

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kinematik</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Gleichförmige Bewegung auf gerader Bahn</b> .....	<b>2</b>
1.1.1	Geschwindigkeit .....	2
1.1.2	Zusammenfassen von Geschwindigkeiten .....	4
1.1.3	Zeichnerische Darstellung einer gleichförmigen Bewegung .....	5
<b>1.2</b>	<b>Gleichförmige Bewegung auf Kreisbahn</b> .....	<b>6</b>
1.2.1	Umfangs- und Winkelgeschwindigkeit .....	6
1.2.2	Bogenmaß und Winkelgeschwindigkeit .....	7
1.2.3	Übersetzungen .....	11
<b>1.3</b>	<b>Gleichmäßig beschleunigte bzw. verzögerte Bewegung auf gerader Bahn</b> .....	<b>15</b>
1.3.1	Beschleunigung und Verzögerung .....	15
1.3.2	Durchschnittsgeschwindigkeit und Momentangeschwindigkeit .....	15
1.3.3	Beschleunigte (verzögerte) Bewegung ohne Anfangsgeschwindigkeit (Endgeschwindigkeit) .....	18
1.3.3.1	Beschleunigte Bewegung eines Fahrzeuges ohne Anfangsgeschwindigkeit .....	18
1.3.3.2	Der freie Fall .....	20
1.3.4	Beschleunigte (verzögerte) Bewegung mit Anfangsgeschwindigkeit (Endgeschwindigkeit) .....	21
<b>1.4</b>	<b>Gleichmäßig beschleunigte bzw. verzögerte Bewegung auf Kreisbahn</b> .....	<b>28</b>
1.4.1	Winkelbeschleunigung und Tangentialbeschleunigung .....	28
1.4.2	Zentripetalbeschleunigung .....	30
<b>1.5</b>	<b>Zusammenstellung der Ergebnisse aus Kapitel 1 und Analogie zwischen Translation und Rotation</b> .....	<b>31</b>
<b>2</b>	<b>Statik</b> .....	<b>32</b>
<b>2.1</b>	<b>Kraft</b> .....	<b>33</b>
<b>2.2</b>	<b>Freimachen von Bauteilen</b> .....	<b>35</b>
<b>2.3</b>	<b>Zentrales Kräftesystem</b> .....	<b>41</b>
2.3.1	Zusammenfassen von Kräften im zentralen Kräftesystem (Ermittlung der resultierenden Kraft) .....	41
2.3.1.1	Zusammenfassen von Kräften mit gemeinsamer Wirklinie .....	41
2.3.1.2	Zusammenfassen von Kräften ohne gemeinsame Wirklinie .....	43
2.3.2	Ermittlung unbekannter Kräfte im zentralen Kräftesystem (Gleichgewicht im zentralen Kräftesystem) .....	51
<b>2.4</b>	<b>Allgemeines Kräftesystem</b> .....	<b>56</b>
2.4.1	Moment und Kräftepaar .....	56
2.4.2	Zusammenfassen von Kräften im allgemeinen Kräftesystem (Ermittlung der resultierenden Kraft) .....	60
2.4.3	Ermittlung unbekannter Kräfte im allgemeinen Kräftesystem (Gleichgewicht im allgemeinen Kräftesystem) .....	63
2.4.3.1	Ermittlung unbekannter Kräfte mithilfe von Gleichgewichtsbedingungen .....	63
2.4.3.2	Ermittlung unbekannter Kräfte im allgemeinen Kräftesystem mithilfe standardisierter Lastfälle .....	72
2.4.3.3	Statisch unbestimmte Systeme .....	73
<b>2.5</b>	<b>Fachwerke</b> .....	<b>77</b>
2.5.1	Statische Bestimmtheit und Stabilität .....	79
2.5.2	Zeichnerische Ermittlung sämtlicher Stabkräfte (Cremona-Plan) .....	80
2.5.3	Rechnerische Ermittlung von Stabkräften im Fachwerk .....	84

<b>2.6</b>	<b>Schwerpunkt</b> . . . . .	91
2.6.1	Schwerpunkt von Flächen . . . . .	92
2.6.2	Schwerpunkt von Linien . . . . .	99
2.6.3	Schwerpunkt von Körpern . . . . .	103
2.6.4	Guldinsche Regeln . . . . .	108
2.6.4.1	Volumenberechnung . . . . .	108
2.6.4.2	Oberflächenberechnung . . . . .	108
2.6.5	Gleichgewichtslagen und Standsicherheit . . . . .	111
2.6.5.1	Gleichgewichtslagen . . . . .	111
2.6.5.2	Standsicherheit . . . . .	113
<b>2.7</b>	<b>Reibung</b> . . . . .	116
2.7.1	Haft- und Gleitreibung . . . . .	116
2.7.1.1	Grundlagen . . . . .	116
2.7.1.2	Coulombsches Reibungsgesetz . . . . .	117
2.7.2	Reibung an wichtigen Maschinenteilen . . . . .	123
2.7.3	Reibung auf der schiefen Ebene . . . . .	125
2.7.3.1	Reibwinkel und Selbsthemmung . . . . .	125
2.7.3.2	Kräfte parallel zur schiefen Ebene . . . . .	131
2.7.3.3	Kräfte parallel zur Basis . . . . .	134
2.7.3.4	Keiltrieb . . . . .	137
2.7.3.5	Reibung im Gewinde . . . . .	140
2.7.4	Seilreibung . . . . .	143
2.7.4.1	Bandbremsen . . . . .	147
2.7.4.2	Backen- und Trommelbremsen . . . . .	149
2.7.4.3	Flaschenzug sowie feste und lose Rolle . . . . .	154
2.7.5	Rollreibung und Fahrwiderstand . . . . .	160
2.7.5.1	Rollreibung . . . . .	160
2.7.5.2	Fahrwiderstand . . . . .	164
<b>3</b>	<b>Kinetik</b> . . . . .	167
<b>3.1</b>	<b>Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad</b> . . . . .	167
3.1.1	Arbeit . . . . .	167
3.1.2	Leistung . . . . .	171
3.1.2.1	Leistung bei geradliniger Bewegung . . . . .	171
3.1.2.2	Leistung bei Drehbewegung . . . . .	173
3.1.3	Wirkungsgrad . . . . .	174
<b>3.2</b>	<b>Kinetik mit geradliniger Bewegung</b> . . . . .	181
3.2.1	Trägheitsgesetz . . . . .	181
3.2.2	Dynamisches Grundgesetz . . . . .	183
3.2.3	D'Alembertsches Prinzip, Trägheitskraft . . . . .	185
3.2.4	Energie . . . . .	188
3.2.4.1	Energiesatz . . . . .	188
3.2.4.2	Potenzielle und kinetische Energie . . . . .	189
<b>3.3</b>	<b>Kinetik bei Drehbewegung</b> . . . . .	192
3.3.1	Fliehkraft . . . . .	192
3.3.2	Dynamisches Grundgesetz bei Drehbewegung . . . . .	195
3.3.2.1	Beschleunigungsdrehmoment und Trägheitsmoment . . . . .	195
3.3.2.2	Berechnung des Trägheitsmoments . . . . .	197
3.3.2.3	Trägheitsradius und reduzierte Masse . . . . .	203
3.3.2.4	Drehenergie . . . . .	206
<b>3.4</b>	<b>Impuls und Impulserhaltungsgesetz</b> . . . . .	211
3.4.1	Impuls . . . . .	211
3.4.2	Impulserhaltungssatz . . . . .	211

3.4.3	Gerader zentrischer Stoß . . . . .	213
3.4.3.1	Elastischer gerader zentrischer Stoß . . . . .	215
3.4.3.2	Elastischer schräger zentrischer Stoß . . . . .	219
3.4.4	Unelastischer Stoß . . . . .	219
3.4.4.1	Umformen durch Schmieden . . . . .	221
3.4.4.2	Einschlagen eines Nagels . . . . .	223
3.4.5	Wirklicher Stoß . . . . .	224
<b>3.5</b>	<b>Drehimpuls, Drall . . . . .</b>	<b>227</b>
<b>4</b>	<b>Mechanische Schwingungen . . . . .</b>	<b>230</b>
<b>4.1</b>	<b>Grundlagen . . . . .</b>	<b>230</b>
<b>4.2</b>	<b>Erläuterung der Sinus- und Cosinus-Funktion einer harmonischen Schwingung am Einheitskreis . . . . .</b>	<b>236</b>
<b>4.3</b>	<b>Eigenfrequenz, Resonanz . . . . .</b>	<b>243</b>
<b>5</b>	<b>Festigkeitslehre . . . . .</b>	<b>252</b>
<b>5.1</b>	<b>Innere Kräfte, Spannungen und Grundbeanspruchungsarten . . . . .</b>	<b>252</b>
5.1.1	Aufgaben der Festigkeitslehre . . . . .	252
5.1.2	Ermittlung der inneren Kräfte (Schnittmethode) . . . . .	253
5.1.3	Ermittlung der Spannung . . . . .	254
5.1.4	Grundbeanspruchungsarten . . . . .	255
<b>5.2</b>	<b>Beanspruchung auf Zug . . . . .</b>	<b>257</b>
5.2.1	Zugspannung . . . . .	257
5.2.2	Formänderung bei Beanspruchung auf Zug . . . . .	260
5.2.3	Zusammenhang zwischen Spannung und Formänderung bei Beanspruchung auf Zug . . . . .	262
5.2.4	Zulässige Spannungen bei Beanspruchung auf Zug . . . . .	266
5.2.4.1	Belastungsfälle . . . . .	267
5.2.4.2	Zulässige Spannung $\sigma_{zul}$ bei statischer Belastung . . . . .	267
5.2.4.3	Zulässige Spannung $\sigma_{zul}$ bei dynamischer Belastung . . . . .	268
<b>5.3</b>	<b>Beanspruchung auf Druck und Flächenpressung . . . . .</b>	<b>271</b>
5.3.1	Druckspannung . . . . .	271
5.3.2	Formänderung bei Beanspruchung auf Druck . . . . .	272
5.3.3	Zusammenhang zwischen Spannung und Formänderung bei Beanspruchung auf Druck . . . . .	273
5.3.4	Zulässige Spannungen bei Beanspruchung auf Druck . . . . .	274
5.3.5	Flächenpressung . . . . .	276
5.3.5.1	Flächenpressung zwischen ebenen Flächen . . . . .	276
5.3.5.2	Zulässige Flächenpressungen . . . . .	277
5.3.5.3	Flächenpressung zwischen gewölbten Flächen . . . . .	279
<b>5.4</b>	<b>Beanspruchung auf Abscheren . . . . .</b>	<b>282</b>
5.4.1	Abscherspannung . . . . .	282
5.4.2	Zulässige Abscherspannungen . . . . .	285
<b>5.5</b>	<b>Beanspruchung auf Biegung . . . . .</b>	<b>287</b>
5.5.1	Biegespannung . . . . .	287
5.5.1.1	Inneres Kräftesystem und Spannungsarten . . . . .	288
5.5.1.2	Verteilung der Biegespannung über den Querschnitt . . . . .	289
5.5.1.3	Berechnung der Biegespannung . . . . .	290
5.5.2	Zulässige Spannungen bei Beanspruchung auf Biegung . . . . .	292
5.5.3	Berechnung der axialen Flächen- und Widerstandsmomente . . . . .	293
5.5.3.1	Axiale Flächen- und Widerstandsmomente von geometrisch einfachen Flächen und von Normprofilen . . . . .	296

5.5.3.2	Axiale Flächen- und Widerstandsmomente von zusammengesetzten Flächen . . . . .	300
5.5.4	Bestimmung des größten Biegemoments $M_{b \max}$ . . . . .	308
5.5.4.1	Ermittlung des größten Biegemoments bei Freitragern . . . . .	308
5.5.4.2	Ermittlung des größten Biegemoments bei Stützträgern . . . . .	315
5.5.5	Träger gleicher Biegebeanspruchung . . . . .	329
5.5.6	Durchbiegung . . . . .	337
5.5.6.1	Rechnerische Ermittlung der Durchbiegung . . . . .	337
5.5.7	Räumliche Probleme der Biegebeanspruchung . . . . .	350
<b>5.6</b>	<b>Beanspruchung auf Torsion</b> . . . . .	<b>354</b>
5.6.1	Äußeres und inneres Kräftesystem . . . . .	354
5.6.2	Ermittlung der Torsionsspannung . . . . .	356
5.6.3	Zulässige Torsionsspannungen . . . . .	362
5.6.4	Formänderung bei Beanspruchung auf Torsion . . . . .	366
<b>5.7</b>	<b>Beanspruchung auf Knickung</b> . . . . .	<b>371</b>
5.7.1	Elastische Knickung . . . . .	372
5.7.1.1	Knickkraft $F_K$ . . . . .	372
5.7.1.2	Sicherheitszahlen bei Beanspruchung auf Knickung . . . . .	376
5.7.1.3	Grenzen für die elastische Knickung . . . . .	378
5.7.2	Nichtelastische Knickung . . . . .	380
<b>5.8</b>	<b>Zusammengesetzte Beanspruchung</b> . . . . .	<b>385</b>
5.8.1	Zusammengesetzte Normalspannungen . . . . .	386
5.8.2	Zusammengesetzte Normal- und Schubspannungen . . . . .	390
5.8.2.1	Torsions- und Zug- oder Druck- oder Biegespannungen $\tau_t + \sigma_z (\sigma_d, \sigma_b)$ . . . . .	390
5.8.2.2	Biege- und Schub- sowie Zug- oder Druckspannungen $\sigma_b + \tau + \sigma_z (\sigma_d)$ . . . . .	395
<b>5.9</b>	<b>Festigkeitswerte, zulässige Spannung und Sicherheit</b> . . . . .	<b>401</b>
5.9.1	Statische (ruhende) Belastung . . . . .	402
5.9.2	Dynamische (schwingende) Belastung . . . . .	405
5.9.2.1	Entstehung eines Dauerbruchs . . . . .	405
5.9.2.2	Dauerfestigkeit . . . . .	406
5.9.2.3	Gestaltfestigkeit . . . . .	412
5.9.2.4	Zulässige Spannungen . . . . .	424
5.9.2.5	Vergleichsspannung und Ist-Sicherheit bei zusammengesetzten Beanspruchungen . . . . .	427
<b>5.10</b>	<b>Anhang Werkstoffkennwerte</b> . . . . .	<b>432</b>
<b>6</b>	<b>Ermittlung von Spannungen und Verformungen an komplexen Bauteilen mithilfe der Finite-Elemente-Methode</b> . . . . .	<b>442</b>
<b>6.1</b>	<b>Notwendigkeit numerischer Lösungen</b> . . . . .	<b>442</b>
<b>6.2</b>	<b>Einführung in die Finite-Elemente-Methode</b> . . . . .	<b>443</b>
<b>6.3</b>	<b>Netzgenerierung und Validierung</b> . . . . .	<b>447</b>
<b>6.4</b>	<b>FEM am Beispiel einer Anhängerkupplungskonsole</b> . . . . .	<b>448</b>
<b>6.5</b>	<b>Modalanalyse und Eigenfrequenzen</b> . . . . .	<b>455</b>
	<b>Wörterbuch</b> . . . . .	<b>459</b>
	<b>Ergebnisse der Übungsaufgaben</b> . . . . .	<b>466</b>
	<b>Sachwortverzeichnis</b> . . . . .	<b>472</b>
	<b>Bildquellenverzeichnis</b> . . . . .	<b>480</b>
	<b>Impressum</b> . . . . .	<b>480</b>