

VDI-Buch

## Metallfedern

Grundlagen, Werkstoffe, Berechnung, Gestaltung und Rechnereinsatz

von

Manfred Meissner, Hans-Jürgen Schorcht

überarbeitet

[Metallfedern – Meissner / Schorcht](#)

schnell und portofrei erhältlich bei [beck-shop.de](http://beck-shop.de) DIE FACHBUCHHANDLUNG

Thematische Gliederung:

[Produktdesign, Industriedesign – Konstruktionslehre und -technik](#)

Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007

Verlag C.H. Beck im Internet:

[www.beck.de](http://www.beck.de)

ISBN 978 3 540 49868 1

# Inhaltsverzeichnis

Beitragsverzeichnis .....	XIV
Formelzeichen .....	XV
Lateinische Buchstaben .....	XV
Griechische Buchstaben .....	XXIV
Häufig verwendete Indizes .....	XXVII
Normen-Vergleichstabelle.....	XXVIII
<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Entwicklung der Federntechnik .....	1
1.2 Das Maschinenelement Feder.....	2
1.2.1 Konstruktionsmethodische Aspekte des Federentwurfs .....	2
1.2.2 Einteilung und Einsatzgebiete .....	3
1.2.3 Anforderungen an Berechnung, Gestaltung und Auswahl .....	4
1.2.4 Anforderungen an Werkstoff, Fertigung und Prüfung.....	5
<b>Grundlagen.....</b>	<b>7</b>
2.1 Federentwurf.....	7
2.1.1 Federungsverhalten.....	7
2.1.2 Federberechnung .....	11
2.1.3 Federsysteme .....	18
2.1.4 Berechnungshilfen und Federoptimierung .....	21
2.2 Einfluss der Herstellung auf die Federfunktion .....	24
2.2.1. Kaltformgebung.....	24
2.2.2 Warmformgebung.....	27
2.2.3 Wärmebehandlung.....	29
2.2.4 Randschichtverfestigung durch Kugelstrahlen .....	36
2.2.5 Plastizieren (Vorsetzen).....	39
2.2.6 Oberflächenbehandlung.....	44
2.2.7 Fertigungstechnische Hinweise zum Federentwurf.....	45

2.3 Federprüfung .....	47
2.3.1 Einflüsse auf die Funktionswerte der Federn .....	47
2.3.2 Prüfen der Federkennwerte.....	48
2.3.3 Werkstoff- und Lebensdauerprüfungen.....	49
2.3.4 Ermittlung von Elastizitäts- und Gleitmodul.....	49
2.4 Normen für Federn und Federwerkstoffe .....	51
<b>3 Werkstoffe .....</b>	<b>53</b>
3.1 Anforderungen, Einteilung und Werkstoffwahl .....	53
3.1.1 Anforderungen.....	53
3.1.2 Einteilung .....	54
3.1.3 Werkstoffauswahl.....	55
3.2 Werkstoffarten.....	55
3.2.1 Federstähle.....	55
3.2.2. Nichteisenmetalle .....	64
3.2.3 Sonderwerkstoffe.....	66
3.3 Einflüsse auf das Federungsverhalten von Metallfedern.....	69
3.3.1 Entstehen und Wirken von Eigenspannungen .....	69
3.3.2 Kriechen und Relaxation [3.32].....	73
3.3.3 Einfluss der Arbeitstemperatur .....	76
3.3.4 Einflüsse auf die Dauerschwingfestigkeit .....	83
3.4 Werkstoffdaten für den Entwurf.....	85
<b>4 Berechnungsgrundlagen für Einzelfedern.....</b>	<b>89</b>
4.1 Zug- und druckbeanspruchte Federn .....	89
4.1.1 Zugstabfedern .....	89
4.1.2 Ringfeder® .....	90
4.2 Biegebeanspruchte Federn.....	99
4.2.1 Gerade Biegefedern (Biegestabfedern) .....	100
4.2.2 Gekrümmte Biegefedern.....	104
4.2.3 Gewundene Biegefedern.....	108
4.2.4 Scheibenförmige Biegefedern .....	115
4.2.5 Berechnungsbeispiele .....	124
4.3 Torsionsbeanspruchte Federn .....	131
4.3.1 Drehstabfedern .....	131
4.3.2 Schraubendruckfedern zylindrischer Form.....	137
4.3.3 Schraubenzugfedern zylindrischer Form.....	150
4.3.4 Schraubenfedersonderformen .....	155
4.3.5 Berechnungsbeispiele .....	168

<b>5 Entwurf von Federanordnungen.....</b>	<b>183</b>
5.1 Geschichtete Anordnung von Einzelfedern .....	183
5.1.1 Geschichtete Blattfedern.....	183
5.1.2 Anwendungen der Ringfeder® .....	188
5.1.3 Tellerfedersäulen .....	193
5.2 Federsätze .....	197
5.3 Federn und Anordnungen für konstante Kräfte und Momente ....	198
5.3.1 Federn mit Gleichkraftverhalten.....	198
5.3.2 Anordnungen für konstante Kräfte und Momente.....	204
5.4 Federantriebe .....	208
5.4.1 Allgemeine Grundlagen.....	209
5.4.2 Schraubenfederantriebe .....	215
5.4.3 Drehfederantriebe .....	241
5.4.4 Blattfederantriebe .....	252
5.4.5 Berechnungsbeispiele .....	258
<b>6 Konstruktionen mit Federn .....</b>	<b>267</b>
6.1 Anwendung konstruktionstechnischer Methoden.....	267
6.1.1 Allgemeine Grundlagen methodischen Vorgehens .....	267
6.1.2 Grundregeln des Gestaltens .....	268
6.1.3 Realisierung bestimmter Grundprinzipien mit Federn .....	270
6.1.4 Baureihenentwicklung .....	275
6.1.5 Von der Aufgabenstellung zur fertigen Feder .....	278
6.2 Ausgewählte Konstruktionsbeispiele.....	280
6.2.1 Kontaktbauelemente der Elektrotechnik.....	280
6.2.2 Feinwerktechnische Konstruktionen mit Federn .....	287
6.2.3 Federn im Fahrzeugbau .....	293
6.3 Konstruktionen bei speziellen Anforderungen .....	324
6.3.1 Anforderungen an das Federungsverhalten .....	325
6.3.2 Anforderungen an die Federgestalt.....	327
6.3.3 Optimierung von Federn.....	327
6.3.4 Beispiel einer Optimierungsstrategie.....	333
6.4 Darstellungsarten von Federn in Konstruktionen .....	335
<b>7 Schwingungsverhalten von Schraubenfedern .....</b>	<b>339</b>
7.1 Grundlagen und Modelle .....	339
7.1.1 Schwingungsvorgang.....	339
7.1.2 Modellbildung, Ersatzsysteme, Voraussetzungen .....	341
7.2 Längsschwingungen von Schraubenfedern .....	342
7.2.1 Allgemeines .....	342
7.2.2 Freie ungedämpfte Schwingung .....	343
7.2.3 Freie gedämpfte Schwingung .....	345

7.2.4	Erzwungene Schwingungen .....	347
7.2.5	Die stoßbelastete Schraubendruckfeder.....	349
7.3	Querschwingungen von Schraubenfedern .....	356
7.3.1	Ansätze und Modellvereinbarungen .....	356
7.3.2	Querfederrate und Eigenfrequenz.....	357
7.4	Drehschwingungen von Schraubenfedern .....	359
7.4.1	Ansätze, Modellvereinbarungen und Drehfederrate.....	359
7.4.2	Dreheigenfrequenz .....	360
7.5	Einflüsse von Gestalt und konstruktiver Anordnung.....	362
7.5.1	Einflüsse der Federgestalt.....	362
7.5.2	Einflüsse der konstruktiven Anordnung.....	362
7.6	Schwingungsanalyse mit Hilfe der FEM.....	364
7.7	Experimentelle Schwingungsanalyse .....	365
7.7.1	Bedeutung der Experimente .....	365
7.7.2	Ausgewählte Verfahren .....	365
7.8	Berechnungsbeispiele und Untersuchungsergebnisse .....	367
7.8.1	Zusammenstellung der Berechnungsbeziehungen.....	367
7.8.2	Berechnungsbeispiele .....	369
7.8.3	Untersuchungsergebnisse und Zusammenfassung .....	375
<b>8</b>	<b>Rechnereinsatz zum Federentwurf .....</b>	<b>381</b>
8.1	Stand, Bedingungen, Methoden, Tendenzen .....	381
8.1.1	Entwicklung des Rechnereinsatzes in der Federntechnik.....	381
8.1.2	Auswirkungen rechnerunterstützter Produktentwicklung .....	383
8.1.3	Tendenzen des Rechnereinsatzes für den Federentwurf.....	386
8.2	Kommerzielle Programme zum Federentwurf .....	393
8.3	Programm zur Schraubendruckfederoptimierung.....	404
8.4	Programme zum Entwurf von Federantrieben.....	420
8.4.1	Grundlagen und allgemeiner Aufbau .....	420
8.4.2	Dateneingabe, Dialogbetrieb und Datenausgabe.....	423
8.4.3	Darstellung der Vorgehensweise an einem Beispiel .....	428
8.4.4	Schlussfolgerungen für den rechnerunterstützten Federentwurf.....	436
8.5	Anwendung der Finite Elemente Methode .....	437
8.5.1	Möglichkeiten und grundsätzliches Vorgehen .....	437
8.5.2	Besonderheiten der Anwendung für den Federentwurf.....	441
8.5.3	FEM-Federprozessor – Grundidee, Aufbau, Umsetzung, Anwendung.....	450
8.6	Anwendung der Mehrkörpersimulation.....	470
8.6.1	Ausgangssituation und prinzipielle Möglichkeiten .....	470
8.6.2	MKS-Schraubenfedermodelle und ihre Leistungsfähigkeit ..	472

8.6.3 MKS-Federprozessor – Aufbau, Leistungsumfang und Anwendung.....	481
8.7 Ausblick.....	498
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>503</b>
Allgemeine Literatur.....	503
Spezielle Literatur.....	504
Kapitel 1 .....	504
Kapitel 2 .....	505
Kapitel 3 .....	510
Kapitel 4 .....	512
Kapitel 5 .....	519
Kapitel 6 .....	523
Kapitel 7 .....	528
Kapitel 8 .....	529
<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>541</b>