

# Inhaltsverzeichnis

## TEIL 1: Statik

1	Begriffe, Grundgesetze, Grundaufgaben . . . . .	1
1.1	Die Kraft . . . . .	1
1.2	Masse und Gewichtskraft . . . . .	2
1.3	Das Gleichgewichtssaxiom . . . . .	3
1.4	Das Wechselwirkungsgesetz . . . . .	4
1.5	Die Verschiebbarkeit der Kraft längs ihrer Wirkungslinie . . . . .	5
1.6	Kräfteparallelogramm und Krafteck . . . . .	5
1.7	Die Zerlegung einer Kraft nach zwei nichtparallelen Wirkungslinien . . . . .	5
1.8	Das Hebelgesetz von ARISTOTELES und ARCHIMEDES . . . . .	6
2	Die resultierende Kraft eines zentralen ebenen Kräftesystems . . . . .	8
2.1	Graphische Lösung . . . . .	8
2.2	Analytische Lösung . . . . .	8
3	Kräftepaar und Moment einer Kraft . . . . .	10
3.1	Das Kräftepaar . . . . .	10
3.2	Das Gleichgewicht zweier Kräftepaare . . . . .	11
3.3	Parallelverschiebung einer Kraft . . . . .	11
3.4	Das Moment einer Kraft bezüglich eines Punktes . . . . .	11
3.5	Darstellung und Eigenschaften des Moments . . . . .	12
3.6	Das Moment einer Kraft in Bezug auf den Koordinatenursprung . . . . .	13
4	Die resultierende Kraft eines nicht zentralen ebenen Kräftesystems . . . . .	14
4.1	Parallele Kräfte . . . . .	14
4.2	Beliebige Kräfte . . . . .	15
5	Lagerung von Körpern . . . . .	16
5.1	Freimachen eines Körpers . . . . .	16
5.2	Lagerungsarten ebener Körper . . . . .	16
6	Ebene Kräftesysteme im Gleichgewicht . . . . .	19
6.1	Drei nichtparallele Kräfte . . . . .	19
6.2	Zerlegung einer Kraft nach drei Wirkungslinien . . . . .	22
6.3	Beliebiges ebenes Kräftesystem (einschließlich Einzelmomente) . . . . .	24
7	Lagerreaktionen von typischen ebenen Tragwerken . . . . .	29
7.1	Balken auf zwei Stützen . . . . .	29
7.2	Der eingespannte Balken . . . . .	29
7.3	GERBER-Träger . . . . .	30
7.4	Dreigelenkbogen . . . . .	32
8	Das räumliche Kräftesystem . . . . .	33
8.1	Komponenten einer Kraft im kartesischen Koordinatensystem . . . . .	33
8.2	Das Moment einer Kraft und seine kartesischen Komponenten . . . . .	34
8.3	Resultierende Kraft und resultierendes Moment . . . . .	36
8.4	Lagerung räumlicher Körper . . . . .	37
8.5	Räumliche Kräftesysteme im Gleichgewicht . . . . .	37

9	Der Schwerpunkt . . . . .	46
9.1	Körperschwerpunkt . . . . .	46
9.2	Flächenschwerpunkt . . . . .	49
9.3	Die GULDINschen Regeln . . . . .	51
10	Innere Kräfte und Momente . . . . .	54
10.1	Gerader Balken auf zwei Stützen mit Belastung quer zur Balkenachse . . . . .	54
10.2	Der eingespannte Balken . . . . .	62
10.3	GERBER-Träger . . . . .	63
10.4	Bogenträger . . . . .	64
10.5	Ebene Rahmen ohne Verzweigung . . . . .	65
10.6	Ebene Rahmen mit Verzweigung . . . . .	67
10.7	Wellen . . . . .	69
10.8	Beliebige räumliche Träger . . . . .	71
11	Ebene, statisch bestimmte Fachwerke . . . . .	74
12	Reibung . . . . .	77
12.1	Haft- und Gleitreibung . . . . .	77
12.2	Seil- und Riemenreibung . . . . .	80
12.3	Rollreibung (Rollwiderstand) . . . . .	83
	Prüfungsaufgaben . . . . .	85
	Antworten zu den Fragen . . . . .	90
	Ergebnisse der Übungsaufgaben (meist mit Lösungshinweisen und Zwischenwerten) . . . . .	92
	Ergebnisse der Prüfungsaufgaben (meist mit Lösungshinweisen und Zwischenwerten) . . . . .	99
 <b>TEIL 2: Kinematik, Kinetik, Schwingungen</b>		
1	Einleitung . . . . .	101
2	Ebene Punktbewegung . . . . .	103
2.1	Bahn, Geschwindigkeit, Beschleunigung . . . . .	103
2.2	Weg-Zeit-Diagramm . . . . .	107
2.3	Grundaufgaben der Kinematik . . . . .	108
2.4	Tangential- und Normalbeschleunigung (bzw. Bahn- und Zentripetalbeschleunigung) . . . . .	110
2.5	Drehbewegung – lineare Bewegung . . . . .	112
2.5.1	Kreisbahn . . . . .	112
2.5.2	Umwandlung einer Drehbewegung in eine lineare Bewegung . . . . .	113
2.6	Beschreibung der Bewegung in Polarkoordinaten . . . . .	116
3	Räumliche Punktbewegung . . . . .	120

Inhaltsverzeichnis	XI
4 Ebene Bewegung des starren Körpers (mit Hinweisen auf die räumliche Bewegung)	123
4.1 Translation (Parallelverschiebung)	123
4.2 Rotation (Drehung)	123
4.3 Beliebige Bewegung	123
4.3.1 Geschwindigkeit	124
4.3.2 Beschleunigung	125
4.4 Drehpol (Momentan-, Geschwindigkeitspol)	127
5 Relativbewegung	131
5.1 Translatorisch bewegtes Bezugssystem	131
5.2 Geschwindigkeit bei translatorisch und rotatorisch bewegtem Bezugssystem	132
5.3 Beschleunigung bei translatorisch und rotatorisch bewegtem Bezugssystem	134
6 Überlagerte Drehbewegungen	139
7 Arbeit, potentielle Energie, Leistung, Wirkungsgrad	141
7.1 Arbeit und potentielle Energie	141
7.2 Leistung	143
7.3 Wirkungsgrad	143
8 Die NEWTONschen Grundgesetze, D'ALEMBERTsche Trägheitskraft	145
9 Impulssatz und Schwerpunktsatz	151
10 Energiesatz	157
11 Trägheitsmomente	161
12 Kinetik der ebenen Bewegung des starren Körpers	164
12.1 Translation mit der Schwerpunktgeschwindigkeit	164
12.2 Rotation um eine Trägheitshauptachse durch den Schwerpunkt	165
12.2.1 Drehimpulssatz (Drallsatz)	165
12.2.2 Kinetische Energie	167
12.3 Analogie zwischen Translation und Rotation	168
12.4 Drehung um eine feste Achse oder um eine Achse durch den Momentanpol	170
12.5 Reduziertes Trägheitsmoment	171
12.6 Allgemeine ebene Bewegung	174
12.7 Gekoppelte Körper	177
13 Kinetik der Relativbewegung	180
14 Stoßvorgänge	183
14.1 Gerader zentraler Stoß	183
14.2 Schiefer zentraler Stoß	189
14.3 Gerader exzentrischer Stoß	190
14.4 Drehstoß	191
15 Schwingungen	192
15.1 Freie ungedämpfte Schwingung	193
15.2 Freie gedämpfte Schwingung	198

15.3	Erzwungene Schwingung . . . . .	205
15.4	Maßnahmen gegen Resonanzerscheinungen . . . . .	209
15.4.1	Verlagerung der Eigenfrequenz . . . . .	209
15.4.2	Dämpfung und Schwingungsstörung . . . . .	210
15.4.3	Schwingungsisolierung . . . . .	210
15.4.3.1	Aktive Isolierung . . . . .	210
15.4.3.2	Passive Isolierung . . . . .	213
15.4.4	Schwingungstilgung mittels Hilfsmasse . . . . .	214
	Prüfungsaufgaben . . . . .	217
	Antworten zu den Fragen . . . . .	221
	Ergebnisse der Übungsaufgaben (meist mit Lösungshinweisen und Zwischenwerten) . . . . .	225
	Ergebnisse der Prüfungsaufgaben (meist mit Lösungshinweisen und Zwischenwerten) . . . . .	231
 <b>TEIL 3: Festigkeitslehre</b>		
1	Aufgaben der Festigkeitslehre . . . . .	233
2	Beanspruchungsarten . . . . .	236
3	Spannungen . . . . .	239
3.1	Normalspannung und Schubspannung . . . . .	239
3.2	Zugstab – einachsiger Spannungszustand . . . . .	240
3.3	Räumlicher (dreiachsiger) Spannungszustand . . . . .	242
3.4	Ebener (zweiachsiger) Spannungszustand (ESZ) . . . . .	244
3.4.1	Spannungen für gedrehte Schnittflächen . . . . .	245
3.4.2	Größe und kleinste Normalspannung sowie größte Schubspannung . . . . .	247
3.4.3	MOHRscher Spannungskreis . . . . .	253
3.5	Spannungsoptik . . . . .	256
4	Verformungen und Verzerrungen . . . . .	262
4.1	Dehnung und Querdehnung . . . . .	262
4.2	Schubverzerrung . . . . .	263
4.3	Allgemeiner Verzerrungszustand . . . . .	263
5	Stoffgesetze . . . . .	264
5.1	Zugversuch, Spannungs-Dehnungs-Diagramm, HOOKEsches Gesetz . . . . .	264
5.2	Schubspannung und Schubwinkel . . . . .	267
5.3	Elastizitätsgesetz für den ebenen Spannungszustand . . . . .	267
5.4	Wärmedehnungen und Wärmespannungen . . . . .	269
5.5	Anwendung der einachsigen Stoffgesetze auf statisch bestimmte und statisch unbestimmte Stabwerke . . . . .	271
5.5.1	Spannungen und Verformungen in einem statisch bestimmten Stabwerk . . . . .	271
5.5.2	Spannungen und Verformungen in einem statisch unbestimmten Stabwerk . . . . .	273
6	Arbeit und elastische Energie . . . . .	276

7	Einfache Beanspruchungsfälle und Festigkeitsbedingungen . . . . .	279
7.1	Zug und Druck . . . . .	279
7.2	Flächenpressung . . . . .	281
7.3	Schub . . . . .	281
8	Dünnwandige Ringe . . . . .	285
8.1	Spannung unter Innen- oder Außendruck . . . . .	285
8.2	Radiusänderung und Dehnung infolge Spannung und Temperaturänderung . . . . .	286
8.3	Rotierender Ring . . . . .	289
9	Dünnwandige Behälter . . . . .	293
9.1	Kreiszyklindrischer Behälter unter Innen- oder Außendruck . . . . .	293
9.2	Kugelbehälter unter Innen- oder Außendruck . . . . .	294
10	Flächenmomente . . . . .	297
10.1	Flächenmoment 1. Grades (statisches Moment der Fläche) . . . . .	297
10.2	Flächenmomente 2. Grades . . . . .	298
10.2.1	Definitionen und Beispiele . . . . .	298
10.2.2	Parallelverschiebung der Bezugsachsen . . . . .	301
10.2.3	Drehung der Bezugsachsen . . . . .	301
10.2.4	Flächenmomente zusammengesetzter Flächen . . . . .	302
11	Biegung. . . . .	308
11.1	Reine Biegung . . . . .	308
11.1.1	Gerade Biegung . . . . .	308
11.1.2	Schiefe Biegung . . . . .	312
11.2	Biegung mit Querkraft und weitere Näherungen (Technische Biegelehre) . . . . .	315
11.3	Durchbiegung und Biegewinkel . . . . .	321
11.4	Formänderungsarbeit . . . . .	327
12	Torsion . . . . .	331
12.1	Kreiszyklindrische Stäbe . . . . .	331
12.2	Formänderungsarbeit . . . . .	336
12.3	Dünnwandige einfach geschlossene Profile . . . . .	337
12.3.1	Schubspannung . . . . .	337
12.3.2	Torsionswinkel . . . . .	338
12.4	Dünnwandige offene Profile . . . . .	342
12.5	Sonstige Querschnittsformen . . . . .	343
13	Schub bei Querkraftbiegung . . . . .	346
14	Knickung . . . . .	353
14.1	Elastische Knickung nach EULER . . . . .	353
14.2	Spannungsabsicherung bei Druckstäben . . . . .	356
15	Dauer-, Zeit- und Betriebsfestigkeit . . . . .	361
16	Festigkeits-hypothesen . . . . .	364
16.1	Die drei wichtigsten Hypothesen . . . . .	365
16.2	Anstrengungsverhältnis . . . . .	367
17	Zusammengesetzte Beanspruchung von Stäben . . . . .	369

17.1 Biegung mit Normalkraft . . . . .	369
17.2 Biegung und Torsion . . . . .	372
17.3 Beliebige Lastkombination . . . . .	377
18 Bauteilfestigkeit . . . . .	380
18.1 Plastische Stützwirkung. . . . .	380
18.2 Kerbwirkung . . . . .	381
18.3 Oberflächeneinfluss, Randschichtverfestigung, Umgebungseinfluss . . . . .	384
18.4 Größeneinfluss . . . . .	385
19 Dehnungsmessstreifen-Methode (DMS-Methode) . . . . .	391
20 Satz von CASTIGLIANO . . . . .	398
20.1 Statisch bestimmte Systeme . . . . .	400
20.2 Statisch unbestimmte Systeme . . . . .	401
Prüfungsaufgaben . . . . .	406
Antworten zu den Fragen . . . . .	415
Ergebnisse der Übungsaufgaben (meist mit Lösungshinweisen und Zwischenwerten). . . . .	421
Ergebnisse der Prüfungsaufgaben (meist mit Lösungshinweisen und Zwischenwerten). . . . .	426
Literaturverzeichnis (im Text zitierte und ergänzende Literatur) . . . . .	429
Verwendete Symbole (mit den vorzugsweise verwendeten Einheiten). . . . .	431
Sachwortverzeichnis . . . . .	435