

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Arbeitsmethoden in der Konstruktion</b>	<b>1</b>
1.1	Wirtschaftliche Bedeutung der Konstruktion und Folgerungen	2
1.2	Elemente der Entwicklungs- und Konstruktionsarbeit	4
1.2.1	Planen	4
1.2.2	Wege zu neuen Lösungen	7
1.2.3	Auswahl der Lösung	8
1.2.4	Gestalten des gewählten Konzepts	10
1.2.5	Gestalten der Einzelteile	11
1.3	Konstruktionsarten	11
1.4	Versagensursachen – Berechnungen	12
1.4.1	Berechnungen in der Konstruktion	13
1.4.2	Entwurfsrechnung, Dimensionierung	13
1.4.3	Nachrechnung/Festigkeitsnachweis	13
1.4.4	Numerische Berechnungsverfahren	14
1.4.5	Belastungen, Beanspruchungen	14
1.4.5.1	Beanspruchungsarten	15
1.4.5.2	Ansatz der Belastung bei statisch beanspruchten Bauteilen	15
1.4.5.3	Ansatz der Belastung bei schwingend (dynamisch) beanspruchten Bauteilen	16
1.4.5.4	Pauschaler Ansatz der Beanspruchung dynamisch oder statisch belasteter Bauteile	18
1.4.5.5	Regelwerke	18
1.4.6	Definitionen	18
1.4.7	Bewertung der Rechenergebnisse	19
1.4.8	Bauteilsicherheit	19
1.5	Rechnergestütztes Konstruieren	23
1.6	Modelle	24
1.7	Versuche	25
1.8	Literatur	25
<b>2</b>	<b>Gestaltung – Formgebung</b>	<b>27</b>
2.1	Beanspruchungsgerechte Gestaltung	27
2.1.1	Beanspruchung, Festigkeit	27

2.1.2	Verformung . . . . .	28
2.1.2.1	Lastabhängige Verformung . . . . .	28
2.1.2.2	Temperaturabhängige Verformung . . . . .	30
2.1.2.3	Stabilität . . . . .	30
2.2	Schwingungen und Geräusche: Körperschall, Luftschall	30
2.2.1	Schwingungs- und geräuschanregende Betriebskräfte . .	32
2.2.2	Abhilfemaßnahmen – allgemein . . . . .	33
2.2.3	Mindern der Körperschall-Entstehung . . . . .	33
2.2.4	Mindern der Körperschall-Übertragung/Weiterleitung . .	33
2.2.5	Mindern der Schallabstrahlung . . . . .	35
2.2.5.1	Abhilfe durch Mindern des Abstrahlgrads . . . . .	36
2.2.5.2	Abhilfe durch Kapseln von Maschinen . . . . .	36
2.3	Ergonomie . . . . .	38
2.3.1	Arbeits- und Umweltsicherheit . . . . .	38
2.3.2	Ergonomiegerechte Handhabung . . . . .	39
2.4	Fertigung und Werkstoff . . . . .	41
2.4.1	Guß-Formteile . . . . .	42
2.4.1.1	Form- und Gießverfahren . . . . .	42
2.4.1.2	Gießvorgang . . . . .	43
2.4.2	Schmiedeformteile . . . . .	48
2.4.2.1	Schmiedeverfahren . . . . .	48
2.4.2.2	Gestaltungsregeln . . . . .	49
2.4.3	Blechteile und Rohre . . . . .	49
2.4.4	Preß- und Spritzgußteile aus Kunststoffen . . . . .	51
2.4.5	Spanabhebend bearbeitete Teile . . . . .	52
2.4.5.1	Arbeitsflächen . . . . .	53
2.4.5.2	Bohrungen und Durchbrüche . . . . .	53
2.4.5.3	Gewinde und Zentrierungen . . . . .	55
2.4.5.4	Oberflächengüte und Toleranzen . . . . .	55
2.5	Montagegerechte Gestaltung . . . . .	56
2.6	Inspektion, Wartung, Instandhaltung (DIN 31 051) . . . .	57
2.7	Recycling . . . . .	58
2.7.1	Recycling-Verfahren . . . . .	58
2.7.2	Gestaltung recyclinggerechter Produkte nach VDI 2243 . .	58
2.8	„Schöne“ Form, Design . . . . .	61
2.9	Literatur . . . . .	61
<b>3</b>	<b>Praktische Festigkeitsrechnung . . . . .</b>	<b>63</b>
3.1	Zeichen und Einheiten . . . . .	64
3.2	Belastung (Kräfte, Momente) . . . . .	65
3.2.1	Krafteinleitung und Oberflächenbelastung . . . . .	66
3.2.2	Prinzip von de Saint Venant . . . . .	66
3.3	Beanspruchungen . . . . .	67
3.3.1	Innere Kräfte und Momente . . . . .	67

3.3.2	Spannungszustände im Inneren eines belasteten Bauteils (Mohrscher Spannungskreis) . . . . .	68
3.3.3	Berechnung der Nennspannungen . . . . .	70
3.3.3.1	Normalspannung aus Längskraft . . . . .	70
3.3.3.2	Normalspannung aus Biegemoment . . . . .	71
3.3.3.3	Normalspannung zwischen zwei Flächen (Flächenpressung) . . . . .	74
3.3.3.4	Normalspannungen im Rohr unter Überdruck . . . . .	74
3.3.3.5	Normalspannung aus schiefer Biegung (mehrachsigter Biegung) . . . . .	75
3.3.3.6	Normalspannung aus Biegung in stark gekrümmten Trägern . . . . .	76
3.3.3.7	Schubspannung aus Querkraft . . . . .	77
3.3.3.8	Schubspannungen aus Torsion . . . . .	78
3.3.3.9	Überlagerung von gleichgerichteten Spannungs- komponenten . . . . .	82
3.3.3.10	Überlagerung von Normal- und Schubspannungs- komponenten . . . . .	82
3.3.4	Beanspruchungsgefälle – Zeitlicher Verlauf . . . . .	84
3.3.5	Örtliche Spannungen . . . . .	85
3.3.5.1	Örtliche Spannungen – klassische Berechnung . . . . .	85
3.3.5.2	Finite Elemente Methode (FEM) und Boundary Elemente Methode (BEM) . . . . .	86
3.3.6	Eigenspannungen . . . . .	89
3.3.7	Stabilität: Knick- und Beulspannungen . . . . .	90
3.3.7.1	Knickspannung . . . . .	90
3.3.7.2	Beulspannung . . . . .	92
3.4	Festigkeitsnachweis – allgemein . . . . .	92
3.4.1	Konzepte der Festigkeitsberechnung . . . . .	92
3.4.2	Sicherheit und Bauteilfestigkeit . . . . .	93
3.4.3	Festigkeitsgrenzen . . . . .	94
3.4.4	Härtewerte . . . . .	96
3.4.5	Kerbschlagzähigkeit . . . . .	97
3.5	Festigkeit von Bauteilen aus metallischen Werkstoffen statischer Beanspruchung . . . . .	98
3.5.1	Statische Werkstoff-Festigkeitswerte für Normabmessungen . . . . .	100
3.5.2	Statische Festigkeitskennwerte für den Werkstoff im Bauteil . . . . .	102
3.5.3	Statische Bauteilfestigkeit . . . . .	106
3.5.3.1	Grundlagen, Einflußfaktoren . . . . .	106
3.5.3.2	Berechnung von (statischer) Bauteilfestigkeit und Bauteilflußgrenze . . . . .	114
3.5.4	Nachweis der statischen Festigkeit . . . . .	114
3.5.4.1	Nachweis für die Einzelbeanspruchungen . . . . .	115
3.5.4.2	Nachweis für die zusammengesetzte Beanspruchung . . . . .	115
3.5.5	Mindestsicherheiten bei statischer Beanspruchung . . . . .	117
3.6	Festigkeit von Bauteilen aus metallischen Werkstoffen bei dynamischer Beanspruchung . . . . .	118
3.6.1	Dauerfestigkeit, Zeitfestigkeit – Grundlagen . . . . .	119

---

3.6.1.1	Ermittlung der dynamischen Festigkeit (Ermüdungsfestigkeit, Schwingfestigkeit) . . . . .	119
3.6.1.2	Lebensdauer- und Schadenslinien . . . . .	120
3.6.1.3	Dauerfestigkeitsschaubilder . . . . .	121
3.6.1.4	Rechenschritte zur Ermittlung der dynamischen Bauteil-Sicherheit . . . . .	122
3.6.2	Werkstoff-Wechselfestigkeitswerte für Normabmessungen	
3.6.3	Wechselfestigkeits-Kennwerte für den Werkstoff im Bauteil . . . . .	125
3.6.4	Bauteil-Wechselfestigkeit . . . . .	125
3.6.4.1	Grundlagen, Einflußfaktoren . . . . .	126
3.6.4.2	Berechnung der Bauteil-Wechselfestigkeit . . . . .	136
3.6.5	Bauteil-Ausschlagfestigkeit (Amplitude der Bauteil- Dauerfestigkeit) . . . . .	136
3.6.6	Nachweis der Bauteil-Dauerfestigkeit . . . . .	140
3.6.6.1	Nachweis für die Einzelbeanspruchungen . . . . .	140
3.6.6.2	Nachweis für die zusammengesetzte Beanspruchung . . .	141
3.6.7	Mindestsicherheiten bei Ermüdungsbeanspruchung . . .	142
3.6.8	Sicherheit gegen Gewaltbruch bei dynamischer Beanspruchung . . . . .	142
3.7	Tragfähigkeit von Kunststoffbauteilen . . . . .	142
3.7.1	Kurzzeitige Beanspruchung . . . . .	143
3.7.2	Langzeitig ruhende Beanspruchung . . . . .	144
3.7.3	Schwingbeanspruchung . . . . .	146
3.7.4	Hinweise . . . . .	146
3.7.5	Berechnungsbeispiel . . . . .	148
3.8	Betriebsfestigkeit . . . . .	148
3.8.1	Beanspruchungs-Zeit-Verlauf, Kollektivbildung . . . . .	149
3.8.2	Berechnung der Lebensdauer . . . . .	149
3.8.3	Experimentelle Betriebsfestigkeitsbestimmung . . . . .	151
3.9	Bruchmechanik . . . . .	151
3.9.1	Zeichen, Einheiten und Umrechnungsbeziehungen zu Abschn. 3.9 – Festigkeit allgemein s. Abschn. 3.1 . . . . .	152
3.9.2	Anwendung, Möglichkeiten der Bruchmechanik . . . . .	153
3.9.3	Statische Festigkeit – das $K_{Ic}$ -Konzept . . . . .	154
3.9.3.1	Der Spannungsintensitätsfaktor $K_I$ . . . . .	154
3.9.3.2	Anwendungsbereich . . . . .	156
3.9.3.3	Grenzwerte, Bruchzähigkeit . . . . .	156
3.9.4	Statische Festigkeit – Fließbruchmechanik (FBM) . . . .	158
3.9.4.1	Anwendungsbereich . . . . .	159
3.9.4.2	Grenzwerte . . . . .	159
3.9.5	Dynamische Festigkeit – das $\Delta K$ -Konzept . . . . .	159
3.9.5.1	Anwendungsbereich . . . . .	160
3.9.5.2	Berechnung des Rißfortschritts bei schwingender Beanspruchung – Grenzwerte . . . . .	160
3.9.6	Hinweise . . . . .	162
3.10	Literatur . . . . .	163

<b>4</b>	<b>Leichtbau</b>	166
4.1	Zeichen und Einheiten	167
4.2	Bedingungs-Leichtbau	168
4.3	Stoff-Leichtbau	168
4.3.1	Werkstoffkenngrößen	169
4.3.2	Leichtbau mit Leichtmetallen	170
4.3.2.1	Leichtmetall-Werkstoffe	171
4.3.2.2	Vergleich von Leichtmetallen mit Stahl, Stahlguß	173
4.3.2.3	Anwendung von Leichtmetallen	175
4.3.3	Leichtbau mit Kunststoffen und Verbundstoffen	175
4.3.3.1	Unverstärkte Kunststoffe	176
4.3.3.2	Faserverstärkte Kunststoffe	176
4.3.3.3	Verbundwerkstoffe (Sandwich-Platten)	177
4.4	Form-Leichtbau	177
4.4.1	Artnutzgrad $\eta_A$	177
4.4.2	Wahl der Querschnitte	178
4.4.3	Weitere Hinweise zur Querschnittswahl	180
4.5	Allgemeine Leichtbauregeln, Hinweise für die Konstruktion	184
4.6	Beispiele	186
4.7	Literatur	186
<b>5</b>	<b>Werkstoffe, Wärmebehandlung, Oberflächenbehandlung</b>	187
5.1	Zeichen und Einheiten	187
5.2	Werkstoffauswahl	188
5.2.1	Welche Eigenschaften sind wichtig?	188
5.2.2	Überlegungen zu den Kosten (Kostenfaktoren)	189
5.2.3	Sonderverfahren, analytische Methoden	190
5.3	Eisenwerkstoffe	190
5.3.1	Wärmebehandlung	191
5.3.1.1	Glühen	192
5.3.1.2	Abschreckhärten	193
5.3.1.3	Anlassen und Vergüten	194
5.3.1.4	Zwischenstufenvergüten	194
5.3.1.5	Randschichthärten	195
5.3.1.6	Einsatzhärten	195
5.3.1.7	Nitrieren	196
5.3.2	Stahl	197
5.3.2.1	Einflußgrößen für die Stahleigenschaften	197
5.3.2.2	Baustähle	202
5.3.2.3	Vergütungsstähle	202
5.3.2.4	Stähle für das Randschicht-(Flamm-, Induktions- und Laser)härten	204
5.3.2.5	Nitrierstähle	204
5.3.2.6	Einsatzstähle	204

5.3.2.7	Automatenstähle (DIN 1651) . . . . .	204
5.3.2.8	Nichtrostende Stähle . . . . .	206
5.3.2.9	Federstähle . . . . .	206
5.3.2.10	Sonstige Stähle . . . . .	206
5.3.3	Stahlguß (GS) . . . . .	212
5.3.4	Sinter-Eisenwerkstoffe . . . . .	214
5.3.5	Gußeisen . . . . .	216
5.3.5.1	Gußeisen mit Lamellengraphit (GJL) = Grauguß . . . . .	216
5.3.5.2	Gußeisen mit Kugelgraphit (GJS) = sphärolitisches Gußeisen . . . . .	217
5.3.5.3	Temperguß (GJMW, GJMB) . . . . .	218
5.3.5.4	Sondergußeisen . . . . .	220
5.4	Nichteisenmetalle . . . . .	220
5.4.1	Aluminium und Aluminium-Legierungen . . . . .	222
5.4.2	Aluminium-Sinterwerkstoffe . . . . .	224
5.4.3	Magnesium-Legierungen . . . . .	224
5.4.4	Titan-Legierungen . . . . .	226
5.4.5	Kupfer und Kupfer-Legierungen . . . . .	228
5.4.6	Sonstige Nichteisenmetalle . . . . .	230
5.5	Überzüge auf Metallen . . . . .	230
5.5.1	Metallische Überzüge . . . . .	232
5.5.2	Nichtmetallische Überzüge . . . . .	233
5.6	Kunststoffe (Polymere) . . . . .	233
5.6.1	Kunststoffarten – Übersicht . . . . .	234
5.6.2	Eigenschaften der Kunststoffe . . . . .	234
5.6.3	Faserverbundwerkstoffe . . . . .	237
5.7	Verbundwerkstoffe mit Reißstop-Effekt . . . . .	238
5.8	Elastomere (Gummi, Kautschuke) . . . . .	239
5.9	Keramische Werkstoffe . . . . .	239
5.10	Literatur . . . . .	240
<b>6</b>	<b>Allgemeines über Normen, Toleranzen, Passungen und Oberflächen . . . . .</b>	<b>244</b>
6.1	Normen . . . . .	244
6.2	Normzahlen . . . . .	244
6.3	Toleranzen, Abweichungen . . . . .	245
6.3.1	Maßtoleranzen . . . . .	245
6.3.2	Form- und Lagetoleranzen . . . . .	248
6.3.3	Allgemeintoleranzen (Freimaßtoleranzen) . . . . .	248
6.3.4	Tolerierungsgrundsätze . . . . .	252
6.3.4.1	Unabhängigkeitsprinzip („neuer“ Tolerierungsgrundsatz) . . . . .	252
6.3.4.2	Hüllprinzip („alter“ Tolerierungsgrundsatz) . . . . .	254
6.3.4.3	Maximum-Material-Prinzip . . . . .	255
6.4	Passungen . . . . .	256

6.4.1	System Einheitsbohrung (EB) . . . . .	257
6.4.2	System Einheitswelle (EW) . . . . .	257
6.5	Einfluß der Toleranzen und Passungen auf die Fertigungskosten . . . . .	260
6.6	Oberflächen technischer Körper, Grobgestalt und Feingestalt . . . . .	260
6.6.1	Allgemeines, Grundbegriffe . . . . .	260
6.6.2	Oberflächenmaße für die Feingestalt . . . . .	262
6.6.2.1	Bezugslinie . . . . .	262
6.6.2.2	Kennwerte zur Beschreibung der Rauheit . . . . .	262
6.6.3	Oberflächenmessung . . . . .	262
6.6.4	Beispiel für die Aussagefähigkeit der Kennwerte . . . . .	266
6.6.5	Angabe der Oberflächenbeschaffenheit in Zeichnungen nach DIN ISO 1302 Juni 1980 . . . . .	266
6.7	Literatur . . . . .	270
<b>7</b>	<b>Schweißverbindung . . . . .</b>	<b>271</b>
7.1	Zeichen und Einheiten . . . . .	272
7.2	Schmelzschweißverbindung . . . . .	273
7.2.1	Anwendung, Eigenschaften . . . . .	273
7.2.2	Werkstoffe . . . . .	274
7.2.2.1	Zum Schmelzschweißen geeignete Bauteilwerkstoffe . . . . .	274
7.2.2.2	Zusatzwerkstoff . . . . .	276
7.2.3	Herstellung, Schweißsicherheit . . . . .	276
7.2.4	Stoß- und Nahtarten . . . . .	289
7.2.5	Zeichnungsangaben . . . . .	289
7.3	Tragfähigkeit und Betriebsverhalten von Schmelzschweißverbindungen . . . . .	292
7.3.1	Dimensionierung, Schweißnahtabmessungen . . . . .	292
7.3.2	Festigkeitsnachweis . . . . .	293
7.3.2.1	Beanspruchungen . . . . .	293
7.3.2.2	Festigkeitswerte für Bauteile aus Stahl . . . . .	294
7.3.2.3	Festigkeitsnachweis bei Einzelbeanspruchung . . . . .	297
7.3.2.4	Festigkeitsnachweis bei zusammengesetzter Beanspruchung . . . . .	300
7.3.2.5	Festigkeitsnachweis für Schweißnaht-Sonderfälle . . . . .	301
7.3.2.6	Festigkeitsnachweis für Bauteile aus Aluminium- legierungen . . . . .	302
7.3.3	Sprödbruchgefahr . . . . .	303
7.3.4	Steifigkeit und Schwingungen von Schweißkonstruktionen	304
7.3.5	Gestaltung . . . . .	305
7.4	Punkt- und Nahtschweißverbindung . . . . .	309
7.4.1	Dimensionierung . . . . .	309
7.4.2	Festigkeitsnachweis für die Punktschweißverbindung . . . . .	311
7.4.3	Festigkeitsnachweis für die Rollennaht-Schweißverbindung	315
7.4.4	Gestaltung . . . . .	316

7.5	Buckelschweißverbindung . . . . .	316
7.6	Preß- und Abbrenn-Stumpfschweißverbindungen . . . . .	317
7.7	Reibschweißverbindungen . . . . .	318
7.8	Schweißverbindung für Anwendungen außerhalb des Maschinenbaus . . . . .	318
7.8.1	Schweißverbindungen im Stahl- und Kranbau . . . . .	318
7.8.2	Schweißverbindung im Behälter- und Kesselbau . . . . .	319
7.8.3	Schweißverbindung im Flugzeugbau . . . . .	319
7.9	Beispiele . . . . .	319
7.10	Literatur . . . . .	322
<b>8</b>	<b>Löt-, Kleb- und kombinierte Verbindungen . . . . .</b>	<b>325</b>
8.1	Lötverbindungen . . . . .	325
8.1.1	Zeichen und Einheiten . . . . .	325
8.1.2	Anwendung, Eigenschaften, Funktionen . . . . .	326
8.1.3	Herstellung, Lötverfahren . . . . .	326
8.1.3.1	Gestalt der Lötstelle . . . . .	327
8.1.3.2	Temperatur . . . . .	327
8.1.3.3	Vorüberlegungen, Fertigungsablauf . . . . .	328
8.1.4	Werkstoffe . . . . .	328
8.1.4.1	Bauteilwerkstoffe . . . . .	328
8.1.4.2	Zusatzwerkstoffe: Lote . . . . .	331
8.1.4.3	Flußmittel . . . . .	331
8.1.5	Ausführung und Tragfähigkeit . . . . .	333
8.1.5.1	Dimensionierung . . . . .	333
8.1.5.2	Festigkeitsnachweis . . . . .	335
8.1.6	Gestaltung . . . . .	339
8.1.7	Beispiel . . . . .	340
8.2	Klebverbindung . . . . .	343
8.2.1	Zeichen und Einheiten . . . . .	343
8.2.2	Anwendung, Eigenschaften, Funktionen . . . . .	344
8.2.3	Herstellung . . . . .	345
8.2.4	Werkstoffe . . . . .	346
8.2.4.1	Bauteilwerkstoff (Eigenschaften, Anforderungen) . . . . .	346
8.2.4.2	Klebstoffe . . . . .	347
8.2.5	Tragfähigkeit von Flächen-Klebverbindungen . . . . .	348
8.2.5.1	Dimensionierung . . . . .	351
8.2.5.2	Festigkeitsnachweis . . . . .	352
8.2.6	Gestaltung . . . . .	355
8.3	Kombinierte Fügeverfahren (Punktschweiß-, Niet-, Schraub-Klebverbindungen) . . . . .	358
8.4	Literatur . . . . .	358



<b>9</b>	<b>Nietverbindungen sowie Durchsetzfuge- und Blechform-Verbindungen</b> . . . . .	360
9.1	Zeichen und Einheiten . . . . .	360
9.2	Nietverfahren und Eigenschaften der Nietverbindung . .	361
9.2.1	Herstellung . . . . .	361
9.2.2	Funktionen, Anwendungen und Eigenschaften . . . . .	362
9.3	Elemente der Nietverbindung . . . . .	363
9.3.1	Nietformen und Spezialelemente . . . . .	363
9.3.2	Werkstoffe für Nietverbindungen . . . . .	363
9.4	Dimensionierung . . . . .	363
9.5	Besonderheiten im Flugzeugbau . . . . .	368
9.6	Beanspruchungen und Festigkeitsnachweis . . . . .	369
9.6.1	Belastungsannahmen und wirkliche Beanspruchungen . . . . .	369
9.6.2	Festigkeitsnachweis für die vernieteten Bauteile . . . . .	371
9.6.3	Festigkeitsnachweis für die Niete . . . . .	373
9.6.4	Tragfähigkeitsnachweis für Blindniete . . . . .	376
9.7	Spezial-Verbindungstechniken . . . . .	376
9.7.1	Durchsetzfugeverbindungen . . . . .	376
9.7.2	Schnappverbindungen . . . . .	379
9.7.3	Blechformverbindungen . . . . .	379
9.8	Beispiele . . . . .	380
9.9	Literatur . . . . .	384
<b>10</b>	<b>Schraubenverbindungen, Gewinde</b> . . . . .	386
10.1	Zeichen und Einheiten . . . . .	386
10.2	Übersicht . . . . .	388
10.2.1	Funktionen und Eigenschaften von Befestigungsschrauben	388
10.2.2	Anwendungen und Bauarten von Befestigungsschrauben	388
10.2.2.1	Heftverbindungen . . . . .	388
10.2.2.2	Längsbeanspruchte, nicht vorgespannte Befestigungs- schrauben . . . . .	389
10.2.2.3	Unter Längskraft angezogene Befestigungsschrauben . .	389
10.2.2.4	Längsbeanspruchte, vorgespannte Befestigungsschrauben	389
10.2.2.5	Querbeanspruchte Befestigungsschrauben . . . . .	390
10.2.3	Bewegungsschrauben (Schraubgetriebe) . . . . .	391
10.2.4	Gewinde . . . . .	391
10.3	Befestigungsschrauben, Muttern, Zubehör (Bauarten, Auswahlkriterien, Bestelldaten) . . . . .	392
10.3.1	Schrauben . . . . .	392
10.3.2	Muttern . . . . .	395
10.3.3	Unterlegscheiben . . . . .	396
10.3.4	Schraubensicherungen . . . . .	397

---

10.4	Gewinde . . . . .	397
10.4.1	Kenngrößen von Gewinden . . . . .	398
10.4.2	Gebräuchliche Gewinde . . . . .	398
10.4.2.1	Befestigungsgewinde im Maschinenbau . . . . .	398
10.4.2.2	Gewinde für Rohre und Armaturen . . . . .	398
10.4.2.3	Bewegungsgewinde . . . . .	401
10.4.3	Sondergewinde . . . . .	401
10.4.4	Weg- und Kraft-Übersetzung im Gewinde, Wirkungsgrad	402
10.4.4.1	Wegübersetzung . . . . .	402
10.4.4.2	Kraftübersetzung bei Flachgewinde . . . . .	402
10.4.4.3	Kraftübersetzung bei Spitzgewinde . . . . .	403
10.4.4.4	Selbsthemmung . . . . .	404
10.4.4.5	Hemmfaktor . . . . .	404
10.4.4.6	Wirkungsgrad $\eta$ . . . . .	405
10.5	Werkstoffe, Herstellung, Oberflächenbehandlung, Schmierung für Befestigungsschrauben . . . . .	407
10.5.1	Werkstoffe . . . . .	407
10.5.2	Herstellung, Genauigkeit . . . . .	409
10.5.3	Oberflächenbehandlung . . . . .	409
10.5.4	Schmierung, Schmierstoffe . . . . .	410
10.6	Schraubenverbindungen für Befestigungsschrauben . . .	410
10.6.1	Montage der Schraubenverbindungen . . . . .	410
10.6.1.1	Montage durch Anziehen . . . . .	412
10.6.1.2	Montage durch Anspannen . . . . .	413
10.6.2	Kräfte und Verformungen – Verspannungsschaubild . . .	414
10.6.2.1	Vorspannungszustand nach dem Montieren . . . . .	414
10.6.2.2	Elastische Nachgiebigkeiten . . . . .	415
10.6.2.3	Verspannungsschaubild für den Betriebszustand . . . . .	418
10.6.2.4	Nachgiebigkeit bei exzentrischer Verspannung und exzentrischer Krafteinleitung . . . . .	425
10.7	Tragfähigkeit von Befestigungsschrauben . . . . .	425
10.7.1	Gefahrenquellen – Abhilfemaßnahmen . . . . .	425
10.7.2	Tragfähigkeitsberechnung – Vorgehensweise . . . . .	427
10.7.3	Beanspruchung und Festigkeit der Schraube . . . . .	427
10.7.4	Sicherheiten gegen Festigkeit der Schraube . . . . .	430
10.7.5	Dimensionierung und Festigkeitsnachweis . . . . .	431
10.7.5.1	Durch Anziehen vorgespannte, statisch oder dynamisch belastete Schraubenverbindung . . . . .	431
10.7.5.2	Durch Anspannen vorgespannte, statisch oder dynamisch belastete Schraube . . . . .	436
10.7.5.3	Längsbelastete Schraubenverbindung ohne Vorspannung	437
10.7.5.4	Schrauben die unter Längskraft angezogen werden . . . .	438
10.8	Querbelastete Schraubenverbindungen . . . . .	438
10.8.1	Kraftübertragung durch Reibschluß, Durchsteckschrauben	439
10.8.1.1	Durch Anziehen vorgespannte, querbelastete Schrauben	440
10.8.1.2	Durch Anspannen vorgespannte, querbelastete Schrauben	440
10.8.1.3	Gestaltung und Herstellung der Reibschlußverbindung . .	441
10.8.2	Kraftübertragung durch Formschluß: Paßschrauben, Scherbüchsen . . . . .	442

10.8.2.1	Berechnung . . . . .	442
10.8.2.2	Gestaltung und Herstellung der Paßschraubenverbindung	443
10.8.3	Kraftübertragung durch Kraft- und Reibschluß . . . . .	444
10.9	Gestaltung von Befestigungs-Schraubenverbindungen . .	444
10.10	Sichern von Befestigungs-Schraubenverbindungen . . . .	448
10.10.1	Lockern . . . . .	449
10.10.2	Losdrehen . . . . .	449
10.10.3	Verliersicherungen . . . . .	451
10.11	Bewegungsschrauben . . . . .	451
10.11.1	Bauformen, Gewinde . . . . .	452
10.11.2	Kraft- und Wegübersetzung, Wirkungsgrad, Selbsthemmung – Hemmfaktor, Bremsfaktor . . . . .	453
10.11.3	Werkstoffe, Herstellung . . . . .	454
10.11.4	Schmierung, Schmierstoffe . . . . .	455
10.11.5	Dimensionierung und Festigkeitsnachweis . . . . .	455
10.12	Beispiele . . . . .	456
10.13	Literatur . . . . .	459
<b>11</b>	<b>Stift- und Bolzenverbindungen . . . . .</b>	<b>464</b>
11.1	Zeichen und Einheiten . . . . .	464
11.2	Stiftverbindungen . . . . .	464
11.2.1	Ausführung, Anwendung . . . . .	466
11.3	Bolzenverbindungen . . . . .	469
11.4	Dimensionierung und Festigkeitsnachweis für Stift- und Bolzenverbindungen . . . . .	471
11.4.1	Dimensionierung . . . . .	471
11.4.2	Festigkeitsnachweis . . . . .	471
11.5	Berechnungsbeispiele . . . . .	475
11.6	Literatur . . . . .	476
<b>12</b>	<b>Elastische Federn . . . . .</b>	<b>478</b>
12.1	Zeichen und Einheiten . . . . .	481
12.2	Kennwerte . . . . .	483
12.2.1	Federkennlinien . . . . .	483
12.2.2	Federrate . . . . .	484
12.2.3	Dämpfung . . . . .	484
12.2.4	Federungsarbeit . . . . .	485
12.2.5	Parallel- und Reihenschaltung . . . . .	485
12.2.6	Nutzgrade . . . . .	486
12.3	Allgemeines (Normen, Werkstoff, Sicherheit/zulässige Beanspruchung) . . . . .	488

---

12.3.1	DIN-Normen . . . . .	488
12.3.2	Werkstoffe . . . . .	488
12.3.3	Tragfähigkeit, zulässige Beanspruchung bzw. Sicherheit – allgemein . . . . .	491
12.3.3.1	Berechnung bei statischer und quasistatischer Belastung	492
12.3.3.2	Berechnung bei dynamischer Beanspruchung . . . . .	492
12.4	Auswahl, Dimensionierung, Gestaltung und Tragfähigkeit von Metallfedern . . . . .	492
12.4.1	Zug- und druckbeanspruchte Federn . . . . .	492
12.4.1.1	Zugstäbe, Druckstäbe, Drahtzugfeder . . . . .	492
12.4.1.2	Ringfeder . . . . .	493
12.4.2	Biegebeanspruchte Federn . . . . .	495
12.4.2.1	Gerade Biegefedern . . . . .	495
12.4.2.2	Gekrümmte Biegefedern . . . . .	499
12.4.2.3	Gewundene Biegefedern . . . . .	500
12.4.2.4	Tellerfedern . . . . .	503
12.4.2.5	Sonstige biegebeanspruchte Federn . . . . .	509
12.4.3	Torsionsbeanspruchte Federn . . . . .	510
12.4.3.1	Drehstabfedern . . . . .	510
12.4.3.2	Zylindrische Schraubenfedern . . . . .	511
12.4.3.3	Sonstige Schraubenfedern . . . . .	523
12.5	Gummifedern . . . . .	524
12.5.1	Gummi als Federwerkstoff . . . . .	524
12.5.2	Berechnung und Gestaltung . . . . .	525
12.5.3	Besonderheiten von schubbeanspruchten Gummifedern	531
12.6	Gasfedern . . . . .	531
12.7	Flüssigkeitsfedern . . . . .	532
12.8	Berechnungsbeispiele . . . . .	533
12.9	Literatur . . . . .	535
<b>13</b>	<b>Wälzpaarungen . . . . .</b>	<b>538</b>
13.1	Zeichen und Einheiten . . . . .	538
13.2	Anwendung, Funktionen, Wirkprinzipien . . . . .	539
13.3	Beanspruchung nach Hertz . . . . .	541
13.3.1	Oberflächenbeanspruchung nach Hertz . . . . .	543
13.3.2	Spannungen unter der Oberfläche nach Hertz . . . . .	543
13.3.3	Beanspruchung des technischen Wälzkontakts . . . . .	547
13.3.4	Der geschmierte Wälzkontakt nach der Theorie der Elastohydrodynamik (EHD) . . . . .	550
13.4	Praktische Berechnung der Tragfähigkeit . . . . .	554
13.4.1	Zulässige statische Belastung . . . . .	554
13.4.2	Zulässige dynamische Belastung . . . . .	554
13.4.2.1	Grübchentragfähigkeit . . . . .	556
13.4.2.2	Graufleckentragfähigkeit . . . . .	562

13.5	Sonstige Oberflächenschäden . . . . .	562
13.5.1	Freßtragfähigkeit . . . . .	562
13.5.2	Verschleißtragfähigkeit . . . . .	562
13.6	Rollreibung . . . . .	563
13.7	Berechnungsbeispiele . . . . .	564
13.8	Literatur . . . . .	565
<b>14</b>	<b>Wälzlager . . . . .</b>	<b>569</b>
14.0	Führungen – Lager . . . . .	569
14.0.1	Lager . . . . .	569
14.0.1.1	Bauarten . . . . .	569
14.0.1.2	Anforderungen . . . . .	569
14.0.1.3	Auswahl der Lagerbauart: Wälzlager oder Gleitlager . . .	570
14.0.1.4	Lageranordnung . . . . .	570
14.0.2	Geradführungen . . . . .	572
14.0.2.1	Anforderungsliste – Auswahl der Bauart . . . . .	573
14.0.2.2	Anwendungen . . . . .	575
14.1	Zeichen und Einheiten . . . . .	575
14.2	Aufbau der Wälzlager, Wirkprinzip . . . . .	576
14.2.1	Wälzkörper und Wälzbahnen . . . . .	578
14.2.2	Käfige . . . . .	578
14.2.3	Führung der Wälzkörper und Käfige . . . . .	580
14.2.4	Grundbegriffe (Schmiegun, Druckwinkel, Lagerluft, Betriebsspiel, Steifigkeit) . . . . .	580
14.3	Herstellung, Schmierung, Abdichtung . . . . .	584
14.3.1	Werkstoffe, Wärmebehandlung . . . . .	584
14.3.2	Genuigkeit, Toleranzen . . . . .	586
14.3.3	Schmierung . . . . .	586
14.4	Bauarten . . . . .	590
14.4.1	Eigenschaften und Auswahl der Normal-Bauformen . . .	590
14.4.2	Sonderbauarten . . . . .	594
14.4.3	Maße und Bezeichnungen . . . . .	596
14.5	Tragfähigkeit, Dimensionierung . . . . .	596
14.5.1	Übersicht: Tragfähigkeitsgrenzen, Berechnungsmethoden	596
14.5.2	Statische Tragfähigkeit . . . . .	598
14.5.3	Einflußgrößen für die dynamische Tragfähigkeit . . . . .	601
14.5.3.1	Grundlagen . . . . .	601
14.5.3.2	Konstante Lagerbelastung und -drehzahl . . . . .	602
14.5.3.3	Veränderliche Lagerbelastung und -drehzahl . . . . .	606
14.5.3.4	Tragfähigkeit bei besonderen Betriebszuständen . . . . .	609
14.5.4	Berechnung der dynamischen Tragfähigkeit . . . . .	609
14.5.4.1	Nominelle Lebensdauer (nominal rating life) nach DIN ISO 281 . . . . .	610
14.5.4.2	Angepaßte nominelle Lebensdauer (adjusted rating life) nach DIN ISO 281 . . . . .	611

14.5.4.3	Modifizierte Lebensdauer (modified rating life) nach dem Prinzip DIN ISO 281 . . . . .	613
14.5.5	Grenzdrehzahlen . . . . .	616
14.6	Einbau, Gestaltung . . . . .	617
14.6.1	Wahl der Passung . . . . .	617
14.6.2	Lageranordnung . . . . .	620
14.7	Reibung, Temperatur . . . . .	623
14.7.1	Reibungsverluste . . . . .	623
14.7.2	Lagertemperatur . . . . .	625
14.8	Kosten, Liefermöglichkeit . . . . .	625
14.9	Beispiele . . . . .	627
14.10	Literatur . . . . .	630
<b>15</b>	<b>Gleitlager . . . . .</b>	<b>631</b>
15.1	Zeichen und Einheiten . . . . .	632
15.2	Grundlagen hydrodynamischer und hydrostatischer Schmierung . . . . .	635
15.2.1	Druckströmung (Hagen-Poiseuille-Strömung) . . . . .	635
15.2.2	Schleppströmung (Couette-Strömung) . . . . .	637
15.2.3	Überlagerung aus Druck- und Schleppströmung . . . . .	638
15.3	Hydrodynamische Radiallager (stationär belastete, kreiszyindrische Radiallager) . . . . .	638
15.3.1	Tragfähigkeit und Reibungszahl: Sommerfeldzahl . . . . .	639
15.3.2	Einflußgrößen für Sommerfeldzahl und Reibungskennzahl	641
15.3.3	Kennwerte für den Betriebszustand . . . . .	646
15.3.4	Erwärmung und Schmierstoffbedarf . . . . .	647
15.3.5	Schwingungen, Stabilität . . . . .	650
15.3.6	Gestaltung der hydrodynamischen Radialgleitlager . . . . .	652
15.4	Sonstige hydrodynamische Radiallager . . . . .	653
15.4.1	Gleitlager bei instationärem Betrieb . . . . .	653
15.4.2	Gleitlager mit nichtzylindrischem Schmierpalt . . . . .	655
15.4.3	Fettgeschmierte Gleitlager . . . . .	656
15.4.4	Schwimmbuchsenlager . . . . .	657
15.4.5	Folienlager . . . . .	657
15.5	Hydrodynamische Axiallager . . . . .	658
15.5.1	Tragfähigkeit und Reibungszahl: Sommerfeldzahl bei kippbeweglichen Gleitschuhen . . . . .	658
15.5.2	Übergangsdrehzahl . . . . .	660
15.5.3	Reibungskennzahl . . . . .	660
15.5.4	Reibleistung . . . . .	660
15.5.5	Abmessungen und Anzahl der Segmente . . . . .	660
15.5.6	Wärmebilanz . . . . .	661
15.5.7	Schmierstoffdurchsatz . . . . .	661
15.5.8	Bauarten und Gestaltung der hydrodynamischen Axiallager . . . . .	662

15.6	Hydrostatische Lager . . . . .	664
15.6.1	Hydrostatische Radiallager . . . . .	665
15.6.1.1	Funktion, Gestaltung . . . . .	665
15.6.1.2	Dimensionierung, Tragfähigkeit . . . . .	666
15.6.2	Hydrostatische Axiallager (Spurlager) . . . . .	671
15.6.2.1	Bauarten und Gestaltung der hydrostatischen Axiallager . . . . .	671
15.6.2.2	Tragfähigkeit des Einflächenlagers (Tellerlager) . . . . .	623
15.6.2.3	Tragfähigkeit anderer Axiallager-Bauarten . . . . .	675
15.7	Werkstoffe und Herstellung der Gleitlager . . . . .	675
15.7.1	Wellenwerkstoff . . . . .	676
15.7.2	Lagerwerkstoff . . . . .	677
15.8	Schmierstoff und Schmierstoffversorgung . . . . .	680
15.8.1	Schmierölarnten . . . . .	681
15.8.2	Schmieröl-Kenngrößen . . . . .	681
15.8.3	Schmierfett . . . . .	682
15.8.4	Schmierstoffversorgung . . . . .	682
15.9	Sonstige Gleitlager . . . . .	685
15.9.1	Poröse Sintermetall-Lager . . . . .	685
15.9.2	Kunststofflager und Verbundlager mit Kunststoff- Laufschicht . . . . .	686
15.9.2.1	Kunststoffe für kompakte Lager . . . . .	687
15.9.2.2	Kunststoffe mit Zusatzstoffen . . . . .	688
15.9.2.3	Tragfähigkeit von Kunststofflagern . . . . .	688
15.9.2.4	Gleitpaarung Welle-Lager . . . . .	690
15.9.2.5	Schmierung . . . . .	691
15.9.2.6	Verbundlager mit Kunststoff-Laufschicht . . . . .	691
15.9.2.7	Duroplastische Kunststoffe . . . . .	693
15.9.2.8	Weichgummi . . . . .	694
15.9.3	Luftlager – aerostatische Lager . . . . .	694
15.9.4	Magnetlager . . . . .	695
15.9.4.1	Magnet-Luftspaltlager . . . . .	695
15.9.4.2	Magnet-Flüssigkeitslager . . . . .	696
15.9.5	Kunstkohle-Lager . . . . .	696
15.9.6	Wartungsfreie Lager mit Festschmierstoffen . . . . .	696
15.10	Beispiele . . . . .	697
15.11	Literatur . . . . .	700
<b>16</b>	<b>Schmierung, Schmierstoffe, Reibung, Verschleiß, Korrosion . . . . .</b>	<b>703</b>
16.1	Zeichen und Einheiten . . . . .	705
16.2	Reibung, Reibungszahl . . . . .	706
16.3	Wirkmechanismus der Schmierung . . . . .	707
16.3.1	Hydrodynamische und elasto-hydrodynamische (EHD) Schmierung . . . . .	707
16.3.2	Mischschmierung . . . . .	708
16.3.3	Festkörperschmierung . . . . .	709

16.3.4	Grenzschmierung . . . . .	709
16.3.5	Hydrostatische Schmierung . . . . .	710
16.4	Schmierstoffarten . . . . .	710
16.5	Schmieröle . . . . .	710
16.5.1	Klassifikation der Schmieröle . . . . .	710
16.5.2	Eigenschaften der Schmieröle . . . . .	712
16.5.2.1	Viskosität . . . . .	712
16.5.2.2	Sonstige Stoffeigenschaften der Schmierstoffe . . . . .	716
16.5.3	Mineralöle . . . . .	718
16.5.4	Synthetische Öle . . . . .	718
16.5.5	Biologisch leicht abbaubare Schmieröle . . . . .	720
16.5.6	Additive . . . . .	721
16.6	Schmierfette . . . . .	723
16.7	Festschmierstoffe . . . . .	726
16.8	Haftschmierstoffe . . . . .	727
16.9	Metallische und nichtmetallische Überzüge . . . . .	727
16.10	Gasschmierung . . . . .	727
16.11	Schmierstoffwahl . . . . .	727
16.11.1	Schmierstoffe für Maschinenelemente . . . . .	728
16.11.2	Schmierstoffwahl – allgemeine Grundsätze . . . . .	728
16.12	Sonstiges . . . . .	729
16.12.1	Schmierungsarten . . . . .	729
16.12.2	Einlaufverfahren . . . . .	730
16.12.3	Entsorgung . . . . .	730
16.13	Verschleiß . . . . .	730
16.14	Korrosion . . . . .	732
16.14.1	Gleichwertig abtragende – chemische – Korrosion . . . . .	732
16.14.2	Örtlich angreifende Korrosion . . . . .	733
16.14.3	Allgemeine Abhilfemaßnahmen . . . . .	734
16.15	Literatur . . . . .	735
<b>17</b>	<b>Achsen und Wellen . . . . .</b>	<b>738</b>
17.1	Zeichen und Einheiten . . . . .	739
17.2	Vorgehensweise bei Entwurf und Konstruktion . . . . .	739
17.3	Belastung (Kräfte, Momente) . . . . .	740
17.4	Werkstoffe . . . . .	740
17.5	Herstellung . . . . .	741
17.6	Entwurfsrechnung, Dimensionierung . . . . .	741
17.7	Gestaltung . . . . .	744
17.7.1	Gestaltung von Achsen und Wellen allgemein . . . . .	744



---

17.7.2	Gestaltung von Wellen und umlaufenden Achsen . . . . .	745
17.7.3	Gestaltung von stillstehenden Achsen . . . . .	746
17.8	Festigkeitsnachweis . . . . .	747
17.8.1	Vorbemerkungen . . . . .	747
17.8.2	Nachweis der statischen und dynamischen Festigkeit (hier Dauerfestigkeit) für Wellen . . . . .	748
17.9	Nachweis der elastischen Verformung . . . . .	768
17.9.1	Durchbiegung und Neigung . . . . .	769
17.9.2	Torsion . . . . .	773
17.10	Schwingungsverhalten . . . . .	773
17.10.1	Biegeschwingungen . . . . .	774
17.10.2	Drehschwingungen . . . . .	775
17.10.3	Auswuchten . . . . .	776
17.11	Sonderbauarten . . . . .	776
17.12	Literatur . . . . .	777
<b>18</b>	<b>Welle-Nabe-Verbindungen . . . . .</b>	<b>778</b>
18.1	Zeichen und Einheiten . . . . .	780
18.2	Reibschluß-Verbindungen . . . . .	782
18.2.1	Übertragbare Kräfte und Drehmomente . . . . .	782
18.2.2	Haftbeiwerte, Rutschsicherheit . . . . .	784
18.2.3	Zylindrischer Preßverband – allgemeines . . . . .	786
18.2.3.1	Erzeugung des Preßverbands – Definitionen . . . . .	786
18.2.3.2	Anforderungen an den Preßverband . . . . .	787
18.2.3.3	Elastischer und elastisch-plastischer Preßverband . . . . .	787
18.2.3.4	Übermaß des elastischen Preßverbands . . . . .	788
18.2.3.5	Berechnung des elastischen Preßverbands – allgemeine Beziehungen, Nachweis . . . . .	796
18.2.3.6	Berechnung des elastischen Preßverbands – Zustand nach dem Fügen, in Ruhe, bei Raumtemperatur . . . . .	798
18.2.3.7	Berechnung des elastischen Preßverbands – Zustand bei kleiner Umfangsgeschwindigkeit sowie unterschiedlicher Wärmedehnung von Welle und Nabe . . . . .	798
18.2.3.8	Berechnung des elastischen Preßverbands – Zustand bei Temperatur- und Fliehkrafteinfluß . . . . .	799
18.2.3.9	Auswirkungen von Gestalt und Betriebsweise auf die Beanspruchung . . . . .	799
18.2.3.10	Abhilfemaßnahmen bei nicht ausreichender Festigkeit . . . . .	801
18.2.3.11	Gestaltung . . . . .	801
18.2.3.12	Fügen und Lösen von zylindrischen Preßverbänden . . . . .	802
18.2.4	Kegeliger Preßverband . . . . .	806
18.2.4.1	Mechanisch verspannter kegeliger Preßverband . . . . .	806
18.2.4.2	Hydraulisch verspannter kegeliger Preßverband . . . . .	809
18.2.4.3	Kegeliger Preßverband mit Lagesicherung . . . . .	809
18.2.5	Spannelement-Verbindungen . . . . .	810
18.2.5.1	Kegelspannring-Verbindung (Ringspann) . . . . .	810

18.2.5.2	Kegel-Spannsatz-Verbindung . . . . .	813
18.2.5.3	Ringspann-Sternscheiben-Verbindung . . . . .	813
18.2.5.4	Druckhülsen-Verbindung . . . . .	813
18.2.5.5	Toleranzring-Verbindung . . . . .	814
18.2.5.6	Hydraulische Hohlmantel-Spannbuchse . . . . .	814
18.2.5.7	Spannscheiben-Verbindung . . . . .	814
18.3	Formschlußverbindungen – allgemein . . . . .	814
18.3.1	Zentrierung – allgemein . . . . .	815
18.3.2	Betriebszustände (Beanspruchung durch Drehmoment und Querkraft) – allgemein . . . . .	818
18.3.3	Tragfähigkeitsberechnung – allgemein . . . . .	820
18.3.4	Unmittelbare Formschlußverbindungen . . . . .	823
18.3.4.1	Zahnwellen-Verbindungen . . . . .	823
18.3.4.2	Keilwellen-Verbindungen . . . . .	826
18.3.4.3	Kerzbahn – Verbindungen . . . . .	829
18.3.4.4	Polygon-Verbindung . . . . .	830
18.3.5	Mittelbare Formschluß-Verbindungen . . . . .	834
18.3.5.1	Paßfeder-Verbindung . . . . .	834
18.3.5.2	Scheibfederbindung . . . . .	837
18.4	Vorgespannte Formschluß-Verbindungen . . . . .	838
18.4.1	Längskeil-Verbindung . . . . .	838
18.4.2	Sonstige Keilverbindungen . . . . .	840
18.5	Geklebte Welle-Nabe-Verbindung . . . . .	841
18.5.1	Geklebte Schiebesitz-Verbindung . . . . .	841
18.5.1.1	Klebstoffe . . . . .	842
18.5.1.2	Herstellung . . . . .	842
18.5.1.3	Tragfähigkeit, Dimensionierung, Festigkeitsnachweis . . . . .	843
18.5.1.4	Gestaltung . . . . .	847
18.5.2	Schrumpfkleb-Welle-Nabe-Verbindung . . . . .	848
18.5.2.1	Klebstoffe . . . . .	848
18.5.2.2	Herstellung . . . . .	848
18.5.2.3	Tragfähigkeit, Dimensionierung, Festigkeitsnachweis der Schrumpfklebverbindung . . . . .	849
18.5.2.4	Gestaltung . . . . .	851
18.6	Kostenvergleich . . . . .	852
18.7	Beispiele . . . . .	852
18.8	Literatur . . . . .	861
<b>19</b>	<b>Dichtverbindungen . . . . .</b>	<b>865</b>
19.1	Zeichen und Einheiten . . . . .	865
19.2	Anforderungen/Funktionen . . . . .	866
19.3	Lösungsmöglichkeiten von Dichtungsproblemen unterschiedlicher Schwierigkeit . . . . .	868
19.4	Statische Dichtverbindungen . . . . .	869
19.4.1	Stoffschlüssige statische Dichtungen . . . . .	869
19.4.2	Kraftschlüssige statische Dichtungen . . . . .	871

19.4.2.1	Flachdichtungen . . . . .	872
19.4.2.2	Profildichtungen . . . . .	873
19.4.3	Membranen . . . . .	875
19.4.4	Faltenbälge . . . . .	875
19.4.5	Berechnung der Anpreßkraft von Flanschdichtungen nach DIN 2505 . . . . .	876
19.5	Dynamische Dichtverbindungen . . . . .	878
19.5.1	Dynamische Berührungsdichtungen für Längsbewegungen	878
19.5.1.1	Elastomerdichtungen . . . . .	878
19.5.1.2	Stopfbuchsen für Längs- und Drehbewegungen . . . . .	880
19.5.1.3	Manschettendichtungen und Lippenringe . . . . .	881
19.5.2	Dynamische Berührungsdichtungen für Drehbewegungen – Wellendichtungen . . . . .	882
19.5.2.1	Radial-Wellendichtringe – drucklos . . . . .	882
19.5.2.2	Radial-Wellendichtringe für Abdichtung gegen Druck . . . . .	885
19.5.2.3	Filzringdichtung . . . . .	886
19.5.2.4	Axial-Gleitringdichtung . . . . .	887
19.5.2.5	V-Ring (Wellendichtung ohne Druck) . . . . .	889
19.5.2.6	Elastomer-Profildichtungen: O-Ringe . . . . .	889
19.5.3	Berührungsfreie dynamische Dichtungen . . . . .	890
19.5.3.1	Spaltdichtungen . . . . .	890
19.5.3.2	Labyrinthdichtungen . . . . .	892
19.5.3.3	Gewinde-Wellendichtungen . . . . .	893
19.5.4	Magnetflüssigkeits-Dichtungen . . . . .	894
19.5.5	Hermetische Dichtungen . . . . .	894
19.6	Literatur . . . . .	895
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>		<b>897</b>