

Inhaltsverzeichnis

Teil I Mathematik

1	Mengen, Funktionen und Boolesche Algebra	3
	Uller Jarecki	
1.1	Mengen	3
1.1.1	Mengenbegriff	3
1.1.2	Mengenrelationen	3
1.1.3	Mengenverknüpfungen	4
1.1.4	Das kartesische oder Kreuzprodukt	4
1.2	Funktionen	5
1.3	Boolesche Algebra	6
1.3.1	Grundbegriffe	6
1.3.2	Zweielementige Boolesche Algebra	6
	Allgemeine Literatur	9
2	Zahlen	13
	Uller Jarecki	
2.1	Reelle Zahlen	13
2.1.1	Einführung	13
2.1.2	Grundgesetze der reellen Zahlen	13
2.1.3	Der absolute Betrag	15
2.1.4	Mittelwerte und Ungleichungen	15
2.1.5	Potenzen, Wurzeln und Logarithmen	15
2.1.6	Zahlendarstellung in Stellenwertsystemen	16
2.1.7	Endliche Folgen und Reihen. Binomischer Lehrsatz	16
2.1.8	Unendliche reelle Zahlenfolgen und Zahlenreihen	18
2.2	Komplexe Zahlen	20
2.2.1	Komplexe Zahlen und ihre geometrische Darstellung	20
2.2.2	Addition und Multiplikation	20
2.2.3	Darstellung in Polarkoordinaten. Absoluter Betrag	21
2.2.4	Potenzen und Wurzeln	21

2.3	Gleichungen	22
2.3.1	Algebraische Gleichungen	22
2.3.2	Polynome	23
2.3.3	Transzendente Gleichungen	25
	Allgemeine Literatur	25
3	Lineare Algebra	27
	Uller Jarecki	
3.1	Vektoralgebra	27
3.1.1	Vektoren und ihre Eigenschaften	27
3.1.2	Lineare Abhängigkeit und Basis	28
3.1.3	Koordinatendarstellung von Vektoren	29
3.1.4	Inneres oder skalares Produkt	30
3.1.5	Äußeres oder vektorielles Produkt	31
3.1.6	Spatprodukt	31
3.1.7	Entwicklungssatz und mehrfache Produkte	32
3.2	Der reelle n -dimensionale Vektorraum \mathbb{R}^n	32
3.2.1	Der reelle Euklidische Raum	33
3.2.2	Determinanten	34
3.2.3	Cramer-Regel	36
3.2.4	Matrizen und lineare Abbildungen	37
3.2.5	Lineare Gleichungssysteme	41
3.3	Ergänzungen zur Höheren Mathematik	42
	Allgemeine Literatur	43
4	Geometrie	45
	Hans-Joachim Schulz	
4.1	Bemerkungen zur elementaren Geometrie	45
4.2	Ebene Geometrie (Planimetrie)	45
4.2.1	Punkt, Gerade, Strahl, Strecke, Streckenzug	45
4.2.2	Orientierung einer Ebene	46
4.2.3	Winkel	46
4.2.4	Strahlensätze	46
4.2.5	Ähnlichkeit	47
4.2.6	Teilung von Strecken	48
4.2.7	Pythagoreische Sätze	48
4.3	Trigonometrie	49
4.3.1	Goniometrie	49
4.3.2	Berechnung von Dreiecken und Flächen	56
4.4	Räumliche Geometrie (Stereometrie)	57
4.4.1	Punkt, Gerade und Ebene im Raum	57
4.4.2	Körper, Volumenmessung	59
4.4.3	Polyeder	59
4.4.4	Oberfläche und Volumen von Polyedern	60
4.4.5	Oberfläche und Volumen von einfachen Rotationskörpern	60
4.4.6	Guldinsche Regeln	60
	Allgemeine Literatur	63

5	Analytische Geometrie	65
	Uller Jarecki	
5.1	Analytische Geometrie der Ebene	65
5.1.1	Das kartesische Koordinatensystem	65
5.1.2	Strecke	65
5.1.3	Dreieck	66
5.1.4	Winkel	66
5.1.5	Gerade	67
5.1.6	Koordinatentransformationen	68
5.1.7	Kegelschnitte	69
5.1.8	Allgemeine Kegelschnittgleichung	73
5.2	Analytische Geometrie des Raumes	75
5.2.1	Das kartesische Koordinatensystem	75
5.2.2	Strecke	75
5.2.3	Dreieck und Tetraeder	76
5.2.4	Gerade	76
5.2.5	Ebene	78
5.2.6	Koordinatentransformationen	79
	Allgemeine Literatur	80
6	Differential- und Integralrechnung	81
	Uller Jarecki	
6.1	Reellwertige Funktionen einer reellen Variablen	81
6.1.1	Grundbegriffe	81
6.1.2	Grundfunktionen	82
6.1.3	Einteilung der Funktionen	84
6.1.4	Grenzwert und Stetigkeit	84
6.1.5	Ableitung einer Funktion	86
6.1.6	Differentiale	88
6.1.7	Sätze über differenzierbare Funktionen	88
6.1.8	Monotonie, Konvexität und Extrema von differenzierbaren Funktionen	90
6.1.9	Grenzwertbestimmung durch Differenzieren. Regel von de l'Hospital	92
6.1.10	Das bestimmte Integral	92
6.1.11	Integralfunktion, Stammfunktion und Hauptsatz der Differential- und Integralrechnung	94
6.1.12	Das unbestimmte Integral	94
6.1.13	Integrationsmethoden	95
6.1.14	Integration rationaler Funktionen	96
6.1.15	Integration von irrationalen algebraischen und transzendenten Funktionen	98
6.1.16	Uneigentliche Integrale	98
6.1.17	Geometrische Anwendungen der Differential- und Integralrechnung	101
6.1.18	Unendliche Funktionenreihen	101

6.2	Reellwertige Funktionen mehrerer reeller Variablen . . .	106
6.2.1	Grundbegriffe	106
6.2.2	Grenzwerte und Stetigkeit	107
6.2.3	Partielle Ableitungen	108
6.2.4	Integraldarstellung von Funktionen und Doppelintegrale	113
6.2.5	Flächen- und Raumintegrale	113
	Allgemeine Literatur	118
7	Kurven und Flächen, Vektoranalysis	119
	Uller Jarecki	
7.1	Kurven in der Ebene	119
7.1.1	Grundbegriffe	119
7.1.2	Tangenten und Normalen	120
7.1.3	Bogenlänge	122
7.1.4	Krümmung	123
7.1.5	Einhüllende einer Kurvenschar	124
7.1.6	Spezielle ebene Kurven	124
7.1.7	Kurvenintegrale	128
7.2	Kurven im Raum	131
7.2.1	Grundbegriffe	131
7.2.2	Tangente und Bogenlänge	131
7.2.3	Kurvenintegrale	132
7.3	Fläche	134
7.3.1	Grundbegriffe	134
7.3.2	Tangentialebene	135
7.3.3	Oberflächenintegrale	136
7.4	Vektoranalysis	137
7.4.1	Grundbegriffe	137
7.4.2	Der ∇ -(Nabla-)Operator	138
7.4.3	Integralsätze	139
	Allgemeine Literatur	140
8	Differentialgleichungen	141
	Uller Jarecki	
8.1	Gewöhnliche Differentialgleichungen	141
8.1.1	Grundbegriffe	141
8.1.2	Differentialgleichung 1. Ordnung	142
8.1.3	Differentialgleichungen n -ter Ordnung	145
8.1.4	Lineare Differentialgleichungen	146
8.1.5	Lineare Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten	147
8.1.6	Systeme von linearen Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten	150
8.1.7	Randwertaufgabe	153
8.1.8	Eigenwertaufgabe	154

8.2	Partielle Differentialgleichungen	155
8.2.1	Lineare partielle Differentialgleichungen 2. Ordnung	155
8.2.2	Trennung der Veränderlichen	156
8.2.3	Anfangs- und Randbedingungen	157
	Allgemeine Literatur	159
9	Stochastik und Statistik	161
	Hans-Joachim Schulz	
9.1	Kombinatorik	161
9.1.1	Permutationen	161
9.1.2	Variationen	162
9.1.3	Kombinationen	162
9.2	Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate	163
9.2.1	Grundlagen	163
9.2.2	Ausgleich direkter Messungen gleicher Genauigkeit	163
9.2.3	Fehlerfortpflanzung bei zufälligen Fehlergrößen	165
9.2.4	Ausgleich direkter Messungen ungleicher Genauigkeit	165
9.3	Wahrscheinlichkeitsrechnung	166
9.3.1	Definitionen und Rechengesetze der Wahrscheinlichkeit	166
9.3.2	Zufallsvariable und Verteilungsfunktion	170
9.3.3	Parameter der Verteilungsfunktion	171
9.3.4	Einige spezielle Verteilungsfunktionen	174
9.4	Statistik	175
9.4.1	Häufigkeitsverteilung	176
9.4.2	Arithmetischer Mittelwert, Varianz und Standardabweichung	176
9.4.3	Regression und Korrelation	178
	Literatur	180
10	Numerische Verfahren	181
	Hans-Joachim Schulz	
10.1	Numerische – Analytische Lösung	181
10.2	Näherungsverfahren (Iterationsverfahren)	181
10.2.1	Splineinterpolation und Bezier-Kurven	182
10.2.2	Methode der schrittweisen Näherung (Iterationsverfahren)	189
10.2.3	Newtonsches Näherungsverfahren	190
10.2.4	Sekantenverfahren und Regula falsi	190
10.2.5	Konvergenzordnung	190
10.2.6	Probleme der Genauigkeit	191
10.3	Interpolationsverfahren	191
10.3.1	Aufgabenstellung, Existenz und Eindeutigkeit der Lösung	191

10.3.2	Ansatz nach Lagrange	192
10.3.3	Ansatz nach Newton	192
10.3.4	Polynomberechnung nach dem Horner-Schema	194
10.4	Gaußsches Eliminationsverfahren	195
10.4.1	Teilweise Pivotierung	196
10.4.2	Vollständige Pivotierung	196
10.5	Standardaufgabe der linearen Algebra	197
10.6	Integrationsverfahren	199
10.6.1	Newton-Cotes-Formeln	199
10.6.2	Graphisches Integrationsverfahren	202
10.6.3	Differenzenoperatoren	202
10.7	Steifheit von Anfangswertproblemen	204
10.8	Numerische Lösungsverfahren für Differentialgleichungen	205
10.8.1	Aufgabenstellung des Anfangswertproblems	205
10.8.2	Das Eulersche Streckenzugverfahren	205
10.8.3	Runge-Kutta-Verfahren	206
	Anhang	207
	Allgemeine Literatur	212
11	Optimierung	213
	Hans-Joachim Schulz	
11.1	Lineare Optimierung	213
11.1.1	Graphisches Verfahren für zwei Variablen	214
11.1.2	Simplexverfahren	214
11.1.3	Parametrische lineare Optimierung	219
11.2	Nichtlineare Optimierung	221
11.2.1	Problemstellung	221
11.2.2	Einige spezielle Algorithmen	221
11.3	Optimierungsverfahren zur Eigenwertbestimmung	223
	Literatur Teil I Mathematik	225
	Teil II Mechanik	
12	Statik starrer Körper	231
	Joachim Villwock und Andreas Hanau	
12.1	Allgemeines	231
12.2	Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften mit gemeinsamem Angriffspunkt	232
12.2.1	Ebene Kräftegruppe	232
12.2.2	Räumliche Kräftegruppe	233
12.3	Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften mit verschiedenen Angriffspunkten	234
12.3.1	Kräfte in der Ebene	234
12.3.2	Kräfte im Raum	235

12.4	Gleichgewicht und Gleichgewichtsbedingungen	236
12.4.1	Kräfte­system im Raum	236
12.4.2	Kräfte­system in der Ebene	239
12.4.3	Prinzip der virtuellen Arbeiten	239
12.4.4	Arten des Gleichgewichts	239
12.4.5	Standsicherheit	240
12.5	Lagerungsarten, Freimachungsprinzip	241
12.6	Auflagerreaktionen an Körpern	241
12.6.1	Körper in der Ebene	241
12.6.2	Körper im Raum	243
12.7	Systeme starrer Körper	244
12.8	Fachwerke	245
12.8.1	Ebene Fachwerke	245
12.8.2	Räumliche Fachwerke	247
12.9	Seile und Ketten	247
12.9.1	Seil unter Eigengewicht (Kettenlinie)	248
12.9.2	Seil unter konstanter Streckenlast	248
12.9.3	Seil mit Einzellast	249
12.10	Schwerpunkt (Massenmittelpunkt)	249
12.11	Haftung und Reibung	250
12.11.1	Anwendungen zur Haftung und Gleitreibung	253
12.11.2	Rollwiderstand	255
12.11.3	Widerstand an Seilrollen	255
	Literatur	256
13	Kinematik	257
	Joachim Villwock und Andreas Hanau	
13.1	Bewegung eines Punkts	257
13.1.1	Allgemeines	257
13.1.2	Ebene Bewegung	260
13.1.3	Räumliche Bewegung	263
13.2	Bewegung starrer Körper	264
13.2.1	Translation (Parallelverschiebung, Schiebung)	264
13.2.2	Rotation (Drehbewegung, Drehung)	264
13.2.3	Allgemeine Bewegung des starren Körpers	265
14	Kinetik	273
	Joachim Villwock und Andreas Hanau	
14.1	Energetische Grundbegriffe – Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad	273
14.1.1	Spezielle Arbeiten	274
14.2	Kinetik des Massenpunkts und des translatorisch bewegten Körpers	275
14.2.1	Dynamisches Grundgesetz von Newton (2. Newton'sches Axiom)	275
14.2.2	Arbeits- und Energiesatz	276
14.2.3	Impulssatz	276

14.2.4	Prinzip von d'Alembert und geführte Bewegungen	276
14.2.5	Impulsmomenten- (Flächen-) und Drehimpulssatz	277
14.3	Kinetik des Massenpunktsystems	278
14.3.1	Schwerpunktsatz	278
14.3.2	Arbeits- und Energiesatz	279
14.3.3	Impulssatz	279
14.3.4	Prinzip von d'Alembert und geführte Bewegungen	280
14.3.5	Impulsmomenten- und Drehimpulssatz	281
14.3.6	Lagrange'sche Gleichungen	281
14.3.7	Prinzip von Hamilton	282
14.3.8	Systeme mit veränderlicher Masse	282
14.4	Kinetik starrer Körper	282
14.4.1	Rotation eines starren Körpers um eine feste Achse	283
14.4.2	Allgemeines über Massenträgheitsmomente	285
14.4.3	Allgemeine ebene Bewegung starrer Körper	287
14.4.4	Allgemeine räumliche Bewegung	289
14.5	Kinetik der Relativbewegung	292
14.6	Stoß	292
14.6.1	Gerader zentraler Stoß	293
14.6.2	Schiefer zentraler Stoß	293
14.6.3	Exzentrischer Stoß	294
14.6.4	Drehstoß	294
	Literatur	294
15	Schwingungslehre	295
	Joachim Villwock und Andreas Hanau	
15.1	Systeme mit einem Freiheitsgrad	295
15.1.1	Freie ungedämpfte Schwingungen	295
15.1.2	Freie gedämpfte Schwingungen	297
15.1.3	Ungedämpfte erzwungene Schwingungen	298
15.1.4	Gedämpfte erzwungene Schwingungen	299
15.1.5	Kritische Drehzahl und Biegeschwingung der einfach besetzten Welle	300
15.2	Systeme mit mehreren Freiheitsgraden (Koppelschwingungen)	301
15.2.1	Freie Schwingungen mit zwei und mehr Freiheitsgraden	301
15.2.2	Erzwungene Schwingungen mit zwei und mehr Freiheitsgraden	302
15.2.3	Eigenfrequenzen ungedämpfter Systeme	303
15.2.4	Schwingungen der Kontinua	303
15.3	Nichtlineare Schwingungen	307
15.3.1	Schwinger mit nichtlinearer Federkennlinie oder Rückstellkraft	307

15.3.2	Schwingungen mit periodischen Koeffizienten (rheolinerare Schwingungen)	308
	Literatur	308
16	Hydrostatik (Statik der Flüssigkeiten)	311
	Joachim Villwock und Andreas Hanau	
17	Hydro- und Aerodynamik (Strömungslehre, Dynamik der Fluide)	315
	Joachim Villwock und Andreas Hanau	
17.1	Eindimensionale Strömungen idealer Flüssigkeiten	316
17.1.1	Anwendungen der Bernoulli'schen Gleichung für den stationären Fall	317
17.1.2	Anwendung der Bernoulli'schen Gleichung für den instationären Fall	318
17.2	Eindimensionale Strömungen zäher Newton'scher Flüssigkeiten (Rohrhydraulik)	318
17.2.1	Stationäre laminare Strömung in Rohren mit Kreisquerschnitt	319
17.2.2	Stationäre turbulente Strömung in Rohren mit Kreisquerschnitt	319
17.2.3	Strömung in Leitungen mit nicht vollkreisförmigen Querschnitten	322
17.2.4	Strömungsverluste durch spezielle Rohrleitungselemente und Einbauten	322
17.2.5	Stationärer Ausfluss aus Behältern	325
17.2.6	Stationäre Strömung durch offene Gerinne	326
17.2.7	Instationäre Strömung zäher Newton'scher Flüssigkeiten	326
17.2.8	Freier Strahl	326
17.3	Eindimensionale Strömung Nicht-Newton'scher Flüssigkeiten	327
17.3.1	Berechnung von Rohrströmungen	327
17.4	Kraftwirkungen strömender inkompressibler Flüssigkeiten	328
17.4.1	Impulssatz	328
17.4.2	Anwendungen	328
17.5	Mehrdimensionale Strömung idealer Flüssigkeiten	330
17.5.1	Allgemeine Grundgleichungen	330
17.5.2	Potentialströmungen	331
17.6	Mehrdimensionale Strömung zäher Flüssigkeiten	334
17.6.1	Bewegungsgleichungen von Navier-Stokes . . .	334
17.6.2	Einige Lösungen für kleine Reynolds'sche Zahlen (laminare Strömung)	334
17.6.3	Grenzschichttheorie	335
17.6.4	Strömungswiderstand von Körpern	336
17.6.5	Tragflügel und Schaufeln	339
17.6.6	Schaufeln und Profile im Gitterverband	341
	Literatur	342

18	Ähnlichkeitsmechanik	343
	Joachim Villwock und Andreas Hanau	
18.1	Allgemeines	343
18.2	Ähnlichkeitsgesetze (Modellgesetze)	344
18.2.1	Statische Ähnlichkeit	344
18.2.2	Dynamische Ähnlichkeit	345
18.2.3	Thermische Ähnlichkeit	347
18.2.4	Analyse der Einheiten (Dimensionsanalyse) und Π -Theorem	347
	Literatur	348
	Literatur zu Teil II Mechanik	349

Teil III Festigkeitslehre

19	Allgemeine Grundlagen	353
	Joachim Villwock und Andreas Hanau	
19.1	Spannungen und Verformungen	353
19.1.1	Spannungen	353
19.1.2	Verformungen	357
19.1.3	Formänderungsarbeit	358
19.2	Festigkeitsverhalten der Werkstoffe	358
19.3	Festigkeits-hypothesen und Vergleichsspannungen	361
19.3.1	Normalspannungshypothese	361
19.3.2	Schubspannungshypothese	361
19.3.3	Gestaltänderungsenergiehypothese	361
19.3.4	Anstrengungsverhältnis nach Bach	362
	Literatur	363
20	Beanspruchung stabförmiger Bauteile	365
	Joachim Villwock und Andreas Hanau	
20.1	Zug- und Druckbeanspruchung	365
20.1.1	Stäbe mit konstantem Querschnitt und konstanter Längskraft	365
20.1.2	Stäbe mit veränderlicher Längskraft	365
20.1.3	Stäbe mit veränderlichem Querschnitt	365
20.1.4	Stäbe mit Kerben	366
20.1.5	Stäbe unter Temperatureinfluss	366
20.2	Abscherbeanspruchung	366
20.3	Flächenpressung und Lochleibung	367
20.3.1	Ebene Flächen	367
20.3.2	Gewölbte Flächen	367
20.4	Biegebeanspruchung	368
20.4.1	Schnittlasten: Normalkraft, Querkraft, Biegemoment	368
20.4.2	Schnittlasten am geraden Träger in der Ebene	368
20.4.3	Schnittlasten an gekrümmten ebenen Trägern	370

20.4.4	Schnittlasten an räumlichen Trägern	370
20.4.5	Biegespannungen in geraden Balken	370
20.4.6	Schubspannungen und Schubmittelpunkt am geraden Träger	376
20.4.7	Biegespannungen in stark gekrümmten Trägern .	380
20.4.8	Durchbiegung von Trägern	382
20.4.9	Formänderungsarbeit bei Biegung und Energimethoden zur Berechnung von Einzeldurchbiegungen	391
20.5	Torsionsbeanspruchung	395
20.5.1	Stäbe mit Kreisquerschnitt und konstantem Durchmesser	395
20.5.2	Stäbe mit Kreisquerschnitt und veränderlichem Durchmesser	398
20.5.3	Dünnwandige Hohlquerschnitte (Bredt'sche Formeln)	398
20.5.4	Stäbe mit beliebigem Querschnitt	398
20.6	Zusammengesetzte Beanspruchung	399
20.6.1	Biegung und Längskraft	399
20.6.2	Biegung und Schub	400
20.6.3	Biegung und Torsion	400
20.6.4	Längskraft und Torsion	401
20.6.5	Schub und Torsion	401
20.6.6	Biegung mit Längskraft sowie Schub und Torsion	401
20.7	Statisch unbestimmte Systeme	401
	Anhang	403
	Literatur	413
21	Elastizitätstheorie	415
	Joachim Villwock und Andreas Hanau	
21.1	Allgemeines	415
21.2	Rotationssymmetrischer Spannungszustand	416
21.3	Ebener Spannungszustand	418
	Literatur	419
22	Beanspruchung bei Berührung zweier Körper (Hertz'sche Formeln)	421
	Joachim Villwock und Andreas Hanau	
22.1	Kugel	421
22.2	Zylinder	422
22.3	Beliebig gewölbte Fläche	422
	Literatur	423
23	Flächentragwerke	425
	Andreas Hanau und Joachim Villwock	
23.1	Platten	425
23.1.1	Rechteckplatten	426
23.1.2	Kreisplatten	427

	23.1.3	Elliptische Platten	428
	23.1.4	Gleichseitige Dreieckplatte	428
	23.1.5	Temperaturspannungen in Platten	428
23.2		Scheiben	428
	23.2.1	Kreisscheibe	428
	23.2.2	Ringförmige Scheibe	429
	23.2.3	Unendlich ausgedehnte Scheibe mit Bohrung	429
	23.2.4	Keilförmige Scheibe unter Einzelkräften	429
23.3		Schalen	430
	23.3.1	Biegeschlaffe Rotationsschalen und Membrantheorie für Innendruck	430
	23.3.2	Biegesteife Schalen	431
		Literatur	432
24		Dynamische Beanspruchung umlaufender Bauteile durch Fliehkräfte	433
		Andreas Hanau und Joachim Villwock	
	24.1	Umlaufender Stab	433
	24.2	Umlaufender dünnwandiger Ring oder Hohlzylinder	433
	24.3	Umlaufende Scheiben	434
	24.3.1	Vollscheibe konstanter Dicke	434
	24.3.2	Ringförmige Scheibe konstanter Dicke	434
	24.3.3	Scheiben gleicher Festigkeit	435
	24.3.4	Scheiben veränderlicher Dicke	435
	24.3.5	Umlaufender dickwandiger Hohlzylinder	435
		Literatur	435
25		Stabilitätsprobleme	437
		Joachim Villwock und Andreas Hanau	
	25.1	Knickung	437
	25.1.1	Knicken im elastischen (Euler-)Bereich	437
	25.1.2	Knicken im unelastischen (Tetmajer-)Bereich	438
	25.1.3	Näherungsverfahren zur Knicklastberechnung	439
	25.1.4	Stäbe bei Änderung des Querschnitts bzw. der Längskraft	440
	25.1.5	Knicken von Ringen, Rahmen und Stabsystemen	440
	25.1.6	Biegedrillknicken	441
	25.2	Kugel	442
	25.2.1	Träger mit Rechteckquerschnitt	442
	25.2.2	Träger mit I-Querschnitt	442
	25.3	Beulung	442
	25.3.1	Beulen von Platten	443
	25.3.2	Beulen von Schalen	445
	25.3.3	Beulspannungen im unelasti- schen (plastischen) Bereich	446
		Literatur	446

26	Finite Berechnungsverfahren	447
	Joachim Villwock und Andreas Hanau	
	26.1 Finite Elemente Methode	447
	26.2 Randlelemente	452
	26.3 Finite Differenzen Methode	455
	Literatur	456
27	Plastizitätstheorie	457
	Andreas Hanau und Joachim Villwock	
	27.1 Allgemeines	457
	27.2 Anwendungen	458
	27.2.1 Biegung des Rechteckbalkens	458
	27.2.2 Räumlicher und ebener Spannungszustand	459
	Literatur	461
28	Festigkeitsnachweis	463
	Heinz Mertens und Robert Liebich	
	28.1 Berechnungs- und Bewertungskonzepte	463
	28.2 Nennspannungskonzepte	464
	28.3 Kerbgrundkonzepte	466
	Literatur	468
	Literatur zu Teil III Festigkeitslehre	471

Teil IV Werkstofftechnik

29	Werkstoff- und Bauteileigenschaften	475
	Matthias Oechsner, Christina Berger und Karl-Heinz Kloos	
	29.1 Beanspruchungs- und Versagensarten	475
	29.1.1 Beanspruchungsfälle	475
	29.1.2 Versagen durch mechanische Beanspruchung	477
	29.1.3 Versagen durch komplexe Beanspruchungen	478
	29.2 Grundlegende Konzepte für den Festigkeitsnachweis	480
	29.2.1 Festigkeitshypothesen	480
	29.2.2 Nenn-, Struktur- und Kerbspannungskonzept	481
	29.2.3 Örtliches Konzept	481
	29.2.4 Plastisches Grenzlasterkonzept	482
	29.2.5 Bruchmechanikkonzepte	482
	29.3 Werkstoffkennwerte für die Bauteildimensionierung	484
	29.3.1 Statische Festigkeit	485
	29.3.2 Schwingfestigkeit	485
	29.3.3 Bruchmechanische Werkstoffkennwerte bei statischer Beanspruchung	487
	29.3.4 Bruchmechanische Werkstoffkennwerte bei zyklischer Beanspruchung	489

29.4	Einflüsse auf die Werkstoffeigenschaften	490
29.4.1	Werkstoffphysikalische Grundlagen der Festigkeit und Zähigkeit metallischer Werkstoffe	490
29.4.2	Metallurgische Einflüsse	491
29.4.3	Technologische Einflüsse	492
29.4.4	Oberflächeneinflüsse	492
29.4.5	Umgebungseinflüsse	493
29.4.6	Gestalteinfluss auf statische Festigkeitseigenschaften	494
29.4.7	Gestalteinfluss auf Schwing- festigkeitseigenschaften	496
29.5	Festigkeitsnachweis von Bauteilen	497
29.5.1	Festigkeitsnachweis bei statischer Beanspruchung	497
29.5.2	Festigkeitsnachweis bei Schwingbeanspruchung mit konstanter Amplitude	497
29.5.3	Festigkeitsnachweis bei Schwingbeanspruchung mit variabler Amplitude (Betriebsfestigkeitsnachweis)	498
29.5.4	Bruchmechanischer Festigkeitsnachweis unter statischer Beanspruchung	501
29.5.5	Bruchmechanischer Festigkeitsnachweis unter zyklischer Beanspruchung	502
29.5.6	Festigkeitsnachweis unter Zeitstand und Kriechermüdungsbeanspruchung	503
	Anhang	505
	Literatur	517
30	Werkstoffprüfung	521
	Matthias Oechsner, Christina Berger und Karl-Heinz Kloos	
30.1	Grundlagen	521
30.1.1	Probenentnahme	521
30.1.2	Versuchsauswertung	522
30.2	Prüfverfahren	523
30.2.1	Zugversuch	523
30.2.2	Druckversuch	524
30.2.3	Biegeversuch	525
30.2.4	Härteprüfverfahren	526
30.2.5	Kerbschlagbiegeversuch	529
30.2.6	Bruchmechanische Prüfungen	530
30.2.7	Chemische und physikalische Analysemethoden	532
30.2.8	Materialographische Untersuchungen	533
30.2.9	Technologische Prüfungen	535
30.2.10	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	535
30.2.11	Dauerversuche	537
	Literatur	538

31	Eigenschaften und Verwendung der Werkstoffe	539
	Matthias Oechsner, Christina Berger und Karl-Heinz Kloos	
31.1	Eisenwerkstoffe	539
31.1.1	Das Zustandsschaubild Eisen-Kohlenstoff	539
31.1.2	Stahlerzeugung	541
31.1.3	Wärmebehandlung	543
31.1.4	Stähle	550
31.1.5	Gusseisenwerkstoffe	570
31.2	Nichteisenmetalle	574
31.2.1	Kupfer und seine Legierungen	574
31.2.2	Aluminium und seine Legierungen	578
31.2.3	Magnesiumlegierungen	581
31.2.4	Titanlegierungen	582
31.2.5	Nickel und seine Legierungen	583
31.2.6	Zink und seine Legierungen	584
31.2.7	Blei	585
31.2.8	Zinn	585
31.2.9	Überzüge auf Metallen	585
31.3	Nichtmetallische anorganische Werkstoffe – Keramische Werkstoffe	590
31.4	Werkstoffauswahl	593
	Anhang	594
	Literatur	625
32	Kunststoffe	627
	Michael Kübler, Andreas Müller und Helmut Schürmann	
32.1	Einführung	627
32.2	Aufbau und Verhalten von Kunststoffen	628
32.3	Eigenschaften	629
32.4	Wichtige Thermoplaste	629
32.5	Fluorhaltige Kunststoffe	633
32.6	Duroplaste	634
32.7	Kunststoffschäume	637
32.8	Elastomere	638
32.9	Prüfung von Kunststoffen	640
32.9.1	Kennwertermittlung an Probekörpern	640
32.9.2	Prüfung von Fertigteilen	644
32.10	Verarbeiten von Kunststoffen	645
32.10.1	Urformen von Kunststoffen	645
32.10.2	Umformen von Kunststoffen	649
32.10.3	Fügen von Kunststoffen	649
32.11	Gestalten und Fertigungsgenauigkeit von Kunststoff- Formteilen	651
32.12	Nachbehandlungen	652
32.13	Faser-Kunststoff-Verbunde	653
32.13.1	Charakterisierung und Einsatzgebiete	653
32.13.2	Fasern, Matrix-Kunststoffe und Halbzeuge	653
32.13.3	Spannungsanalyse von Laminaten	657

	32.13.4 Laminattypen	658
	32.13.5 Festigkeitsanalyse von Laminaten	661
	32.13.6 Fügetechniken	664
	32.13.7 Fertigungsverfahren	666
	Anhang	667
	Literatur	670
33	Tribologie	673
	Karl-Heinz Habig und Mathias Woydt	
	33.1 Reibung	673
	33.2 Verschleiß	675
	33.3 Systemanalyse von Reibungs- und Verschleißvorgängen	676
	33.3.1 Funktion von Tribosystemen	676
	33.3.2 Beanspruchungskollektiv	677
	33.3.3 Struktur tribologischer Systeme	677
	33.3.4 Tribologische Kenngrößen	677
	33.3.5 Checkliste zur Erfassung der wichtigsten tribologisch relevanten Größen	679
	33.4 Schmierung	680
	33.5 Schmierstoffe	680
	33.5.1 Schmieröle	680
	33.5.2 Schmierfette	684
	33.5.3 Festschmierstoffe	685
	Anhang	686
	Literatur	688
34	Korrosion und Korrosionsschutz	691
	Thomas Böllinghaus, Michael Rhode und Thora Falkenreck	
	34.1 Einleitung	691
	34.2 Elektrochemische Korrosion	693
	34.2.1 Gleichmäßige Flächenkorrosion	697
	34.2.2 Galvanische und Kontaktkorrosion	699
	34.2.3 Selektive und interkristalline Korrosion	701
	34.2.4 Passivierung, Loch- und Spaltkorrosion	704
	34.2.5 Risskorrosion	709
	34.2.6 Erosions- und Kavitationskorrosion	715
	34.2.7 Reibkorrosion	716
	34.2.8 Mikrobiologisch beeinflusste Korrosion	716
	34.3 Chemische Korrosion und Hochtemperaturkorrosion	717
	34.3.1 Hochtemperaturkorrosion ohne mechanische Beanspruchung	718
	34.3.2 Hochtemperaturkorrosion mit mechanischer Beanspruchung	723
	34.4 Korrosionsprüfung	724
	Literatur	725

Teil V Thermodynamik

35	Thermodynamik. Grundbegriffe	729
	Peter Stephan und Karl Stephan	
35.1	Systeme, Systemgrenzen, Umgebung	729
35.2	Beschreibung des Zustands eines Systems. Thermodynamische Prozesse	730
36	Temperaturen. Gleichgewichte	733
	Peter Stephan und Karl Stephan	
36.1	Thermisches Gleichgewicht	733
36.2	Nullter Hauptsatz und empirische Temperatur	733
36.3	Temperaturskalen	734
36.3.1	Die Internationale Praktische Temperaturskala	735
	Literatur	736
37	Erster Hauptsatz	737
	Peter Stephan und Karl Stephan	
37.1	Allgemeine Formulierung	737
37.2	Die verschiedenen Energieformen	737
37.2.1	Arbeit	737
37.2.2	Innere Energie und Systemenergie	738
37.2.3	Wärme	739
37.3	Anwendung auf geschlossene Systeme	739
37.4	Anwendung auf offene Systeme	740
37.4.1	Stationäre Prozesse	740
37.4.2	Instationäre Prozesse	741
38	Zweiter Hauptsatz	743
	Peter Stephan und Karl Stephan	
38.1	Das Prinzip der Irreversibilität	743
38.2	Allgemeine Formulierung	744
38.3	Spezielle Formulierungen	745
38.3.1	Adiabate, geschlossene Systeme	745
38.3.2	Systeme mit Wärmezufuhr	745
39	Exergie und Anergie	747
	Peter Stephan und Karl Stephan	
39.1	Exergie eines geschlossenen Systems	747
39.2	Exergie eines offenen Systems	748
39.3	Exergie einer Wärme	748
39.4	Anergie	749
39.5	Exergieverluste	749
40	Stoffthermodynamik	751
	Peter Stephan und Karl Stephan	
40.1	Thermische Zustandsgrößen von Gasen und Dämpfen	751
40.1.1	Ideale Gase	751
40.1.2	Gaskonstante und das Gesetz von Avogadro	751

40.1.3	Reale Gase	752
40.1.4	Dämpfe	753
40.2	Kalorische Zustandsgrößen von Gasen und Dämpfen . .	755
40.2.1	Ideale Gase	755
40.2.2	Reale Gase und Dämpfe	755
40.3	Inkompressible Fluide	757
40.4	Feste Stoffe	757
40.4.1	Wärmedehnung	757
40.4.2	Schmelz- und Sublimationsdruckkurve	757
40.4.3	Kalorische Zustandsgrößen	758
	Tabellen zu Kap. 40	759
	Literatur	776
41	Zustandsänderungen von Gasen und Dämpfen	777
	Peter Stephan und Karl Stephan	
41.1	Zustandsänderungen ruhender Gase und Dämpfe	777
41.2	Zustandsänderungen strömender Gase und Dämpfe	779
41.2.1	Strömung idealer Gase	779
41.2.2	Düsen- und Diffusorströmung	780
42	Thermodynamische Prozesse	783
	Peter Stephan und Karl Stephan	
42.1	Energiewandlung mittels Kreisprozessen	783
42.2	Carnot-Prozess	783
42.3	Wärmeanlagen	784
42.3.1	Ackeret-Keller-Prozess	784
42.3.2	Geschlossene Gasturbinenanlage	785
42.3.3	Dampfkraftanlage	786
42.4	Verbrennungskraftanlagen	787
42.4.1	Offene Gasturbinenanlage	788
42.4.2	Ottomotor	788
42.4.3	Dieselmotor	789
42.4.4	Brennstoffzellen	789
42.5	Kälteanlagen und Wärmepumpen	790
42.5.1	Kompressionskälteanlage	790
42.5.2	Kompressionswärmepumpe	791
42.6	Kraft-Wärme-Kopplung	792
	Literatur	792
43	Gemische	793
	Peter Stephan und Karl Stephan	
43.1	Gemische idealer Gase	793
43.2	Gas-Dampf-Gemische	794
43.2.1	Mollier-Diagramm der feuchten Luft	795
43.2.2	Zustandsänderungen feuchter Luft	796
	Tabellen zu Kap. 43	798

44	Verbrennung	801
	Peter Stephan und Karl Stephan	
	44.1 Reaktionsgleichungen	801
	44.2 Heizwert und Brennwert	802
	44.3 Verbrennungstemperatur	803
	Tabellen zu Kap. 44	804
	Literatur	805
45	Wärmeübertragung	807
	Peter Stephan und Karl Stephan	
	45.1 Stationäre Wärmeleitung	807
	45.2 Wärmeübergang und Wärmedurchgang	808
	45.3 Nichtstationäre Wärmeleitung	810
	45.3.1 Der halbbunendliche Körper	811
	45.3.2 Zwei halbbunendliche Körper in thermischem Kontakt	812
	45.3.3 Temperatursausgleich in einfachen Körpern	812
	45.4 Wärmeübergang durch Konvektion	813
	45.4.1 Wärmeübergang ohne Phasenumwandlung	814
	45.4.2 Wärmeübergang beim Kondensieren und beim Sieden	817
	45.5 Wärmeübertragung durch Strahlung	818
	45.5.1 Gesetz von Stefan-Boltzmann	818
	45.5.2 Kirchhoffsches Gesetz	819
	45.5.3 Wärmeaustausch durch Strahlung	819
	45.5.4 Gasstrahlung	819
	Tabellen zu Kap. 45	820
	Literatur	824
	Literatur zu Teil V Thermodynamik	825

Teil VI Maschinendynamik

46	Schwingungen	829
	Holger Hanselka, Sven Herold, Rainer Nordmann und Tamara Nestorović	
	46.1 Problematik der Maschinenschwingungen	829
	46.2 Grundbegriffe der Schwingungsanalyse	830
	46.2.1 Mechanisches Ersatzsystem	830
	46.2.2 Bewegungsgleichungen, Systemmatrizen	830
	46.2.3 Modale Parameter – Eigenfrequenzen, modale Dämpfungen, Eigenvektoren	831
	46.2.4 Modale Analyse	833
	46.2.5 Frequenzgangfunktionen mechanischer Systeme, Amplituden- und Phasengang	833

46.3	Grundaufgaben der Maschinendynamik	835
46.3.1	Direktes Problem	835
46.3.2	Eingangsproblem	836
46.3.3	Identifikationsproblem	836
46.3.4	Entwurfsproblem	839
46.3.5	Verbesserung des Schwingungszustands einer Maschine	839
46.4	Darstellung von Schwingungen im Zeit- und Frequenzbereich	839
46.4.1	Darstellung von Schwingungen im Zeitbereich .	839
46.4.2	Darstellung von Schwingungen im Frequenzbereich	840
46.5	Entstehung von Maschinenschwingungen, Erregerkräfte $F(t)$	842
46.5.1	Freie Schwingungen (Eigenschwingungen) . . .	843
46.5.2	Selbsterregte Schwingungen	843
46.5.3	Parametererregte Schwingungen	843
46.5.4	Erzwungene Schwingungen	843
46.6	Mechanische Ersatzsysteme, Bewegungsgleichungen . .	848
46.6.1	Strukturfestlegung	848
46.6.2	Parameterermittlung	849
46.7	Anwendungsbeispiele für Maschinenschwingungen . . .	849
46.7.1	Drehschwinger mit zwei Drehmassen	850
46.7.2	Torsionsschwingungen einer Turbogruppe	851
46.7.3	Maschinenwelle mit einem Laufrad (Ventilator)	854
46.7.4	Tragstruktur (Balken) mit aufgesetzter Maschine	858
	Literatur	861
47	Kurbeltrieb, Massenkräfte und -momente, Schwungradberechnung	863
	Rainer Nordmann und Tamara Nestorović	
47.1	Drehkraftdiagramm von Mehrzylindermaschinen	863
47.2	Massenkräfte und Momente	866
47.2.1	Analytische Verfahren	866
47.2.2	Ausgleich der Kräfte und Momente	876
	Literatur	877
48	Maschinenakustik	879
	Holger Hanselka, Joachim Bös und Tamara Nestorović	
48.1	Grundbegriffe	879
48.1.1	Schall, Frequenz, Hörbereich, Schalldruck, Schalldruckpegel, Lautstärke	879
48.1.2	Schnelle, Schnellepegel, Kennimpedanz	880
48.1.3	Schallintensität, Schallintensitätspegel	881
48.1.4	Schalleistung, Schalleistungspegel	881
48.1.5	Fourierspektrum, Spektrogramm, Geräuschanalyse	881

48.1.6	Frequenzbewertung, A-, C- und Z-Bewertung . . .	882
48.1.7	Bezugswerte, Pegelarithmetik	883
48.2	Geräuscentstehung	884
48.2.1	Direkte und indirekte Geräuscentstehung	884
48.2.2	Maschinenakustische Grundgleichung	884
48.2.3	Anregungskräfte	885
48.2.4	Körperschallfunktion	886
48.2.5	Luftschallabstrahlung	886
48.3	Möglichkeiten zur Geräuscminderung	888
48.3.1	Verminderung der Kraftanregung	888
48.3.2	Verminderung der Körperschallfunktion	889
48.3.3	Verminderung der Luftschallabstrahlung	890
48.4	Aktive Maßnahmen zur Lärm- und Schwingungsminderung	891
48.5	Numerische Verfahren zur Simulation von Luft- und Körperschall	895
48.6	Strukturintensität und Körperschallfluss	895
	Literatur	898

Teil VII Allgemeine Tabellen

49	Allgemeine Tabellen	903
	Karl-Heinrich Grote	
	Fachausdrücke	923
	Stichwortverzeichnis	999