückschlagventil 853
 ruhende Belastung 385, 391
 Ruhreibung 469
 Ruhezapfen 413
 Rundgewinde 286
 Rundkeil 360
 Rundlaufgenauigkeit 569
 Rundriemen 813
 Rundschieber 853
 Rundwertreihe 17
 Rutschkupplung 616
 RWDR 570

 SAE-Viskositätsklasse 481
 Sägengewinde 286, 329
 Sägezahn 600
 Sanftanlaufschaltung 615
 Satz von Castigliano 431
 Schablonenverfahren 684
 Schaft 238
 Schafschraube 285, 315
 Schale 151
 Schalenkupplung 579
 schaltbare Kupplung 577
 Schaltkupplung 599, 610
 Schaltpause 614
 Schaltvorgang 611
 Schaltvorrichtung 600
 Scheibe 151

- Scheibenbremse 626
 Scheibenfeder 340, 342
 Scheibenkeil 339
 Scheibenkopplung 579
 Scheinviskosität 521
 Schenkelfeder 387, 392
 Scherbeanspruchung 88
 Scherbuchse 323–324
 Scherspannung 206, 223, 233, 241, 324, 357–360
 Schieber 850, 853
 Schieberabdichtung 854
 Schlagschrauber 304
 Schlankheit 376
 Schlauchfeder 570
 schleifende Dichtung 567
 Schleifring 606
 Schleuderering 574
 Schließkopf 239
 Schmalkeilriemen 803
 Schmelzklebstoff 228
 Schmelzschweißverbindung 156
 Schmierfett 473, 482
 Schmierfilmdicke 520
 Schmierfilmtemperatur 514
 Schmierhahn 855
 Schmierkennwert 714, 759
 Schmiernaut 491, 508, 530
 Schmieröl 474, 481, 530, 534, 714
 Schmieröldurchsatz 515, 534
 Schmierpaste 473, 483
 Schmierstoff 473, 489, 713
 Schmierstoffart 474
 Schmierstoffbenetzbareit 498
 Schmierstofffaktor 726
 Schmiertasche 491
 Schmierung 469, 713, 758, 778
 Schmierungsart 759
 Schmierwache 473, 483
 Schnecke 756
 Schneckenbreite 757
 Schneckengetriebe 761–762
 Schneckenrad 756
 Schneckenradsatz 748–749, 754, 758, 760
 Schneidringverschraubung 836
 Schnellarbeitssahl 59
 Schnittkräfte 72
 Schnittstellenproblematik 41
 Schrägenfaktor 723, 725, 730
 Schräkgugellager 542, 551, 557
 Schrägstirnrad 742
 Schrägungswinkel 671, 673, 690, 696
 Schrägverzahnung 680, 707
 Schrägzahn 638
 Schrägzahnrad 674
 Schraub-Stirnradpaar 742–743
 Schraube 284, 295
 Schraubenanziehmoment 304, 306, 318, 320
 Schraubendrehfeder 387
 Schraubendruckfeder 405
 Schraubenende 289
 Schraubenfeder 366
 Schraubenkopfform 287
 Schraubennut 508
 Schraubenpaste 483
 Schraubenrad 636
 Schraubentellerfeder 406
 Schraubenverbindung 295, 309
 Schraubenzugfeder 370, 377
 Schraubenzusatzkraft 314
 Schraubflächen-SIKUMAT-Kupplung 618
 Schraubmuffe 835
 Schraubverbindung 835
 Schrittmodul 629
 Schrumpf-Dehnverband 255, 273
 Schrumpfing 414
 Schrumpfscheiben-Verbindung 279
 Schrumpfverband 254
 Schubbeanspruchung 87, 188
 Schubmodul 366, 409
 Schubspannung 87, 184, 188, 191, 207, 373–374, 377, 394
 Schulterkugellager 542, 547
 Schutzlippe 568
 Schutzsicht 294
 Schweißkonstruktion 177
 Schweißprozess 157
 Schweißstromquelle 166
 Schweißverfahren 156
 Schweißbuckel 208
 Schweißen von Kunststoff 211
 Schweißlinse 207
 Schweißmutter 290
 Schweißnahtfläche 182
 Schweißpunkt durchmesser 205
 Schweißverbindung 831
 Schweißverbindung im Maschinen- und Gerätebau 193
 Schweißzone 177
 Schwell-Dauerfestigkeit 729
 Schwerachsenabstand 189
 schwingende Belastung 385, 391
 Schwingfestigkeit 64
 Schwingpielzahl 64, 104
 Schwingungs-Differenzialgleichung 590
 Schwingungsdämpfer 764
 Schwingungsdämpfung 588
 Schwungmoment 590
 Sechskant-Hutmutter 289
 Sechskantmutter 289
 Sechskantschraube 287
 Seegerring 413
 Segment-Spurlager 530
 selbsthemmend 332
 selbsthemmung 330, 350, 401, 620, 756
 Selbstschwächung 625
 selbstsichernde Mutter 297
 Selbstspannbetrieb 783
 Selbstverstärkung 625
 Selbstverstärkungseffekt 625
 Senknerbnagel 355
 Senkschraube 287
 Sensitivitätsanalyse 40
 SERVOMAX® Elastomer-Kupplung 586
 Sespabetrieb 783
 Setzen 295, 310
 Setzkopf 238
 Shore 409
 Sicherheit 113, 426, 760
 Sicherheitsbremse 629
 Sicherheitsfaktor 723, 726, 729
 Sicherheitskupplung 616
 Sicherheitsorgan 850
 Sicherheitsventil 853
 Sicherungsblech 296
 Sicherungsmutter 296
 Sicherungsring 356, 413, 546
 Sicherungsscheibe 356
 Silikon 47
 Simmerring 570
 Simplex-Rollenkette 766
 Simplexbremse 625
 Sintermetall 499
 Smith 105
 Smith-Diagramm 64, 424
 Sommerfeld-Zahl 517, 519
 Sommerviskosität 476
 Sondermessung 499
 Sonderschraube 327
 Sonnenrad 638, 650
 Spaltdichtung 573
 Spaltfunktion 519
 Spalthöhe 519
 Spaltlöten 217, 220
 Spalttopf 599
 Spannband 773
 Spannlementverbindung 273
 Spannhülse 324
 Spannlager 548–549
 Spannrad 764, 772
 Spannrolle 806
 Spannrollenabstand 800
 Spannrollenbetrieb 783
 Spannrollentreib 800, 818
 Spannsatz 274
 Spanscheibe 296
 Spanscheibensatz 278
 Spanschraube 276
 Spannstift 323, 353, 361
 Spannung 80
 Spannung in Schweißnaht 179
 Spannungs-Dehnungs-Diagramm 101
 Spannungs-Dehnungs-Kurve 61
 Spannungsamplitude 458
 Spannungsarmglühen 56
 Spannungsausschlag 319

- Spannungskollektiv 121
 Spannungskorrekturfaktor 723
 Spannungsnachweis 113
 Spannungsquerschnitt 300
 Spannungsverhältnis 102
 Spannwellenbetrieb 783
 Sperrzahnmutter 297
 Sperrzahnschraube 297
 Spezialschraube 326
 spezifische Lagerbelastung 511–512, 532
 spezifisches Gleiten 648
 sphärischer Evolvent 684
 spielfreie Kupplung 585
 Spielpassung 23
 Spindel 329
 Spiralfeder 396–397
 Spiralschnecke 751
 Spiralspannstift 353, 361
 Spiralwinkel 690
 Spiralzahn 638
 Spitzengrenze 680
 Splint 296, 356
 Sprengring 356, 546
 Spritzrille 574
 Sprung 672
 Sprunggröße 445
 Sprungüberdeckung 683, 742
 Sputterlager 502
 Stab-Fachwerk 151
 Stabfeder 393
 Stabilitätsberechnung 376
 Stahl 203, 281
 Stahl-Lamellenkupplung 581
 Stahlbau 326
 Stahlbolzenkette 766
 Stähle 57
 Stahlfitting 829
 Stahlguss 60, 281
 Stahlkonstruktion 323
 Stahllamelle 603
 Stahlniet 238
 Stahlpanzerrohrgewinde 286
 Stahlrohr 827
 Stahlschraube 291
 Standübersetzung 653
 Stanznietverbindung 238
 Starrschraube 315
 statisch äquivalente Belastung 554
 statische Beanspruchung 375, 377, 426
 statische Belastung 394
 statische Kennzahl 554
 statische Stützwirkung 458
 statische Tragfähigkeit 554
 statische Tragzahl 554
 Statischer Festigkeitsnachweis 117
 Staufferbuchse 492
 Steckmuffe 835
 Steckmuffenverbindung 835
 Steckstift 358
 Steg 650
 Stehlager 509, 549
 Steigung 330
 Steigungswinkel 401, 671
 Stellring 414, 546
 Sternscheibenverbindung 277
 Stick-Slip-Effekt 483
 Stift 353
 Stiftschraube 288
 Stirn-Breitefaktor 728
 Stirneingriffsteilung 673, 677
 Stirneingriffswinkel 672–673, 725, 730
 Stirnfaktor 720, 723, 726, 728
 Stirnkehlnaht 184
 Stirnmodul 672, 691, 750
 Stirnprofil 672
 Stirnrad 636, 667, 706
 Stirnradgetriebe 738
 Stirnschnitt 748
 Stirnteilung 673
 Stirnzahnverbindung 350
 Stirnzapfen 413
 Stockpunkt 478
 Stokes 475
 Stopfbuchs-Dichtung 567
 Stopfbuchsen-Dehnungsausgleicher 836
 Stopfbuchsenmuffe 835
 Streckgrenze 62–63, 300, 319, 323, 458
 Stribeck-Kurve 489
 Stribecksche Wälzpressung 713
 Stufensprung 16
 Stufenzahn 637
 Stulpmutter 301
 Stumpfnaht 168
 Stutzen 829, 839
 Stützweite 840
 Stützzahl 460–461
 Stützziffer 424, 460
 Suspension 473
 Synchroflex-Zahnriemen 818, 820
 Synchroneinrichtung 601
 Synchronriemen 816
 Synchronriementrieb 816
 SYNTEX-Kupplung 618
 Syntheseöl 473, 481
 System Einheitsbohrung 24
 System Einheitswelle 24
 T-Stück 829
 Taillenschraube 308, 323
 Tandem-Anordnung 559
 Tangentialkraft 695–697, 699, 745, 755
 Tangentialspannung 401
 Tangentkeil 339
 Taper-Spannbuchse 806, 818
 Tauchschmierung 493, 563, 778
 Taylor'scher Prüfgrundsatz 28
 Taylor-Entwicklung 428
 technologischer Größeneinfluss 458–459
 Teflon 504, 568
 Teilkegellänge 687
 Teilkegelwinkel 686, 690
 Teilkreis 667, 686
 Teilkreisdurchmesser 668, 673, 686, 750, 770, 819
 Teilschmierung 476
 Teilung 667–668, 687, 770, 819
 Tellerfeder 378–379, 604
 Tellerfeder mit Anlagefläche 382
 Tellerfederkupplung 604
 Tellerfederstäule 384, 387
 Temperaturfaktor 593
 Temperguss 60, 281
 Tempergussfitting 830
 Ternäre Galvanik 500
 Tetmajer 95
 Tetraeder 151
 Thermoplasten 47
 thermoplastische Elastomere 47
 Toleranz 16, 19, 256
 Toleranzfaktor 21
 Toleranzfamilie 712
 Toleranzfeld 20
 Toleranzgrad 20
 Toleranzklasse 20
 Toleranzring 279–280
 toleriertes Maß 20
 Tolerierungsgrundsatz 27
 Tolerierungsprinzip 33
 Tonnenlager 540
 Topfzeit 228
 Torsionsbeanspruchung 89
 Torsionsfedersteifigkeit 587
 Torsionsmoment 414, 452
 Torsionsspannung 333, 373, 415, 421, 456
 Torsionssteifigkeit 590
 Toruselement 151
 TORX-Schraubsystem 287
 Tragbild 737
 Träger 414
 Trägerabschnitt 443
 Tragfähigkeit 552, 715, 746, 760
 Tragfähigkeit des Kegelrades 695
 Tragfähigkeit des Stirnrades 695
 Tragfähigkeitsberechnung 422
 Tragfähigkeitsberechnung nach DIN 743 456
 Trägheitsradius 94
 Tragzahl 532
 Transport-Zahnkette 768
 Trapezgewinde 286, 329
 Trapezzahn 600
 Treibkeil 338–339
 Trennfugenzahl 312

- Tribochemische Reaktion 472–473
 Tribokorrosion 483
 Tribologie 469
 Tribosystem 497
 Triebart 783
 Triebstockverzahnung 644
 Triplex-Rollenkette 766
 Trockenkopplung 602
 Trockenlauf 608
 Trockenreibung 470
 Trockenkupplungsforschmierung 495
 Trommelbremse 624
 Tropföler 493
 Tropfölschmierung 513
 Tropfschmierung 778
 Trumkraftverhältnis 781
 Trumneigungswinkel 789, 808, 820
 Turbinenlager 511
 Turbokupplung 598
 Turbomaschine 575
 turbulente Rohrströmung 843
 U-Bogen-Dehnungsausgleicher 837
 Überdeckungsfaktor 721, 723, 725, 730, 735
 Übergangs-Sommerfeld-Zahl 522
 Übergangsdrehzahl 489, 533
 Übergangspassung 23
 Überholbetrieb 623
 Überholkopplung 622
 Überlapptklebung 231
 Überlappschweißen 213
 Überlastkopplung 617
 Übermaßpassung 23, 254
 Übermaßverlust 259
 Überschlagsberechnung 418
 Übersetzung 592, 638–639, 774, 791, 807, 819
 Übersetzungsfaktor 775
 Übertragungsmatrix 443–444
 Übertragungsverfahren 438, 452
 UKF-Lager 551
 Ultraschallschweißen 212
 Umfangsgeschwindigkeit 696
 Umfangskraft 258
 Umfangslast 545
 Umlaufrädergetriebe 650
 Umlaufschmierung 494
 Umlenkrollentrieb 784
 Umschlingungswinkel 789, 808, 820
 Unabhängigkeitsprinzip 28, 31
 UNC-Gewinde 286
 Ungleichförmigkeitsgrad 583
 unlegierter Stahl 59
 unteres Abmaß 20
 Unterkasten 738
 Unterlegelement 296
 Unterschnitt 679–680
 Unterspannung 102
 V-Achsabstand 676
 V-Außenradpaar 681
 V-Innenradpaar 677
 V-Kreis-Durchmesser 676
 VDE-Bestimmung 16
 VDG-Merkblatt 16
 VDI-Richtlinie 16
 Ventil 850–851
 Ventilfeder 393
 Verbrennungsmotor 528
 Verbundriemen 785, 813
 verdrehkritische Drehzahl 456
 Verdrehwinkel 396, 452–453
 Verfahren nach Castigliano 452
 Verformung 736
 Vergleichs-Ausschlagsspannung 423
 Vergleichsausschlagsspannung 112
 Vergleichsmittelspannung 112, 462
 Vergleichsspannung 187, 333
 Vergrößerungsfunktion 591
 Vergüten 55
 Vergütungsstahl 57, 203
 verhältnismäßige Dämpfung 589
 Verlagerungswinkel 518–519
 Verlängerung 837
 Verliersicherung 296
 Verlustleistung 613, 844
 Verlustschmierung 496
 Verlustzahl 844, 850
 Verschiebung 151
 Verschleiß 469, 471
 Verschleißschutzadditive 476
 Verschleißtragfähigkeit 718
 Verschleißverringerung 472
 Verschleißwiderstand 498
 Verspannungsschaubild 311
 Verstellscheibe 814
 Verzahnungsart 636
 Verzahnungsfehler 719
 Verzahnungsgesetz 636, 639
 Verzahnungsqualität 710, 712, 720, 758
 Verzahnwerkzeug 680
 VI-Verbesserer 478, 481
 Vierkantmutter 289
 Vierkantschraube 287
 Vierpunktllager 542
 Virtual-Reality-Umgebung 41
 virtuelle Entwicklung 41
 virtuelle Zähnezahl 686–687
 virtuelles Zähnezahlverhältnis 687
 Viskosität 474, 489
 Viskositätsindex 478
 Viskositätsklasse 476
 V_{minus} -Radpaar 676
 V_{null} -Radpaar 676, 688
 Voith-Turbokupplung 598
 Voll-Kunststoffkupplung 586
 Vollschmierung 476
 vollumschlossenes Lager 523
 Vollwelle 412
 Volumenelement 151
 Volumenstrom 842, 850
 Vorschubfreilauf 621
 Vorschweißflansch 832–833
 Vorsetzen 394
 Vorspannkraft 275, 312, 324, 370
 Vorspannkraftverlust 311, 320
 Vorspannlänge 837
 Vorspannung 377
 V_{plus} -Radpaar 676
 Vulkanisation 409
 W-Achsabstand 676
 Wälzfräsen 674
 Wälzgelenk 768
 Wälzleiten 647
 Wälzkörper 540
 Wälzkörperperform 541
 Wälzkreis 639, 667
 Wälzlager 540
 Wälzlager-Außenring 546
 Wälzlager-Innenring 546
 Wälzlager-Käfig 541
 Wälzprüfung 711
 Wälzpunkt 639
 Wälzreibung 469, 471
 Wälzstoßen 674
 Wälzverfahren 684
 Wälzzyylinder 742
 Wanddicke 846
 Wärmebehandlung 53, 54
 Wärmedehnzahl 499
 Wärmeleitkoeffizient 479
 Wärmestrom 513–514, 534, 613
 Wärmeübergangszahl 513, 614
 Wärmeverlust 841
 Wärmgaslöten 216
 Warmgasschweißen 212
 Warmhärter 228, 232
 Warmniet 239
 wartungsfreies Gleitlager 537
 Wechselbiegebeanspruchung 413
 Wechselbiegung 421
 Wechselfestigkeit 458–459
 Wechselmoment 593
 Weichlot 219
 Weichlöten 215
 Weichlötverbindung 223
 Weichlötverfahren 216
 Weichstoffdichtung 833
 Weißmetall 499–500
 Welle 412
 Wellenabsatz 460
 Wellenbremse 577
 Wellendichtung 567
 Wellendurchmesser 419

- Wellenelement 448
 Wellengelenk 583–584
 Wellenkupplung 577, 586
 Wellenverlagerung 594
 Wellenwerkstoff 572
 Wellrohr-Dehnungsausgleicher 837
 Wellrohrausgleicher 836
 Werknorm 16
 Werkstoff 413
 Werkstoffkennwert 61, 66
 Werkstoffnorm 16
 Werkstoffnummer 56
 Werkstoffpaarungsfaktor 726
 Werkstoffschaubilder 46
 Werkzeugmaschine 343
 Whitworth-Rohrgewinde 286
 Wickelverhältnis 366
 Widerstandslöten 216, 218
 Widerstandsmoment 419
 Widerstandspressschweißen 199
 Widerstandszahl 844
 Willigleichung 654
 Windungsdurchmesser 366
 Winterviskosität 476
 wirksames Übermaß 259
 Wirkungsgrad 332, 701, 744, 754–755
 Wöhlerdiagramm 63, 103
 X-Anordnung 558, 560
 Z-Anordnung 583
 ZA-Schnecke 751
 Zahnbreite 687, 707, 770
 Zahndicke 647
 Zähnezahl des Planrades 687
 Zähnezahlfaktor 774
 Zähnezahlverhältnis 638, 749
 Zahnflanke 642
 Zahnflankenradius 770
 Zahnußnennspannung 723, 728
 Zahnußspannung 723, 729, 734
 Zahnußtragfähigkeit 716, 723, 728, 734
 Zahnkette 767–768
 Zahnkraft 415, 695, 697, 743, 754
 Zahnkupplung 600
 Zahnrad 636
 Zahnradpaar 742
 Zahnradpumpe 494
 Zahnriementrieb 816
 Zahnscheibe 296, 818
 Zahnstange 636, 669, 677
 Zahnstangenprofil 669
 Zahnstangenradpaar 682
 Zahntemperatur 733
 Zahnverformung 736
 Zahnwellenverbindung 345
 Zapfen 413
 Zeit-Schwellfestigkeit 734
 Zeitfestigkeit 64, 386, 732
 Zeitkonstante 614
 Zeitwälzfestigkeit 735
 Zertifizierung im Metallbau 174
 ZI-Schnecke 751, 753
 Ziehschweißen 213
 Zink 499
 Zinn 499
 Zinnbronze 203
 Zitronenspiellager 490
 ZK-Schnecke 752
 ZN-Schnecke 751
 Zonenfaktor 725, 730, 735
 Zug/Druckspannung 456
 Zugfeder 369, 372
 Zugfestigkeit 63
 Zugkraft 776, 821
 Zugmutter 301
 Zugscherfestigkeit 222, 234
 Zugspannung 223, 242, 333, 421
 Zugversuch 61
 zulässige Fugenpressung 266, 269
 zulässiges Höchstübermaß 261
 Zusammengesetzte Beanspruchung 90
 Zustandsdiagramm 52
 Zweiflanken-Wälzprüfung 711
 Zweikomponentenklebstoff 228
 Zweimassenschwinger 590, 592–593
 Zweiseibenkupplung 606
 Zweischichtlager 503
 Zykloidenverzahnung 642–643
 Zylinderkerbstift 355, 360
 Zylinderlaufbahn 476, 495
 Zylinderrad 636
 Zylinderrollenlager 540, 542
 Zylinderschnecke 748–749
 Zylinderschraube 287
 Zylinderstift 353
 zylindrischer Pressverband 256