

# INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung und Vorbemerkungen zu einigen wichtigen Konzepten ..	1
1.1 Zum Raumbegriff .....	2
1.2 Zur Struktur des euklidischen Raumes .....	4
1.3 Die Zeit .....	6
1.4 Zuordnungen und Funktionen .....	7
1.4.1 Fahrpläne .....	7
1.4.2 Funktionen .....	8
1.4.3 Zahlenfolgen und Konvergenz .....	12
1.4.4 Stetigkeit einer Funktion .....	14
1.4.5 Differenzierbarkeit und Geschwindigkeit .....	16
1.4.6 Die Beschleunigung .....	19
1.5 Zur Frage der Äquivalenz verschiedener Darstellungen .....	19
1.5.1 Elementare Abhängigkeiten .....	19
1.5.2 Umkehrbarkeit von "Zahlenfunktionen" und Wechsel der unabhängigen Variable .....	22
1.5.2 Freie Wahl der unabhängigen Variable .....	26
2. Vektorrechnung und Kinematik des Massenpunktes im Raum .....	31
2.1 Vektoralgebra .....	31
2.1.1 Punkte im euklidischen Raum und Ortsvektoren .....	31
2.1.2 Allgemeine Vektoren und lineare Vektorräume .....	35
2.1.3 Das Skalarprodukt zweier Vektoren .....	36
2.1.4 Lineare Unabhängigkeit, Dimension und kartesische Koordinatensysteme .....	40
2.1.4.1 Lineare Unabhängigkeit und Dimension eines Vektorraums .....	41
2.1.4.2 Orthonormale Basen und kartesische Koordinatensysteme .....	43
2.1.4.3 Das Rechnen in Komponenten .....	45

2.1.5	Vektorprodukte .....	46
2.1.5.1	Das Kreuzprodukt .....	46
2.1.5.2	Mehrfache Kreuzprodukte .....	50
2.1.5.3	Das Spatprodukt .....	52
2.2	Vektoranalysis I: Kurven und Bahnen .....	53
2.2.1	Zur Begriffsbestimmung .....	53
2.2.2	Differentiationsprozesse .....	56
2.2.2.1	Differentiation einer Bahn nach einem Parameter .....	56
2.2.2.2	Differentiation von Produkten .....	56
2.2.2.3	Geschwindigkeit und Beschleunigung .....	57
2.2.3	Integrationen mit Vektoren .....	58
2.2.3.1	Integration von Bahnen .....	58
2.2.3.2	Die Kurvenlänge .....	58
2.2.4	Das begleitende Dreibein .....	62
2.2.4.1	Der Tangentenvektor .....	62
2.2.4.2	Normale und Binormale .....	63
2.2.4.3	Die Frenetschen Formeln .....	64
2.2.5	Beispiele .....	66
2.2.5.1	Die Kreislinie .....	66
2.2.5.2	Die Schraubenlinie .....	68
2.2.5.3	Die gleichmäßige Bewegung auf dem Kreise ..	70
2.2.5.4	Die Tangential- und die Normal- beschleunigung .....	70
2.3	Felder .....	71
2.3.1	Stetigkeit und Differenzierbarkeit von Feldern ...	72
2.3.1.1	Stetigkeit .....	72
2.3.1.2	Differenzierbarkeit .....	74
2.3.1.3	Heuristisches über Mannigfaltigkeiten im Raum .....	79
2.3.1.4	Der Begriff des Differentials .....	84
2.3.2	Differentialformen und Kurvenintegrale .....	89
2.3.2.1	Totale Differentiale und Differential- formen .....	89
2.3.2.2	Kurvenintegrale .....	92
3.	Grundlegung der Newtonschen Mechanik .....	96
3.1	Über Axiome und Prinzipien .....	96

3.2	Die Newtonsche Formulierung der Prinzipien der Mechanik ...	99
3.3	Analyse und Konkretisierung von Newtons Aussagen .....	101
3.3.1	Analyse der Aussagen I .....	101
3.3.2	Bewegte Bezugssysteme .....	103
3.3.3	Analyse der Aussagen II .....	109
3.4	Zusammenstellung der Prinzipien der Mechanik .....	114
3.5	Das Grundproblem der Mechanik .....	116
4.	Fundamentale Begriffe und Konzepte der Mechanik .....	118
4.1	Abgeschlossene und offene Systeme .....	118
4.2	Arbeit, Leistung, Energie .....	120
4.2.1	Das Kraftfeld .....	120
4.2.2	Arbeit und Leistung .....	121
4.2.3	Die kinetische Energie des Massenpunktes .....	122
4.2.4	Konservative Kräfte und das Potential .....	123
4.2.5	Die potentielle Energie und der Energiesatz der Punktmechanik .....	124
4.3	Drehmoment, Drehimpuls und Zentralkräfte .....	129
4.3.1	Drehimpuls und Drehmoment .....	129
4.3.2	Zentralkräfte .....	130
4.3.3	Bedeutung der Drehimpulserhaltung für die Bewegung .....	133
4.3.4	Der Gesamtdrehimpuls von Systemen von Massenpunkten .....	135
4.4	Der Kraftstoß und Stoßgesetze .....	137
4.4.1	Der Kraftstoß .....	137
4.4.2	Die Diracsche $\delta$ -Funktion .....	138
4.4.3	Stoßgesetze .....	145
4.4.3.1	Stoßkinematik des Zweierstoßes .....	145
4.4.3.2	Bedeutung von Stoßprozessen in der Physik .....	155
5.	Einfache Beispiele für die Dynamik eines Massenpunktes .....	157
5.1	Parallele Kraftfelder .....	157
5.1.1	Das Schwerfeld .....	159
5.1.2	Zwangskräfte I: Die Bewegung auf einer Kurve im Schwerfeld .....	161
5.1.2.1	Bewegung auf der Geraden und der schiefen Ebene .....	163
5.1.2.2	Bewegung auf dem vertikalen Kreis .....	165

5.2	Reibungskräfte als dissipative Kräfte .....	167
5.2.1	Allgemeine Beschreibung von Bewegungen mit Reibung .....	167
5.2.2	Ursachen und spezielle Formen der Reibung .....	171
5.2.3	Beispiele .....	174
5.2.3.1	Schiefe Rinne mit Coulomb-Reibung .....	174
5.2.3.2	Der lotrechte Fall mit Stokesscher und Newtonscher Reibung .....	176
6.	Der harmonische Oszillator .....	179
6.1	Modell und physikalische Bedeutung .....	179
6.2	Die Bewegung des harmonischen Oszillators .....	182
6.2.1	Elementare Lösung der Bewegungsgleichung .....	182
6.2.2	Einige Resultate aus der Theorie der Differentialgleichungen .....	185
6.2.2.1	Allgemeine Resultate .....	186
6.2.2.1	Lineare Differentialgleichungen .....	189
6.2.2.3	Verifizierung am Beispiel des harmonischen Oszillators .....	192
6.2.3	Mathematischer Exkurs: Komplexe Zahlen .....	192
6.2.3.1	Imaginäre und komplexe Zahlen .....	193
6.2.3.2	Komplexe Funktionen .....	198
6.2.3.3	Anwendung auf den harmonischen Oszillator .	204
6.2.3.4	Der komplexe und der unitäre Vektorraum ..	206
6.3	Der gedämpfte Oszillator .....	209
6.3.1	Die Integration der Bewegungsgleichung .....	210
6.3.2	Diskussion der Lösungen .....	212
6.4	Der harmonische Oszillator unter Einwirkung einer äußeren Kraft .....	216
6.4.1	Bewegungsgleichung und Greensche Funktion .....	216
6.4.2	Der Fall der periodischen Erregung .....	221
6.4.2.1	Lösung unter Verwendung der Greenschen Funktion .....	221
6.4.2.2	Lösung mittels der direkten Methode .....	223
6.4.3	Elementare Einschwingvorgänge .....	230
6.4.4	Die Suszeptibilität des Oszillators .....	235

6.5	Der dreidimensionale harmonische Oszillator .....	239
6.5.1	Gleiche Frequenzen .....	239
6.5.1.1	Der dämpfungsfreie Fall .....	239
6.5.1.2	Der gedämpfte Fall .....	244
6.5.2	Unterschiedliche Frequenzen .....	245
-----		
Übungsaufgaben	.....	247
Register	.....	269