

Inhaltsverzeichnis

1	Kinematik	1
1.1	Gleichförmige Bewegung auf gerader Bahn	2
1.1.1	Geschwindigkeit	2
1.1.2	Zusammenfassen von Geschwindigkeiten	4
1.1.3	Zeichnerische Darstellung einer gleichförmigen Bewegung	5
1.2	Gleichförmige Bewegung auf Kreisbahn	6
1.2.1	Umfangs- und Winkelgeschwindigkeit	6
1.2.2	Bogenmaß und Winkelgeschwindigkeit	7
1.2.3	Übersetzungen	11
1.3	Gleichmäßig beschleunigte bzw. verzögerte Bewegung auf gerader Bahn	15
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
1.4	Gleichmäßig beschleunigte bzw. verzögerte Bewegung auf Kreisbahn	28
1.4.1	Winkelbeschleunigung und Tangentialbeschleunigung	28
1.4.2	Zentripetalbeschleunigung	30
1.5	Zusammenstellung der Ergebnisse aus Kapitel 1 und Analogie zwischen Translation und Rotation	31
2	Statik	32
2.1	Kraft	33
2.2	Freimachen von Bauteilen	35
2.3	Zentrales Kräftesystem	41
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
2.4	Allgemeines Kräftesystem	56
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
2.5	Fachwerke	77
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

2.6	Schwerpunkt	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
2.7	Reibung	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
3	Kinetik	167
3.1	Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad	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
3.2	Kinetik mit geradliniger Bewegung	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
3.3	Kinetik bei Drehbewegung	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
3.4	Impuls und Impulserhaltungsgesetz	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
3.5	Drehimpuls, Drall	227
4	Mechanische Schwingungen	230
4.1	Grundlagen	230
4.2	Erläuterung der Sinus- und Cosinus-Funktion einer harmonischen Schwingung am Einheitskreis	236
4.3	Eigenfrequenz, Resonanz	243
5	Festigkeitslehre	252
5.1	Innere Kräfte, Spannungen und Grundbeanspruchungsarten	252
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
5.2	Beanspruchung auf Zug	257
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 σ_{zul} bei statischer Belastung	267
5.2.4.3	Zulässige Spannung σ_{zul} bei dynamischer Belastung	268
5.3	Beanspruchung auf Druck und Flächenpressung	271
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
5.4	Beanspruchung auf Abscheren	282
5.4.1	Abscherspannung	282
5.4.2	Zulässige Abscherspannungen	285
5.5	Beanspruchung auf Biegung	287
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
5.6	Beanspruchung auf Torsion	354
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
5.7	Beanspruchung auf Knickung	371
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
5.8	Zusammengesetzte Beanspruchung	385
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
5.9	Festigkeitswerte, zulässige Spannung und Sicherheit	401
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
5.10	Anhang Werkstoffkennwerte	432
6	Ermittlung von Spannungen und Verformungen an komplexen Bauteilen mithilfe der Finite-Elemente-Methode	442
6.1	Notwendigkeit numerischer Lösungen	442
6.2	Einführung in die Finite-Elemente-Methode	443
6.3	Netzgenerierung und Validierung	447
6.4	FEM am Beispiel einer Anhängerkupplungskonsole	448
6.5	Modalanalyse und Eigenfrequenzen	455
	Wörterbuch	459
	Ergebnisse der Übungsaufgaben	466
	Sachwortverzeichnis	472
	Bildquellenverzeichnis	480
	Impressum	480