

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>7</b>
<b>1 Fundamentale Konzepte: Das Trägheitsgesetz</b>	<b>13</b>
1.1 Die deterministischen Gesetze der Mechanik . . . . .	14
1.2 Formulierung des Trägheitsgesetzes . . . . .	15
1.3 Das Trägheitsgesetz und die Physik des Auffahrunfalls . . . . .	20
<b>2 Geschwindigkeit und Beschleunigung – Bewegungen im Sport</b>	<b>27</b>
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>	<b>57</b>
3.1 Kinematik und Dynamik . . . . .	58
3.2 Kopfball . . . . .	59
3.3 Das newtonsche Bewegungsgesetz . . . . .	64
3.4 Umgang mit der newtonschen Bewegungsgleichung . . . . .	68
<b>4 Das newtonsche Gesetz anwenden – Sicherheit im Auto</b>	<b>73</b>
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 newtonschen Mechanik</b>	<b>91</b>
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</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>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</b>	<b>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 äußeren 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