

# Handbuch Federn

Berechnung  
und Gestaltung  
im Maschinen-  
und Gerätebau

---

Dr. sc. techn. Manfred Meissner  
Dipl.-Ing. Klaus Wanke



VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

# Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| <b>1. Überblick</b> .....   | 11 |
| 1.1. Historische Entwicklung der Federntechnik .....  | 11 |
| 1.2. Bedeutung, Wesen und Einsatzgebiete der Federn .....                                   | 11 |
| 1.3. Einteilung der Federn .....  | 13 |
| 1.4. Anforderungen an Berechnung und Auswahl von Federn .....                               | 15 |
| 1.5. Anforderungen an die Gestaltung der Federn .....                                       | 15 |
| 1.6. Literatur .....  | 16 |
| <b>2. Werkstoffe für Federn</b> .....   | 17 |
| 2.1. Werkstoffauswahl und Anforderungen .....   | 18 |
| 2.1.1. Gesichtspunkte für die Werkstoffauswahl .....  | 18 |
| 2.1.2. Einteilung und Verarbeitung .....  | 18 |
| 2.1.3. Anforderungen an Federwerkstoffe .....   | 19 |
| 2.2. Werkstoffarten .....   | 21 |
| 2.2.1. Federstähle .....  | 21 |
| 2.2.1.1. Patentierte gezogene Federstahlendraht .....                                       | 21 |
| 2.2.1.2. Vergütete Drähte .....   | 24 |
| 2.2.1.3. Warmgewalzte bzw. kaltgezogene Drähte und Stäbe für vergütete Federn .....         | 24 |
| 2.2.1.4. Federstahlbänder .....   | 25 |
| 2.2.1.5. Nichtrostende Federstähle .....  | 28 |
| 2.2.2. Nichteisenmetalle .....  | 29 |
| 2.2.2.1. Kupfer- und Berylliumlegierungen .....   | 29 |
| 2.2.2.2. Sonderlegierungen .....  | 30 |
| 2.2.3. Nichtmetalle .....   | 33 |
| 2.3. Werkstoffbeanspruchung .....   | 35 |
| 2.3.1. Zeitlicher Verlauf der Beanspruchung .....   | 35 |
| 2.3.2. Beanspruchungsgrenzen .....  | 36 |
| 2.4. Zulässige Spannungen bei Metallfedern .....  | 36 |
| 2.4.1. Bei statischen und quasistatischen Beanspruchungen .....                             | 36 |
| 2.4.2. Bei dynamischen Beanspruchungen .....  | 38 |
| 2.5. Einflüsse auf das Federungsverhalten von Metallfedern .....                            | 41 |
| 2.5.1. Entstehen und Wirken von Eigenspannungen .....                                       | 41 |
| 2.5.1.1. Entstehung von Eigenspannungen bei der Kaltumformung des Halbzeugs zu Federn ..... | 41 |
| 2.5.1.2. Erzeugen von Eigenspannungen .....   | 43 |
| 2.5.1.3. Abbau von Eigenspannungen .....  | 43 |
| 2.5.1.4. Berücksichtigungen von Eigenspannungen beim Entwurf .....                          | 44 |
| 2.5.2. Kriechen und Relaxation .....  | 48 |
| 2.5.3. Einfluß der Arbeitstemperatur .....  | 49 |
| 2.5.3.1. Verhalten von metallischen Federwerkstoffen bei erhöhten Arbeitstemperaturen ..... | 51 |
| 2.5.3.2. Verhalten bei tieferen Temperaturen .....  | 53 |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.5.3.3. Temperaturabhängigkeit des E- und G-Moduls .....                | 57        |
| 2.5.4. Einflüsse von Werkstoffehlern und Oberflächenfehlern .....        | 58        |
| 2.6. Literatur .....   | 58        |
| <b>3. Herstellung von Metallfedern .....</b>                             | <b>60</b> |
| 3.1. Kaltformgebung .....  | 60        |
| 3.1.1. Herstellung des Federkörpers von Schraubenfedern .....            | 60        |
| 3.1.2. Besonderheiten der Zugfederherstellung .....                      | 64        |
| 3.1.3. Drehfederherstellung .....  | 67        |
| 3.1.4. Formfedern aus Draht und Band .....                               | 68        |
| 3.1.5. Fertigung von Spiralfedern .....                                  | 70        |
| 3.2. Warmformgebung .....  | 72        |
| 3.3. Schleifen und Entgraten von Schraubenfedernenden .....              | 73        |
| 3.4. Wärmebehandlung .....   | 76        |
| 3.4.1. Vergüten von Federstählen .....                                   | 76        |
| 3.4.2. Anlassen von Federn aus federharten Werkstoffen .....             | 78        |
| 3.5. Vorsetzen .....   | 80        |
| 3.6. Randschichtverfestigung .....                                       | 83        |
| 3.6.1. Mechanische Verfestigungsverfahren .....                          | 83        |
| 3.6.2. Verfestigung durch Wärmebehandlung .....                          | 85        |
| 3.7. Korrosionsschutz durch Oberflächenbehandlung .....                  | 85        |
| 3.7.1. Oxydieren und Phosphatieren .....                                 | 86        |
| 3.7.2. Metallüberzüge .....  | 86        |
| 3.7.3. Lacküberzüge .....  | 87        |
| 3.7.4. Plastüberzüge .....   | 87        |
| 3.8. Forderungen an eine fertigungsgerechte Gestaltung .....             | 88        |
| 3.9. Literatur .....   | 88        |
| <b>4. Grundlagen des Federentwurfs .....</b>                             | <b>91</b> |
| 4.1. Ziel des Federentwurfs .....  | 92        |
| 4.2. Federungsverhalten, Federkennlinie .....                            | 92        |
| 4.2.1. Federdiagramm .....   | 92        |
| 4.2.2. Kennlinienverlauf .....   | 93        |
| 4.2.3. Federsteife (Federrate) und Federarbeit .....                     | 94        |
| 4.2.4. Hyterese und Kriechen .....                                       | 94        |
| 4.3. Nutzwerte .....   | 95        |
| 4.4. Federberechnung .....   | 96        |
| 4.4.1. Ziel und Anliegen der Federberechnung .....                       | 96        |
| 4.4.2. Zeitliche Belastungsverläufe .....                                | 97        |
| 4.4.3. Berechnungsablauf bei statischen Beanspruchungen .....            | 98        |
| 4.4.4. Berechnungsablauf bei dynamischen Beanspruchungen .....           | 99        |
| 4.4.4.1. Allgemeiner Ablauf .....  | 99        |
| 4.4.4.2. Feder unter periodisch-sinusförmig verlaufender Belastung ..... | 100       |
| 4.4.4.3. Feder unter Stoßbelastung .....                                 | 101       |
| 4.4.4.4. Erfassung der Spannungsverteilung über der Federlänge .....     | 102       |
| 4.4.4.5. Anwendung der Finite-Elemente-Methode .....                     | 103       |
| 4.5. Federsysteme .....  | 103       |
| 4.5.1. Charakterisierung .....   | 103       |
| 4.5.2. Parallelschaltung von Federn .....                                | 104       |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 4.5.3.    | Reihenschaltung von Federn .....   | 105        |
| 4.5.4.    | Kraftmomentbelastete Federparallelschaltung .....                          | 106        |
| 4.6.      | Literatur .....  | 106        |
| <b>5.</b> | <b>Metallfedern</b> .....  | <b>108</b> |
| 5.1.      | Zug- und druckbeanspruchte Federn .....                                    | 108        |
| 5.1.1.    | Zugstabfedern .....  | 108        |
| 5.1.2.    | Ringfeder .....  | 109        |
| 5.2.      | Biegebeanspruchte Federn (Biegefedern) .....                               | 116        |
| 5.2.1.    | Gerade Biegefedern .....   | 120        |
| 5.2.1.1.  | Blattfedern mit konstantem Querschnitt .....                               | 120        |
| 5.2.1.2.  | Blattfedern mit veränderlichem Querschnitt .....                           | 121        |
| 5.2.1.3.  | Geschichtete Blattfedern .....   | 124        |
| 5.2.1.4.  | Unterstützte Blattfedern .....   | 127        |
| 5.2.2.    | Gekrümmte Biegefedern .....  | 129        |
| 5.2.2.1.  | Gekrümmte Blattfedern .....  | 129        |
| 5.2.2.2.  | Flachformfedern .....  | 131        |
| 5.2.2.3.  | Drahtformfedern .....  | 132        |
| 5.2.3.    | Gewundene Biegefedern .....  | 135        |
| 5.2.3.1.  | Spiralfedern .....   | 135        |
| 5.2.3.2.  | Drehfedern (Schenkelfedern) .....  | 147        |
| 5.2.4.    | Scheiben- und plattenförmige Biegefedern .....                             | 157        |
| 5.2.4.1.  | Tellerfedern .....   | 157        |
| 5.2.4.2.  | Federscheiben und Wellfedern .....   | 173        |
| 5.2.4.3.  | Membranfedern (Plattenfedern) .....  | 176        |
| 5.2.5.    | Bimetallfedern (Thermobimetalle) .....                                     | 179        |
| 5.2.5.1.  | Aufbau .....   | 179        |
| 5.2.5.2.  | Berechnung .....   | 180        |
| 5.2.5.3.  | Anwendung .....  | 182        |
| 5.3.      | Torsionsbeanspruchte Federn (Verdrehfedern) .....                          | 183        |
| 5.3.1.    | Drehstabfedern .....   | 185        |
| 5.3.2.    | Schraubendruckfedern zylindrischer Form .....                              | 188        |
| 5.3.2.1.  | Aufbau und Eigenschaften .....   | 188        |
| 5.3.2.2.  | Berechnung statisch belasteter Druckfedern .....                           | 191        |
| 5.3.2.3.  | Knickung und Querfederung .....  | 193        |
| 5.3.2.4.  | Druckfedern mit rechteckigem Drahtquerschnitt .....                        | 195        |
| 5.3.2.5.  | Berechnung von Federsätzen .....   | 196        |
| 5.3.2.6.  | Berechnung bei schwingender Beanspruchung .....                            | 197        |
| 5.3.3.    | Schraubenzugfedern zylindrischer Form .....                                | 199        |
| 5.3.3.1.  | Aufbau und Eigenschaften .....   | 199        |
| 5.3.3.2.  | Berechnung bei statischer Belastung .....                                  | 202        |
| 5.3.3.3.  | Schwingfestigkeit von Zugfedern .....                                      | 202        |
| 5.3.4.    | Schraubenfedersonderformen .....   | 204        |
| 5.3.4.1.  | Aufbau und Eigenschaften .....   | 204        |
| 5.3.4.2.  | Zylindrische Schraubendruckfedern mit veränderlichem Stabdurchmesser ..... | 205        |
| 5.3.4.3.  | Zylindrische Schraubendruckfedern mit inkonstanter Windungssteigung .....  | 206        |
| 5.3.4.4.  | Schraubendruckfedern nichtzylindrischer Form .....                         | 208        |
| 5.3.4.5.  | Mehrdrahtfedern .....  | 212        |
| 5.3.4.6.  | Kegeldruckfedern aus Band .....  | 213        |
| 5.3.4.7.  | Federkennlinie und Eigenfrequenz .....                                     | 214        |
| 5.4.      | Literatur .....  | 225        |

|   |     |
|---|-----|
| <b>6. Nichtmetallfedern</b> .....   | 229 |
| 6.1. Gummifedern .....  | 230 |
| 6.1.1. Eigenschaften .....  | 230 |
| 6.1.2. Beanspruchungen .....  | 230 |
| 6.1.3. Berechnungen .....   | 231 |
| 6.1.4. Anwendungen .....  | 232 |
| 6.2. Plast- und Plast-Elastomerfedern .....                               | 233 |
| 6.2.1. Eigenschaften .....  | 233 |
| 6.2.2. Federn aus Thermo- und Duroplasten .....                           | 234 |
| 6.2.3. Elastomerfedern .....  | 236 |
| 6.3. Glas- und Keramikfedern .....  | 240 |
| 6.4. Gas- und Flüssigkeitsfedern .....                                    | 241 |
| 6.4.1. Eigenschaften .....  | 241 |
| 6.4.2. Gasfedern .....  | 242 |
| 6.4.3. Flüssigkeitsfedern .....   | 243 |
| 6.4.4. Konstruktion und Anwendung .....                                   | 244 |
| 6.5. Federn durch Magnetwirkungen .....                                   | 246 |
| 6.6. Literatur .....  | 247 |
| <b>7. Federn in speziellen Anwendungen</b> .....                          | 249 |
| 7.1. Federn als Kontaktbauelemente .....                                  | 249 |
| 7.1.1. Anforderungen .....  | 249 |
| 7.1.2. Einsatz als Kontaktblattfeder-Schalter .....                       | 250 |
| 7.1.2.1. Auswirkungen von Toleranzen an Kontaktblattfeder-Schaltern ..... | 250 |
| 7.1.2.2. Kontaktfederjustierung durch elastisch-plastisches Biegen .....  | 252 |
| 7.1.3. Einsatz in Steckverbindern und Schleifkontakten .....              | 252 |
| 7.2. Federn und Anordnungen für konstante Kräfte und Momente .....        | 254 |
| 7.2.1. Federn mit „Gleichkraft“-Verhalten .....                           | 254 |
| 7.2.2. Anordnungen zum Kraft- bzw. Momentenausgleich .....                | 257 |
| 7.3. Lagerungen mit Federn .....  | 257 |
| 7.3.1. Torsionsbänder .....   | 257 |
| 7.3.2. Federgelenke und Federführungen .....                              | 259 |
| 7.4. Federantriebe .....  | 260 |
| 7.4.1. Allgemeine Grundlagen .....  | 262 |
| 7.4.2. Schraubenfederantriebe .....                                       | 263 |
| 7.4.2.1. Dynamische Modelle .....   | 263 |
| 7.4.2.2. Grundlagen zur Dimensionierung .....                             | 266 |
| 7.4.3. Drehfederantriebe .....  | 269 |
| 7.4.3.1. Dynamische Modelle .....   | 269 |
| 7.4.3.2. Grundlagen zur Dimensionierung .....                             | 270 |
| 7.4.4. Blattfederantriebe .....   | 271 |
| 7.4.4.1. Dynamische Modelle .....   | 271 |
| 7.4.4.2. Grundlagen zur Dimensionierung .....                             | 273 |
| 7.5. Literatur .....  | 277 |
| <b>8. Berechnungshilfen und Federoptimierung</b> .....                    | 280 |
| 8.1. Berechnungshilfen .....  | 281 |
| 8.1.1. Einsatzziele .....   | 281 |
| 8.1.2. Tabellen, Standards, Vordrucke .....                               | 281 |
| 8.1.3. Grafische Hilfsmittel .....  | 281 |

|  |            |
|--|------------|
| 8.1.4. Rechenschieber .....                            | 283        |
| 8.1.5. Datenverarbeitungstechnik .....                 | 286        |
| 8.2. Federoptimierung .....                            | 287        |
| 8.2.1. Optimierungsanliegen .....                      | 287        |
| 8.2.2. Optimierungsgrundlagen .....                    | 288        |
| 8.2.2.1. Vorgehensweise .....                          | 288        |
| 8.2.2.2. Optimierungsziele bei Federberechnungen ..... | 290        |
| 8.2.2.3. Optimierungsverfahren .....                   | 292        |
| 8.2.3. Grundbeziehungen zur Federoptimierung .....     | 292        |
| 8.2.3.1. Blattfedern .....                             | 292        |
| 8.2.3.2. Schraubendruckfedern .....                    | 293        |
| 8.2.4. Rechnereinsatz .....                            | 293        |
| 8.3. Literatur .....                                   | 297        |
| <b>9. Prüfung der Federn .....</b>                     | <b>299</b> |
| 9.1. Toleranzen .....                                  | 299        |
| 9.2. Prüfung der Federkennwerte (statisch) .....       | 301        |
| 9.2.1. Kurzzeit-Prüfung .....                          | 301        |
| 9.2.2. Langzeit-Prüfung .....                          | 306        |
| 9.3. Prüfung der Lebensdauer .....                     | 307        |
| 9.4. Werkstoffprüfungen .....                          | 308        |
| 9.5. Literatur .....                                   | 308        |
| <b>10. Anhang .....</b>                                | <b>310</b> |
| <b>11. Sachwörterverzeichnis .....</b>                 | <b>320</b> |