
Inhaltsverzeichnis

Autoren	xxi
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	5
1.4 Maschinenbaustudium an Fachhochschule und Universität	6
1.5 Aufbau dieses Lehrbuches	6
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
	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	331
	Aufgaben	332

Teil II Werkstoffkunde

14	Die Welt der Werkstoffe – der Grundbaukasten des Maschinenbaus	337
14.1	Werkstoffe für die Produkt- und Bauteilentwicklung	338
14.2	Werkstoffanforderungen	338
14.3	Werkstoffhauptgruppen	342
14.4	Werkstoffe im Vergleich	353
	Antworten zu den Verständnisfragen	357
	Aufgaben	358
15	Werkstoffe – Leistungspotenziale erkennen und nutzen	359
15.1	Werkstoffe und ihr Innovationspotenzial	360
15.2	Werkstoffangebot	363
15.3	Werkstoffanforderungen und Kenngrößen	369
15.4	Dichte und thermische Ausdehnung	373
15.5	Elastische Verformung	379
15.6	Festigkeit unter quasi-statischer Belastung	392
15.7	Härteprüfung zur Werkstoffidentifizierung	409
15.8	Plastische Verformbarkeit	419
15.9	Bruchvorgänge in Werkstoffen	427
15.10	Festigkeit keramischer Werkstoffe	437
15.11	Werkstoffschäden durch Schwingungen	443
15.12	Festigkeit bei höheren Temperaturen	455

15.13 Abnutzung der Werkstoffe – Verschleiß	474
15.14 Werkstoffschädigung durch Korrosion	484
15.15 Mehrfachbelastung der Werkstoffe	495
Literatur	497
Antworten zu den Verständnisfragen	499
Aufgaben	503
16 Legierungstechnologie – Werkstoffe an Anforderungen anpassen	513
16.1 Die Erstarrung wichtiger Legierungssysteme	514
16.2 Aluminium-Legierungen mit Eutektikum	519
16.3 Das Eisen-Kohlenstoff-Zustandsdiagramm für Stähle und Gusseisen	521
16.4 Mischkristalle und Legierungselemente	526
16.5 Gefüge und Wärmebehandlungen der Stähle	529
16.6 Ungleichgewichtsumwandlungen allotroper Metalle	531
16.7 Die Vielfalt der Stähle	537
Literatur	544
Antworten zu den Verständnisfragen	544

Teil III Thermodynamik

17 Grundlagen der Thermodynamik	549
17.1 Geschichte und Anwendungsbereiche	550
17.2 Wie man Systeme beschreibt	551
17.3 Temperatur und Gleichgewichtspostulate	555
17.4 Energiearten	556
17.5 Die allgemeine Form von Bilanzen	560
Antworten zu den Verständnisfragen	562
Aufgaben	563
18 Die Hauptsätze der Thermodynamik	565
18.1 Der nullte Hauptsatz der Thermodynamik	566
18.2 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik	567
18.3 Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	574
18.4 Der dritte Hauptsatz der Thermodynamik	579
18.5 Das chemische Potenzial	581
18.6 Folgerungen aus den Hauptsätzen und Bilanzen	582
Antworten zu den Verständnisfragen	593
Aufgaben	594

19	Stoffe und deren thermodynamische Beschreibung – Materialgesetze	597
19.1	Das Verhalten realer Stoffe	598
19.2	Zustandsgleichungen	603
19.3	Das ideale Gas	605
19.4	Das reale Gas	606
19.5	Der reale Stoff im Nassdampfgebiet	609
	Antworten zu den Verständnisfragen	610
	Aufgaben	611
20	Anwendungen der Hauptsätze der Thermodynamik	613
20.1	Der Carnot-Prozess als idealer Kreisprozess	614
20.2	Ideale Gase	617
20.3	Reale Gase	625
20.4	Der reale Stoff im Nassdampfgebiet	629
	Antworten zu den Verständnisfragen	631
	Aufgaben	632
21	Technische Anwendungen thermodynamischer Prozesse	635
21.1	Kreisprozesse	636
21.2	Arbeits- und Kraftmaschinen	639
21.3	Wärmekraftprozesse und thermische Wirkungsgrade	642
21.4	Kälteprozesse und Leistungszahlen	650
21.5	Gas-Dampf-Gemische: Feuchte Luft	657
	Antworten zu den Verständnisfragen	666
	Aufgaben	669
Teil IV Strömungsmechanik		
22	Strömungsmechanik – alles ist im Fluss	673
22.1	Die Bedeutung der Strömungsmechanik	674
22.2	Begriffe und Definitionen	675
22.3	Hydrostatik	679
22.4	Hydrodynamik	692
22.5	Hydrodynamische Ähnlichkeitsgesetze	703
22.6	Innenströmung und Rohrhydraulik	714
22.7	Einführung in die Gasdynamik	721
	Literatur	731
	Antworten zu den Verständnisfragen	732
	Aufgaben	734

Teil V Maschinenelemente/Konstruktionslehre

23	Die technische Zeichnung – die Sprache des Ingenieurs	741
23.1	Die Elemente einer technischen Zeichnung	742
23.2	Das Finden der richtigen Blattgröße und die Nutzung von Zeichnungsnormen	744
23.3	Die Darstellung von Werkstücken	753
23.4	Wie bemaßt man ein Werkstück?	759
23.5	Technische Oberflächen und Kanten	762
23.6	Darstellung von Normteilen	765
	Antworten zu den Verständnisfragen	766
	Aufgaben	767
24	Toleranzen – Geometrische Produktspezifikationen schaffen Qualität	769
24.1	Was sind Toleranzen?	770
24.2	Passungen	775
24.3	Form- und Lagetoleranzen	779
24.4	Geometrische Produktspezifikationen	787
24.5	Toleranzanalysen	791
	Literatur	795
	Antworten zu den Verständnisfragen	795
	Aufgaben	796
25	Konstruieren – Produkte methodisch entwickeln	797
25.1	Einführung in die Produktentwicklung	798
25.2	Aufgabe klären	801
25.3	Produkt konzipieren	805
25.4	Produkt entwerfen	818
25.5	Produkt ausarbeiten	828
	Literatur	829
	Antworten zu den Verständnisfragen	830
	Aufgaben	831
26	Verbindungselemente – aus Bauteilen werden Maschinen	833
26.1	Stoffschlüssige Verbindungen	834
26.2	Schraubenverbindungen	843
26.3	Nietverbindungen	856
26.4	Reibschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	860
26.5	Formschlüssige Welle-Nabe-Verbindungen	867
26.6	Elastische Verbindungen – Federn	873
	Literatur	881
	Antworten zu den Verständnisfragen	882
	Aufgaben	884

27	Antriebselemente – so gelangt Leistung zur Arbeitsmaschine	887
27.1	Achsen und Wellen	888
27.2	Lager	894
27.3	Kupplungen und Bremsen	908
27.4	Zahnradgetriebe	920
27.5	Zugmittelgetriebe	939
	Literatur	947
	Antworten zu den Verständnisfragen	948
	Aufgaben	950
28	Dichtungen – damit Medien bleiben wo sie hingehören	953
28.1	Berührungs dichtungen zwischen ruhenden Bauteilen	954
28.2	Berührungs dichtungen zwischen bewegten Bauteilen	956
28.3	Berührungs freie Dichtungen	959
	Literatur	961
	Antworten zu den Verständnisfragen	962
	Aufgaben	963

Teil VI Fertigungstechnik

29	Fertigungstechnik – Werkstücke wirtschaftlich und nachhaltig herstellen	967
29.1	Begriffe und Einordnung	968
29.2	Historische Entwicklung	968
29.3	Übersicht über die Industriezweige	970
29.4	Einteilung der Fertigungsverfahren	971
29.5	Genaugkeit und Oberflächengüte	973
	Literatur	976
30	Fertigungsverfahren – der Weg zum Werkstück	977
30.1	Verfahrenseinteilung	978
30.2	Urformen	979
30.3	Umformen	1006
30.4	Trennen	1033
30.5	Fügen	1058
30.6	Beschichten	1062
	Literatur	1068
	Antworten zu den Verständnisfragen	1068
	Aufgaben	1071

31	Werkzeugmaschinen – Werkstücke mit formgebenden Werkzeugen bearbeiten	.1075
31.1	Bedeutung von Werkzeugmaschinen	.1076
31.2	Auswahlkriterien für Werkzeugmaschinen	.1076
31.3	Fräsmaschinen	.1077
31.4	Drehmaschinen	.1084
31.5	Dreh-Fräsmaschinen	.1088
31.6	Schleifmaschinen	.1089
31.7	Umformmaschinen	.1090
31.8	Belastungen auf Werkzeugmaschinen	.1095
31.9	Maschinenkomponenten	.1097
31.10	Steuerungen	.1106
31.11	NC-Programmierung	.1111
	Literatur	.1114
	Antworten zu den Verständnisfragen	.1114
	Aufgaben	.1116
32	Fertigungsprozesse – Produkte fertigen und montieren	.1119
32.1	Wandel der Produktionstechnik	.1120
32.2	Fertigungs- und Stückkosten	.1123
32.3	Arbeitsplanung und -steuerung	.1123
32.4	Automatisierung von Produktionsprozessen	.1130
32.5	Digitale Fabrik	.1133
32.6	Industrie 4.0	.1136
	Antworten zu den Verständnisfragen	.1137
	Aufgaben	.1138
33	Nachhaltige Produktion – Emissionen vermeiden und Ressourcen schonen	.1141
33.1	Grundlagen und Begriffe	.1142
33.2	Rezyklieren: Wieder- und Weiterverwendung	.1143
33.3	Analyse des Produktlebenszyklus	.1148
33.4	Rezyklieren wichtiger Werkstoffgruppen	.1153
	Literatur	.1158
Teil VII Elektrotechnik		
34	Gesetze der Elektrotechnik – wie ihre Bauelemente funktionieren	.1161
34.1	Ladung und Strom	.1162
34.2	Die elektrische Kraft	.1163
34.3	Ladung im Raum: Das statische elektrische Feld	.1164

34.4	Ladung im elektrischen Feld: der Kondensator	1168
34.5	Ströme im elektrischen Feld: Widerstände, Quellen, Arbeit und Leistung	1170
34.6	Ströme im Raum: das statische Magnetfeld	1171
34.7	Die magnetische Kraft	1173
34.8	Wechselfelder, Induktion und die Spule	1174
34.9	Die Maxwell'schen Gleichungen	1177
	Antworten zu den Verständnisfragen	1178
	Aufgaben	1179
35	Lineare Netze – wie der Strom sein Ziel findet	1181
35.1	Die Regeln von Kirchhoff	1182
35.2	Maschenstrom- und Knotenpotenzialverfahren	1183
35.3	Komplexe Wechselstromlehre: Vom Widerstand zur Impedanz	1186
35.4	Energie und Leistung im Wechselstromkreis	1189
35.5	Transformatoren	1192
35.6	Drei-Phasen-Wechselstrom	1195
	Antworten zu den Verständnisfragen	1197
	Aufgaben	1198
36	Halbleiterelektronik – wie Schaltungen schlau werden	1201
36.1	Halbleiter	1202
36.2	Dioden	1204
36.3	Bipolar-Transistoren	1208
36.4	MOS-Transistoren	1212
36.5	Leistungshalbleiter	1215
	Antworten zu den Verständnisfragen	1219
	Aufgaben	1221
37	Motoren und Generatoren – wie von 0 auf 300 km/h beschleunigt wird	1223
37.1	Physikalische Grundlagen von Motoren und Generatoren	1224
37.2	Typen, Randbedingungen und Einsatzgebiete	1229
37.3	Gleichstrommaschinen	1230
37.4	Asynchronmaschinen	1235
37.5	Synchronmaschinen	1238
	Antworten zu den Verständnisfragen	1242
	Aufgaben	1243

Teil VIII Regelungstechnik

38 Begriffe und Modelle – dynamische Systeme beschreiben	1247
38.1 Dynamische Systeme, Steuerung und Regelung	1248
38.2 Das Zustandsraummodell	1255
38.3 Das Blockschaltbild	1258
38.4 Lineare zeitinvariante Systeme	1260
38.5 Literaturhinweise	1264
Antworten zu den Verständnisfragen	1267
Aufgaben	1269
39 Analyse der Dynamik – Systemantworten ermitteln und verstehen	1273
39.1 Die Laplace-Transformation	1274
39.2 Systemantworten und Stabilität	1287
39.3 Pole, Nullstellen, Modellreduktion und Identifikation	1293
39.4 Frequenzgang und Bode-Diagramm	1297
Antworten zu den Verständnisfragen	1306
Aufgaben	1307
40 Entwurf im Frequenzbereich – Stabilität und gutes Einschwingen erreichen	1311
40.1 Der Standardregelkreis	1312
40.2 Regelkreisstabilität und Robustheit der Stabilität	1315
40.3 Anforderungen an das Regelverhalten	1321
40.4 Grundtypen linearer Regler	1325
40.5 Regelungsentwurf im Bode-Diagramm	1331
40.6 Gütekriterien und optimale Regelung	1333
40.7 Erweiterte Regelungsstrukturen	1335
Aufgaben	1340
41 Entwurf im Zustandsraum – alle Systemgrößen einbeziehen	1343
41.1 Konstante Zustandsrückführung und Vorsteuerung	1344
41.2 Zustandsbeobachtung	1347
41.3 Dynamische Vorsteuerung	1348
41.4 Konstante und dynamische Störgrößenaufschaltung	1349
41.5 Ausblick und Beispiele	1351
41.6 Nichtlineare Zustandsregelung durch Ein-/Ausgangslinearisierung . .	1354
41.7 Digitale Realisierung	1356
Aufgaben	1360
Symbolen	1363
Autorenbiographien	1379
Abbildungsnachweis	1385
Sachverzeichnis	1391