
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 Zwangskäfte	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	Wärme kraftprozesse 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	Berührungsdichtungen zwischen ruhenden Bauteilen	954
28.2	Berührungsdichtungen zwischen bewegten Bauteilen	956
28.3	Berührungsfreie 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	Genauigkeit 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 bearbeiten1075

31.1 Bedeutung von Werkzeugmaschinen1076

31.2 Auswahlkriterien für Werkzeugmaschinen1076

31.3 Fräsmaschinen1077

31.4 Drehmaschinen1084

31.5 Dreh-Fräsmaschinen1088

31.6 Schleifmaschinen1089

31.7 Umformmaschinen1090

31.8 Belastungen auf Werkzeugmaschinen1095

31.9 Maschinenkomponenten1097

31.10 Steuerungen1106

31.11 NC-Programmierung1111

Literatur1114

Antworten zu den Verständnisfragen1114

Aufgaben1116

32 Fertigungsprozesse – Produkte fertigen und montieren1119

32.1 Wandel der Produktionstechnik1120

32.2 Fertigungs- und Stückkosten1123

32.3 Arbeitsplanung und -steuerung1123

32.4 Automatisierung von Produktionsprozessen1130

32.5 Digitale Fabrik1133

32.6 Industrie 4.01136

Antworten zu den Verständnisfragen1137

Aufgaben1138

33 Nachhaltige Produktion – Emissionen vermeiden und Ressourcen schonen .1141

33.1 Grundlagen und Begriffe1142

33.2 Rezyklieren: Wieder- und Weiterverwendung1143

33.3 Analyse des Produktlebenszyklus1148

33.4 Rezyklieren wichtiger Werkstoffgruppen1153

Literatur1158

Teil VII Elektrotechnik

34 Gesetze der Elektrotechnik – wie ihre Bauelemente funktionieren1161

34.1 Ladung und Strom1162

34.2 Die elektrische Kraft1163

34.3 Ladung im Raum: Das statische elektrische Feld1164

	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
	Symbole	.1363
	Autorenbiographien	.1379
	Abbildungsnachweis	.1385
	Sachverzeichnis	.1391