

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Fragestellungen der Dynamik</b> .....	1
<b>2</b>	<b>Bewegungen – ihre Ursachen und Folgen</b> .....	5
2.1	Vieles ist in Bewegung .....	5
2.2	Ursachen für Bewegungen .....	6
2.3	Folgen von Bewegungen .....	7
2.4	Idealisierungen .....	8
2.4.1	Massenpunkt .....	8
2.4.2	Starrer Körper .....	8
2.4.3	Massenpunktsystem .....	9
2.5	Einteilung der Bewegungen .....	10
2.6	Kinematik und Kinetik .....	11
<b>3</b>	<b>Kinematik des Massenpunktes</b> .....	12
3.1	Bewegungsbahn, Geschwindigkeit, Beschleunigung .....	12
3.1.1	Bewegungsbahn .....	12
3.1.2	Geschwindigkeit .....	14
3.1.3	Beschleunigung .....	15
3.2	Geschwindigkeit und Beschleunigung in kartesischen Koordinaten .....	16
3.2.1	Bewegungsbahn .....	16
3.2.2	Geschwindigkeit .....	16
3.2.3	Beschleunigung .....	18
3.3	Geradlinige Bewegung .....	20
3.3.1	Bestimmung von Geschwindigkeit und Beschleunigung aus gegebenem Weg .....	20
3.3.2	Bestimmung von Geschwindigkeit und Weg aus gegebener Beschleunigung .....	22
3.4	Ebene Bewegung .....	35
3.4.1	Kartesische Koordinaten .....	36
3.4.2	Polarkoordinaten .....	36
3.4.3	Natürliche Koordinaten .....	44
3.5	Räumliche Bewegung .....	49
3.5.1	Kartesische Koordinaten .....	50
3.5.2	Zylinderkoordinaten .....	50
3.6	Darstellung von Bewegungen .....	52
3.6.1	$x$ - $t$ -, $v$ - $t$ - und $a$ - $t$ -Diagramme (Weg-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungs-Zeit-Diagramme) .....	52
3.6.2	Phasendiagramm .....	53
3.6.3	Bahnkurve .....	54
3.6.4	Hodografenkurve .....	54

<b>4</b>	<b>Kinetik des Massenpunktes</b> .....	55
4.1	Grundgesetze (Axiome) der Dynamik.....	55
4.1.1	Erstes NEWTONsches Gesetz: Trägheitsgesetz .....	55
4.1.2	Zweites NEWTONsches Gesetz: Bewegungsgesetz.....	56
4.1.3	Drittes NEWTONsches Gesetz: Wechselwirkungsgesetz.....	57
4.2	NEWTONsche Grundgleichung in verschiedenen Koordinatensystemen .....	57
4.2.1	NEWTONsche Grundgleichung in kartesischen Koordinaten.....	58
4.2.2	NEWTONsche Grundgleichung in natürlichen Koordinaten .....	58
4.2.3	Gewichtskraft .....	59
4.3	Anwendungen der NEWTONschen Grundgleichungen.....	60
4.3.1	Ermittlung der Kräfte, die bei einer vorgegebenen Bewegung wirken .....	60
4.3.2	Ermittlung von Bewegungen, die durch Kräfte hervorgerufen werden .....	60
4.3.3	Wurfbewegung ohne Luftwiderstand.....	61
4.3.4	Freier Fall mit Luftwiderstand .....	66
4.3.5	Geführte Bewegung ohne Reibung .....	68
4.3.6	Geführte Bewegung mit Reibung.....	69
4.4	Impulssatz.....	72
4.5	Drall und Drallsatz.....	73
4.5.1	Moment einer Kraft.....	73
4.5.2	Drall, Drehimpuls, Impulsmoment.....	74
4.5.3	Drallsatz, Momentensatz.....	74
4.5.4	Drallerhaltungssatz.....	75
4.5.5	Drallsatz bei ebener Bewegung.....	75
4.5.6	Ermittlung des Dralls mit den Komponenten des Impulses .....	76
4.5.7	Drall und Drallsatz für die Drehbewegung .....	76
4.5.8	NEWTONsche Grundgleichung für die Drehbewegung .....	77
4.6	Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad .....	79
4.6.1	Arbeit und Leistung bei geradliniger Bewegung .....	79
4.6.2	Arbeit und Leistung bei allgemeiner Bewegung.....	80
4.6.3	Arbeit und Leistung bei geführter Bewegung.....	81
4.6.4	Arbeit und Leistung bei der Drehbewegung .....	82
4.6.5	Wirkungsgrad.....	83
4.7	Arbeitssatz, kinetische Energie.....	84
4.8	Energiesatz .....	86
4.8.1	Potentielle Energie oder Potential der Gewichtskraft .....	87
4.8.2	Potentielle Energie oder Potential einer Federkraft.....	88
<b>5</b>	<b>Bewegungen von Massenpunktsystemen</b> .....	91
5.1	Systeme mit kinematischen Bindungen .....	91
5.1.1	Bewegungen mit einem Freiheitsgrad .....	92
5.1.2	Ebene Bewegungen.....	92
5.1.3	Räumliche Bewegungen.....	93
5.2	Systeme mit physikalischen Bindungen .....	94
5.3	Äußere und innere Kräfte eines Massenpunktsystems .....	94
5.4	Kinetik der einzelnen Massen.....	95
5.5	Kinetik des Gesamtsystems .....	97
5.5.1	NEWTONsche Grundgleichung für das Gesamtsystem (Schwerpunktsatz).....	98

5.5.2	Gesamtimpuls, Impulssatz und Impulserhaltungssatz.....	99
5.5.3	Gesamtdrall, Drallsatz und Drallerhaltungssatz.....	100
5.5.4	Energiesatz für das Massenpunktsystem.....	101
5.6	Gerader zentrischer Stoß zweier Massenpunkte.....	101
5.6.1	Stoß ohne Energieverlust.....	102
5.6.2	Stoß mit Energieverlust.....	104
5.7	Schiefer zentrischer Stoß zweier Massen.....	106
5.8	Stoß eines Massenpunktes an einer Wand.....	108
<b>6</b>	<b>Kinematik des starren Körpers.....</b>	<b>111</b>
6.1	Freiheitsgrade eines starren Körpers.....	111
6.2	Translation.....	113
6.3	Rotation.....	114
6.3.1	Rotation um feste Achse.....	116
6.3.2	Rotation um einen raumfesten Punkt.....	118
6.4	Allgemeine Bewegung eines starren Körpers im Raum.....	121
6.5	Allgemeine ebene Bewegung eines starren Körpers.....	122
6.5.1	EULERSche Beziehung für die ebene Bewegung.....	122
6.5.2	Beschreibung der Bewegung in kartesischen Koordinaten.....	123
6.5.3	Momentanpol der Geschwindigkeit.....	124
6.5.4	Rastpolbahn und Gangpolbahn.....	127
6.5.5	Geschwindigkeitspol, Rastpolbahn und Gangpolbahn beim Abgleiten einer an eine Wand angelehnten Leiter.....	128
<b>7</b>	<b>Kinetik des starren Körpers.....</b>	<b>133</b>
7.1	Translation.....	133
7.2	Rotation um feste Achse.....	135
7.2.1	NEWTONSche Grundgleichung für die Drehbewegung.....	135
7.2.2	Drall und Drallsatz.....	137
7.2.3	Arbeit und Leistung.....	137
7.2.4	Kinetische Energie.....	137
7.2.5	Gegenüberstellung von Translation und Rotation.....	137
7.3	Massenträgheitsmomente.....	139
7.3.1	Definition der Massenträgheitsmomente.....	140
7.3.2	Massenträgheitsmomente um parallel verschobene Achsen.....	141
7.3.3	Berechnung der Massenträgheitsmomente einzelner starrer Körper.....	143
7.3.4	Massenträgheitsmomente einiger Körper.....	145
7.4	Allgemeine ebene Bewegung eines starren Körpers.....	148
7.4.1	NEWTONSche Grundgleichungen für die allgemeine ebene Bewegung..	149
7.4.2	Kinetische Energie bei allgemeiner ebener Bewegung.....	149
7.4.3	Arbeitssatz.....	150
7.4.4	Energiesatz.....	150
<b>8</b>	<b>Schwingungen.....</b>	<b>155</b>
8.1	Mechanische Schwingungssysteme.....	155
8.1.1	Feder-Masse-Schwinger.....	155
8.1.2	Drehschwinger.....	155

8.1.3	Schwerependel .....	155
8.1.4	Gedämpfte Schwingungssysteme .....	156
8.1.5	Schwingungssysteme mit Weg- oder Krafterregung .....	157
8.2	Schwingungsarten .....	157
8.2.1	Periodische Schwingung .....	157
8.2.2	Harmonische Schwingung .....	158
8.2.3	Ungedämpfte Schwingung .....	159
8.2.4	Gedämpfte Schwingung .....	159
8.2.5	Freie Schwingung (Eigenschwingung) .....	159
8.2.6	Erzwungene Schwingung .....	159
8.3	Freie ungedämpfte Schwingungen (Eigenschwingungen) .....	160
8.3.1	Geradlinige Schwingung eines Feder-Masse-Systems .....	160
8.3.2	Federkonstanten elastischer Systeme .....	168
8.3.3	Längsschwingungen eines Stab-Masse-Systems .....	175
8.3.4	Geradlinige Schwingungen von Feder-Masse-Systemen mit mehreren Federn .....	176
8.3.5	Biegeschwingungen von Balken-Masse-Systemen .....	177
8.3.6	Torsionsschwingungen eines Stab-Masse-Systems .....	178
8.3.7	Drehschwingungen eines Feder-Masse-Systems .....	179
8.3.8	Schwerependel .....	182
8.4	Freie gedämpfte Schwingungen .....	185
8.4.1	Viskose Dämpfung .....	185
8.4.2	Schwingungen von gedämpften Feder-Masse-Systemen .....	186
8.5	Erzwungene ungedämpfte Schwingungen .....	192
8.5.1	Arten der Erregung .....	193
8.5.2	Schwingungen eines Feder-Masse-Systems bei Wegerregung .....	194
8.5.3	Schwingungen bei Krafterregung mit konstanter Amplitude .....	198
8.5.4	Schwingungen bei Krafterregung mit frequenzabhängiger Amplitude .....	201
8.6	Erzwungene gedämpfte Schwingungen .....	203
8.6.1	Gedämpfte Schwingungen bei Wegerregung .....	203
8.6.2	Gedämpfte Schwingungen bei Krafterregung mit konstanter Amplitude .....	206
8.6.3	Gedämpfte Schwingungen bei Krafterregung mit frequenzabhängiger Amplitude .....	206
<b>9</b>	<b>Klausuraufgaben</b> .....	<b>210</b>
9.1	Aufgabenstellungen .....	210
9.2	Ergebnisse .....	215
<b>Anhang</b>	.....	<b>220</b>
A1	Literatur .....	220
A2	Symbolverzeichnis .....	220
<b>Sachwortverzeichnis</b>	.....	<b>223</b>