

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	7
<b>1 Fundamentale Konzepte: Das Trägheitsgesetz</b>	13
1.1 Die deterministischen Gesetze der Mechanik . . . . .	14
1.2 Formulierung des Trägheitsgesetzes . . . . .	15
1.3 Das Trägheitsgesetz und die Physik des Auffahrurfalls . . . . .	20
<b>2 Geschwindigkeit und Beschleunigung – Bewegungen im Sport</b>	27
2.1 Geschwindigkeit und Beschleunigung im Sport . . . . .	28
2.2 Hammerwurf . . . . .	28
2.3 Geschwindigkeit und Beschleunigung beim Bungeesprung . . . . .	38
2.4 Weitsprung und schräger Wurf . . . . .	43
2.5 Der Grand Jeté und die Wurfgesetze . . . . .	54
<b>3 Fundamentale Konzepte: Das newtonsche Bewegungsgesetz</b>	57
3.1 Kinematik und Dynamik . . . . .	58
3.2 Kopfball . . . . .	59
3.3 Das newtonsche Bewegungsgesetz . . . . .	64
3.4 Umgang mit der newtonischen Bewegungsgleichung . . . . .	68
<b>4 Das newtonsche Gesetz anwenden – Sicherheit im Auto</b>	73
4.1 Unfall ohne Sicherheitsgurt . . . . .	74
4.2 Das newtonsche Bewegungsgesetz und die Sicherheit im Auto	77
4.3 Die Knautschzone . . . . .	79
4.4 Sicherheitsgurte . . . . .	81
4.5 Gurtstraffer . . . . .	84
4.6 Die Bewegung des Fahrers relativ zum Auto . . . . .	85
4.7 Airbags . . . . .	88
<b>5 Fundamentale Konzepte: Arbeiten mit der newtonischen Mechanik</b>	91
5.1 Systemgrenzen und äußere Kräfte . . . . .	92
5.2 Das dritte newtonsche Gesetz . . . . .	97
5.3 Wechselwirkungsprinzip . . . . .	99
5.4 Zwei Arten, das zweite newtonsche Gesetz zu verwenden . . . . .	104
5.5 Mechanische Probleme nach Rezept lösen . . . . .	110
5.6 Haft- und Gleitreibung . . . . .	113
5.7 Genauere Analyse einiger einfacher Beispiele . . . . .	118

<b>6 Reale Bewegungen modellieren – Ein Sturz aus 30 000 m Höhe</b>	127
6.1 Die höchste Stufe der Welt . . . . .	128
6.2 Erstes Modell: Freier Fall . . . . .	130
6.3 Modellieren des Sturzes . . . . .	131
6.4 Fallschirmsprünge mit konstanter Luftdichte . . . . .	136
6.5 Numerische Integration der Bewegungsgleichungen . . . . .	149
<b>7 Fundamentale Konzepte: Energieerhaltung</b>	161
7.1 Energieformen . . . . .	162
7.2 Energieumwandlungen . . . . .	167
7.3 Felder, Kraft und potentielle Energie . . . . .	168
7.4 Energieerhaltung . . . . .	170
7.5 Antrieb aus eigener Kraft . . . . .	182
7.6 Muskelkraft und Arbeit . . . . .	187
7.7 Die Bedeutung der potentiellen Energie . . . . .	190
7.8 Feldenergie und potentielle Energie . . . . .	195
7.9 Leistung . . . . .	198
<b>8 Impulserhaltung – Bruce Willis rettet die Welt</b>	201
8.1 Kann man einen Asteroiden sprengen? . . . . .	202
8.2 Der Impulserhaltungssatz . . . . .	205
8.3 Impulssatz für offene Systeme . . . . .	210
8.4 Der Asteroid wird gesprengt: Anwendung der Erhaltungssätze	211
8.5 Modell des Asteroiden als Schutthaufen . . . . .	215
8.6 ...und wie sieht es in der Realität aus? . . . . .	217
<b>9 Raketen – Der Start einer Saturn V</b>	219
9.1 Kann man mit einer Kanone bis zum Mond schießen? . . . . .	220
9.2 Gravitationspotential und Fluchtgeschwindigkeit . . . . .	226
9.3 Raketenantrieb . . . . .	231
9.4 Der Start einer Saturn V . . . . .	233
9.5 Die Raketengleichung . . . . .	237
9.6 Flugbahn und Geschwindigkeit von Apollo 12 . . . . .	242
9.7 Beschleunigung während des Raketenstarts . . . . .	246
9.8 Das Stufenprinzip . . . . .	248
9.9 Was ist J002E3? . . . . .	250
<b>10 Himmelsmechanik – Per Anhalter zu den Planeten</b>	253
10.1 Energien im Sonnensystem . . . . .	254
10.2 Die keplerschen Gesetze . . . . .	257
10.3 Flächensatz und Drehimpulserhaltung . . . . .	269
10.4 Hohmann-Übergangsbahnen . . . . .	273
10.5 Energetik der Reise zum Mars . . . . .	277
10.6 Energie beim Start von der bewegten Erde . . . . .	280

<b>11 Elastische Stöße – Der Swingby-Mechanismus</b>	285
11.1 Raumsonden auf dem Weg ins Weltall . . . . .	286
11.2 Reisen zu den äußereren Planeten . . . . .	287
11.3 Elastische Stöße in einer Dimension . . . . .	288
11.4 Einige Spezialfälle . . . . .	292
11.5 Elastische Stöße in drei Dimensionen . . . . .	294
11.6 Pioneer 10: Start und Flug zu Jupiter . . . . .	299
11.7 Das Swingby-Manöver als himmelsmechanisches Problem . . .	302
11.8 Das Swingby-Manöver als elastischer Stoß . . . . .	305
11.9 Voyagers „Grand Tour“ . . . . .	309
11.10 Pioneer- und Flyby-Anomalie . . . . .	311
<b>12 Gezeiten und beschleunigte Bezugssysteme – Raumstationen</b>	315
12.1 Schwerelosigkeit und künstliche Gravitation . . . . .	316
12.2 Gezeitenkräfte im inhomogenen Gravitationsfeld . . . . .	317
12.3 Weltraumseile . . . . .	322
12.4 Gezeitenkräfte bei Monden und Planeten . . . . .	329
12.5 Gezeiten auf der Erde . . . . .	332
12.6 Newtonsche Mechanik in beschleunigten Bezugssystemen . .	337
12.7 Künstliche Gravitation in einer rotierenden Raumstation . .	344
12.8 Umgang mit Scheinkräften . . . . .	358
<b>13 Gleichgewicht und Drehbewegungen – Ein Ballett-Divertissement</b>	361
13.1 Statisches Gleichgewicht . . . . .	362
13.2 Drehbewegungen . . . . .	374
13.3 Pirouetten und Fouettés . . . . .	379
13.4 Gleichgewicht in der Bewegung . . . . .	384
13.5 Kräfte am starren Körper . . . . .	394
13.6 Unmögliche Ballettsprünge . . . . .	396
13.7 Kreisel . . . . .	398
13.8 Die Stabilität des Fahrradfahrens . . . . .	404
<b>14 Geführte Bewegungen und Zwangskräfte – Achterbahnen</b>	407
14.1 Achterbahn-Design . . . . .	408
14.2 Energieerhaltung und Geschwindigkeit . . . . .	408
14.3 Die Geometrie geführter Bewegungen . . . . .	413
14.4 Zwangskräfte . . . . .	419
14.5 Kreisförmiges Tal und Pendel . . . . .	425
14.6 Die Achterbahn-Formel . . . . .	433
14.7 Airtime – schwerelose Hügel . . . . .	436
14.8 Warum gibt es keine kreisförmigen Loopings? . . . . .	437
14.9 Der Klothoidenlooping . . . . .	443
14.10 Mauskurven . . . . .	448
14.11 Herzlinie . . . . .	449
14.12 Vorn oder hinten sitzen? . . . . .	450

<b>A Mathematische Methoden</b>	A1
A.1 Vektoren und Skalare . . . . .	A1
A.2 Addition von Vektoren . . . . .	A1
A.3 Skalarprodukt . . . . .	A3
A.4 Komponentendarstellung . . . . .	A4
A.5 Gemeinheiten beim Fahrradfahren . . . . .	A5
A.6 Das Vektorprodukt . . . . .	A8
A.7 Differentiation von Vektoren . . . . .	A9
A.8 Ortsvektor, Geschwindigkeit und Beschleunigung . . . . .	A9
A.9 Drehwinkel und Winkelgeschwindigkeit . . . . .	A11
A.10 Integration von Vektoren . . . . .	A13
A.11 Linienintegrale . . . . .	A13
A.12 Gradient und Äquipotentiallinien . . . . .	A15
<b>B Wichtige Formeln und Gesetze im Überblick</b>	A17
<b>C Literatur</b>	A25
<b>D Bildnachweis</b>	A31
Sachregister	A33