

Inhaltsverzeichnis

Größen und Einheiten	18
Mathematik	24
1 Elementarmathematik	24
1.1 Arithmetik	24
1.2 Vektoralgebra und lineare Algebra	28
2 Funktionen	34
2.1 Algebraische Funktionen	34
2.2 Transzendente Funktionen	36
3 Gleichungen	40
3.1 Polynomgleichungen, Wurzelgleichungen, transzendente Gleichungen	40
3.2 Numerische Lösungsverfahren	41
4 Geometrie	42
4.1 Planimetrie	42
4.2 Stereometrie	45
4.3 Trigonometrie	48
5 Analytische Geometrie	49
5.1 Analytische Geometrie der Ebene	49
5.2 Analytische Geometrie des Raumes	53
6 Differenzialrechnung für Funktionen einer Variablen	55
6.1 Differenzen- und Differenzialquotient, Differenzial	55
6.2 Differenzierungsregeln	55
6.3 Tabelle der Ableitungen elementarer Funktionen	56
6.4 Untersuchung von Funktionen	56
7 Differenzialrechnung für Funktionen mehrerer Variablen	57
8 Fehlerrechnung	59
9 Integralrechnung für Funktionen einer Variablen	59
9.1 Unbestimmtes Integral	59
9.2 Bestimmtes Integral	60
9.3 Grundintegrale	60
9.4 Integrationsmethoden	61
9.5 Einige ausgewählte Integrale	62
9.6 Numerische Integration	64
9.7 Anwendungen der Integralrechnung	65
10 Unendliche Reihen	66
10.1 Potenzreihen	66
10.2 Fourier-Reihen	67
11 Gewöhnliche Differenzialgleichungen	70
11.1 Differenzialgleichungen 1. Ordnung	70
11.2 Lineare Differenzialgleichungen n -ter Ordnung mit konstanten Koeffizienten	71
12 Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik	73
12.1 Ereignisse, Ereignisalgebra	73
12.2 Wahrscheinlichkeit	73
12.3 Zufallsvariable und Verteilungsfunktion	74

12.4	Spezielle diskrete Verteilungen	75
12.5	Spezielle stetige Verteilungen	76
12.6	Elementare Statistik	78

Physik		80
1	Kinematik	80
1.1	Geradlinige Bewegung	80
1.2	Bewegung in der Ebene	81
2	Dynamik	83
2.1	Newton'sche Axiome	83
2.2	Translation	85
2.3	Rotation	87
3	Schwingungen und Wellen	90
3.1	Freie ungedämpfte Schwingungen	90
3.2	Gedämpfte Schwingungen	92
3.3	Erzwungene Schwingungen	92
3.4	Überlagerung von Schwingungen	93
3.5	Wellenausbreitung	94
3.6	Überlagerung von Wellen	96
4	Schallwellen/Akustik	98
4.1	Beschreibung von Schallwellen	98
4.2	Schallfeldgrößen	98
4.3	Bewertung der Schallintensität	99
4.4	Doppler-Effekt	99
5	Mechanik der Flüssigkeiten und Gase	100
5.1	Ruhende Flüssigkeiten und Gase	100
5.2	Strömende Flüssigkeiten und Gase	101
6	Wärme	102
6.1	Wärme und Temperatur	102
6.2	Kalorimetrie	103
6.3	1. Hauptsatz und Zustandsänderungen idealer Gase	104
7	Optik	108
7.1	Ausbreitung des Lichtes	108
7.2	Reflexion und Brechung	109
7.3	Optische Abbildung	110
7.4	Interferenz	113
7.5	Beugung	115
7.6	Optische Instrumente	116
7.7	Polarisation	117
7.8	Strahlung und Fotometrie	119
8	Atomphysik	120
8.1	Beschreibungsgrößen	120
8.2	Welle-Teilchen-Dualismus	121
8.3	Atommodelle	123
8.4	Röntgenstrahlen	126
8.5	Laser	128
9	Radioaktivität	128
9.1	Atomkerne	128
9.2	Massendefekt und Bindungsenergie	130

9.3	Radioaktivität	131
9.4	Radioaktive Strahlung	132
9.5	Dosimetrie	135
10	Physikalische Konstanten	136

Technische Mechanik 138

1	Statik	138
1.1	Ebenes, zentrales Kraftsystem	138
1.2	Ebenes, allgemeines Kraftsystem	139
1.3	Räumliches Kraftsystem	141
1.4	Modelle starrer Körper	143
1.5	Modelle von Lager- und Verbindungsarten	144
1.6	Modelle der Belastung	145
1.7	Ebene Tragwerke	146
1.8	Schnittreaktionen	148
1.9	Reibung	150
2	Festigkeitslehre	153
2.1	Schwerpunktberechnung	153
2.2	Flächenträgheitsmomente	154
2.3	Grundlagen	161
2.4	Zug/Druck-Beanspruchung	167
2.5	Biegung	170
2.6	Torsion	175
2.7	Querkraftschub	178
2.8	Zusammengesetzte Beanspruchung	180
2.9	Formänderungsenergien	183
2.10	Satz von Castigliano	184
2.11	Mehrachsiges Spannungszustände	185
2.12	Stabilitätsprobleme	190
3	Kinematik	192
3.1	Kinematik des Punktes	192
3.2	Kinematik des starren Körpers	194
4	Kinetik	196
4.1	Kinetik des Massenpunktes	196
4.2	Kinetik des Massenpunktsystems	199
4.3	Rotation des starren Körpers um feste Achse	200
4.4	Massenträgheitsmomente	201
4.5	Mechanische Größen bei Translation und Rotation	205
4.6	Ebene Bewegung eines starren Körpers	206
4.7	Ebene Bewegung eines Systems starrer Körper	207
4.8	Stoßprobleme	208
4.9	Mechanische Schwingungen	209

Werkstofftechnik 214

1	Grundlagen	214
1.1	Übersicht zu den Werkstoffgruppen	214
1.2	Festkörperstrukturen als Basis der Werkstoffeigenschaften	214
1.3	Struktur und Eigenschaften der Metalle	215

1.4	Struktur und Eigenschaften der Kunststoffe	216
1.5	Struktur und Eigenschaften der Keramiken und Gläser	217
1.6	Legierungsbildung von Metallen (Kristalliner Aufbau)	218
1.7	Zustandsschaubilder binärer Systeme	218
2	Wärmebehandlung	221
2.1	Technologischer Ablauf der Wärmebehandlung	221
2.2	Wärmebehandlung der Stähle	221
2.3	Wärmebehandlung der Nichteisenmetalle (Ausscheidungshärten)	222
3	Werkstoffkennzeichnung	223
3.1	Bezeichnung der Stähle mit Kurznamen	223
3.2	Bezeichnung der Stähle mit Werkstoffnummern	225
3.3	Bezeichnung für Gusseisen (Kurzzeichen, Werkstoffnummern)	225
3.4	Bezeichnung der Nichteisenmetalle (Kurznamen, Werkstoffnummern)	225
3.5	Bezeichnung der Polymerwerkstoffe (Kurzzeichen)	225
3.6	Bezeichnung der Keramiken und Gläser (Kurzzeichen)	226
4	Ausgewählte Werkstoffgruppen	226
4.1	Eisenwerkstoffe	226
4.2	Nichteisenmetalle	233
4.3	Technische Keramik	235
4.4	Kunststoffe	235
5	Werkstoffprüfung	236
5.1	Ermittlung von Festigkeits- und Zähigkeitskenngrößen	236
5.2	Härtemessung	240
5.3	Bruchmechanik	243
5.4	Technologische Prüfverfahren	244
5.5	Ultraschallprüfung	245
5.6	Wirbelstromprüfung	246
5.7	Magnetpulverprüfung	247
5.8	Radiographische Prüfverfahren	248
5.9	Eindringprüfung	249
5.10	Elektrische Prüfverfahren (Potenzialsondenverfahren)	249
5.11	Gefügeuntersuchung (Metallographie, Polymerographie, Keramographie)	250

Technische Thermodynamik

252

1	Umrechnungen und Stoffwerte	252
1.1	Umrechnungen, Konstanten	252
1.2	Stoffwerte wichtiger technischer Gase	252
2	Thermisches Verhalten idealer und perfekter Gase	253
3	Erster Hauptsatz der Thermodynamik	253
3.1	Erster Hauptsatz für das geschlossene, ruhende System	253
3.2	Erster Hauptsatz für das durchströmte System	255
4	Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	256
5	Zustandsänderungen perfekter und idealer Gase	258
5.1	Isobare Zustandsänderung ($p = \text{const}$, $dp = \Delta p = 0$)	258
5.2	Isotherme Zustandsänderung ($T = \text{const}$, $dT = \Delta T = 0$)	259
5.3	Isochore oder inkompressible Zustandsänderung ($v = \frac{1}{\rho} = \text{const}$, $dv = \Delta v = 0$)	260

5.4	Isentrope Zustandsänderung ($s = \text{const}$, $ds = \Delta s = 0$)	260
5.5	Polytrope Zustandsänderung	261
6	Zustandsbeschreibung im Nassdampfgebiet	263
7	Arbeitsprozesse	263
7.1	Adiabate Expansion in einer Gasturbine	263
7.2	Verdichtungsprozess eines Gases	264
8	Kreisprozesse	265
8.1	Carnot-Prozess	265
8.2	Idealer Otto-Prozess	266
8.3	Idealer Diesel-Prozess	267
8.4	Idealer Joule-Prozess	267
8.5	Idealer Stirling-Prozess	268
8.6	Clausius-Rankine-Prozess	268
8.7	Kombinierter Gas-Dampf-Prozess	269
8.8	Kaltdampfprozess	269
9	Gemische idealer Gase	270
9.1	Beschreibung von Gemischen	270
9.2	Thermisches Verhalten von Gemischen idealer Gase	271
9.3	Kalorisches Verhalten von Gemischen idealer Gase	271
9.4	Adiabate Mischungstemperaturen idealer Gase	272
10	Feuchte Luft	272
10.1	Bezeichnungen und Definitionen	272
10.2	Thermisches Verhalten feuchter Luft	273
10.3	Taupunkttemperatur	274
10.4	Enthalpie der feuchten Luft	274
10.5	Mischung von zwei feuchten Luftmengen	274

Wärmetechnik

276

1	Stationäre Wärmeleitung	276
1.1	Eindimensionale, stationäre Wärmeleitung	276
1.2	Stationäre Wärmeleitung in einer Rohrwand	276
1.3	Stationäre Wärmeleitung in einer Kugelschale	277
2	Konvektive Wärmeübertragung	277
2.1	Erzwungene Konvektion	278
2.2	Freie Konvektion	278
3	Wärmedurchgang	278
3.1	Ebenes, stationäres Problem	278
3.2	Zylindrisches, stationäres Problem	279
3.3	Kugelsymmetrisches, stationäres Problem	279
3.4	Temperaturänderung in einer Rohrleitung	279
4	Rippenberechnung	279
5	Wärmeübertrager	280
5.1	Gleichstromwärmeübertrager	280
5.2	Gegenstromwärmeübertrager	280
6	Wärmestrahlung	281
6.1	Strahlung eines einzelnen Körpers	281
6.2	Strahlungsaustausch	281

Fluidmechanik	282
1 Physikalisches Verhalten von Fluiden	282
2 Fluidstatik	282
2.1 Druck	282
2.2 Grundgleichung der Fluidstatik	283
2.3 Druckkräfte auf allgemeine Flächen	283
2.4 Normatmosphäre ($H = 0 \text{ km} - 11 \text{ km}$)	284
3 Fluidkinetik reibungsfreier Strömungen	284
3.1 Anwendung der Bernoulli-Gleichung auf inkompressible Fluide	284
3.2 Anwendung der Bernoulli-Gleichung auf kompressible Fluide	285
4 Impulssätze	286
5 Reibungsbehaftete Rohrströmung	286
6 Widerstand eines umströmten Körpers	287
Elektrotechnik/Elektronik	288
1 Elektrostatisches Feld	288
1.1 Feldgrößen im elektrostatischen Feld	288
1.2 Kräfte auf Ladungen im elektrischen Feld	289
1.3 Kondensator	289
1.4 Energie im elektrostatischen Feld	291
1.5 Bewegung von Ladungen im elektrischen Feld	291
2 Elektrisches Strömungsfeld	292
2.1 Feldgrößen im elektrischen Strömungsfeld	292
2.2 Elektrischer Widerstand	292
2.3 Energie und Leistung im Strömungsfeld	298
3 Magnetostatisches Feld (Permanentmagnete)	299
3.1 Feldgrößen im magnetostatischen Feld	299
3.2 Magnetischer Kreis mit Permanentmagnet	299
4 Magnetfeld konstanter Ströme	300
4.1 Feldgrößen im Magnetfeld konstanter Ströme	300
4.2 Kräfte im Magnetfeld	301
4.3 Induktivität, Gegeninduktivität	302
4.4 Energie im magnetischen Feld	303
5 Quasistationäres, elektromagnetisches Feld	303
5.1 Grundlegende Zusammenhänge bei periodischen Größen	303
5.2 Zusammenschaltung von Grundschaltelementen	305
5.3 Drehstrom	309
5.4 Leistung bei Wechsel- und Drehstrom	310
5.5 Induktionsgesetz	311
5.6 Schaltvorgänge	312
5.7 Kenngrößen von periodischen Vorgängen mit Oberwellenanteil	313
6 Nichtstationäres elektromagnetisches Feld	314
7 Elektronik	314
7.1 Transistorgrundschaltungen	314
7.2 Vierpolparameter	317
7.3 Operationsverstärker	318
8 Elektrische Maschinen	322
8.1 Transformatoren	322

8.2	Gleichstrommaschinen	325
8.3	Drehfeldmaschinen	326
9	Leistungselektronik	329
10	Antriebstechnik	331
10.1	Physikalische Zusammenhänge und Antriebssystem	331
10.2	Betriebsarten	332
 Regelungstechnik		 336
1	Grundbegriffe	336
1.1	Aufgabe der Regelung	336
1.2	Blockschaltbild eines Regelkreises	336
1.3	Testfunktionen	336
1.4	Darstellungsart	337
2	Mathematische Beschreibung von Regelkreisgliedern	338
2.1	Wärmebilanz	338
2.2	Allgemeine Lösung der o. a. DGL für Aufheiz- und Abkühlvorgang	338
2.3	Formelzeichen in der Regelungstechnik	339
2.4	P - T_1 -Strecke mit üblichen Formelzeichen	339
2.5	Grafische Darstellungen	340
2.6	Zusammenschaltung von einzelnen Regelkreisgliedern	340
2.7	Übergang vom Frequenz- in den Zeitbereich mithilfe der Laplace-Transformation	345
2.8	Grenzwertsätze	347
3	Regleinrichtungen	347
3.1	PID-Regler	347
3.2	Wirkung einzelner Reglerbausteine (im Regelfalle)	348
3.3	Führungs- und Störverhalten	349
4	Dämpfung	350
4.1	Polverteilung in der s -Ebene	350
4.2	Definition der Dämpfung	351
5	Stabilität	352
5.1	Beurteilung der Stabilität nach Polverteilung	352
5.2	Stabilitätsuntersuchung nach Nyquist	352
5.3	Vereinfachtes Nyquist-Kriterium	353
5.4	Phasenreserve, Stabilitätsgüte	354
6	Qualität einer Regelung	355
6.1	Beurteilung eines Regelvorganges nach Anregel-, Ausregelzeit und Überschwingungsweite	355
6.2	Lineare Regelfläche	355
6.3	Quadratische Regelfläche	355
7	Reglereinstellkriterien	356
7.1	Empirisches Verfahren	356
7.2	Einstellregeln nach Ziegler/Nichols	356
7.3	Einstellregeln nach Chien/Hrones/Reswick	357
8	Kaskadenregelung, unstetige Regler	358
8.1	Kaskadenregelung	358
8.2	Unstetige Regler	359
9	Stellwert- und Messwertwandler	360

10	Abtastregelungen	360
10.1	z -Transformation	361
10.2	Einführung eines Haltegliedes	361
10.3	Anwendung der z -Transformation	362
10.4	Beschreibung von Strecken mit Totzeit	363
10.5	Wahl der Abtastperiode	363
10.6	Digitale PID-Regler	363
10.7	Digitale PI-Regler	364
10.8	Digitale P-Regler	364
11	Pole, Nullstellen und Stabilität bei Abtastregelungen	367
11.1	Transformation der Pole von der s - in die z -Ebene	367
11.2	Stabilitätsuntersuchung von Regelkreisen bei Abtastregelungen	367
11.3	Bestimmung der Reglerparameter eines digitalen PID-Reglers durch Polvorgabe	368
11.4	Simulation von Regelstrecken	368
12	Systemidentifikation	369
13	Adaptive Regelung	370
14	Zustandsdarstellung	370
14.1	Strukturbild und Vektordifferenzgleichung eines Prozesses	370
14.2	Nichtsprungfähiges System	372
14.3	Sprungfähiges System	372
14.4	Reihenschaltung	373
14.5	Parallelschaltung (Mehrgrößensystem)	373
14.6	Rückführung (Strecke mit PID-Regler in der Rückführung)	375
14.7	Zustandsregelung	376

Messtechnik

379

1	Grundlagen	379
1.1	Einheiten	379
1.2	Strukturen	379
1.3	Statisches Verhalten	380
1.4	Dynamisches Verhalten	381
2	Messabweichung	381
2.1	Absolute und relative Abweichung	382
2.2	Systematische Abweichungen	383
2.3	Zufällige Abweichungen	384
3	Messgeräte	386
3.1	Analog arbeitende Messgeräte	386
3.2	Digital arbeitende Messgeräte	389
4	Widerstandsmessung	393
4.1	Gleichzeitige Spannungs- und Strommessung	393
4.2	Widerstandsmessung mit Multimeter	393
4.3	Widerstandsmessung durch Vergleich	394
4.4	Widerstandsmessbrücke	394
4.5	Ausschlagbrückenschaltung	397
5	Messung elektrischer Größen	398
5.1	Messung von Gleichgrößen	398
5.2	Messung von Wechselgrößen	400
5.3	Leistungsmessung	403

6	Messung nichtelektrischer Größen	406
6.1	Temperatur	406
6.2	Magnetfeld	408
6.3	Längen- und Wegmessung	408

Maschinenelemente **412**

1	Sicherheitsberechnung	412
1.1	Einzelbeanspruchungen	412
1.2	Dynamische Beanspruchungen	414
1.3	Zusammengesetzte Beanspruchungen	416
2	Schweißverbindungen	417
2.1	Geometrische Kenngrößen	417
2.2	Nahtbeanspruchungen	418
2.3	Nahtfestigkeiten und Sicherheitsnachweis	420
3	Schraubenverbindungen	422
3.1	Allgemeines	422
3.2	Kräfte im Gewinde	423
3.3	Momente in der Schraubenverbindung beim Schrauben der Mutter	424
3.4	Tragfähigkeit von Schraubenverbindungen	425
4	Welle-Nabe-Verbindungen	429
4.1	Passfedern	429
4.2	Keilwellenverbindungen	430
4.3	Klemmverbindungen	431
4.4	Kegelpressverbindung	432
4.5	Zylindrische Pressverbindungen	432
5	Federn	435
5.1	Zylindrische Schraubenfeder	436
5.2	Drehstabfeder	437
5.3	Rechteck- und Dreieckfeder	437
5.4	Blattfeder	438
5.5	Knicksicherheit	438
6	Stirnradgetriebe	439
6.1	Zahnkräfte für Schräg- und Geradverzahnungen (ohne Reibkräfte)	439
6.2	Zahnraddimensionierung – Grobentwurf	440
6.3	Zahnradgeometrie	441
6.4	Sicherheitsberechnung	442
7	Wälzlager	444
7.1	Statisch beanspruchte Lager	444
7.2	Dynamisch beanspruchte Lager	445
8	Tribologie	446
8.1	Reibkräfte	447
8.2	Kontaktflächen	447
8.3	Hertz'sche Theorie	448
9	Flanschdichtungen	449
10	Riemen- und Kettentriebe	451
10.1	Flachriementriebe	451
10.2	Synchronriementriebe (Zahnriementriebe)	453
10.3	Rollenkettentriebe	454

11 Kupplungen und Bremsen	456
11.1 Kupplungstorsionsmoment	456
11.2 Nichtschaltbare Kupplungen	457
11.3 Schaltbare Kupplungen	459

Energietechnik **460**

1 Dampferzeuger	460
1.1 Vereinfachte Energiebilanz am Dampferzeuger	460
1.2 Feuerungssysteme für feste Brennstoffe	460
1.3 Dimensionierung der Brennkammer von Dampferzeugern	462
1.4 Energieumwandlung im Feuerraum des Dampferzeugers	464
2 Dampfturbinen	467
2.1 Energieumwandlung in der Turbinenstufe (Mittelschnittrechnung)	467
2.2 Kennwerte der Dampfturbine	471
2.3 Kennwerte des Dampfturbinen-Kraftwerksblockes	472
3 Gasturbinen- und Gas-Dampf-Anlagen	473
3.1 Aufbau einer Gasturbinenanlage (GTA)	473
3.2 Kennwerte des Gasturbinenprozesses	474
3.3 Kennwerte des Verdichters	476
3.4 Kennwerte der Gasturbine	476
3.5 Kennwerte der Brennkammer	477
3.6 Kombiniertes Gas-Dampf-Prozess (GuD-Prozess)	478
4 Wasserturbinen	479
5 Windturbinen	481
5.1 Kennwerte der Windturbine	481
5.2 Bauarten und Einsatzbereiche	483
6 Turboverdichter (Kreiselverdichter)	483
6.1 Zur Auslegung der Verdichterstufe	483
6.2 Kennwerte des Verdichters	485
7 Kreiselumpen (Turbopumpen)	485
7.1 Zur Auslegung der Pumpenstufe	485
7.2 Kennwerte der Pumpe	486
7.3 Kennwerte der Pumpenanlage	486
8 Verbrennungsmotoren	487
8.1 Kreisprozesse der Verbrennungsmotoren	487
8.2 Kennwerte des vollkommenen Motors	488
8.3 Kennwerte des realen Motors	489
9 Kolbenverdichter (Verdrängerverdichter)	490
9.1 Kennwerte der Stufen von Hubkolbenverdichtern	490
9.2 Kennwerte der Stufen von Umlaufkolbenverdichtern	491
9.3 Kennwerte des Kolbenverdichters	492
10 Kolbenpumpen (Verdrängerpumpen)	492
10.1 Kennwerte der Hubkolbenpumpen	492
10.2 Kennwerte der Umlaufkolbenpumpen	494
10.3 Kennwerte der Pumpenanlagen	494
11 Kältemaschinen und Wärmepumpen	495
11.1 Kennwerte von Kältemaschinen und Wärmepumpen	495

11.2 Hauptparameter unterschiedlicher Kältemaschinen(KM)- und Wärmepumpen(WP)-Bauarten	496
11.3 Zur Auslegung von Verdichter-Kältemaschinen (VKM)	498

Fertigungstechnik **500**

1 Urformen	500
1.1 Gießen (allgemein)	500
1.2 Schwerkraftgießen (z. B. Sandformgießen)	502
1.3 Schleudergießverfahren	502
1.4 Sintern (Pulvermetallurgie)	503
2 Umformen	503
2.1 Grundlagen	503
2.2 Walzen	505
2.3 Schmieden	507
2.4 Strangpressen	508
2.5 Fließpressen	508
2.6 Tiefziehen	511
2.7 Biegen	513
2.8 Innenhochdruckumformen (IHU)	515
3 Trennen	516
3.1 Zerteilen	516
3.2 Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide	519
3.3 Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide	527
4 Fügen	528

Literaturverzeichnis **529**

Sachwortverzeichnis **534**