

1	Grundkonzepte	1
1.1	Begriffe, Annahmen und Ziele	2
1.1.1	Theoretische Physik	2
1.1.2	Determinismus und Reversibilität	3
1.2	Mathematische Modellbildung	4
1.3	Eindimensionaler, reeller Zustandsraum	7
1.3.1	f hängt nur von n ab	8
1.3.2	f hängt nur von Z_n ab	8
	Aufgaben	11
2	Beschreibung der Bewegung von Massenpunkten	13
2.1	Wo befindet sich das Teilchen?	14
2.1.1	Ortsvektoren	14
2.1.2	Orthonormale Basisvektoren	14
2.1.3	Das Kronecker-Delta	17
2.1.4	Koordinatendarstellung	18
2.2	Wie bewegt sich das Teilchen?	21
2.2.1	Der Differenzialquotient	21
2.2.2	Geschwindigkeitsvektoren	22
2.2.3	Beschleunigungsvektoren	23
2.3	Beispiele	24
2.3.1	Eindimensionale Bewegung in z -Richtung	24
2.3.2	Schwingung in x -Richtung	25
2.3.3	Kreisbewegung in der xy -Ebene	27
2.4	Krummlinige Koordinaten	29
2.5	Bemerkungen zum Thema Zustand	32
	Aufgaben	33
3	Dynamische Gesetze für einen Massenpunkt	37
3.1	Fundamentalsatz der Analysis	38
3.2	Aristoteles'sche Bewegungsgleichung	41
3.2.1	Diskretisierung und Determinismus	42
3.2.2	Integration der Bewegungsgleichung	43
3.2.3	Irreversible Dynamik	44

3.3	Newton'sche Bewegungsgleichung	46
3.3.1	Das zweite Newton'sche Gesetz	46
3.3.2	Das erste Newton'sche Gesetz	46
3.3.3	Konstante Kraft	47
3.3.4	Harmonischer Oszillator	48
3.4	Zustandsraum	49
3.5	Prinzipien	51
	Aufgaben	52
4	Gewöhnliche Differenzialgleichungen	55
4.1	Bezeichnungen	56
4.1.1	Ordnung und Linearität	56
4.1.2	Weitere Beispiele	58
4.2	Separable Differenzialgleichungen	61
4.2.1	Beispiele	62
4.3	Lineare Differenzialgleichungen erster Ordnung	64
4.4	Komplexe Zahlen	67
4.5	Taylor-Reihen	71
4.6	Homogene lineare Differenzialgleichungen zweiter Ordnung mit konstanten Koeffizienten	74
4.6.1	Faktorisierung	74
4.6.2	Sukzessive Integration	77
4.6.3	Beispiel	80
4.6.4	Komplex-konjugierte Nullstellen	81
4.7	Ungedämpfter bzw. gedämpfter harmonischer Oszillator	82
4.8	Inhomogene lineare Differenzialgleichungen zweiter Ordnung mit konstanten Koeffizienten	89
4.8.1	Sukzessive Integration	91
4.8.2	Spezialfall	93
4.9	Erzwungene Schwingungen des gedämpften harmonischen Oszillators	96
4.10	Superpositionsprinzip	101
	Aufgaben	103
5	Fourier-Reihen	107
5.1	Beispiel	108
5.2	Herleitung der Fourier-Koeffizienten	111
5.3	Anwendungen	117
5.3.1	Dreieckschwingung	117
5.3.2	Harmonischer Oszillator	119
	Aufgaben	123
6	Nichtlineare Dynamik	125
6.1	Die Bewegungsgleichungen des getriebenen, gedämpften Pendels	126
6.1.1	Das ungedämpfte Pendel	126
6.1.2	Dämpfung und äußere Kraft	132

6.2	Elementare Verfahren zur numerischen Lösung von gewöhnlichen Differenzialgleichungen erster Ordnung	134
6.3	Numerische Ergebnisse	137
6.3.1	Reguläres Verhalten	137
6.3.2	Übergang zum Chaos	146
	Aufgaben.	156
7	Systeme mit mehr als einem Teilchen	159
7.1	Abgeschlossene Systeme	160
7.2	Der Zustandsraum eines Vielteilchensystems	162
7.3	Impuls und Phasenraum	164
7.3.1	Impulserhaltungssatz	164
7.4	Der Schwerpunkt	167
	Aufgaben.	168
8	Partielle Ableitungen	169
8.1	Ableitung von Funktionen mit mehreren Variablen	170
8.1.1	Beispiel	171
8.1.2	Variablenwechsel	172
8.2	Totale Differenziale	174
8.2.1	Herleitung des Runge-Kutta-Verfahrens zweiter Ordnung	177
8.3	Maximierungs- und Minimierungsaufgaben	179
8.3.1	Berücksichtigung von einer Nebenbedingung	180
8.3.2	Lagrange-Multiplikatoren	182
	Aufgaben.	186
9	Energie	187
9.1	Potenzial und Energieerhaltung	188
9.2	Der Nabla-Operator	190
9.2.1	Divergenz	192
9.2.2	Kreuzprodukt	193
9.2.3	Rotation.	194
9.3	Wegintegrale	195
9.3.1	Weglänge.	195
9.3.2	Arbeit	197
9.4	Konservative Kräfte	199
9.4.1	Zentralkräfte	201
	Aufgaben.	203
10	Zweiteilchenproblem mit Gravitationskraft	207
10.1	Schwerpunkts- und Relativkoordinaten	208
10.2	Relativbewegung	210
10.2.1	Energie- und Drehimpulserhaltung.	211
10.2.2	Reduktion auf eine räumliche Dimension	213
10.2.3	Erlaubte und verbotene Bereiche	215

10.3	Bestimmung der Bahnkurve	217
10.4	Die Kepler'schen Gesetze	220
	Aufgaben	224
11	Drehbewegungen	227
11.1	Erhaltung des Drehimpulses	228
11.2	Schwerpunkts- und Relativbewegung	232
	11.2.1 Starre Körper	234
11.3	Matrizen	235
11.4	Drehungen und Kreuzprodukt	242
11.5	Der Trägheitstensor	247
11.6	Hauptachsentransformation	250
11.7	Bestimmung der Drehmatrix	255
	11.7.1 Drehbewegung um eine Hauptträgheitsachse	259
	11.7.2 Klassifizierung von starren Körpern	261
11.8	Energieerhaltung	263
	Aufgaben	264
12	Spezielle Relativitätstheorie	269
12.1	Relativitätsprinzip	270
	12.1.1 Galilei-Transformation	272
	12.1.2 Konsequenzen	274
12.2	Konstanz der Lichtgeschwindigkeit	276
	12.2.1 Uhrensynchronisierung und Raumzeitkoordinaten- system	276
	12.2.2 Relativität der Gleichzeitigkeit	278
	12.2.3 Bestimmung der x' -Achse	279
12.3	Lorentz-Transformation	283
12.4	Physikalische Implikationen	289
	12.4.1 Längenkontraktion	289
	12.4.2 Zeitdilatation	291
	12.4.3 Addition von Geschwindigkeiten	292
12.5	Vierervektoren	294
	12.5.1 Lorentz-Invarianz	295
	12.5.2 Eigenzeit	298
	12.5.3 Vierergeschwindigkeit	299
	12.5.4 Viererimpuls	300
	Aufgaben	302
A	Mathematische Grundlagen	305
A.1	Polynome vom Grad 1	305
	A.1.1 Standardform	305
	A.1.2 Bedeutung der Parameter	306
	A.1.3 Taylor-Form	307
A.2	Polynome vom Grad 2	307
	A.2.1 Standardform	307

A.2.2 Taylor-Form	308
A.2.3 Scheitelpunktform	309
A.3 Polynome vom Grad 3	310
A.3.1 Standardform und Taylor-Form	310
A.3.2 Anwendung der Taylor-Form	311
A.4 Polynome vom Grad n	312
A.4.1 Standardform und Summenzeichen	312
A.4.2 Bedeutung der Parameter	314
A.4.3 Binomischer Lehrsatz	316
A.4.4 Taylor-Form	318
A.4.5 Integral	319
A.4.6 Produkte von Summen	320
A.5 Rationale Funktionen	322
A.5.1 Standardform und Beispiel	322
A.5.2 Bedeutung der Parameter a und c	323
A.5.3 Kettenregel	323
A.5.4 Alternative Darstellung	324
A.5.5 Halbwertsbreite und Skalen	324
A.6 Exponentialfunktion und Logarithmus	326
A.6.1 Potenzreihe	326
A.6.2 Eigenschaften der Exponentialfunktion	327
A.6.3 Logarithmus	328
A.7 Potenzfunktionen	330
A.7.1 Definition	330
A.7.2 Rechenregeln	331
A.8 Trigonometrische Funktionen	332
A.8.1 Potenzreihen	332
A.8.2 Werte an speziellen Punkten	333
A.8.3 Periodizität	334
A.8.4 Abschließende Überlegungen	335
B Computerprogramm zu Kap. 1	337
C Computerprogramm zu Kap. 6	339
Stichwortverzeichnis	345