

Inhaltsverzeichnis

1	Maschinenbau – seine Vielfalt und die Motivation für dieses Lehrbuch	1
1.1	Berufsfeld Maschinenbau-Ingenieur	2
1.2	Der Produktentstehungsprozess	3
1.3	Bachelor-Studium Maschinenbau	4
1.4	Maschinenbaustudium an Fachhochschule und Universität	6
1.5	Aufbau dieses Lehrbuches	7
1.6	Didaktische Elemente	8
1.7	Leitbeispiel Antriebsstrang	11
	Literatur	15
 Teil I Technische Mechanik		
2	Grundbegriffe und Kraftgruppen – der Einstieg in die Technische Mechanik	19
2.1	Grundbegriffe	20
2.2	Ebenes Kräftegleichgewicht am Punkt	24
2.3	Statisches Gleichgewicht am ebenen starren Körper	26
2.4	Räumliche Kraftsysteme	31
2.5	Reibung	38
2.6	Schwerpunkt	45
	Antworten zu den Verständnisfragen	50
	Aufgaben	51
3	Schnittgrößen – die inneren Kräfte und Momente in Trägern	59
3.1	Schnittgrößen in ebenen geraden Balken	60
3.2	Rahmen und Bögen	65
3.3	Räumliche Probleme	70
3.4	Fachwerke	70
3.5	Seilstatik	74
	Antworten zu den Verständnisfragen	79
	Aufgaben	80

4	Spannungen, Verzerrungen und Materialgesetz – wenn Werkstoffe versagen	85
4.1	Spannungen	86
4.2	Verzerrungen	91
4.3	Das Materialgesetz	95
	Antworten zu den Verständnisfragen	99
	Aufgaben	100
5	Beanspruchungsarten – wie man Spannungen und Verformungen berechnet	103
5.1	Zentrischer Zug oder Druck	104
5.2	Biegung	107
5.3	Schub durch Querkraft	120
5.4	Torsion	124
5.5	Statisch überbestimmte Systeme	133
5.6	Dünnwandige Behälter unter Innendruck	134
5.7	Überlagerte Beanspruchung	135
	Antworten zu den Verständnisfragen	139
	Aufgaben	141
6	Energiemethoden und Knicken – Verformungen und Kräfte berechnen . . .	149
6.1	Arbeit und Potenzial	150
6.2	Der Arbeitssatz	152
6.3	Formänderungsarbeit und -energie	153
6.4	Sätze von Castigliano und Menabrea	156
6.5	Euler'sches Knicken	159
	Antworten zu den Verständnisfragen	162
	Aufgaben	163
7	Kinematik des Massenpunktes – Grundbegriffe der Bewegung	165
7.1	Bewegungen beziehen sich immer auf ein Bezugssystem	166
7.2	Bahn, Geschwindigkeit und Beschleunigung	166
7.3	Geradlinige Bewegungen	167
7.4	Räumliche Bewegungen	171
7.5	Bewegungen auf vorgegebener Bahn. Beschreibung einer Bewegung in natürlichen Koordinaten	176
7.6	Relativkinematik des Massenpunktes	178
	Antworten zu den Verständnisfragen	181
	Aufgaben	182

8	Kinetik des Massenpunktes – wie beeinflussen Kräfte und Momente die Bewegung?	185
8.1	Impuls und Impulssatz	186
8.2	Drall und Drallsatz	189
8.3	Relativkinetik des Massenpunktes	192
8.4	Arbeit, Leistung und Energie	192
8.5	Massenpunktsysteme	196
	Antworten zu den Verständnisfragen	199
	Aufgaben	200
9	Kinematik des starren Körpers – wie Gegenstände sich bewegen	201
9.1	Lage und Orientierung eines starren Körpers	202
9.2	Kinematik der Drehung bei ebener Bewegung	203
9.3	Kinematik von Körperpunkten bei ebener Bewegung	205
9.4	Kinematik der räumlichen Bewegung	212
9.5	Bewegung relativ zu einem starren Körper	218
	Literatur	219
	Antworten zu den Verständnisfragen	219
	Aufgaben	220
10	Kinetik des starren Körpers – Dinge kraftvoll bewegen	223
10.1	Kinetik für eine Drehung um eine feste Achse	224
10.2	Massenträgheitsmomente	226
10.3	Kinetik für eine allgemeine ebene Bewegung	229
10.4	Kinetik der allgemeinen Bewegung eines starren Körpers	239
10.5	Stoßprobleme und Systeme veränderlicher Masse	242
	Antworten zu den Verständnisfragen	249
	Aufgaben	250
11	Analytische Mechanik – über effiziente Algorithmen Bewegungsgleichungen herleiten	255
11.1	Generalisierte Koordinaten	256
11.2	Zwangsbedingungen und Zwangskräfte	256
11.3	Virtuelle Verschiebungen, virtuelle Arbeit	259
11.4	Prinzip von d’Alembert in Lagrange’scher Fassung	260
11.5	Lagrange’sche Gleichungen 2. Art	265
	Antworten zu den Verständnisfragen	270
	Aufgaben	271

12	Einfache Schwingungen – periodische Vorgänge verstehen, berechnen und beeinflussen	275
12.1	Beschreibung von Schwingungen	276
12.2	Klassifikation von Schwingungen	277
12.3	Freie Schwingungen linearer Systeme	277
12.4	Erzwungene Schwingungen linearer Systeme	286
12.5	Schwingungen nichtlinearer Systeme	306
	Antworten zu den Verständnisfragen	310
	Aufgaben	312
13	Schwingungen mit mehreren Freiheitsgraden – diskrete und kontinuierliche Schwingungsmoden	315
13.1	Mehrläufige Schwingungen mit konzentrierten Parametern	316
13.2	Kontinuumsschwingungen	327
	Antworten zu den Verständnisfragen	338
	Aufgaben	339
 Teil II Werkstoffkunde		
14	Die Welt der Werkstoffe – der Grundbaukasten des Maschinenbaus	345
14.1	Werkstoffe für die Produkt- und Bauteilentwicklung	346
14.2	Werkstoffanforderungen	346
14.3	Werkstoffhauptgruppen	350
14.4	Werkstoffe im Vergleich	362
	Weiterführende Literatur	366
	Antworten zu den Verständnisfragen	366
	Aufgaben	367
15	Werkstoffe – Leistungspotenziale erkennen und nutzen	369
15.1	Werkstoffe und ihr Innovationspotenzial	370
15.2	Werkstoffangebot	373
15.3	Werkstoffanforderungen und Kenngrößen	379
15.4	Dichte und thermische Ausdehnung	382
15.5	Elastische Verformung	389
15.6	Festigkeit unter quasi-statischer Belastung	403
15.7	Härteprüfung zur Werkstoffidentifizierung	420
15.8	Plastische Verformbarkeit	430
15.9	Bruchvorgänge in Werkstoffen	439
15.10	Festigkeit spröder Werkstoffe	447
15.11	Werkstoffschäden durch Schwingungen	454

15.12	Festigkeit bei höheren Temperaturen	466
15.13	Abnutzung der Werkstoffe – Verschleiß	486
15.14	Werkstoffschädigung durch Korrosion	495
15.15	Mehrfachbelastung der Werkstoffe	508
	Weiterführende Literatur	509
	Antworten zu den Verständnisfragen	512
	Aufgaben	516
16	Legierungstechnologie – Metalle an Anforderungen anpassen	527
16.1	Die Erstarrung wichtiger Legierungssysteme	528
16.2	Aluminium-Legierungen mit Eutektikum	533
16.3	Das Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm für Stähle und Gusseisen	536
16.4	Mischkristalle und Legierungselemente	540
16.5	Gefüge und Wärmebehandlungen der Stähle	543
16.6	Ungleichgewichtsumwandlungen allotroper Metalle	545
16.7	Die Vielfalt der Stähle	551
	Weiterführende Literatur	558
	Antworten zu den Verständnisfragen	558
 Teil III Thermodynamik		
17	Grundlagen der Thermodynamik	563
17.1	Geschichte und Anwendungsbereiche	564
17.2	Wie man Systeme beschreibt	565
17.3	Temperatur und Gleichgewichtspostulate	569
17.4	Energiearten	570
17.5	Die allgemeine Form von Bilanzen	574
	Antworten zu den Verständnisfragen	576
	Aufgaben	577
18	Die Hauptsätze der Thermodynamik	579
18.1	Der nullte Hauptsatz der Thermodynamik	580
18.2	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	581
18.3	Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	588
18.4	Der dritte Hauptsatz der Thermodynamik	593
18.5	Das chemische Potenzial	595
18.6	Folgerungen aus den Hauptsätzen und Bilanzen	596
	Antworten zu den Verständnisfragen	607
	Aufgaben	608

19	Stoffe und deren thermodynamische Beschreibung – Materialgesetze . . .	611
	19.1 Das Verhalten realer Stoffe	612
	19.2 Zustandsgleichungen	617
	19.3 Das ideale Gas	619
	19.4 Das reale Gas	620
	19.5 Der reale Stoff im Nassdampfgebiet	623
	Antworten zu den Verständnisfragen	624
	Aufgaben	625
20	Anwendungen der Hauptsätze der Thermodynamik	627
	20.1 Der Carnot-Prozess als idealer Kreisprozess	628
	20.2 Ideale Gase	631
	20.3 Reale Gase	639
	20.4 Der reale Stoff im Nassdampfgebiet	643
	Antworten zu den Verständnisfragen	645
	Aufgaben	646
21	Technische Anwendungen thermodynamischer Prozesse	649
	21.1 Kreisprozesse	650
	21.2 Arbeits- und Kraftmaschinen	653
	21.3 Wärmekraftprozesse und thermische Wirkungsgrade	656
	21.4 Kälteprozesse und Leistungszahlen	664
	21.5 Gas-Dampf-Gemische: Feuchte Luft	671
	Antworten zu den Verständnisfragen	680
	Aufgaben	683
 Teil IV Strömungsmechanik		
22	Strömungsmechanik – alles ist im Fluss	687
	22.1 Die Bedeutung der Strömungsmechanik	688
	22.2 Begriffe und Definitionen	689
	22.3 Hydrostatik	693
	22.4 Hydrodynamik	706
	22.5 Hydrodynamische Ähnlichkeitsgesetze	719
	22.6 Innenströmung und Rohrhydraulik	729
	22.7 Einführung in die Gasdynamik	736
	Literatur	746
	Antworten zu den Verständnisfragen	747
	Aufgaben	749

Teil V Maschinenelemente/Konstruktionslehre

23	Die technische Zeichnung – die Sprache des Ingenieurs	755
23.1	Die Elemente einer technischen Zeichnung	756
23.2	Das Finden der richtigen Blattgröße und die Nutzung von Zeichnungsnormen	758
23.3	Die Darstellung von Werkstücken	767
23.4	Wie bemaßt man ein Werkstück?	773
23.5	Technische Oberflächen und Kanten	777
23.6	Darstellung von Normteilen	780
	Antworten zu den Verständnisfragen	780
	Aufgaben	781
24	Toleranzen – Geometrische Produktspezifikationen schaffen Qualität	783
24.1	Was sind Toleranzen?	784
24.2	Passungen	788
24.3	Form- und Lagetoleranzen	793
24.4	Geometrische Produktspezifikationen	801
24.5	Toleranzanalysen	805
	Literatur	809
	Antworten zu den Verständnisfragen	809
	Aufgaben	810
25	Konstruieren – Produkte methodisch entwickeln	811
25.1	Einführung in die Produktentwicklung	812
25.2	Aufgabe klären	815
25.3	Produkt konzipieren	819
25.4	Produkt entwerfen	832
25.5	Produkt ausarbeiten	842
	Literatur	843
	Antworten zu den Verständnisfragen	844
	Aufgaben	845
26	Verbindungselemente – aus Bauteilen werden Maschinen	847
26.1	Stoffschlüssige Verbindungen	848
26.2	Schraubenverbindungen	857
26.3	Nietverbindungen	870
26.4	Reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	874
26.5	Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	881
26.6	Elastische Verbindungen – Federn	887
	Literatur	896
	Antworten zu den Verständnisfragen	896
	Aufgaben	898

27	Antriebs Elemente – so gelangt Leistung zur Arbeitsmaschine	901
27.1	Achsen und Wellen	902
27.2	Lager	908
27.3	Kupplungen und Bremsen	922
27.4	Zahnradgetriebe	934
27.5	Zugmittelgetriebe	953
	Weiterführende Literatur	962
	Antworten zu den Verständnisfragen	962
	Aufgaben	964
28	Dichtungen – damit Medien bleiben wo sie hingehören	967
28.1	Berührungsdichtungen zwischen ruhenden Bauteilen	968
28.2	Berührungsdichtungen zwischen bewegten Bauteilen	970
28.3	Berührungsfreie Dichtungen	973
	Literatur	977
	Antworten zu den Verständnisfragen	977
	Aufgaben	978
Teil VI Fertigungstechnik		
29	Fertigungstechnik – Werkstücke wirtschaftlich und nachhaltig herstellen	981
29.1	Begriffe und Einordnung	982
29.2	Historische Entwicklung	982
29.3	Übersicht über die Industriezweige	984
29.4	Einteilung der Fertigungsverfahren	985
29.5	Genauigkeit und Oberflächengüte	987
	Literatur	990
30	Fertigungsverfahren – der Weg zum Werkstück	991
30.1	Verfahrenseinteilung	992
30.2	Urformen	993
30.3	Umformen	1022
30.4	Trennen	1049
30.5	Fügen	1075
30.6	Beschichten	1078
	Literatur	1084
	Antworten zu den Verständnisfragen	1084
	Aufgaben	1087

31	Werkzeugmaschinen – Werkstücke mit formgebenden Werkzeugen bearbeiten	1091
	31.1 Bedeutung von Werkzeugmaschinen	1092
	31.2 Auswahlkriterien für Werkzeugmaschinen	1092
	31.3 Fräsmaschinen	1093
	31.4 Drehmaschinen	1100
	31.5 Dreh-Fräsmaschinen	1104
	31.6 Schleifmaschinen	1105
	31.7 Umformmaschinen	1106
	31.8 Belastungen auf Werkzeugmaschinen	1112
	31.9 Maschinenkomponenten	1114
	31.10 Steuerungen	1122
	31.11 NC-Programmierung	1127
	Literatur	1130
	Antworten zu den Verständnisfragen	1131
	Aufgaben	1132
32	Fertigungsprozesse – Produkte fertigen und montieren	1135
	32.1 Wandel der Produktionstechnik	1136
	32.2 Fertigungs- und Stückkosten	1139
	32.3 Arbeitsplanung und -steuerung	1139
	32.4 Automatisierung von Produktionsprozessen	1146
	32.5 Digitale Fabrik	1149
	32.6 Industrie 4.0	1152
	Literatur	1156
	Antworten zu den Verständnisfragen	1157
	Aufgaben	1158
33	Nachhaltige Produktion – Emissionen vermeiden und Ressourcen schonen	1161
	33.1 Grundlagen und Begriffe	1162
	33.2 Rezyklieren: Wieder- und Weiterverwendung	1163
	33.3 Analyse des Produktlebenszyklus	1168
	33.4 Rezyklieren wichtiger Werkstoffgruppen	1173
	Literatur	1178

Teil VII Elektrotechnik

34	Gesetze der Elektrotechnik – wie ihre Bauelemente funktionieren	1181
34.1	Ladung und Strom	1182
34.2	Die elektrische Kraft	1183
34.3	Ladung im Raum: Das statische elektrische Feld	1184
34.4	Ladung im elektrischen Feld: der Kondensator	1188
34.5	Ströme im elektrischen Feld: Widerstände, Quellen, Arbeit und Leistung	1190
34.6	Ströme im Raum: das statische Magnetfeld	1192
34.7	Die magnetische Kraft	1196
34.8	Wechselfelder, Induktion und die Spule	1197
34.9	Die Maxwell'schen Gleichungen	1199
	Antworten zu den Verständnisfragen	1201
	Aufgaben	1202
35	Lineare Netze – wie der Strom sein Ziel findet	1205
35.1	Die Regeln von Kirchhoff	1206
35.2	Maschenstrom- und Knotenpotenzialverfahren	1207
35.3	Komplexe Wechselstromlehre: Vom Widerstand zur Impedanz	1210
35.4	Energie und Leistung im Wechselstromkreis	1213
35.5	Transformatoren	1216
35.6	Drei-Phasen-Wechselstrom	1219
	Antworten zu den Verständnisfragen	1221
	Aufgaben	1222
36	Halbleiterelektronik – wie Schaltungen schlau werden	1225
36.1	Halbleiter	1226
36.2	Dioden	1228
36.3	Bipolar-Transistoren	1232
36.4	MOS-Transistoren	1236
36.5	Leistungshalbleiter	1239
	Antworten zu den Verständnisfragen	1243
	Aufgaben	1245
37	Motoren und Generatoren – wie von 0 auf 300 km/h beschleunigt wird . .	1247
37.1	Physikalische Grundlagen von Motoren und Generatoren	1248
37.2	Typen, Randbedingungen und Einsatzgebiete	1253
37.3	Gleichstrommaschinen	1254
37.4	Asynchronmaschinen	1259
37.5	Synchronmaschinen	1261
	Weiterführende Literatur für die Kapitel 34 bis 37	1266
	Antworten zu den Verständnisfragen	1267
	Aufgaben	1268

Teil VIII Regelungstechnik

38	Begriffe und Modelle – dynamische Systeme beschreiben	1273
38.1	Dynamische Systeme, Steuerung und Regelung	1274
38.2	Das Zustandsraummodell	1281
38.3	Das Blockschaltbild	1284
38.4	Lineare zeitinvariante Systeme	1286
	Weiterführende Literatur	1293
	Antworten zu den Verständnisfragen	1293
	Aufgaben	1295
39	Analyse der Dynamik – Systemantworten ermitteln und verstehen	1299
39.1	Die Laplace-Transformation	1300
39.2	Systemantworten und Stabilität	1313
39.3	Pole, Nullstellen, Modellreduktion und Identifikation	1319
39.4	Frequenzgang und Bode-Diagramm	1323
	Antworten zu den Verständnisfragen	1332
	Aufgaben	1333
40	Entwurf im Frequenzbereich – Stabilität und gutes Einschwingen erreichen	1337
40.1	Der Standardregelkreis	1338
40.2	Regelkreisstabilität und Robustheit der Stabilität	1341
40.3	Anforderungen an das Regelverhalten	1347
40.4	Grundtypen linearer Regler	1351
40.5	Regelungsentwurf im Bode-Diagramm	1357
40.6	Gütekriterien und optimale Regelung	1359
40.7	Erweiterte Regelungsstrukturen	1361
	Aufgaben	1366
41	Entwurf im Zustandsraum – alle Systemgrößen einbeziehen	1369
41.1	Konstante Zustandsrückführung und Vorsteuerung	1370
41.2	Zustandsbeobachtung	1373
41.3	Dynamische Vorsteuerung	1374
41.4	Konstante und dynamische Störgrößenaufschaltung	1375
41.5	Ausblick und Beispiele	1377
41.6	Nichtlineare Zustandsregelung durch Ein-/Ausganglinearisierung . .	1380
41.7	Digitale Realisierung	1382
	Aufgaben	1386
	Symbole	1389
	Autorenbiographien	1405
	Abbildungsnachweis	1411
	Sachverzeichnis	1417