Taschenbuch der technischen Formeln

herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. habil. Karl-Friedrich Fischer

Mit 850 Bildern

Fachbuchverlag Leipzig
im Carl Hanser Verlag

Inhaltsverzeichnis

Größen und Einheiten 20

Mathematik 25

1 Elementarmathematik ... 25
1.1 Arithmetik ... 25
1.2 Vektoralgebra und lineare Algebra ... 29

2 Funktionen ... 36
2.1 Algebraische Funktionen ... 36
2.2 Transzendente Funktionen ... 39

3 Gleichungen ... 43
3.1 Polynomgleichungen, Wurzelgleichungen, transzendente Gleichungen ... 43
3.2 Numerische Lösungsverfahren ... 44

4 Geometrie ... 45
4.1 Planimetrie ... 45
4.2 Stereometrie ... 48
4.3 Trigonometrie ... 51

5 Analytische Geometrie ... 52
5.1 Analytische Geometrie der Ebene ... 52
5.2 Analytische Geometrie des Raumes ... 57

6 Differentialrechnung für Funktionen einer Variablen ... 58
6.1 Differenzen- und Differenzialquotient, Differential ... 58
6.2 Differentationsregeln ... 59
6.3 Tabelle der Ableitungen elementarer Funktionen ... 59
6.4 Untersuchung von Funktionen ... 60

7 Diff.-rechnung für Funktionen mehrerer Variablen ... 61

8 Fehlerrechnung ... 62

9 Integralrechnung für Funktionen einer Variablen ... 63
9.1 Unbestimmtes Integral ... 63
9.2 Bestimmtes Integral ... 64
9.3 Grundintegrale ... 64
9.4 Integrationsmethoden ... 65
9.5 Einige ausgewählte Integrale ... 67
9.6 Numerische Integration ... 69
9.7 Anwendungen der Integralrechnung ... 70

10 Unendliche Reihen ... 71

10.1 Potenzreihen ... 71
10.2 Fourier-Reihen ... 73

11 Gewöhnliche Differentialgleichungen ... 76
11.1 Differentialgleichungen 1. Ordnung ... 76
11.2 Lineare Differentialgleichungen n-ter Ordnung mit konstanten Koeffizienten ... 77

12 Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik ... 79
12.1 Ereignisse, Ereignisalgebra ... 79
12.2 Wahrscheinlichkeit ... 79
12.3 Zufallsvariable und Verteilungsfunktion ... 80
12.4 Spezielle diskrete Verteilungen ... 82
12.5 Spezielle stetige Verteilungen ... 82
12.6 Elementare Statistik ... 85

Technische Informatik **86**

1 Codierungstheorie ... 86
1.1 Theoretische Grundlagen ... 86
1.2 Codesicherungverfahren ... 87
1.3 Spezielle Codes ... 87

2 Zahlendarstellung ... 89
2.1 Binäre Zahlendarstellung im Festkommaformat ... 89
2.2 Darstellung negativer Zahlen ... 89
2.3 Binäre Zahlendarstellung im Gleitpunktformat ... 90
2.4 Gleitpunktdarstellung im IEEE-Format ... 90

3 Schaltalgebra ... 91
3.1 Eigenschaften der Schaltalgebra ... 91
3.2 Rechenregeln ... 91

4 Digitale Grundschaltungen ... 92
4.1 Schaltzeichen ... 92
4.2 Flipflops ... 93
4.3 Endliche Automaten ... 93
4.4 Arithmetische Komponenten ... 94

5 Schaltungstechnik ... 96
5.1 Bipolartechnologien ... 96
5.2 MOS-Technologien ... 97
5.3 Weitere Technologien ... 98

6 Speicher ... 98
6.1 ROM (Read Only Memory/Nur-Lesespeicher) ... 99
6.2 RAM (Random Access Memory/Schreib-Lese-Speicher) . 100

7 Mikrorechner ... 102
7.1 Prinzipieller Aufbau ... 102
7.2 Speicherhierarchie ... 103

8 ASIC ... 104
8.1 Programmierbare Schaltungen ... 104
8.2 Semikunden-IC ... 106

Physik **107**

1 Kinematik ... 107
1.1 Geradlinige Bewegung ... 107
1.2 Bewegung in der Ebene ... 108

2 Dynamik ... 110
2.1 Newtonsche Axiome ... 110
2.2 Translation ... 112
2.3 Rotation ... 115

3 Schwingungen und Wellen ... 117
3.1 Freie ungedämpfte Schwingungen ... 117
3.2 Gedämpfte Schwingungen ... 119
3.3 Erzwungene Schwingungen ... 120
3.4 Überlagerung von Schwingungen ... 121
3.5 Wellenausbreitung ... 122
3.6 Überlagerung von Wellen ... 124

4 Schallwellen/Akustik ... 126
4.1 Beschreibung von Schallwellen ... 126
4.2 Schallfeldgrößen ... 127
4.3 Bewertung der Schallintensität ... 128
4.4 Doppler-Effekt ... 128

5 Mechanik der Flüssigkeiten und Gase ... 128
5.1 Ruhende Flüssigkeiten und Gase ... 128
5.2 Strömende Flüssigkeiten und Gase ... 129

6 Optik ... 132
6.1 Ausbreitung des Lichtes ... 132
6.2 Reflexion und Brechung ... 132
6.3 Optische Abbildung ... 134
6.4 Interferenz ... 137
6.5 Beugung ... 139
6.6 Optische Instrumente ... 140
6.7 Polarisation ... 142
6.8 Strahlung und Photometrie ... 144

7 Atomphysik ... 145
7.1 Beschreibungsgrößen ... 145
7.2 Welle-Teilchen-Dualismus ... 146
7.3 Atommodelle ... 148
7.4 Röntgenstrahlen ... 152
7.5 Laser ... 153

8 Radioaktivität ... 154
8.1 Atomkerne ... 154
8.2 Massendefekt und Bindungsenergie ... 156
8.3 Radioaktivität ... 157
8.4 Radioaktive Strahlung ... 158
8.5 Dosimetrie ... 162

9 Physikalische Konstanten ... 163

Technische Mechanik **165**

1 Statik ... 165
1.1 Ebenes, zentrales Kraftsystem ... 165
1.2 Ebenes, allgemeines Kraftsystem ... 166
1.3 Räumliches Kraftsystem ... 169
1.4 Modelle starrer Körper ... 171
1.5 Modelle von Lager- und Verbindungsarten ... 172
1.6 Modelle der Belastung ... 173
1.7 Ebene Tragwerke ... 175
1.8 Schnittreaktionen ... 177
1.9 Reibung ... 179

2 Festigkeitslehre ... 182
2.1 Schwerpunktsberechnung ... 182
2.2 Flächenträgheitsmomente ... 183
2.3 Grundlagen ... 191
2.4 Zug/Druck-Beanspruchung ... 197
2.5 Biegung ... 200
2.6 Torsion ... 206
2.7 Querkraftschub ... 210
2.8 Zusammengesetzte Beanspruchung ... 213
2.9 Formänderungsenergien ... 215
2.10 Satz von Castigliano ... 217
2.11 Mehrachsige Spannungszustände ... 218
2.12 Stabilitätsprobleme ... 224

3 Kinematik ... 226
3.1 Kinematik des Punktes ... 226
3.2 Kinematik des starren Körpers ... 229

4	Kinetik	231
4.1	Kinetik des Massenpunktes	231
4.2	Kinetik des Massenpunktsystems	234
4.3	Rotation des starren Körpers um feste Achse	235
4.4	Massenträgheitmomente	237
4.5	Mechanische Größen bei Translation und Rotation	240
4.6	Ebene Bewegung eines starren Körpers	241
4.7	Ebene Bewegung eines Systems starrer Körper	242
4.8	Stoßprobleme	243
4.9	Mechanische Schwingungen	245
Werkstofftechnik		**250**
1	Grundlagen	250
1.1	Übersicht zu den Werkstoffgruppen	250
1.2	Festkörperstrukturen als Basis der Werkstoffeigenschaften	250
1.3	Struktur und Eigenschaften der Metalle	251
1.4	Struktur und Eigenschaften der Kunststoffe	252
1.5	Struktur und Eigenschaften der Keramiken und Gläser	253
1.6	Legierungsbildung von Metallen (Kristalliner Aufbau)	254
1.7	Zustandsschaubilder binärer Systeme	255
2	Wärmebehandlung	257
2.1	Technologischer Ablauf der Wärmebehandlung	257
2.2	Wärmebehandlung der Stähle	257
2.3	Wärmebehandlung der Nichteisenmetalle (Ausscheidungshärten)	258
3	Werkstoffkennzeichnung	259
3.1	Bezeichnung der Stähle mit Kurznamen	259
3.2	Bezeichnung der Stähle mit Werkstoffnummern	260
3.3	Bezeichnung der Eisengußwerkstoffe	260
3.4	Bezeichnung der Nichteisenmetalle (Kurznamen, Werkstoffnummern)	260
3.5	Bezeichnung der Polymerwerkstoffe (Kurzzeichen)	261
3.6	Bezeichnung der Keramiken und Gläser (Kurzzeichen)	261
4	Ausgewählte Werkstoffgruppen	261
4.1	Eisenwerkstoffe	261
4.2	Nichteisenmetalle	263
4.3	Technische Keramik	264
5	Werkstoffprüfung	264
5.1	Ermittlung von Festigkeits- und Zähigkeitskenngrößen	264
5.2	Härtemessung	269

5.3 Bruchmechanik ... 272
5.4 Technologische Prüfverfahren ... 272
5.5 Ultraschallprüfung ... 274
5.6 Magnetinduktive Prüfverfahren (Wirbelstromverfahren) . 275
5.7 Magnetische Prüfverfahren ... 276
5.8 Radiographische Prüfverfahren ... 276
5.9 Penetrationsverfahren ... 277
5.10 Elektrische Prüfverfahren (Potentialsondenverfahren) ... 278
5.11 Gefügeuntersuchung ... 279

6 Qualitätsmanagement ... 280
6.1 Begriffe, Definitionen ... 280
6.2 Qualitätsmanagementsystem ... 281
6.3 Modell für die Auswertung von Prüfergebnissen ... 283
6.4 Statistische Prozeßregelung ... 284
6.5 Stichprobensysteme ... 285

Technische Thermodynamik **287**

1 Umrechnungen und Stoffwerte ... 287
1.1 Umrechnungen ... 287
1.2 Stoffwerte wichtiger technischer Gase ... 287

2 Thermisches Verhalten idealer und perfekter Gase ... 288

3 Erster Hauptsatz der Thermodynamik ... 288
3.1 Erster Hauptsatz für das geschlossene, ruhende System . 288
3.2 Erster Hauptsatz für das durchströmte System ... 290

4 Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik ... 291

5 Zustandsänderungen perfekter und idealer Gase ... 293
5.1 Isobare Zustandsänderungen ($p = \text{const}$, $\mathrm{d}p = \Delta p = 0$) .. 294
5.2 Isotherme Zustandsänderung ($T = \text{const}$, $\mathrm{d}T = \Delta T = 0$) 294
5.3 Isochore oder inkompressible Zustandsänderung ($v = \frac{1}{\varrho} = \text{const}$, $\mathrm{d}v = \Delta v = 0$) ... 295
5.4 Isentrope Zustandsänderung ($s = \text{const}$, $\mathrm{d}s = \Delta s = 0$) .. 296
5.5 Polytrope Zustandsänderung ... 297

6 Zustandsbeschreibung im Naßdampfgebiet ... 299

7 Arbeitsprozesse ... 300
7.1 Adiabate Expansion in einer Turbine ... 300
7.2 Verdichtungsprozeß ... 301

8 Kreisprozesse ... 302
8.1 Carnot-Prozeß ... 302

8.2 Idealer Otto-Prozeß ... 303
8.3 Idealer Diesel-Prozeß ... 303
8.4 Idealer Joule-Prozeß ... 304
8.5 Idealer Stirling-Prozeß ... 305
8.6 Rankine-Prozeß ... 305
8.7 Kombinierter Gas-Dampf-Prozeß ... 305
8.8 Kaltdampfprozeß ... 306

9 Gemische idealer Gase ... 307
9.1 Beschreibung von Gemischen ... 307
9.2 Thermisches Verhalten von Gemischen idealer Gase ... 308
9.3 Kalorisches Verhalten von Gemischen idealer Gase ... 308
9.4 Adiabate Mischungstemperaturen idealer Gase ... 309

10 Feuchte Luft ... 310
10.1 Bezeichnungen und Definitionen ... 310
10.2 Thermisches Verhalten feuchter Luft ... 310
10.3 Enthalpie der feuchten Luft ... 311
10.4 Mischung von zwei feuchten Luftmengen ... 312

Wärmetechnik **313**

1 Stationäre Wärmeleitung ... 313
1.1 Eindimensionale, stationäre Wärmeleitung ... 313
1.2 Stationäre Wärmeleitung in einer Rohrwand ... 313
1.3 Stationäre Wärmeleitung in einer Kugelschale ... 314

2 Konvektive Wärmeübertragung ... 314
2.1 Erzwungene Konvektion ... 315
2.2 Freie Konvektion ... 315

3 Wärmedurchgang ... 315
3.1 Ebenes, stationäres Problem ... 315
3.2 Zylindrisches, stationäres Problem ... 316
3.3 Kugelsymmetrisches, stationäres Problem ... 316
3.4 Überschlagsformeln ... 316

4 Rippenberechnung ... 317

5 Wärmeübertrager ... 317
5.1 Gleichstromwärmeübertrager ... 317
5.2 Gegenstromwärmeübertrager ... 317

6 Wärmestrahlung ... 318
6.1 Strahlung eines einzelnen Körpers ... 318
6.2 Strahlungsaustausch ... 318

Fluidmechanik 319

1 Physikalisches Verhalten der Fluide ... 319

2 Fluidstatik ... 319
2.1 Druck ... 319
2.2 Grundgleichung der Fluidstatik ... 319
2.3 Druckkräfte auf allgemeine Flächen ... 320
2.4 Anwendung der Grundgleichung auf kompressible Fluide 321

3 Fluiddynamik reibungsfreier Strömungen ... 321

4 Impulssatz ... 323

5 Reibungsbehaftete Rohrströmung ... 324

6 Widerstand eines umströmten Körpers ... 324

Elektrotechnik/Elektronik 325

1 Elektrostatisches Feld ... 325
1.1 Feldgrößen im elektrostatischen Feld ... 325
1.2 Kräfte auf Ladungen im elektrischen Feld ... 326
1.3 Kondensator ... 326
1.4 Energie im elektrostatischen Feld ... 328
1.5 Bewegung von Ladungen im elektrischen Feld ... 328

2 Elektrisches Strömungsfeld ... 329
2.1 Feldgrößen im elektrischen Strömungsfeld ... 329
2.2 Elektrischer Widerstand ... 329
2.3 Energie und Leistung im Strömungsfeld ... 336
2.4 Meßtechnik bei Gleichstrom ... 336

3 Magnetostatisches Feld (Permanentmagnete) ... 338
3.1 Feldgrößen im magnetostatischen Feld ... 338
3.2 Magnetischer Kreis mit Permanentmagnet ... 338

4 Magnetfeld konstanter Ströme ... 339
4.1 Feldgrößen im Magnetfeld konstanter Ströme ... 339
4.2 Kräfte im Magnetfeld ... 340
4.3 Induktivität, Gegeninduktivität ... 341
4.4 Energie im magnetischen Feld ... 342

5 Quasistationäres, elektromagnetisches Feld ... 342
5.1 Grundlegende Zusammenhänge bei periodischen Größen 342
5.2 Zusammenschaltung von Grundschaltelementen ... 345
5.3 Drehstrom ... 349
5.4 Leistung bei Wechsel- und Drehstrom ... 350
5.5 Induktionsgesetz ... 351

5.6 Schaltvorgänge ... 352
5.7 Kenngrößen von periodischen Vorgängen mit Oberwellenanteil ... 353
5.8 Meßtechnik bei Wechsel- und Drehstrom ... 354

6 Nichtstationäres elektromagnetisches Feld ... 356

7 Elektronik ... 357
7.1 Transistorgrundschaltungen ... 357
7.2 Vierpolparameter ... 359
7.3 Operationsverstärker ... 361
7.4 Gleichrichterschaltungen ... 364

8 Elektrische Maschinen ... 366
8.1 Transformatoren ... 366
8.2 Gleichstrommaschinen ... 370
8.3 Drehfeldmaschinen ... 371

9 Leistungselektronik ... 373

10 Antriebstechnik ... 373
10.1 Physikalische Zusammenhänge und das Antriebssystem ... 373
10.2 Betriebsarten ... 374

Regelungstechnik **377**

1 Grundbegriffe ... 377
1.1 Aufgabe der Regelung ... 377
1.2 Blockschaltbild eines Regelkreises ... 377
1.3 Testfunktionen ... 377
1.4 Darstellungsart ... 378

2 Mathematische Beschreibung von Regelkreisgliedern ... 379
2.1 Wärmebilanz ... 379
2.2 Allgemeine Lösung der o. a. DGL für Aufheiz- und Abkühlvorgang ... 379
2.3 Formelzeichen in der Regelungstechnik ... 380
2.4 P-T_1-Strecke mit üblichen Formelzeichen ... 380
2.5 Graphische Darstellungen ... 381
2.6 Zusammenschaltung von einzelnen Regelkreisgliedern ... 381
2.7 Übergang vom Frequenz- in den Zeitbereich mit Hilfe der Laplace-Transformation ... 386
2.8 Grenzwertsätze ... 388

3 Regeleinrichtungen ... 388
3.1 PID-Regler ... 388
3.2 Wirkung einzelner Reglerbausteine (im Regelfalle) ... 389

3.3 Führungs- und Störverhalten ... 390

4 Dämpfung ... 391
4.1 Polverteilung in der s-Ebene ... 391
4.2 Definition der Dämpfung ... 392

5 Stabilität ... 393
5.1 Stabilitätskriterium nach Hurwitz ... 393
5.2 Stabilitätskriterium von Nyquist ... 395
5.3 Vereinfachtes Nyquist-Kriterium ... 396
5.4 Phasenreserve, Stabilitätsgüte ... 397

6 Qualität einer Regelung ... 398
6.1 Beurteilung eines Regelvorganges nach Anregel-, Ausregelzeit und Überschwingungsweite ... 398
6.2 Lineare Regelfläche ... 398
6.3 Quadratische Regelfläche ... 399

7 Reglereinstellkriterien ... 399
7.1 Einstellregeln nach Ziegler/Nichols ... 399
7.2 Einstellregeln nach Chien/Hrones/Reswick ... 400

8 Kaskadenregelung, Unstetige Regler ... 401
8.1 Kaskadenregelung ... 401
8.2 Unstetige Regler ... 402

9 Stellwert- und Meßwertwandler ... 403

10 Abtastregelungen ... 403
10.1 z-Transformation ... 404
10.2 Einführung eines Haltegliedes ... 404
10.3 Anwendung der z-Transformation ... 405
10.4 Beschreibung von Strecken mit Totzeit ... 406
10.5 Wahl der Abtastperiode ... 407
10.6 Digitale PID-Regler ... 407
10.7 Digitale PI-Regler ... 408
10.8 Digitale P-Regler ... 408

11 Pole, Nullstellen und Stabilität bei Abtastregelungen ... 408
11.1 Stabilität von Regelkreisen ... 408
11.2 Bestimmung der Reglerparameter eines digitalen PID-Reglers durch Polvorgabe ... 409
11.3 Simulation von Regelstrecken ... 410

12 Systemidentifikation ... 410

13 Adaptive Regelung ... 411

14 Zustandsregelung ... 412

14.1 Strukturbild und Vektordifferenzengleichung eines Prozesses ... 412
14.2 Zustandsregler ... 414

Maschinenelemente **415**

1 Sicherheiten und zulässige Spannungen ... 415
1.1 Statische (zügige) Beanspruchung ... 415
1.2 Dynamische Beanspruchung ... 416

2 Schraubenverbindungen ... 421
2.1 Kräfte am Gewinde ... 421
2.2 Längsbeanspruchte vorgespannte Schrauben ... 422
2.3 Querbeanspruchte Schrauben ... 424

3 Bolzen- und Stiftverbindungen ... 425
3.1 Bolzenverbindungen ... 425
3.2 Stiftverbindungen ... 425

4 Welle-Nabe-Verbindungen ... 426
4.1 Paßfedern ... 426
4.2 Keilwellenverbindungen mit geraden Flanken ... 427
4.3 Preßverbindungen ... 427
4.4 Ringfeder-Spannverbindungen ... 429
4.5 Kegelverbindungen ... 430

5 Schweißverbindungen im Maschinenbau ... 430
5.1 Querschnittskennwerte ... 430
5.2 Nennspannungen in der Schweißnaht ... 431
5.3 Sicherheitsnachweis ... 432

6 Federn ... 433
6.1 Geschichtete Blattfedern ... 433
6.2 Drehstabfedern ... 434
6.3 Zylindrische Schraubendruckfedern ... 434
6.4 Tellerfedern ... 435

7 Achsen und Wellen ... 436
7.1 Biege- und Torsionsmomente ... 436
7.2 Spannungen ... 437
7.3 Dauer- und Gestaltfestigkeit ... 437
7.4 Formänderungen ... 438
7.5 Kritische Drehzahl ... 439

8 Radialgleitlager ... 440
8.1 Verschleißgleitlager ... 440
8.2 Hydrodynamische Lager ... 441

9 Wälzlager ... 445
9.1 Dynamische Tragfähigkeit ... 445
9.2 Statische Tragfähigkeit ... 447

10 Bewegungsschrauben ... 447
10.1 Spannungen ... 447
10.2 Wirkungsgrad ... 448
10.3 Knickung bei Druckspindeln ... 448

11 Keilriemengetriebe ... 449
11.1 Abmessungen ... 449
11.2 Leistungsberechnung ... 450
11.3 Kräfte im Keilriemengetriebe ... 450

12 Zahnriemengetriebe ... 451
12.1 Abmessungen ... 451
12.2 Leistungsberechnung ... 452

13 Rollenkettengetriebe ... 452
13.1 Abmessungen ... 452
13.2 Leistungsberechnung ... 452
13.3 Kräfte im Kettengetriebe ... 453

14 Kupplungen ... 454
14.1 Kupplungsdrehmoment ... 454
14.2 Torsionskritische Drehzahl ... 454
14.3 Wahl einer elastischen Kupplung ... 455
14.4 Wahl einer schaltbaren Reibkupplung ... 456

15 Stirnradgetriebe ... 457
15.1 Verzahnungsgeometrie und -kinematik ... 457
15.2 Kräfte am Stirnrad ... 461
15.3 Tragfähigkeit ... 462

16 Geradkegelradgetriebe ... 468
16.1 Verzahnungsgeometrie ... 468
16.2 Kräfte am Kegelrad ... 469
16.3 Tragfähigkeit ... 469

Energietechnik **470**

1 Dampferzeuger ... 470
1.1 Vereinfachte Energiebilanz am Dampferzeuger ... 470
1.2 Feuerungssysteme für feste Brennstoffe ... 470
1.3 Dimensionierung der Brennkammer von Dampferzeugern 473
1.4 Energieumwandlung im Feuerraum des Dampferzeugers . 474

2 Dampfturbinen ... 477

2.1 Energieumwandlung in der Turbinenstufe (Mittelschnittrechnung) ... 477
2.2 Kennwerte der Dampfturbine ... 481
2.3 Kennwerte des Dampfturbinen-Kraftwerksblockes ... 483

3 Gasturbinen- und Gas-Dampf-Anlagen ... 484
3.1 Aufbau einer Gasturbinenanlage (GTA) ... 484
3.2 Kennwerte des Gasturbinenprozesses ... 485
3.3 Zur Auslegung des Verdichters ... 486
3.4 Zur Auslegung der Gasturbine ... 487
3.5 Zur Auslegung der Brennkammer ... 487
3.6 Koppelung von Gas- und Dampfturbinenprozessen ... 487

4 Wasserturbinen ... 489
4.1 Zur Auslegung der (stets einstufigen) Wasserturbinen ... 489
4.2 Charakteristische Parameter der Wasserturbinen ... 490

5 Windturbinen ... 492
5.1 Zur Auslegung der Windturbinen ... 492
5.2 Bauarten und Einsatzbereiche ... 494

6 Turboverdichter (Kreiselverdichter) ... 496
6.1 Zur Auslegung der Verdichterstufe ... 496
6.2 Kennwerte des Verdichters ... 497

7 Kreiselpumpen (Turbopumpen) ... 498
7.1 Zur Auslegung der Pumpenstufe ... 498
7.2 Kennwerte der Pumpe ... 499
7.3 Kennwerte der Pumpenanlage ... 499

8 Verbrennungsmotoren ... 500
8.1 Kreisprozesse der Verbrennungsmotoren ... 500
8.2 Kennwerte des vollkommenen Motors ... 501
8.3 Kennwerte des realen Motors ... 502

9 Kolbenverdichter (Verdrängerverdichter) ... 504
9.1 Kennwerte der Stufen von Hubkolbenverdichtern ... 504
9.2 Kennwerte der Stufen von Umlaufkolbenverdichtern ... 505
9.3 Kennwerte des Kolbenverdichters ... 505

10 Kolbenpumpen (Verdrängerpumpen) ... 506
10.1 Kennwerte der Hubkolbenpumpen ... 506
10.2 Kennwerte der Umlaufkolbenpumpen ... 508
10.3 Kennwerte der Pumpenanlagen ... 508

11 Kältemaschinen und Wärmepumpen ... 508
11.1 Kennwerte von Kältemaschinen und Wärmepumpen ... 508

11.2 Hauptparameter unterschiedlicher Kältemaschinen(KM)- und Wärmepumpen(WP)-Bauarten ... 510
11.3 Zur Auslegung von Verdichter-Kältemaschinen (VKM) .. 512

Werkzeugmaschinen **514**

1 Drehzahlstufung ... 514
1.1 Arithmetische Drehzahlstufung ... 514
1.2 Geometrische Drehzahlstufung ... 515

2 Schaltbare Getriebe ... 520
2.1 Drehzahlbild, Getriebeplan, Kraftflußplan, Aufbaunetze . 520
2.2 Kombination stufenloser und gestufter Getriebe ... 522
2.3 Vorschubantrieb einer Drehmaschine mit Leit- und Zugspindel ... 523

3 Stufenlose Hauptantriebe von Werkzeugmaschinen ... 523
3.1 Erforderliche Motorleistung ... 523
3.2 Stufenlos regelbarer Motor mit Schaltgetriebe ... 524

4 Auslegung von Vorschubantrieben ... 526
4.1 Maximales Lastmoment ... 526
4.2 Erforderliche Drehzahl für Eilganggeschwindigkeit ... 527
4.3 Hochlaufzeit auf Eilganggeschwindigkeit ... 527

Fertigungstechnik **529**

1 Umformverfahren ... 529
1.1 Grundlagen ... 529
1.2 Druckumformen ... 531
1.3 Zug-Druck-Umformen ... 535
1.4 Biegeumformen ... 539

2 Trennen ... 540
2.1 Zerteilen ... 540
2.2 Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden ... 542
2.3 Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden ... 551

Literaturverzeichnis **558**

Sachwortverzeichnis **564**