

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Über den Himmel</b>	<b>1</b>
1.1	Gestalt und Größe der Erde	1
1.2	Erdbezogene Beobachtung von Himmelsvorgängen	5
1.2.1	Beobachtungen erdnaheer Objekte	6
1.2.2	Beobachtungen ferner Himmelsobjekte	8
1.2.3	Äquatoriale und ekliptikale Koordinaten	10
1.3	Erweiterte Betrachtung in solarem Maßstab	14
1.3.1	Geozentrische und heliozentrische Bezugssysteme	15
1.3.2	Zur Entstehung der Jahreszeiten	17
1.3.3	Ein „Beweis“ für das heliozentrische Weltbild	18
1.4	Die Keplerschen Planetengesetze	20
1.4.1	Das erste Keplersche Gesetz	21
1.4.2	Das zweite Keplersche Gesetz (Flächensatz)	25
1.4.3	Das dritte Keplersche Gesetz	27
1.4.4	Anmerkungen zum Leben und Werk Keplers	27
1.5	Eine wirklich kurze Geschichte der Zeit	29
1.5.1	Was ist ein Tag?	29
1.5.2	Tropisches Jahr und Kalenderjahr	31
1.5.3	Verschiedene Zeitskalen	33
<b>2</b>	<b>Newtonsche Mechanik</b>	<b>35</b>
2.1	Die Bewegungsgleichung	36
2.2	Das Gravitationsgesetz	38
2.2.1	Die Herleitung des Gravitationsgesetzes aus den Keplerschen Gesetzen	39
2.2.2	Das Zusammenspiel von Gravitation und Fliehkraft	42
2.2.3	Gravitationskraft und Gravitationspotential	44
2.3	Systeme aus mehreren Massenpunkten	46
2.3.1	Der Schwerpunktsatz	47
2.3.2	Der Drehimpulssatz	48
2.4	Was ist ein Inertialsystem?	50

<b>3</b>	<b>Das Zweikörperproblem</b>	55
3.1	Bewegungsgleichung und Erhaltungsgrößen	56
3.1.1	Das Energieintegral	58
3.1.2	Erhaltung des Drehimpulses	59
3.1.3	Das Hamiltonsche Integral	60
3.1.4	Allgemeine Aussagen über die Orbitalgeometrie mit Hilfe der Erhaltungsgrößen	61
3.2	Elliptische Orbits	64
3.2.1	Bahngeometrie	64
3.2.2	Der Kreisorbit	66
3.2.3	Position als Funktion der Zeit	68
3.2.4	Rechenbeispiel: Molniya-Satelliten	72
3.3	Hyperbolische und parabolische Orbits	77
3.3.1	Allgemeine Überlegungen zu offenen Orbits	77
3.3.2	Bahngeometrie	79
3.3.3	Position als Funktion der Zeit	81
3.4	Die allgemeine Lösung des Zweikörperproblems	82
3.4.1	Die mathematische Struktur des Zweikörperproblems	82
3.4.2	Die klassischen Orbitalelemente	83
3.4.3	Die Bestimmung der klassischen Orbitalelemente aus den Anfangsbedingungen	86
3.4.4	Die Lösung des Zweikörperproblems als Funktion der klassischen Orbitalelemente	87
3.4.5	Rechenbeispiel: Armageddon	88
<b>4</b>	<b>Mathematische Grundlagen der Störungsrechnung</b>	93
4.1	Historisches	93
4.2	Variation der Konstanten nach Lagrange	96
4.3	Reihenentwicklung	98
4.4	Ein sehr einfaches Beispiel	100
4.5	Periodische Probleme und Mittelwertsmethode	104
4.6	Die Lagrangeschen Planetengleichungen	106
<b>5</b>	<b>Störungen auf erdnahen Umlaufbahnen</b>	117
5.1	Über die Herkunft der Störungen	117
5.2	Satellitenbahnen um nichtsphärische Planeten	119
5.2.1	Das Gravitationsfeld eines beliebig geformten Körpers	119
5.2.2	Die $J_2$ -Störung	123
5.2.3	Diskussion der säkularen Störbewegungen	128
5.3	Der Einfluss aerodynamischer Kräfte	131
5.3.1	Mechanisches Modell	132
5.3.2	Die Erdatmosphäre	133
5.3.3	Auswirkungen des Luftwiderstandes auf die Variation der Orbitalelemente	136
5.3.4	Zur Lebensdauer von Satelliten	140

5.3.5	Das Geschwindigkeitsparadoxon .....	140
<b>6</b>	<b>Die Orbits künstlicher Erdsatelliten .....</b>	<b>145</b>
6.1	Anzahl und Daten von Satelliten .....	145
6.1.1	Der USSPACECOM-Katalog .....	145
6.1.2	Two-Line-Elements .....	146
6.2	Orbittypen, Bodenspuren, Überwachungsbereiche .....	150
6.3	Geostationäre Orbits (GSO) .....	155
6.4	Eklipsen und sonnensynchrone Orbits .....	156
<b>7</b>	<b>Raketendynamik und impulsive Orbitalmanöver .....</b>	<b>163</b>
7.1	Das Prinzip Rakete .....	163
7.1.1	Die Raketengleichung .....	163
7.1.2	Bauarten und Treibstoffe für Raketentriebwerke .....	168
7.2	Vom Boden in den Orbit .....	171
7.2.1	Senkrechter Aufstieg einer Rakete .....	171
7.2.2	Stufenraketen .....	175
7.2.3	Abschussgeometrie .....	178
7.3	Impulsive Orbitalmanöver .....	182
7.3.1	Hohmann-Transfers .....	183
7.3.2	Transversal schneidende Übergangsortbits .....	186
7.3.3	Bi-elliptische Transfers .....	188
7.3.4	Wechsel der Orbitalebene .....	189
<b>8</b>	<b>Interplanetare Flugbahnen .....</b>	<b>195</b>
8.1	Mehrkörperprobleme .....	196
8.2	Einflusssphären .....	199
8.3	Zusammengesetzte konische Flugbahnen .....	204
8.4	Gravity-Assist-Manöver .....	209
8.5	Hohmann-Transfers und synodische Perioden .....	210
8.6	Einmal zum Mars und retour .....	213
8.7	Das eingeschränkte Dreikörperproblem .....	216
<b>9</b>	<b>Die Grundgleichungen nicht punktförmiger Satelliten .....</b>	<b>225</b>
9.1	Fern- und Nahfelddynamik .....	225
9.2	Beschreibung der Lagen starrer Körper im Orbit .....	227
9.2.1	Freiheitsgrade .....	227
9.2.2	Drehmatrizen .....	228
9.2.3	Tait-Bryant-Winkel .....	231
9.3	Bewegungen gegen das Inertialsystem .....	233
9.3.1	Raumfeste Koordinaten .....	233
9.3.2	Der Winkelgeschwindigkeitsvektor .....	234
9.3.3	Relativbewegungen .....	237
9.4	Die Eulerschen Gleichungen .....	238
9.5	Das Gravitationsmoment .....	240

<b>10 Lokale Bewegungen von Satellitensystemen</b>	245
10.1 Spin-Stabilisierung momentenfreier Satelliten	246
10.1.1 Die Lagedynamik momentenfreier Körper	246
10.1.2 Stabilität und „Energy-Sink“-Prinzip	250
10.1.3 Stabilität eines Kreisels mit beweglichen Teilen	251
10.2 Stabilisierung durch den Gravitationsgradienten	258
10.2.1 Gleichgewichtslagen des starren Körpers im Orbit	259
10.2.2 Stabilität der relativen Gleichgewichtslagen	261
10.3 Das Zusammenwirken von Spin und Gravitationsmoment	266
<b>A Hantelsatelliten und Weltraumseile</b>	271
<b>B Navigation im Weltraum</b>	281
<b>Literatur</b>	289
<b>Glossar</b>	291
<b>Index</b>	293

Raumflugmechanik

Dynamik und Steuerung von Raumfahrzeugen

Steiner, W.; Schagerl, M.

2004, X, 298 S., Hardcover

ISBN: 978-3-540-20761-0