

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
1 Fundamentale Konzepte: Das Trägheitsgesetz	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
2 Geschwindigkeit und Beschleunigung – Bewegungen im Sport	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
3 Fundamentale Konzepte: Das newtonsche Bewegungsgesetz	57
3.1 Kinematik und Dynamik	58
3.2 Kopfball	59
3.3 Das newtonsche Bewegungsgesetz	64
3.4 Umgang mit der newtonschen Bewegungsgleichung	68
4 Das newtonsche Gesetz anwenden – Sicherheit im Auto	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
5 Fundamentale Konzepte: Arbeiten mit der newtonschen Mechanik	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

6 Reale Bewegungen modellieren – Ein Sturz aus 30 000 m Höhe	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
7 Fundamentale Konzepte: Energieerhaltung	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
8 Impulserhaltung – Bruce Willis rettet die Welt	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
9 Raketen – Der Start einer Saturn V	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
10 Himmelsmechanik – Per Anhalter zu den Planeten	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

11 Elastische Stöße – Der Swingby-Mechanismus	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
12 Gezeiten und beschleunigte Bezugssysteme – Raumstationen	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
13 Gleichgewicht und Drehbewegungen – Ein Ballett-Divertissement	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
14 Geführte Bewegungen und Zwangskräfte – Achterbahnen	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

A Mathematische Methoden	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 Wichtige Formeln und Gesetze im Überblick	A17
C Literatur	A25
D Bildnachweis	A31
Sachregister	A33