

# 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](http://www.hanser-fachbuch.de)

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# Inhaltsverzeichnis

## Grundlagen

<b>1 Konstruktionstechnik</b>	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
<b>2 Werkstoffe</b>	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
<b>3 Festigkeitsberechnungen</b>	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
<b>Nichtlösbare Verbindungen</b>	
<b>4 Schmelzschweißverbindungen</b>	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
<b>5 Pressschweißverbindungen</b>	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
<b>6 Lötverbindungen</b>	215
6.1 Verfahren, Lote	215
6.2 Gestaltung von Lötverbindungen	220
6.3 Berechnung von Lötverbindungen	222
6.4 Literatur	224
<b>7 Klebverbindungen</b>	225
7.1 Wirkmechanismen	225
7.2 Klebstoffe	227
7.3 Gestaltung und Festigkeit der Klebverbindungen	229

7.4	Berechnung von Klebverbindungen . . . . .	232
7.5	Literatur . . . . .	236
<b>8</b>	<b>Nietverbindungen</b> . . . . .	<b>238</b>
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
<b>Lösbare Verbindungen</b>		
<b>9</b>	<b>Reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen</b> . . . . .	<b>254</b>
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 Füge Temperaturen . . . . .	272
9.6	Spannelementverbindungen . . . . .	273
9.7	Klemmverbindungen . . . . .	280
9.8	Literatur . . . . .	283
<b>10</b>	<b>Befestigungsschrauben</b> . . . . .	<b>284</b>
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, Anziehungsfaktor . . . . .	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
<b>11</b>	<b>Bewegungsschrauben</b> . . . . .	<b>329</b>
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
<b>12</b>	<b>Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen</b> . . . . .	<b>337</b>
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	Stirnzahnverbindungen . . . . .	350
12.8	Literatur . . . . .	352
<b>13</b>	<b>Stift- und Bolzenverbindungen . . . . .</b>	<b>353</b>
13.1	Stifte . . . . .	353
13.2	Bolzen . . . . .	355
13.3	Festigkeitsberechnung . . . . .	356
13.4	Literatur . . . . .	361
<b>14</b>	<b>Federn . . . . .</b>	<b>362</b>
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 Biegefedern . . . . .	398
14.11	Ringfedern als Druckfeder . . . . .	400
14.12	Luftfedern . . . . .	403
14.13	Weitere Metallfedern . . . . .	405
14.14	Gummifedern . . . . .	408
14.15	Literatur . . . . .	410
	<b>Drehbewegungselemente</b>	
<b>15</b>	<b>Achsen und Wellen . . . . .</b>	<b>412</b>
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
<b>16</b>	<b>Tribologie: Reibung, Schmierung und Verschleiß . . . . .</b>	<b>469</b>
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	Schmierwaxse . . . . .	483
16.8	Festschmierstoffe . . . . .	484
16.9	Gleitlacke . . . . .	484
16.10	Literatur . . . . .	485
<b>17</b>	<b>Gleitlager . . . . .</b>	<b>487</b>
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
<b>18</b>	<b>Wälzlager . . . . .</b>	<b>540</b>
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
<b>19</b>	<b>Lager- und Wellendichtungen . . . . .</b>	<b>567</b>
19.1	Schleifende Dichtungen . . . . .	567
19.2	Berührungsfreie Dichtungen . . . . .	573
19.3	Literatur . . . . .	576
<b>20</b>	<b>Wellenkupplungen und -bremsen . . . . .</b>	<b>577</b>
20.1	Einteilung der Wellenkupplungen . . . . .	577
20.2	Starre Kupplungen . . . . .	577
20.3	Drehsteife Ausgleichkupplungen . . . . .	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	Mehrmasse-Torsionsschwinger . . . . .	629
20.13	Literatur . . . . .	635
<b>Zahnräder</b>		
<b>21</b>	<b>Grundlagen für Zahnräder und Getriebe . . . . .</b>	<b>636</b>
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
<b>22</b>	<b>Abmessungen und Geometrie der Stirn- und Kegelräder . . . . .</b>	<b>667</b>
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

<b>23 Gestaltung und Tragfähigkeit der Stirn- und Kegelräder</b>	695
23.1 Zahnkräfte an Stirnrädern	695
23.2 Zahnkräfte an Kegelrädern	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 Zahnfußtragfähigkeit der Stirnräder	723
23.11 Flanken- bzw. Grübchentragfähigkeit der Stirnräder	725
23.12 Zahnfußtragfähigkeit 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
<b>24 Zahnradpaare mit sich kreuzenden Achsen</b>	742
24.1 Eingriffsverhältnisse von Schraub-Stirnradpaaren	742
24.2 Zahnkräfte und Wirkungsgrad an Schraub-Stirnradpaaren	743
24.3 Tragfähigkeit von Schraub-Stirnradpaaren, Schmierung	746
24.4 Hyperboloid- und Hypoid-Schraubradpaare	747
24.5 Geometrie der Schneckenradsätze	748
24.6 Zahnkräfte 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
<b>Hülltriebe</b>	
<b>25 Kettentriebe</b>	764
25.1 Anordnung von Kettentrieben	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
<b>26 Flachriementriebe</b>	780
26.1 Theoretische Grundlage für Riementriebe	780
26.2 Vorspannmöglichkeiten, Triebarten	783
26.3 Riemenwerkstoffe, 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
<b>27 Keilriementriebe</b>	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 Rohralterungen . . . . . 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

<b>1</b>	<b>Konstruktionstechnik</b>	
Tab. 1.1	Normzahlen nach DIN 323 (Auszug)	15
Tab. 1.2	Grundtoleranzen $T$ in $\mu\text{m}$ (Auszug aus DIN EN ISO 286-1)	15
Tab. 1.3	Obere Abmaße $es$ in $\mu\text{m}$ von Wellen (Auszug aus DIN EN ISO 286-1)	16
Tab. 1.4	Untere Abmaße $EI$ in $\mu\text{m}$ von Bohrungen (Auszug aus DIN EN ISO 286-1)	16
Tab. 1.5	Untere Abmaße $ei$ in $\mu\text{m}$ von Wellen (Auszug aus DIN EN ISO 286-1)	17
Tab. 1.6	Obere Abmaße $ES$ in $\mu\text{m}$ 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
<b>2</b>	<b>Werkstoffe</b>	
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 $\text{N/mm}^2$ 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 Gusseisen 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 $\text{N/mm}^2$ von Eisenwerkstoffen (Auszug aus DIN- und DIN EN-Normen)	23
Tab. 2.6	0,2%-Dehngrenzen $R_{p0,2}$ in $\text{N/mm}^2$ 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 $\text{N/mm}^2$ für einige Stahlwerkstoffe (auszugsweise nach [3.17])	26
Tab. 2.9	Festigkeitskennwerte von Stahl und Gusseisen (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
<b>3</b>	<b>Festigkeitsberechnungen</b>	
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 $n_\chi$ in Abhängigkeit vom bezogenen Spannungsgefälle $\chi$ 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 $S_{\text{Ferf}}$ gegen Fließen und $S_{\text{Berf}}$ gegen Bruch in Abhängigkeit vom Lastfall	32
Tab. 3.7	Anhaltswerte für erforderliche Sicherheiten $S_{\text{Derf}}$ gegen Dauerbruch	32
Tab. 3.8	Druckfestigkeitsfaktor $f_\sigma$ und Schubfestigkeitsfaktor $f_\tau$ (nach FKM-Richtlinie [3.17])	32
Tab. 3.9	Graugussfaktor $K_{\text{NL}}$ (nach FKM-Richtlinie [3.17])	32
Tab. 3.10	Anisotropiefaktor $K_A$ (nach FKM-Richtlinie [3.17])	32
Tab. 3.11	Schweißnahtfaktor $\alpha_W$ 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-Wechselstfestigkeitsfaktor $f_{W,\sigma}$ und Schubwechselstfestigkeitsfaktor $f_{W,\tau}$ (nach FKM-Richtlinie [3.17])	33
Tab. 3.14	Bauteilklassen für Nennspannung (Normalspannung) (nach [3.20])	34
Tab. 3.15	Der Graugussfaktor $K_{\text{NLE}}$ berücksichtigt das nichtlinear-elastische Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Grauguss bei Zug-Druck- und Biegebelastung (nach FKM-Richtlinie [3.17])	34
Tab. 3.16	Eigenspannungsfaktor $K_{E,\sigma}$ , $K_{E,\tau}$ und Mittelspannungsempfindlichkeit $M_\sigma$ , $M_\tau$ (nach FKM-Richtlinie [3.17])	34
Tab. 3.17	Knickpunktzyklenzahlen $N_D$ und Neigungsexponenten sowie Werte $f_{II,\sigma}$ und $f_{II,\tau}$ der Bauteil-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 $d_{\text{eff}}$ (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 $\bar{G}_\sigma(r)$ und $\bar{G}_\tau(r)$ für einfache Bauformen <sup>1)</sup> (nach FKM-Richtlinie [3.17]) . . . . .	36
Tab. 3.22	Konstante $a_{R,\sigma}$ 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 $f_\sigma$ und Schubfestigkeitsfaktor $f_\tau$ (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	Eigenstapenvektor $K_E$ 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
<b>4</b>	<b>Schmelzschweißverbindungen</b>	
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 <sup>2</sup> 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, nicht rostend 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 <sup>2</sup> von Stahlwerkstoffen für Druckbehälter und Kessel (Auszug aus DIN-Normen und AD-Merkblättern) . . . . .	55
Tab. 4.18	Festigkeitskennwerte $K$ in N/mm <sup>2</sup> von Stahlrohrwerkstoffen (Auszug aus DIN-Normen) . . . . .	56
<b>5</b>	<b>Pressschweißverbindungen</b>	
Tab. 5.1	Übliche Abmessungen in mm von Punktschweißverbindungen . . . . .	57
Tab. 5.2	Zulässige Spannungen in N/mm <sup>2</sup> für Punktschweißverbindungen . . . . .	57
Tab. 5.3	Abmessungen in mm von Rundbuckeln (nach DIN EN 28167) sowie von Lang- und Ringbuckeln (nach DIN 8519) . . . . .	58
<b>6</b>	<b>Lötverbindungen</b>	
Tab. 6.1	Hartlote – Lotzusätze (Auswahl nach DIN EN ISO 17672) . . . . .	59
Tab. 6.2	Anhaltswerte für Festigkeit und zulässige Spannungen in N/mm <sup>2</sup> für Lötverbindungen . . . . .	59

<b>7</b>	<b>Kleberverbindungen</b>	
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 Kleberverbindungen (nach LOCTITE)	63
<b>8</b>	<b>Nietverbindungen</b>	
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 $\omega$ 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
<b>9</b>	<b>Pressverbände</b>	
Tab. 9.1	Haftsicherheiten und Haftbeiwerte für Pressverbände	67
Tab. 9.2	Querdehnzahlen $\nu$ , Elastizitätsmodul $E$ und Wärmedehnungsbeiwerte $\alpha$ verschiedener Werkstoffe (z. T. nach DIN 7190)	67
Tab. 9.3	Übermaße in $\mu m$ verschiedener Presspassungen mit H7 und h6	68
Tab. 9.4	Bezogene Plastizitätswerte $\zeta$ (Anhaltswerte nach [9.4])	68
Tab. 9.5	Technische Daten von RINGFEDER-Spannelementen (Werksangaben)	69
Tab. 9.6	Technische Daten von RINGSPANN-Sternscheiben (Werksangaben)	69
<b>10</b>	<b>Befestigungsschrauben</b>	
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 Mutterstahl (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 $m_{\text{erf}}$ (nach [10.6])	72
Tab. 10.6	Richtwerte für den Anziehungsfaktor $\alpha_A$ (Auszug aus VDI 2230)	72
Tab. 10.7	Reibwerte $\mu_G$ und $\mu_K$ für verschiedene Oberflächen- und Schmierzustände (nach [10.11])	73
Tab. 10.8	Zulässige Montagevorspannkräfte $F_{M\text{zul}}$ und Anziehungsmomente $M_{A\text{zul}}$ für Schaftschrauben (nach VDI 2230)	74
Tab. 10.9	Zulässige Montagevorspannkräfte $F_{M\text{zul}}$ und Anziehungsmomente $M_{A\text{zul}}$ für Taillenschrauben (nach VDI 2230)	75
Tab. 10.10	Richtwerte für Setzbeträge $f_Z$ von Schraubenverbindungen (nach VDI 2230)	76
Tab. 10.11	Ausschlagsfestigkeit $\sigma_A$ 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
<b>11</b>	<b>Bewegungsschrauben</b>	
Tab. 11.1	Abmessungen in mm des Trapez- und des Sägewindes	78
Tab. 11.2	Anhaltswerte für Reibwerte und zulässige Spannungen für Bewegungsschrauben	78

**12 Welle-Nabe-Verbindungen**

Tab. 12.1	Zulässige Flankenpressungen von Nabenverbindungen (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 kegelförmigen 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 <sup>2</sup> 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 $d$ nach ISO und Längen $l$ 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 Federstahl (nach DIN EN 10270-1 und -2) . . . . .	87
Tab. 14.4	Zugfestigkeiten für Drahtsorten SL, SM, DM, SH und DH für patentiert-gezogenen unlängierten Federstahl (nach DIN EN 10270-1) . . . . .	88
Tab. 14.5	Zugfestigkeiten der Drahtsorten FDC, FDCrV und FDSiCr für ölschlussvergüteten Federstahl (nach DIN EN 10270-2) . . . . .	90
Tab. 14.6	Zugfestigkeiten der Drahtsorten TDC, TDCrV, TDSiCr, VDC, VDCrV und VDSiCr für ölschlussvergüteten Federstahl (nach DIN EN 10270-2) . . . . .	91
Tab. 14.7	Zugfestigkeiten für nichtrostenden Federstahl (nach DIN EN 10270-3) . . . . .	92
Tab. 14.8	Elastizitäts- und Schubmodul für nichtrostenden Federstahl (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 $d = 0,5$ 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, kugelgestrahlt . . . . .	95
Diagr. 14.2	Dauerfestigkeitsschaubild für warmgeformte Federn aus warmgewalzten Stählen (nach DIN EN 10089) mit geschliffener oder geschälter Oberfläche, kugelgestrahlt . . . . .	95
Diagr. 14.3	Zeitfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus patentiert-gezogenem Federstahl (Sorte SH oder DH) (nach EN 10270-1), kugelgestrahlt . . . . .	96
Diagr. 14.4	Zeitfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus vergütetem Federstahl (Sorte TD) (nach EN 10270-2), kugelgestrahlt . . . . .	96
Diagr. 14.5	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus patentiert-gezogenem Federstahl (Sorte TD) (nach EN 10270-1), kugelgestrahlt . . . . .	97
Diagr. 14.6	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus patentiert-gezogenem Federstahl (Sorte DH) (nach EN 10270-1), nicht kugelgestrahlt . . . . .	97
Diagr. 14.7	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus vergütetem Federstahl (Sorte TD) (nach EN 10270-2), kugelgestrahlt . . . . .	98
Diagr. 14.8	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus vergütetem Federstahl (Sorte TD) (nach EN 10270-2), nicht kugelgestrahlt . . . . .	98
Diagr. 14.9	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus vergütetem Federstahl (Sorte VD) (nach EN 10270-2), kugelgestrahlt . . . . .	99
Diagr. 14.10	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus vergütetem Federstahl (Sorte VD) (nach EN 10270-2), nicht kugelgestrahlt . . . . .	99
Diagr. 14.11	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus nichtrostendem Federstahl X10CrNi18-8 (nach EN 10270-3), nicht kugelgestrahlt . . . . .	100
Diagr. 14.12	Dauerfestigkeitsschaubild für kaltgeformte Federn aus nichtrostendem Federstahl X7CrNiAl17-7 (nach EN 10270-3), nicht kugelgestrahlt . . . . .	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 $A_1$ in mm von $t$ bzw. $t'$ , $A_1$ 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) ( $\delta = D_c/D_i$ )	103
Tab. 14.20	Hubfestigkeiten $\sigma_F$ bei $\sigma_U = 0$ und Oberspannung $\sigma_{Omax}$ 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 $\sigma_{zul}$ und $\sigma_{q2zul}$	104
Tab. 14.23	Zulässige Schubspannungen $\tau_{zul}$ und Hubfestigkeiten $\tau_F$ 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 $\sigma_{b,zul}$ 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
<b>15 Achsen und Wellen</b>		
Tab. 15.1	Zulässige Spannungen für Überslagsberechnungen 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 $\alpha_{kb}$ und $\alpha_{kt}$ für Achsen und Wellen sowie die für das bezogene Spannungsgefälle $\chi$ einzusetzenden Radien $\rho$	109
Tab. 15.4	Formzahlen $\alpha_{kb}$ und $\alpha_{kt}$ für Achsen und Wellen mit Absätzen und mit Querbohrung	110
Tab. 15.5	Formzahlen $\alpha_{kb}$ und $\alpha_{kt}$ für Achsen und Wellen mit Rundrillen und Kerbwirkungszahlen $\beta_{kb}$ für Achsen und Wellen mit spitzen Ringrillen	111
Tab. 15.6	Bezogenes Spannungsgefälle $\chi$ für verschiedene Kerbformen und Beanspruchungsarten (nach <i>Siebel</i> [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 $\gamma_F$ bei Umdrehungskerbten (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 $n_\gamma$ in Abhängigkeit von Werkstoff und bezogenem Spannungsgefälle $\chi$ (nach <i>Siebel</i> [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
<b>16 Tribologie: Reibung, Schmierung und Verschleiß</b>		
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 <i>Möller und Boor</i> )	121
Tab. 16.5	Zahlenwerte für die Koeffizienten $a, b$ und $c$ der <i>Vogelschen</i> Gleichung für die Temperaturabhängigkeit der dynamischen Viskosität $\eta$ 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 <i>Bartz und Holinski</i> )	122
Tab. 16.8	Einfluss des Dickungstoffes auf das Schmierfettverhalten (nach <i>Klüber Lubrication München KG</i> [16.9])	123
Diagr. 16.1	Dynamische Viskosität $\eta$ in Abhängigkeit von der Temperatur $t$ für Schmieröle (nach DIN 51519) mit der Dichte $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$	124

**17 Gleitlager**

Tab. 17.1	Schmiernuten (nach DIN ISO 12128 (DIN 1591)) . . . . .	125
Tab. 17.2	Schmieraschen (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 $\psi_m$ 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	Sommerfeld-Zahl $S_o$ in Abhängigkeit von der relativen Exzentrizität $\varepsilon$ und von der relativen Lagerbreite $B/D$ (nach DIN 31652-2) . . . . .	132
Tab. 17.16	Verlagerungswinkel $\beta$ in Abhängigkeit von der relativen Exzentrizität $\varepsilon$ und von der relativen Lagerbreite $B/D$ (nach DIN 31652-2) . . . . .	132
Tab. 17.17	Bezogener Reibwert $\mu/\psi_{\text{eff}}$ in Abhängigkeit von der relativen Exzentrizität $\varepsilon$ und von der relativen Lagerbreite $B/D$ (nach DIN 31652-2) . . . . .	133
Tab. 17.18	Bezogener Schmierstoffdurchsatz $q_1$ infolge Eigendruckentwicklung im Schmier-spalt in Abhängigkeit von der relativen Exzentrizität $\varepsilon$ 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 $h_{0\text{lim}}$ in $\mu\text{m}$ (nach DIN 31652-3) . . . . .	134
Tab. 17.21	Thermoplastische Kunststoffe für Gleitlager (aus VDI 2541) . . . . .	135
Tab. 17.22	Anhaltswerte für zulässige Belastungen von Kunststoff-Gleitlagern bei $t_a \leq 30^\circ\text{C}$ (nach VDI 2541) . . . . .	136
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 $h_{\text{li}}$ beim Übergang in die Flüssigkeitsreibung und Mindestschmierfilmdicke $h_{0\text{lim}}$ (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. 18.1a	Wellentoleranzen für Radiallager mit zylindrischer Bohrung (nach FAG) . . . . .	141
Tab. 18.1b	Gehäusetoleranzen für Radiallager (nach FAG) . . . . .	142
Tab. 18.2a	Wellentoleranzen für Axiallager (nach FAG) . . . . .	143
Tab. 18.2b	Gehäusetoleranzen für Axiallager (nach FAG) . . . . .	143
Tab. 18.3a	Daten (nach FAG) für Rillenkugellager nach DIN 625 . . . . .	144
Tab. 18.3b	Faktor $f_0$ für Rillenkugellager (nach FAG) . . . . .	145
Tab. 18.3c	Faktoren e, X und Y für Rillenkugellager (nach FAG) . . . . .	146
Tab. 18.4a	Daten (nach FAG) für Schrägkugellager nach DIN 628 . . . . .	147
Tab. 18.4b	Bestimmen der dynamisch äquivalenten Belastung von Schrägkugellagern (nach FAG) . . . . .	148
Tab. 18.4c	Bestimmen der statisch äquivalenten Belastung von Schrägkugellagern (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 Wälzlagerungen	154
Tab. 18.13	Für die Berechnung von Kegelrollen- und Schrägkugellagern <sup>1)</sup> einzusetzende Axialbelastungskräfte $F_{aA}$ und $F_{aB}$ (nach FAG)	155
Tab. 18.14	Anhaltswerte für Drehzahlkonstanten $K$ in Abhängigkeit von der Bauform der Wälzlager	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
<b>19 Lager- und Wellendichtungen</b>		
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 elastomeren Werkstoffen für Simmerringe <sup>®</sup> (nach Angaben von <i>Freudenberg Simrit</i> )	160
Tab. 19.5	Übersicht über synthetische Öle (nach Angaben von <i>Freudenberg Simrit</i> )	161
<b>20 Wellenkupplungen und -bremsen</b>		
Tab. 20.1	Kennwerte für elastische ROTEX-Kupplungen (KTR) ( $\psi$ 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
<b>22 Abmessungen und Geometrie der Stirn- und Kegelräder</b>		
Tab. 22.1	Moduln $m$ 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
<b>23 Gestaltung und Tragfähigkeit der Stirn- und Kegelräder</b>		
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 $\mu\text{m}$ von Gehäusen für Stirnradgetriebe (nach DIN 3964)	173
Tab. 23.5	Toleranzen für Achsschrägung $f_{\Sigma\beta}$ und Achsneigung $f_{\Sigma\delta}$ (Achslagetoleranzen) in $\mu\text{m}$ (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 $\mu\text{m}$ (nach DIN 3967)	174
Tab. 23.8	Viskosität bei $40^\circ\text{C}$ 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 $\mu\text{m}$ (nach DIN 3962)	175
Tab. 23.11	Faktor $K'$ zur Berücksichtigung der Ritzellage	175
Tab. 23.12a	Einlaufbeiträge für Flankenlinienabweichung $y_\beta$ (nach DIN 3990)	176
Tab. 23.12b	Einlaufbeiträge für Eingriffsteilungsabweichung $y_\alpha$ (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 $K_{H\alpha}$	181
Tab. 23.21	Anhalt für zulässige Belastungskennwerte $c_{zul}$ von thermoplastischen Kunststoffzahnradern (nach VDI 2545)	181
Tab. 23.22	Beiwerte zur Berechnung der Zahntemperatur und der Flankentemperatur von thermoplastischen Kunststoffzahnradern (nach VDI 2545)	181
Tab. 23.23	Zeitschwellfestigkeit $\sigma_{FN}$ 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	Zeitwältfestigkeit $\sigma_{HN}$ für Zahnradern aus thermoplastischen Kunststoffen (aus VDI 2545)	183
Tab. 23.26	Beiwerte $\varphi$ und $\psi$ zur Berechnung der Zahnverformung (aus VDI 2545)	183
Tab. 23.27	Zahnformfaktoren $Y_{Fa}$ in Abhängigkeit von den Profilverschiebungsfaktoren $x$ und den Ersatzzähnezahlen $z_n$ bzw. $z_{vn}$ (nach DIN 3990)	184
Tab. 23.28	Übliche erforderliche Sicherheitsfaktoren für Zahnradern	184
<b>24 Zahnradpaare mit sich kreuzenden Achsen</b>		
Tab. 24.1	Zulässige Belastungskennwerte für Schraub-Stirnradpaare (Erfahrungswerte nach <i>Thomas/Charchut</i> )	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 $\rho$ von Schneckenradsätzen	185
Tab. 24.4	Erforderliche Ölviskosität $\nu$ in $\text{mm}^2/\text{s}$ bei $40^\circ\text{C}$ für Schneckengetriebe (nach DIN 51509)	185
Tab. 24.5	Kontaktfaktoren $Z_H$ (nach [24.2])	185
Tab. 24.6	Werkstoffkennwerte für Schneckengetriebe (nach [24.2])	186
<b>25 Kettentriebe</b>		
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 Kettenradern 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 $f_3$ 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
<b>26 Flachriementriebe</b>		
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 $C_{\mu}$ für Flachriementriebe	195
Tab. 26.6	Anhaltswerte für die Auflagedehnung $\epsilon_0$ 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 $f_{Bzul}$ in $\text{s}^{-1}$ 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 $C_\beta$ (Winkelfaktoren) 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
<b>27 Keilriementriebe</b>		
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 (Auswahl 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 $c_\beta$ für Keilriemen und Keilrippenriemen	206
Tab. 27.12	Zulässige Biegefrequenzen $f_{B\text{zul}}$ 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
<b>28 Synchron- oder Zahnriementriebe</b>		
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
<b>29 Rohrleitungen</b>		
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 $\rho$ und kinematische Viskosität $\nu$ einiger Flüssigkeiten und Gase bei der Temperatur $\vartheta$	215
Tab. 29.11	Anhaltswerte für die absolute Rauigkeit $k$ der Rohrrinnenwand bei verschiedenen Rohrarten	216
Tab. 29.12	Zuschläge für Wanddickenunterschreitung	216
Tab. 29.13	Anhaltswerte für die Verlustzahl $\zeta$ 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	$\lambda$ , $Re$ -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](http://www.hanser-fachbuch.de/decker) verfügbar. Hinzu kommt jetzt auch das Programmpaket BayMP (Bayreuther Maschinenelemente-Programme). Die unter [www.baymp.de](http://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 Weidemann, 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)  $\mu$  und für die Querkontraktionszahl  $\nu$  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  $\text{min}^{-1}$  angegeben. Für mechanische Spannungen und Drücke wird konsequent  $\text{N/mm}^2$  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](http://www.hanser-fachbuch.de/decker). Die kostenfreie Nutzung der Auslegungs- und Berechnungssoftware MDESIGN Student ist unter [www.mdesign.info/decker](http://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 Kennwerte – diese sind aber stark von den vier genannten Faktoren abhängig.

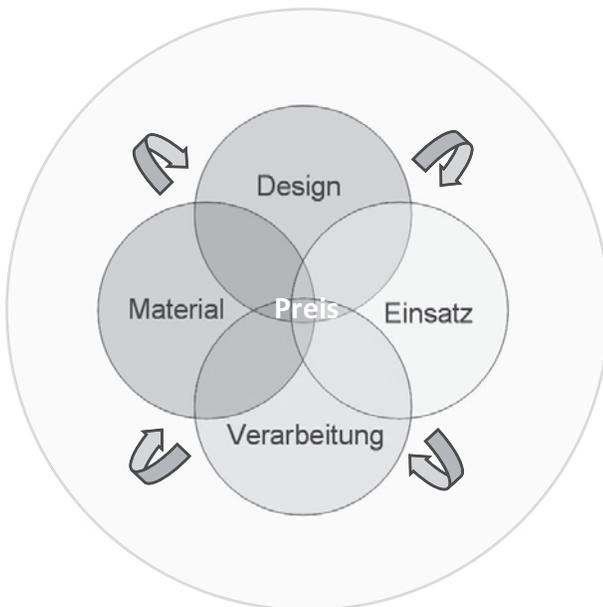


Bild 2.1 Zusammenhang zwischen Design, Einsatz, Verarbeitung und Material bei der Konstruktion von Maschinenelementen

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 (Härten 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.

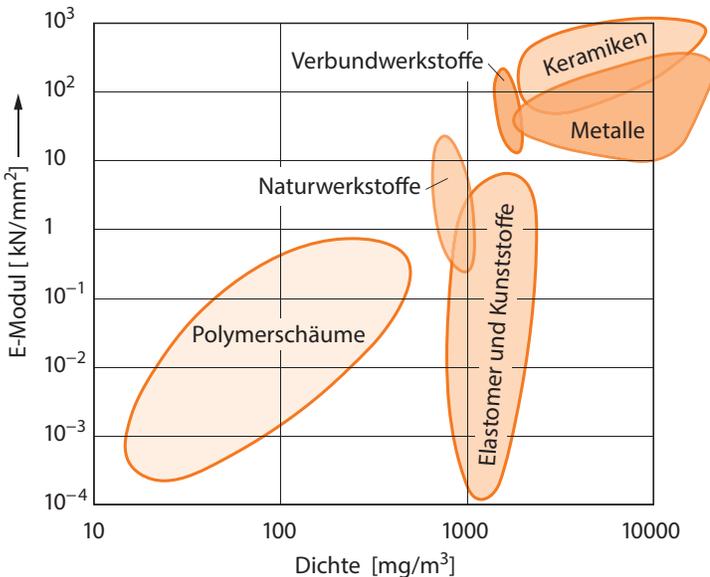


Bild 2.2 Werkstoffklassen, aufgetragen in einem Ashby-Diagramm, hier in der Eigenschaftskombination Dichte/E-Modul [2.1]

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)

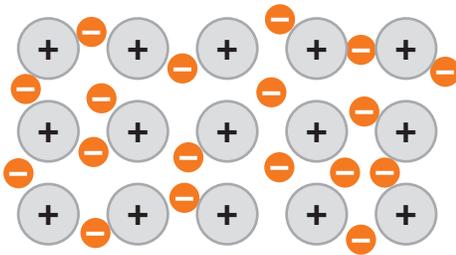


Bild 2.3 Aufbau der metallischen Bindung, positive Atomrümpfe und delokalisierte Elektronenwolke

Der Atomaufbau ist regelmäßig und dicht. Die typische metallische Bindung entsteht durch positiv geladene Atomrümpfe 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.

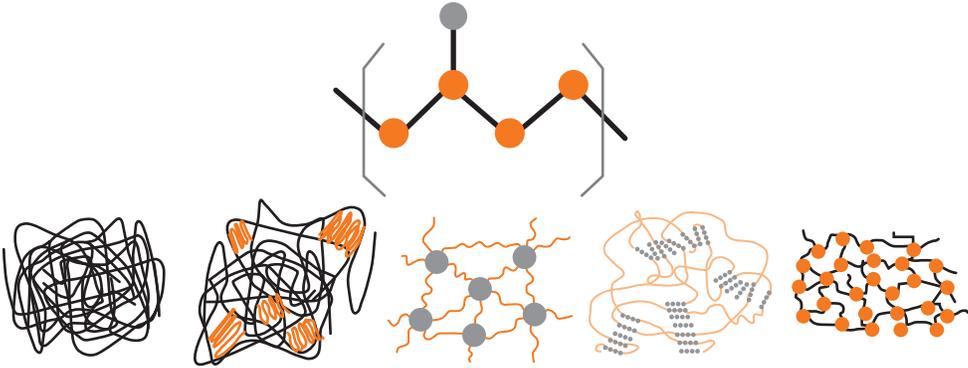


Bild 2.4 Makromolekulare Strukturen von Kunststoffen. Von links nach rechts: amorph, teilkristallin, wenig vernetztes Elastomer, physikalisch vernetztes Thermoplastisches Elastomer, stark vernetzter Duroplast

### 3. Keramiken und Gläser

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

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

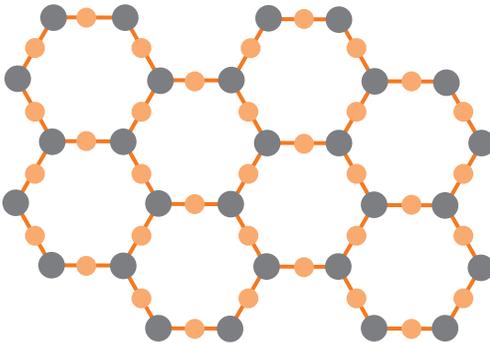


Bild 2.5 Beispiel einer keramischen Struktur mit zwei Ionen

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 eine mögliche optische Transparenz. Gute Gleiteigenschaften vieler Keramiken qualifizieren diese Werkstoffe für den Einsatz in tribologischen Systemen im Maschinenbau, beispielweise für Wälzlager aus Siliziumnitrid im Einsatz bei hohen Temperaturen und korrosiven Medien.

#### 4. Verbundwerkstoffe

Verbundwerkstoffe werden auch Composite 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)

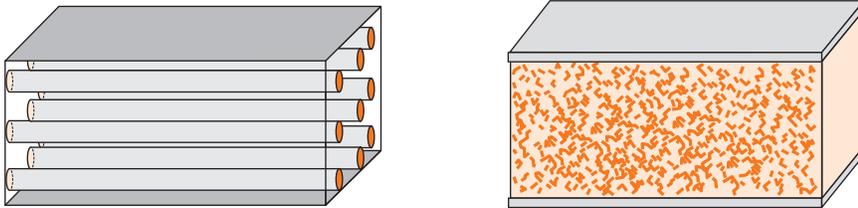


Bild 2.6 Schematische Darstellung zweier Verbundwerkstoffe, links Faserverbund, rechts Schichtverbund mit Partikelverbund

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. Beispielweise 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-

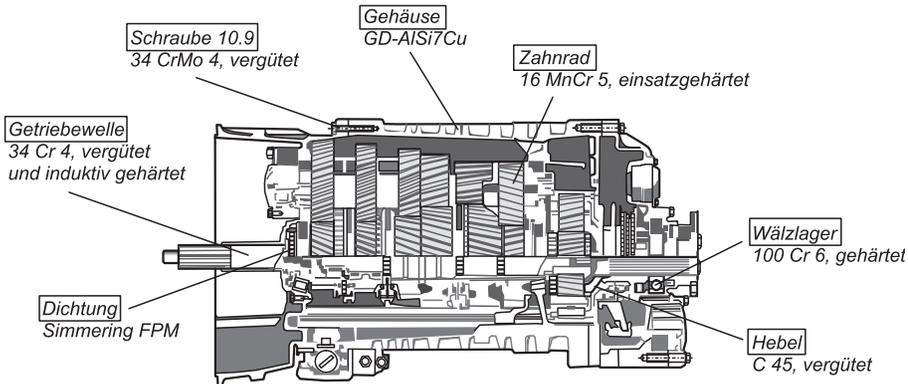


Bild 2.7 Verwendung verschiedenen Werkstoffe in einem Nutzfahrzeuggetriebe [2.3]

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 Verbindungsmöglichkeiten wie Schnapp- oder Clipsverbindungen aus. Es tritt die Frage auf, wie eine Schnappverbindung konstruiert werden soll, damit das Fügen ohne Schaden vorstattengehen 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 variierbaren 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 Gusseisen. 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.

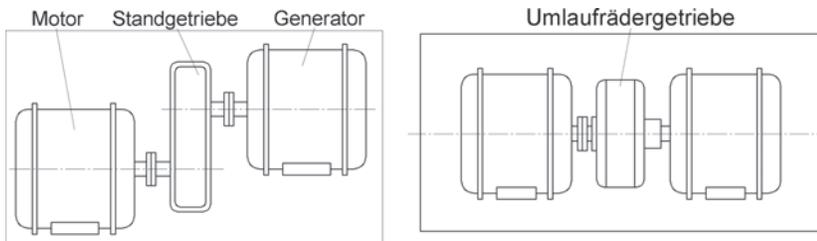


Bild 21.18 Vergleich einer Antriebsanlage bei der Umsetzung mittels a) Standgetriebe und b) Planetengetriebe

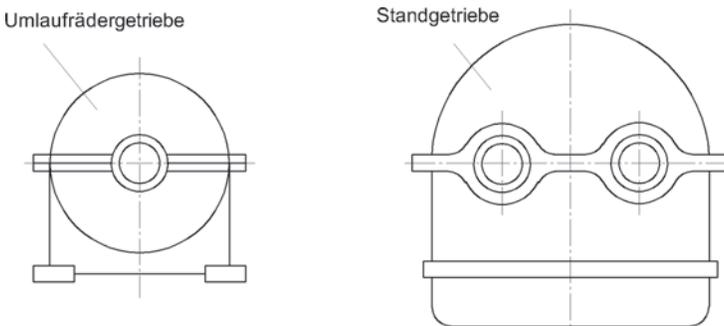


Bild 21.19 Vergleich der Größenverhältnisse zwischen Standgetriebe und Planetengetriebe

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 tiefere 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 **Planetenräder 3** gelagert sind. Diese stehen im Eingriff zu den beiden **Zahnradern 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.

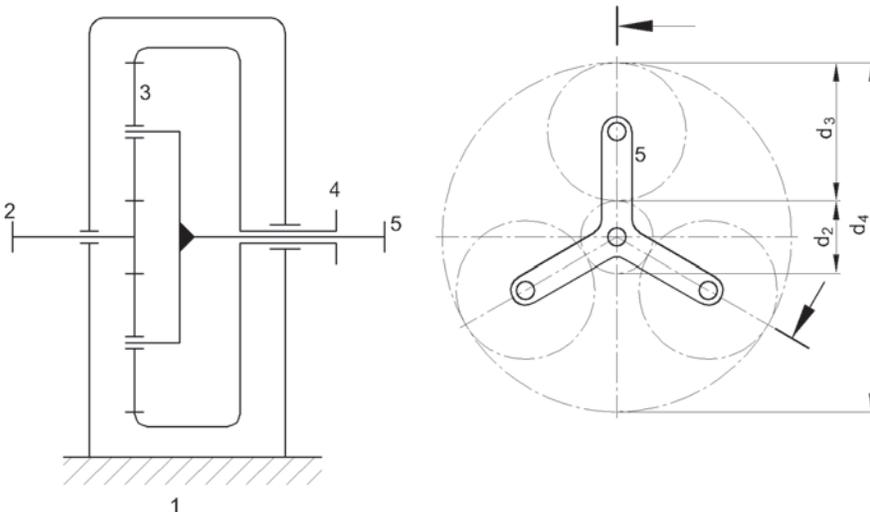


Bild 21.20 Normal-Planetengetriebe mit drei Planetenrädern und festem Hohlrad

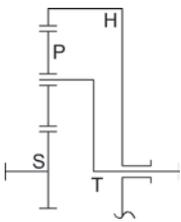
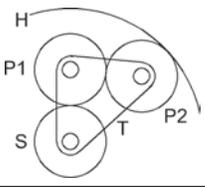
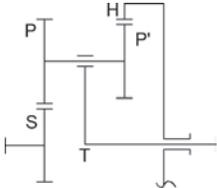
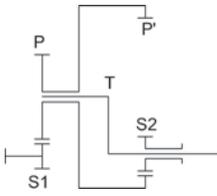
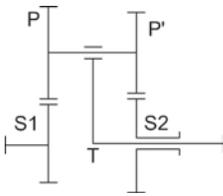
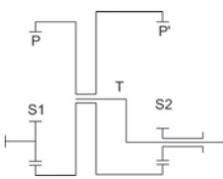
Planetengetriebe mit Stirnrädern			
Bauform	Getriebebesinnbild	Standübersetzung	Standgetriebewirkungsgrad
1		$i_0 = \frac{z_H}{z_S}$ $i_0 < 0$	$\eta_0 = \eta_{V,SP} \cdot \eta_{L,P} \cdot \eta_{V,PH}$ $\eta_0 \approx 98,0 \%$
2		$i_0 = -\frac{z_H}{z_S}$ $i_0 > 0$	$\eta_0 = \eta_{V,SP1} \cdot \eta_{L,P1} \cdot \eta_{V,P1P2} \cdot \eta_{L,P2} \cdot \eta_{V,P2H}$ $\eta_0 \approx 96,5 \%$
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	Getriebeinnbild	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		$i_0 = \frac{z_{Z2} \cdot z_P}{z_{P'} \cdot z_{Z1}}$ $i_0 < 0$	
$i_0$ $z_H, z_{H1}, z_{H2}$ $z_S, z_{S1}, z_{S2}$ $z_P, z_{P'}$ $z_{Z1}, z_{Z2}$ $\eta_0$ $\eta_{V,xy}$ $\eta_{L,x}$	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 aufgeflanschte 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 $\text{min}^{-1}$	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 Teilübersetzungen ergibt. Das bedeutet, dass ausgehend vom Antrieb alle Teilübersetzungen 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
- Anziehungsfaktor 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
- Armaturentrieb 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
- Ausklinken 489
- Ausknicken 377
- Auslastungsgrad 132
- Auslaufbahn 855
- Auslaufreibung 469
- Ausnahmereihe 17
- Ausschlagsfestigkeit 319
- Ausschlagsspannung 102
- Ausschlagsspannung 424
- Ausschussprüfung 28
- Außenbackenbremse 625
- Außengewinde 285
- Außenrad 636
- Außenradpaar 682
- Außenpannsatz 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
- Bauteilklasse 126
- Befestigungsschraube 284
- Belastungskennwert 732, 746
- Berechnung des Axiallagers 532
- Berechnungsdruck 826
- berührungsfreie 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  
 Bezugsprofil 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  
 Biegewiderstandsmoment 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  
 Dauerhaltbarkeit 319, 420  
 Dauerschaltbetrieb 614  
 Dauerschwingversuche 101  
 Dauerwechselformmoment 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  
 Doppelschrägzahn 637  
 Dornniet 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  
 drehteife Ausgleichkupplung 578  
 Drehstoß 585  
 Drehwinkel 362, 389  
 Drehwinkelvergrößerung 390  
 Drehzahlrundgleichung 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  
 Druckölverband 255  
 Druckspannung 84, 242, 333, 414, 421  
 Druckumlaufschmierung 778–779  
 Druckverlust 843–844  
 Dunkerley 454  
 Dünnschichtlackierung 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  
 Durchziehniet 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  
 Eisenbahnpufler 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 Einflächekupplung 607  
 elektromagnetische Lamellenkupplung 608  
 Elektronenstrahlhüten 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-Mehrschichtriemen 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  
 Fettschmierung 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  
 Flanschlager 508, 548  
 Flanschverbindung 831–832, 834  
 Flash 501  
 Fliehkraftabhebung 623  
 Fliehkraftkupplung 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  
 Freitragger 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  
 Geometrielement 19  
 geometrische Produktspezifikation 18  
 geometrische Reihe 16  
 geometrischer Größeneinfluss 459, 461  
 Geradführung 551  
 Geradsitz-Durchgangsventil 852  
 Geradzahn 638  
 Geradzahnrad 674  
 Gerbergelenk 445, 451  
 gerollte Buchse 507  
 Gesamt-Steifigkeitsmatrix 154  
 Gesamtdurchbiegung 432, 435  
 Gesamteinflussfaktor 459  
 Gesamtfedernachgiebigkeit 364  
 Gesamtfedersteifigkeit 364  
 Gesamtfederweg 402  
 Gesamteignungswinkel 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  
 Gewindebolzen 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  
 Gliederzahlfaktor 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  
 Grübchentragsfähigkeit 716, 725  
 Grundabmaß 22  
 Grundgleichung der Balkenbiegung 428  
 Grundkreis 643  
 Grundkreisdurchmesser 668, 673  
 Grundreihe 17  
 Grundschrägungswinkel 673, 725, 730  
 Grundtoleranz 21  
 Gumbel'scher Halbkreis 519  
 Gummi 409, 505  
 Gummifeder 408, 584  
 Gusseisen 50, 60, 281  
 Gütegrad 366  
 Gutprüfung 28  
  
 Habasit-Mehrschichtriemen 798  
 Haftbeiwert 272  
 Haftkraft 258  
 Haftreibwert 324  
 Haftschmierstoff 713  
 Haftsicherheit 324  
 Hahn 850, 855  
 Haigh 106  
 Haigh-Diagramm 64  
 Hakenöse 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  
 Hertz'sche Pressung 620, 717, 735, 760  
 Hertz'scher 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  
 Hochtemperaturlötten 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  
 Induktionslötten 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  
 Kaltriet 239  
 Kantendruck 496  
 Kapillarviskosimeter 476  
 Kardan-Gelenkwelle 582  
 Kavitationsschaden 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  
 Kerzbah 109  
 Kerzbahnprofil 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  
 Klammerv Verbindung 834  
 Klappe 850, 855  
 Klauenkupplung 600  
 Klebstoff 225  
 Klebverbindung 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  
 Kolbenlötten 216  
 Kolbenpumpe 495  
 Kolbenring 476  
 Kolbenschieberventil 852  
 konsistenter Schmierstoff 473  
 Konsistenz 482  
 Konsole 839  
 Konstruieren 36  
 Konstruktionstechnik 15  
 Kontaktklebstoff 228  
 Kontaktschweißung 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  
 Krafteinleitungsfaktor 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  
 Kugeleolvent 684  
 Kugeleolventenverzahnung 685  
 Kugelgewindetrieb 334  
 Kugelhahn 855  
 Kugellager 540  
 Kugelumlaufspindel 334  
 Kunststoff 504, 785  
 Kunststofffitting 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  
 Lagerkraftpolarigramm 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 Schraubenver-  
 bindung 320  
 Längskeil 338  
 Längskeilverbindung 337  
 Längskraft 258, 414  
 Längspressverband 254  
 Längspressverbindung 349  
 Längsstift 360  
 Laserstrahllöten 218–219  
 Lastspiel 316  
 Lastrum 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  
 Leichtschalthahn 855  
 Leitpaste 483  
 Lichtbogenlöten 218  
 Lichtstrahllöten 216, 218  
 Lichtstrahlschweißen 212  
 Linear-Kugellager 552  
 Linearführung 552  
 Linienbelastung 728  
 Linksflanke 645  
 Linkssteigung 671  
 Linsenausgleicher 836  
 Linsenbalg 836  
 Linsensenkschraube 287  
 Lochleibung 242  
 Lockern 295  
 LOCTITE 297  
 lösbare Verbindung 254  
 Losdrehen 295  
 Losdrehsicherung 296  
 Loslager 76, 544, 546  
 Lot 215  
 Lotbadlöten 216–217  
 Löten im Gasofen 216  
 Löttemperatur 215  
 Lötverbindung 215, 220, 222  
 Lötverschraubung 835  
 Luftfahrt-Norm 247  
 Luftfeder 403  
 Luftschlauch-Kupplung 606–607  
 Lyra-Bogen 836
- M-Anordnung 583  
 Magnesiumlegierung 203  
 Magnetcupplung 598  
 Maschinenelement 36  
 Maß 16, 19  
 Massenträgheitsmoment 590  
 Massivbuchse 507  
 Maßreihe 541  
 Maßtoleranz 20  
 Maximum-Material-Bedin-  
 gung 31  
 Maximum-Material-Grenz-  
 maß 20  
 Mehrflächengleitlager 511  
 Mehrflächenlager 489  
 Mehrmassen-Torsionsschwin-  
 ger 629  
 Mehrscheibenkupplung 610  
 Mehrschichtriemen 796  
 Mehrschraubenverbindung 298  
 Mehrstofflager 500  
 Mehrwegehahn 855  
 Membranfeder 607  
 Membranventil 852  
 Messing 203, 500  
 Metalastic-Feder 408  
 Metall-Kunststoff-Verbundla-  
 ger 504–505  
 Metallbalgkupplung 584  
 Metalldichtung 834  
 Metallfeder 405, 584  
 Metallkupplung 588  
 Metallseife 482  
 Metallweichstoffdichtung 833  
 methodisches Konstruieren 36  
 Mikrodrall 570  
 Mikroschlupf 471  
 Mindestdrehzahl 533  
 Mindesteinschraubtiefe 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  
 Mittelspannungsempfindlich-  
 keit 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  
 Molybdänsulfid 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  
 Nassumpfschmierung 495–496  
 NBR 568  
 Nehmerzylinder 624  
 Neigungslinie 430  
 Neigungswinkel 433, 435  
 Nenn Drehmoment 580  
 Nenndruck 825  
 Nennleistung 695, 793  
 Nennmaß 19  
 Nennmoment 695  
 Nennspannung 456  
 Nennspannungskonzept 456  
 Nennumfangskraft 723  
 Nennweite 825  
 Newtonsche Flüssigkeit 475  
 Nicht Eisenmetalle 61  
 nicht lösbare 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  
 Niloring 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  
 Normalkeilriemen 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-Achsabstand 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  
 Oberflächenzerrüttung 471–472  
 Oberkasten 738  
 Oberspannung 102, 421  
 Ofenlöten 217, 219  
 Oktoidenverzahnung 684  
 Öl 473  
 Öl-Spritzschmierung 713, 715  
 Öl-Tauchschmierung 713, 715  
 Ölaggregat 506  
 Oldham-Kupplung 581  
 Ölmangel 503  
 Ölnebelschmierung 563  
 Ölpumpe 495  
 Ölschmierung 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  
 Passfedernut 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  
 Polygonumschlingung 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  
 Profilleitenverschiebung 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  
 Querschnittsverband 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  
 Riemengeschwindigkeit 791, 793, 807, 819  
 Riemenlänge 820  
 Riemenscheibe 786  
 Riemenschloss 803  
 Riemenspannkraft 781  
 Riemetrieb 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  
 Rohrrinnendurchmesser 842  
 Rohrkraft 837  
 Rohrleitung 825, 840–841  
 Rohrleitungsverlust 843  
 Rohrniet 245  
 Rohrreibungszahl 843  
 Rohrschweißverbindung 831  
 Rohrverbindung 831  
 Rohrverschraubung 835  
 Rohrwanddicke 845  
 Roll-Bohrreibung 471  
 Rollenbettradius 770  
 Rollenbettwinkel 770  
 Rollendruckkraft 800  
 Rollenketten 766, 770, 774  
 Rollenlager 540  
 Rollennahtschweißen 201  
 Rollfeder 397–398  
 Rollkreis 643  
 Rollreibung 469, 471  
 Rotary-Kette 766  
 Rotationsviskosimeter 476  
 ROTEX<sup>®</sup>-Kupplung 585  
 Rotguss 499–500  
 Rückdrehmoment 332  
 Rückenkegel 686  
 Rückflanke 645  
 Rückhub 330  
 Rücklaufsperrung 623–624  
 Rückrechnung 151  
 Rückschlagklappe 856  
 Rückschlagventil 853  
 ruhende Belastung 385, 391  
 Ruherhebung 469  
 Ruhezapfen 413  
 Rundgewinde 286  
 Rundkeil 360  
 Rundlaufgenauigkeit 569  
 Rundriemen 813  
 Rundschieber 853  
 Rundwertreihe 17  
 Rutschkupplung 616  
 RWDR 570
- SAE-Viskositätsklasse 481  
 Sägewinde 286, 329  
 Sägezahn 600  
 Sanftanlaufschaltung 615  
 Satz von Castigliano 431  
 Schablonenverfahren 684  
 Schaft 238  
 Schaftschraube 285, 315  
 Schale 151  
 Schalenkupplung 579  
 schaltbare Kupplung 577  
 Schaltkupplung 599, 610  
 Schaltpause 614  
 Schaltvorgang 611  
 Schaltvorrichtung 600  
 Scheibe 151

- Scheibenbremse 626  
 Scheibfeder 340, 342  
 Scheibenkeil 339  
 Scheibenkupplung 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  
 Schleuderring 574  
 Schließkopf 239  
 Schmalkeilriemen 803  
 Schmelzklebstoff 228  
 Schmelzschweißverbindung 156  
 Schmierfett 473, 482  
 Schmierfilmdicke 520  
 Schmierfilmtemperatur 514  
 Schmierhahn 855  
 Schmierkennwert 714, 759  
 Schmiernut 491, 508, 530  
 Schmieröl 474, 481, 530, 534, 714  
 Schmieröldurchsatz 515, 534  
 Schmierpaste 473, 483  
 Schmierstoff 473, 489, 713  
 Schmierstoffart 474  
 Schmierstoffbenetzbarkeit 498  
 Schmierstofffaktor 726  
 Schmierentasche 491  
 Schmierung 469, 713, 758, 778  
 Schmierungsart 759  
 Schmierwachs 473, 483  
 Schnecke 756  
 Schneckenbreite 757  
 Schneckengetriebe 761–762  
 Schneckenrad 756  
 Schneckenradsatz 748–749, 754, 758, 760  
 Schneidringverschraubung 836  
 Schnellarbeitsstahl 59  
 Schnittkräfte 72  
 Schnittstellenproblematik 41  
 Schrägenfaktor 723, 725, 730  
 Schrägkugellager 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  
 Schraubfeder 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  
 Schrumpfring 414  
 Schrumpfscheiben-Verbindung 279  
 Schrumpferverband 254  
 Schubbeanspruchung 87, 188  
 Schubmodul 366, 409  
 Schubspannung 87, 184, 188, 191, 207, 373–374, 377, 394  
 Schulterkugellager 542, 547  
 Schutzlippe 568  
 Schutzschicht 294  
 Schweißkonstruktion 177  
 Schweißprozess 157  
 Schweißstromquelle 166  
 Schweißverfahren 156  
 Schweißbuckel 208  
 Schweißen von Kunststoff 211  
 Schweißlinse 207  
 Schweißmutter 290  
 Schweißnahtfläche 182  
 Schweißpunktdurchmesser 205  
 Schweißverbindung 831  
 Schweißverbindung im Maschinen- und Gerätebau 193  
 Schweißzone 177  
 Schwell-Dauerfestigkeit 729  
 Schwerachsenabstand 189  
 schwingende Belastung 385, 391  
 Schwingfestigkeit 64  
 Schwingspielzahl 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  
 Senkernagel 355  
 Senkschraube 287  
 Sensitivitätsanalyse 40  
 SERVOMAX<sup>®</sup> 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  
 Spannelementverbindung 273  
 Spannhülse 324  
 Spannlager 548–549  
 Spannrad 764, 772  
 Spannrolle 806  
 Spannrollenabstand 800  
 Spannrollenbetrieb 783  
 Spannrollentrieb 800, 818  
 Spannsatz 274  
 Spannscheibe 296  
 Spannscheibensatz 278  
 Spannschraube 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-Breitenfaktor 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-Dehnungsausgleich 836  
 Stopfbuchsenmuffe 835  
 Streckgrenze 62–63, 300, 319, 323, 458  
 Striebeck-Kurve 489  
 Striebeck'sche 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  
 Tellerfedersäule 384, 387  
 Temperaturfaktor 593  
 Temporguss 60, 281  
 Temporgussfitting 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-Schraubensystem 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  
 Trapez Zahn 600  
 Treibkeil 338–339  
 Trennfugenzahl 312

- Tribochemische Reaktion 472–473  
 Tribokorrosion 483  
 Tribologie 469  
 Tribosystem 497  
 Triebart 783  
 Triebstockverzahnung 644  
 Triplex-Rollenkette 766  
 Trockenkupplung 602  
 Trockenlauf 608  
 Trockenreibung 470  
 Trockensumpfschmierung 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  
 Überholkupplung 622  
 Überlappklebung 231  
 Überlappschweißen 213  
 Überlastkupplung 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  
 Unterlegemelement 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  
 Ventillfeder 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  
 Verschleißverringern 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  
 Vierpunktlager 542  
 Virtual-Reality-Umgebung 41  
 virtuelle Entwicklung 41  
 virtuelle Zähnezahl 686–687  
 virtuelles Zähnezahlverhältnis 687  
 Viskosität 474, 489  
 Viskositätsindex 478  
 Viskositätsklasse 476  
 V<sub>minus</sub>-Radpaar 676  
  
 V<sub>null</sub>-Radpaar 676, 688  
 Voith-Turbokupplung 598  
 Voll-Kunststoffkupplung 586  
 Vollschröpfung 476  
 vollumgeschlossenes 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<sub>plus</sub>-Radpaar 676  
 Vulkanisation 409  
  
 W-Achsabstand 676  
 Wälzfräsen 674  
 Wälzelenk 768  
 Wälzgleiten 647  
 Wälzkörper 540  
 Wälzkörperform 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  
 Warmgaslöten 216  
 Warmgasschweißen 212  
 Warmhärter 228, 232  
 Warmniet 239  
 wartungsfreies Gleitlager 537  
 Wechselbiegebeanspruchung 413  
 Wechselbiegung 421  
 Wechselfestigkeit 458–459  
 Wechselformigkeit 593  
 Weichlot 219  
 Weichlöten 215  
 Weichlötlötverbindung 223  
 Weichlötlötverfahren 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  
Willisgleichung 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  
Zahnfußnennspannung 723, 728  
Zahnfußspannung 723, 729, 734  
Zahnfußtragfähigkeit 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  
Zahnstemperatur 733  
Zahnverformung 736  
Zahnwellenverbindung 345  
Zapfen 413  
Zeit-Schwellfestigkeit 734  
Zeitfestigkeit 64, 386, 732  
Zeitkonstante 614  
Zeitwältfestigkeit 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  
Zweischeibenkupplung 606  
Zweischichtlager 503  
Zyklidenverzahnung 642–643  
Zylinderkerbstift 355, 360  
Zylinderlaufbahn 476, 495  
Zylinderrad 636  
Zylinderrollenlager 540, 542  
Zylinderschnecke 748–749  
Zylinderschraube 287  
Zylinderstift 353  
zylindrischer Pressverband 256