

Konstruktionselemente der Feinmechanik

Herausgeber
Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Krause

2., stark bearbeitete Auflage



Carl Hanser Verlag München Wien

Inhaltsverzeichnis

1.	Charakterisierung und Systematik der Konstruktionselemente	19
	Literatur zum Abschnitt 1. und Grundlagenliteratur zu den Abschnitten 2. bis 14.	23
2.	Entwerfen und Gestalten von Konstruktionselementen	25
2.1.	Arbeitsschritte und Methoden	27
2.1.1.	Ermitteln und Präzisieren von Konstruktionsaufgaben	27
2.1.2.	Prinzipbestimmung für Konstruktionselemente	28
2.1.3.	Gestalten von Konstruktionselementen	33
2.1.3.1.	Grundsätze	33
2.1.3.2.	Auswahl der Form	34
2.1.3.3.	Auswahl der Werkstoffe	35
2.1.3.4.	Festlegen der Zustandseigenschaften	35
2.1.3.5.	Einflußfaktoren auf die Gestalt	36
2.1.3.6.	Vorgehensweise beim Gestalten	41
2.1.4.	Bewerten und Auswählen von Konstruktionselementen	42
2.2.	Rechnereinsatz	45
2.2.1.	CAD-Lösungen für Konstruktionselemente	45
2.2.2.	Rechnerunterstützte Dimensionierung	47
2.2.3.	Rechnerunterstützter Entwurf	51
	Literatur zum Abschnitt 2.	53
3.	Grundlagen zur Dimensionierung von Konstruktionselementen	56
3.1.	Normzahlen und Normmaße	57
3.1.1.	Normzahlen	57
3.1.2.	Normmaße	59
3.1.3.	Berechnungsbeispiele	59
	Literatur zum Abschnitt 3.1.	62
3.2.	Toleranzen und Passungen	62
3.2.1.	Toleranzen	62
3.2.1.1.	Grundbegriffe	63
3.2.1.2.	ISO-Toleranzen	64
3.2.1.3.	Maße ohne Toleranzangabe, frei tolerierte Maße	67
3.2.1.4.	Form- und Lagetoleranzen	71
3.2.1.5.	Oberflächenrauheit und deren Kennzeichnung	73
3.2.2.	Passungen	76
3.2.2.1.	Grundbegriffe	79
3.2.2.2.	Passungsauswahl	88
3.2.3.	Einfluß der Temperatur auf Toleranz und Passung	88
3.2.4.	Maß- und Toleranzketten	89
3.2.5.	Toleranz- und passungsgerechtes Gestalten	91
3.2.6.	Berechnungsbeispiele	94
	Literatur zum Abschnitt 3.2.	95

3.3. Statik	96
3.3.1. Kräfte an starren Körpern	97
3.3.2. Reibung	102
3.3.2.1. Ruhereibung (Haftreibung)	102
3.3.2.2. Reibungszustände	102
3.3.2.3. Gleitreibung	104
3.3.2.4. Rollreibung	107
3.3.2.5. Bohrreibung	108
3.3.2.6. Umschlingungsreibung (Seilreibung)	109
3.3.3. Berechnungsbeispiele	109
3.4. Dynamik	111
3.4.1. Kinematik	111
3.4.2. Kinetik	112
3.4.3. Mechanische Schwingungen	113
3.4.3.1. Torsionsschwingungen	113
3.4.3.2. Biegeschwingungen	114
3.4.3.3. Gedämpfte und getilgte Schwingungen	116
3.4.3.4. Erzwungene Schwingungen	116
3.5. Festigkeitslehre	116
3.5.1. Grundbegriffe	117
3.5.2. Ermittlung der Nennspannungen	119
3.5.2.1. Beanspruchung durch Kräfte	119
3.5.2.2. Beanspruchung durch Momente	124
3.5.2.3. Zusammengesetzte Beanspruchung	132
3.5.3. Ermittlung der zulässigen Spannungen	133
3.5.3.1. Werkstoffkenngrößen	134
3.5.3.2. Einflußfaktoren auf die Werkstofffestigkeit	135
3.5.3.3. Festigkeitsnachweis	138
3.5.4. Berechnungsbeispiele	140
Literatur zu den Abschnitten 3.3. bis 3.5.	143
3.6. Konstruktionswerkstoffe	144
3.6.1. Kriterien für die Werkstoffauswahl	144
3.6.2. Metallische Werkstoffe	145
3.6.2.1. Eisenwerkstoffe	145
3.6.2.2. Nichteisenmetall-Werkstoffe	147
3.6.2.3. Metallische Sinterwerkstoffe	149
3.6.3. Nichtmetallische Werkstoffe	156
3.6.3.1. Kunststoffe	156
3.6.3.2. Silikatische Werkstoffe	159
3.6.3.3. Naturstoffe	165
3.6.4. Halbzeuge und Normteile	166
Literatur zum Abschnitt 3.6.	167
4. Mechanische Verbindungen	169
4.1. Eigenschaften, Einteilung und Auswahl	169
Literatur zu den Abschnitten 4.1. und 4.5.	172
4.2. Stoffschlüssige Verbindungen	173
4.2.1. Schweißverbindungen	174
4.2.1.1. Schweißverfahren, Eigenschaften und Anwendung	174
4.2.1.2. Werkstoffe	176

4.2.1.3.	Berechnung	184
4.2.1.4.	Konstruktive Gestaltung	185
4.2.1.5.	Berechnungsbeispiele	192
Literatur zum Abschnitt 4.2.1.		193
4.2.2.	Lötverbindungen	196
4.2.2.1.	Lötverfahren, Eigenschaften und Anwendung	196
4.2.2.2.	Werkstoffe	198
4.2.2.3.	Berechnung	199
4.2.2.4.	Konstruktive Gestaltung	204
4.2.2.5.	Berechnungsbeispiele	207
Literatur zum Abschnitt 4.2.2.		208
4.2.3.	Einschmelzverbindungen	209
4.2.3.1.	Verfahren, Eigenschaften und Anwendung	209
4.2.3.2.	Werkstoffe	209
4.2.3.3.	Berechnung	210
4.2.3.4.	Konstruktive Gestaltung	211
Literatur zum Abschnitt 4.2.3.		211
4.2.4.	Klebverbindungen	212
4.2.4.1.	Klebverfahren, Eigenschaften und Anwendung	212
4.2.4.2.	Werkstoffe	212
4.2.4.3.	Berechnung	213
4.2.4.4.	Konstruktive Gestaltung	214
4.2.4.5.	Berechnungsbeispiel	216
Literatur zum Abschnitt 4.2.4.		217
4.2.5.	Kittverbindungen	218
4.2.5.1.	Verfahren, Eigenschaften und Anwendung	218
4.2.5.2.	Werkstoffe	218
4.2.5.3.	Berechnung	219
4.2.5.4.	Konstruktive Gestaltung	219
Literatur zum Abschnitt 4.2.5.		220
4.3.	Formschlüssige Verbindungen	221
4.3.1.	Nietverbindungen	222
4.3.1.1.	Verfahren, Eigenschaften und Anwendung	222
4.3.1.2.	Nietformen	223
4.3.1.3.	Berechnung	226
4.3.1.4.	Konstruktive Gestaltung	227
4.3.1.5.	Berechnungsbeispiel	231
4.3.2.	Stift- und Bolzenverbindungen	231
4.3.2.1.	Eigenschaften und Anwendung	232
4.3.2.2.	Stiftformen	232
4.3.2.3.	Berechnung	234
4.3.2.4.	Konstruktive Gestaltung	234
4.3.2.5.	Berechnungsbeispiel	237
4.3.3.	Feder- und Profilwellenverbindungen	238
4.3.3.1.	Einteilung, Eigenschaften und Anwendung	239
4.3.3.2.	Berechnung	241
4.3.3.3.	Konstruktive Gestaltung	241
4.3.3.4.	Berechnungsbeispiel	242
4.3.4.	Bördelverbindungen	243
4.3.5.	Sickenverbindungen	244
4.3.6.	Lapp- und Schränkverbindungen	245
4.3.7.	Falz- und Einrollverbindungen	248
4.3.8.	Blechsteppverbindungen	249
4.3.9.	Einspreizverbindungen	249

4.3.10.	Einbettverbindungen	252
	Literatur zum Abschnitt 4.3.	255
4.4.	Kraftschlüssige Verbindungen	257
4.4.1.	Einpreßverbindungen	259
4.4.1.1.	Einteilung, Eigenschaften und Anwendung	259
4.4.1.2.	Berechnung	261
4.4.1.3.	Konstruktive Gestaltung	263
4.4.1.4.	Berechnungsbeispiel	265
4.4.2.	Verpreß- und Quetschverbindungen	266
4.4.3.	Keilverbindungen	267
4.4.3.1.	Einteilung, Eigenschaften und Anwendung	267
4.4.3.2.	Berechnung	268
4.4.3.3.	Konstruktive Gestaltung	268
4.4.3.4.	Berechnungsbeispiel	269
4.4.4.	Schraubenverbindungen	270
4.4.4.1.	Gewindearten	271
4.4.4.2.	Berechnung	273
4.4.4.3.	Schrauben, Muttern, Zubehör	277
4.4.4.4.	Konstruktive Gestaltung, Schraubensicherungen	280
4.4.4.5.	Berechnungsbeispiele	285
4.4.5.	Klemmverbindungen	288
4.4.6.	Renkverbindungen	290
	Literatur zum Abschnitt 4.4.	291
4.5.	Schachtelverbindungen	293
5.	Elektrische Verbindungen	296
5.1.	Funktion und Aufbau	296
5.2.	Stoffschlüssige Verbindungen	296
5.3.	Kraftschlüssige Verbindungen	299
5.3.1.	Quetsch- oder Crimp-Verbindungen	299
5.3.2.	Klemmverbindungen	299
5.3.2.1.	Schraubenklemmverbindungen	300
5.3.2.2.	Federklemmverbindungen	300
5.3.3.	Wickelverbindungen	304
	Literatur zum Abschnitt 5.	304
6.	Federn	306
6.1.	Grundlagen des Federentwurfs	308
6.1.1.	Vorgehen beim Entwurf	308
6.1.2.	Federkennlinie, Federarbeit	308
6.1.3.	Berechnungshilfen und Optimierung	310
6.2.	Berechnung	310
6.2.1.	Biegefedern	310
6.2.2.	Torsionsfedern	316
6.2.3.	Bimetallfedern (Thermobimetalle)	317
6.2.4.	Nichtmetallische Federn	319
6.2.4.1.	Gummifedern	319

6.2.4.2.	Kunststoff-, Glas-, Gas- und Flüssigkeitsfedern	320
6.2.5.	Federsysteme	320
6.3.	Werkstoffe	321
6.3.1.	Anforderungen	321
6.3.2.	Beanspruchungsgrenzen	323
6.3.3.	Verarbeitung	323
6.4.	Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	323
6.4.1.	Gestaltungsgrundsätze	323
6.4.2.	Ausführungsformen	324
6.5.	Betriebsverhalten von Feder-Masse-Systemen	329
6.5.1.	Belastungs-Zeit-Verhalten	329
6.5.2.	Schwingend belastete Feder, Eigenfrequenz	329
6.5.3.	Feder unter Stoßbelastung	329
6.5.4.	Einflußgrößen	329
6.5.5.	Federantriebe	330
6.6.	Berechnungsbeispiele	331
	Literatur zum Abschnitt 6.	333
7.	Achsen und Wellen, Wellendichtungen	336
7.1.	Beanspruchungen	337
7.2.	Entwurfsberechnung	337
7.2.1.	Überschlägliche Bestimmung des Achsendurchmessers	338
7.2.2.	Überschlägliche Bestimmung des Wellendurchmessers	338
7.3.	Nachrechnung	339
7.3.1.	Nachrechnung der vorhandenen Spannungen	339
7.3.2.	Nachrechnung der Verformung	341
7.3.3.	Schwingungsberechnung	342
7.4.	Konstruktive Gestaltung, Werkstoffe	343
7.4.1.	Konstruktive Gestaltung	343
7.4.1.1.	Grundform von Achsen und Wellen	343
7.4.1.2.	Sonderformen	344
7.4.2.	Werkstoffe	345
7.5.	Welle-Nabe-Verbindungen	345
7.5.1.	Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	345
7.5.2.	Kraftschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	347
7.6.	Wellendichtungen	347
7.6.1.	Dichtungen für Drehbewegungen	347
7.6.2.	Dichtungen für Längsbewegungen	349
7.6.3.	Dichtungen für Dreh- und Längsbewegungen bei unterschiedlichen Drücken (Vakuumdichtungen)	349
7.6.4.	Dichtungen für Längs-, Winkel- und Drehbewegungen ohne Stopfbuchse (für Vakuum)	351
	Literatur zum Abschnitt 7.	352

8.	Lager und Führungen	353
8.1.	Grundlagen zu Reibung und Verschleiß	353
8.2.	Lager	356
8.2.1.	Hydrodynamische Gleitlager	357
8.2.1.1.	Berechnung	358
8.2.1.2.	Konstruktive Gestaltung	360
8.2.1.3.	Werkstoffe	361
8.2.2.	Sintermetall-Lager	362
8.2.3.	Verschleißlager mit zylindrischen Zapfen	363
8.2.3.1.	Berechnung	364
8.2.3.2.	Konstruktive Gestaltung	366
8.2.3.3.	Werkstoffe	367
8.2.3.4.	Kunststoffgleitlager	370
8.2.3.5.	Kunstkohlegleitlager	371
8.2.4.	Lager mit kegelförmigen Zapfen	372
8.2.4.1.	Berechnung	372
8.2.4.2.	Konstruktive Gestaltung	373
8.2.5.	Axialgleitlager	373
8.2.5.1.	Planspurlager (Ringspurlager)	373
8.2.5.2.	Kugelspurlager	374
8.2.6.	Spitzenlager	375
8.2.6.1.	Berechnung	375
8.2.6.2.	Konstruktive Gestaltung	378
8.2.6.3.	Werkstoffe	379
8.2.7.	Stoßsicherungen	379
8.2.8.	Wälzlager	380
8.2.8.1.	Aufbau und Eigenschaften	380
8.2.8.2.	Ausführungsformen, Anwendung	380
8.2.8.3.	Berechnung	385
8.2.8.4.	Einbaurichtlinien	388
8.2.9.	Schneidenlager	390
8.2.9.1.	Berechnung	391
8.2.9.2.	Konstruktive Gestaltung	391
8.2.9.3.	Werkstoffe	392
8.2.10.	Federlager	392
8.2.10.1.	Biegefedergelenke	393
8.2.10.2.	Torsionsfedergelenke	394
8.2.11.	Strömungslager (Luftlager)	395
8.2.11.1.	Berechnung	397
8.2.11.2.	Konstruktive Gestaltung	399
8.2.11.3.	Werkstoffe	400
8.2.12.	Magnetlager	400
8.2.12.1.	Wirkprinzip	400
8.2.12.2.	Luftspaltlager	400
8.2.12.3.	Magnetisch entlastete Lager	402
8.2.12.4.	Magnetflüssigkeitslager	403
8.2.13.	Berechnungsbeispiele	404
	Literatur zu den Abschnitten 8.1. und 8.2.	406
8.3.	Führungen	407
8.3.1.	Bauarten, Eigenschaften, Konstruktionsgrundsätze	407
8.3.2.	Gleitführungen	409
8.3.2.1.	Verkanten von Führungen	409

8.3.2.2.	Zwangsfreie Führungen	411
8.3.2.3.	Bauarten von Gleitführungen	411
8.3.3.	Wälzführungen	415
8.3.3.1.	Grundlagen	415
8.3.3.2.	Bauarten von Wälzführungen	415
8.3.4.	Federführungen	419
8.3.4.1.	Bauarten und Eigenschaften	419
8.3.4.2.	Bewegungsverhalten	420
8.3.4.3.	Konstruktive Gestaltung	423
8.3.5.	Strömungsführungen (Luftführungen)	425
8.3.5.1.	Bauarten von Luftführungen	425
8.3.5.2.	Auslegung und Eigenschaften von Luftführungen	426
8.3.5.3.	Konstruktionshinweise	427
8.3.6.	Entlastete Führungen	428
8.3.7.	Geradführungen mit Hilfe von Getrieben	429
8.3.8.	Berechnung und Werkstoffwahl	431
	Literatur zum Abschnitt 8.3.	433
8.4.	Schmierung	434
8.4.1.	Schmierstoffe	434
8.4.1.1.	Schmieröle	435
8.4.1.2.	Schmierfette	437
8.4.1.3.	Festkörperschmierstoffe	437
8.4.2.	Reibungs- und verschleißmindernde Schichten	438
8.4.3.	Schmiervverfahren	441
	Literatur zum Abschnitt 8.4.	444
9.	Gehemme und Gesperre	445
9.1.	Gehemme	446
9.1.1.	Formgehemme (Rastungen)	446
9.1.1.1.	Berechnung	447
9.1.1.2.	Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	449
9.1.2.	Reibgehemme (Klemmungen)	451
9.1.2.1.	Berechnung	452
9.1.2.2.	Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	452
9.2.	Gesperre	455
9.2.1.	Formgesperre	455
9.2.1.1.	Berechnung	456
9.2.1.2.	Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	456
9.2.2.	Reibgesperre	460
9.2.2.1.	Berechnung	460
9.2.2.2.	Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	461
	Literatur zum Abschnitt 9.	462
10.	Anschläge, Bremsen und Dämpfer	463
10.1.	Anschläge	464
10.1.1.	Bauarten und Eigenschaften	464
10.1.2.	Berechnung	465
10.1.3.	Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	465
10.1.4.	Betriebsverhalten	469
10.1.5.	Berechnungsbeispiele	469

10.2. Bremsen	470
10.2.1. Bauarten und Eigenschaften	470
10.2.2. Berechnung	471
10.2.3. Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	473
10.2.4. Betriebsverhalten	476
10.2.5. Berechnungsbeispiele	477
10.3. Dämpfer	478
10.3.1. Bauarten und Eigenschaften	478
10.3.2. Berechnung	480
10.3.3. Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	481
10.3.4. Betriebsverhalten spezieller Dämpfer, Berechnungsbeispiel	484
Literatur zum Abschnitt 10.	485
11. Kupplungen	487
11.1. Bauarten, Eigenschaften und Anwendung	488
11.2. Feste Kupplungen	488
11.2.1. Berechnung	489
11.2.2. Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	490
11.2.3. Betriebsverhalten	491
11.3. Ausgleichkupplungen	492
11.3.1. Berechnung	492
11.3.2. Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	492
11.3.3. Betriebsverhalten	498
11.4. Schaltbare Kupplungen	500
11.4.1. Berechnung	500
11.4.2. Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	502
11.4.3. Betriebsverhalten	507
11.5. Selbstschaltende Kupplungen	509
11.5.1. Berechnung	509
11.5.2. Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	510
11.5.3. Betriebsverhalten	514
11.6. Werkstoffe	514
11.7. Berechnungsbeispiele	516
Literatur zum Abschnitt 11.	518
12. Spann-, Schritt- und Sprungwerke	521
12.1. Spannwerke	521
12.1.1. Sperrspannwerke	521
12.1.2. Kippspannwerke	523
12.2. Schrittwerke	524
12.3. Sprungwerke	526
12.3.1. Sperrsprungwerke	526
12.3.2. Kippsprungwerke	529

12.4. Hinweise zur Dimensionierung, Beispiele	531
Literatur zum Abschnitt 12.	532
13. Getriebe	533
13.1. Einteilung der Getriebe	533
Literatur zum Abschnitt 13.1.	537
13.2. Zahnradgetriebe – Übersicht	538
13.2.1. Übersetzung, Zähnezahlnverhältnis, Momentenverhältnis	538
13.2.2. Allgemeine Verzahnungsgeometrie	540
13.2.2.1. Grundgesetze der Verzahnung	540
13.2.2.2. Konstruktion von Gegenprofil und Eingriffslinie	541
13.2.2.3. Zahnfußflanke, relative Kopfbahn und unbrauchbare Flanken- abschnitte	542
13.2.2.4. Bezeichnungen und Bestimmungsgrößen an Zahnrädern	542
13.2.3. Bauformen von Zahnradgetrieben	543
13.3. Stirnradgetriebe mit nichtevolventischer Verzahnung	546
13.3.1. Zykloidenverzahnung	547
13.3.1.1. Zahnform	547
13.3.1.2. Eingriffsverhältnisse und Überdeckung	547
13.3.1.3. Tragfähigkeit, Eigenschaften und Anwendung	547
13.3.2. Triebstockverzahnung	549
13.3.2.1. Zahnform	549
13.3.2.2. Eingriffsverhältnisse und Überdeckung	549
13.3.2.3. Tragfähigkeit, Eigenschaften und Anwendung	550
13.3.3. Kreisbogenverzahnung (Pseudozykloidenverzahnung, Uhrwerkver- zahnung)	550
13.3.3.1. Zahnformen	550
13.3.3.2. Eingriffsverhältnisse und Überdeckung	552
13.3.3.3. Tragfähigkeit, Eigenschaften und Anwendung	553
Literatur zum Abschnitt 13.3.	554
13.4. Stirnradgetriebe mit Evolventenverzahnung	555
13.4.1. Zahnform	558
13.4.2. Bezugsprofil und Verzahnungsgrößen	560
13.4.3. Eingriffsverhältnisse und Überdeckung	562
13.4.4. Unterschnitt und Grenzzähnezahl	564
13.4.5. Profilverschobene Verzahnung	565
13.4.6. Schrägverzahnung	570
13.4.7. Innenverzahnung	574
13.4.8. Grenzen der Verzahnungsgeometrie, extrem kleine Zähnezahlen ..	574
13.4.9. Hochübersetzende Stirnradgetriebe, Umlaufrädergetriebe	576
13.4.9.1. Stirnradstandgetriebe	577
13.4.9.2. Umlaufrädergetriebe	579
13.4.10. Verzahnungstoleranzen und Getriebepassungen, Zeichnungsangaben	583
13.4.10.1. Verzahnungstoleranzen	584
13.4.10.2. Getriebepassungen	585
13.4.10.3. Zeichnungsangaben	588
13.4.11. Tragfähigkeitsberechnung	588
13.4.11.1. Begriffe der Tragfähigkeit	588
13.4.11.2. Zahnkräfte	589
13.4.11.3. Entwurfsberechnung	590
13.4.11.4. Nachrechnung der Zahnfußtragfähigkeit	591

13.4.11.5.	Nachrechnung der Zahnflankentragfähigkeit	593
13.4.11.6.	Berechnung von Kunststoffzahnradern	595
13.4.12.	Zahnradwerkstoffe, Schmierung	599
13.4.13.	Konstruktive Gestaltung, spielfreie Verzahnung	600
13.4.14.	Betriebsverhalten	605
13.4.14.1.	Drehwinkelübertragungsabweichung	605
13.4.14.2.	Verlustleistung und Wirkungsgrad	606
13.4.14.3.	Geräuschverhalten	608
13.4.15.	Herstellung der Zahnräder	609
13.4.16.	Berechnungsbeispiele	612
	Literatur zu den Abschnitten 13.2. und 13.4.	616
13.5.	Schraubenstirnradgetriebe	619
13.5.1.	Geometrische Beziehungen	620
13.5.2.	Eingriffsverhältnisse und Überdeckung	621
13.5.3.	Profilverschiebung	623
13.5.4.	Tragfähigkeitsberechnung	623
13.5.5.	Werkstoffe, Schmierung, Gestaltung, Toleranzen	625
13.5.6.	Verlustleistung und Wirkungsgrad	625
13.5.7.	Berechnungsbeispiel	626
	Literatur zum Abschnitt 13.5.	627
13.6.	Schneckengetriebe	628
13.6.1.	Paarungsarten und Flankenformen	629
13.6.2.	Geometrische Beziehungen	633
13.6.3.	Eingriffsverhältnisse und Überdeckung	635
13.6.4.	Tragfähigkeitsberechnung	636
13.6.5.	Werkstoffe, Schmierung, Gestaltung, Toleranzen	637
13.6.6.	Verlustleistung und Wirkungsgrad	639
13.6.7.	Berechnungsbeispiel	640
	Literatur zum Abschnitt 13.6.	642
13.7.	Kegelrad- und Kronenradgetriebe	642
13.7.1.	Kegelradgetriebe mit Geradverzahnung	644
13.7.1.1.	Geometrische Beziehungen	645
13.7.1.2.	Profilverschiebung	647
13.7.1.3.	Eingriffsverhältnisse und Überdeckung	647
13.7.1.4.	Tragfähigkeitsberechnung	648
13.7.1.5.	Werkstoffe, Schmierung, Gestaltung, Toleranzen	648
13.7.1.6.	Verlustleistung und Wirkungsgrad	649
13.7.2.	Kronenradgetriebe	649
	Literatur zum Abschnitt 13.7.	650
13.8.	Reibkörpergetriebe	651
13.8.1.	Bauarten, Eigenschaften und Anwendung	652
13.8.2.	Berechnung	653
13.8.2.1.	Geometrische Beziehungen und Geschwindigkeiten	653
13.8.2.2.	Kräfte und Tragfähigkeit	655
13.8.3.	Werkstoffe, Schmierung	656
13.8.4.	Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	658
13.8.5.	Betriebsverhalten	663
13.8.6.	Berechnungsbeispiel	664
	Literatur zum Abschnitt 13.8.	665

13.9. Zugmittelgetriebe	666
13.9.1. Bauarten	667
13.9.2. Seil-, Band- und Flachriemengetriebe	669
13.9.2.1. Eigenschaften und Anwendung	669
13.9.2.2. Berechnung	669
13.9.2.3. Zugmittelarten, Werkstoffe	674
13.9.2.4. Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	675
13.9.2.5. Verlustleistung und Wirkungsgrad	680
13.9.3. Keilriemen- und Rundriemengetriebe	680
13.9.3.1. Eigenschaften und Anwendung	681
13.9.3.2. Berechnung	681
13.9.3.3. Zugmittelarten, Werkstoffe	684
13.9.3.4. Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	684
13.9.3.5. Verlustleistung und Wirkungsgrad	686
13.9.4. Zahnriemengetriebe	686
13.9.4.1. Eigenschaften und Anwendung	686
13.9.4.2. Berechnung	686
13.9.4.3. Zahnriemenarten, Werkstoffe, Schmierung	690
13.9.4.4. Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	692
13.9.4.5. Betriebsverhalten	696
13.9.5. Kettengertriebe	697
13.9.5.1. Eigenschaften und Anwendung	697
13.9.5.2. Berechnung	698
13.9.5.3. Kettenarten, Werkstoffe, Schmierung	700
13.9.5.4. Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	702
13.9.5.5. Verlustleistung und Wirkungsgrad	704
13.9.6. Berechnungsbeispiel	705
Literatur zum Abschnitt 13.9.	706
13.10. Schraubengertriebe	708
13.10.1. Bauarten, Eigenschaften und Anwendung	709
13.10.2. Berechnung	709
13.10.2.1. Kinematik und geometrische Beziehungen	709
13.10.2.2. Kräfte und Tragfähigkeit	711
13.10.3. Werkstoffe, Schmierung	712
13.10.4. Konstruktive Gestaltung, Ausführungsformen	712
13.10.4.1. Gleitschraubengertriebe	712
13.10.4.2. Wälzschraubengertriebe	719
13.10.4.3. Wälzmutter	720
13.10.5. Wirkungsgrad	720
13.10.6. Berechnungsbeispiel	721
Literatur zum Abschnitt 13.10.	722
13.11. Koppelgetriebe	723
13.11.1. Bauarten, Eigenschaften und Anwendung	723
13.11.1.1. Koppelgetriebe mit vier Gliedern	724
13.11.1.2. Mehrgliedrige Koppelgetriebe	725
13.11.2. Berechnung	726
13.11.3. Konstruktive Gestaltung, Werkstoffe	726
13.11.4. Betriebsverhalten	727
13.11.5. Berechnungsbeispiele	727
13.12. Kurvengetriebe	729
13.12.1. Bauarten, Eigenschaften und Anwendung	729
13.12.2. Berechnung, konstruktive Gestaltung, Betriebsverhalten	731
Literatur zu den Abschnitten 13.11. und 13.12.	734

14. Mikromechanik	736
14.1. Charakteristik der Mikromechanik	736
14.2. Werkstoffe der Mikromechanik	738
14.3. Mikromechanische Fertigungsverfahren	740
14.3.1. Spezielle Verfahrensschritte und Standardtechnologien	740
14.3.1.1. Zweiseitenzuordnung	741
14.3.1.2. Tiefenätzverfahren	742
14.3.1.3. Herstellung isolierender Schichten	746
14.3.1.4. Verbindungsverfahren (Wafer-Bonden)	748
14.3.2. Mikromechanische Formgebungsverfahren	749
14.3.2.1. Ätzverfahren	749
14.3.2.2. Surface Micromachining (Opferschichtverfahren)	749
14.3.2.3. LIGA-Verfahren	750
14.3.2.4. Mikromechanische Grundformen	751
14.4. Entwicklung mikromechanischer Funktionsgruppen	751
14.5. Mikromechanische Konstruktionselemente	752
Literatur zum Abschnitt 14.	754
Sachwörterverzeichnis	758