
Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Arbeitsmethoden in der Konstruktion | 1 |
| 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 |
| 2 | Gestaltung – Formgebung | 27 |
| 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 |
| 3 | Praktische Festigkeitsrechnung | 63 |
| 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 ΔK -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 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 4 | Leichtbau | 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 η_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 |
| 5 | Werkstoffe, Wärmebehandlung, Oberflächenbehandlung | 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 |
| 6 | Allgemeines über Normen, Toleranzen, Passungen und Oberflächen | 244 |
| 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 |
| | | |
| 7 | Schweißverbindung | 271 |
| 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 |
| 8 | Löt-, Kleb- und kombinierte Verbindungen | 325 |
| 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 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| 9 | Nietverbindungen sowie Durchsetzfuge- und Blechform-Verbindungen | 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 |
| 10 | Schraubenverbindungen, Gewinde | 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 η | 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 |
| 11 | Stift- und Bolzenverbindungen | 464 |
| 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 |
| 12 | Elastische Federn | 478 |
| 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 |
| 13 | Wälzpaarungen | 538 |
| 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 | Frei­strag­fä­hig­keit | 562 |
| 13.5.2 | Verschleiß­strag­fä­hig­keit | 562 |
| 13.6 | Roll­rei­bung | 563 |
| 13.7 | Berechnungs­bei­spie­le | 564 |
| 13.8 | Literatur | 565 |
| 14 | Wälzlager | 569 |
| 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 (Schmiegun­g, 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 |
| 15 | Gleitlager | 631 |
| 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, kreiszyklrische 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 |
| | | |
| 16 | Schmierung, Schmierstoffe, Reibung, Verschleiß, Korrosion | 703 |
| 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 |
| 17 | Achsen und Wellen | 738 |
| 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 |
| | | |
| 18 | Welle-Nabe-Verbindungen | 778 |
| 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 | Scheibfeder-Verbindung | 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 |
| 19 | Dichtverbindungen | 865 |
| 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 |
| Sachverzeichnis | | 897 |