

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	28
Symbolverzeichnis .....	36
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>41</b>
Quellen und Literatur .....	43
<b>1.1 Historischer Überblick .....</b>	<b>44</b>
1.1.1 Einführung .....	44
1.1.2 Die Entwicklung der unbemannten deutschen und europäischen Raumfahrt .....	45
1.1.3 Die Entwicklung der bemannten Raumfahrt in Europa .....	51
Literatur .....	54
<b>1.2 Raumfahrtmissionen .....</b>	<b>54</b>
1.2.1 Raumfahrt-Systemsegmente .....	54
1.2.1.1 Das Raumsegment .....	55
1.2.1.2 Das Transfersegment .....	58
1.2.1.3 Das Bodensegment .....	58
1.2.2 Auslegung der Systemsegmente für Raumfahrtmissionen .....	60
1.2.3 Klassifizierung von Raumfahrtmissionen .....	63
1.2.3.1 Erdbeobachtung .....	63
1.2.3.2 Wetterbeobachtung .....	63
1.2.3.3 Technologieerprobung .....	63
1.2.3.4 Grundlagenforschung .....	64
1.2.3.5 Kommunikation .....	65
1.2.3.6 Navigation .....	65
1.2.3.7 Militärische Missionen .....	66
1.2.3.8 Planetare Erkundung und Exploration .....	66
1.2.3.9 Bemannte Raumfahrt .....	67
Quellen und Literatur .....	67
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>69</b>
<b>2.1 Umgebung Weltraum .....</b>	<b>69</b>
2.1.1 Raumfahrzeug und Weltraumumgebung .....	69
2.1.2 Einfluss von Sonne und Weltraumhintergrund .....	71
2.1.2.1 Physik der Sonne .....	71
2.1.2.2 Die Sonnenstrahlung .....	72
2.1.2.3 Sonnenwind .....	73
2.1.2.4 Energiereiche Teilchen .....	74
2.1.3 Einfluss der Erde .....	74
2.1.3.1 Die Erdatmosphäre .....	74
2.1.3.2 Magnetfeld der Erde .....	76
2.1.3.3 Bewegung geladener Teilchen in der Magnetosphäre .....	77
2.1.3.4 Der Strahlungsgürtel (Van-Allen-Belt) .....	78
2.1.4 Einfluss auf das Raumfahrzeug und die Missionsplanung .....	78
2.1.4.1 Gravitation und Magnetik .....	78
2.1.4.2 Elektromagnetische Strahlung .....	80
2.1.4.3 Atmosphärische Einflüsse .....	81
2.1.4.4 Energiereiche Teilchenstrahlung .....	82

2.1.4.5	Hochvakuum.....	83
2.1.4.6	Kontamination .....	84
2.1.4.7	Mikrometeoriten und Weltraummüll.....	85
	Literatur .....	86
<b>2.2</b>	<b>Bahnmechanik.....</b>	<b>86</b>
2.2.1	Bahnmodellierung.....	86
2.2.1.1	Kepler-Bahnen .....	86
2.2.1.2	Die Bahn im erdfesten System.....	89
2.2.1.3	Bahnstörungen .....	90
2.2.1.4	Analytische Bahnmodelle .....	94
2.2.1.5	Numerische Bahnvorhersage .....	97
2.2.2	Bahnbestimmung.....	99
2.2.2.1	Tracking-Systeme.....	99
2.2.2.2	Beobachtungsmodell.....	102
2.2.2.3	Linearisierung .....	103
2.2.2.4	Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate .....	103
2.2.2.5	Kalman-Filterung.....	105
2.2.3	Bahnauslegung und -haltung .....	107
2.2.3.1	Hohmann-Transfer.....	107
2.2.3.2	Fernerkundungssatelliten.....	108
2.2.3.3	Geostationäre Satelliten.....	110
	Literatur .....	113
<b>2.3</b>	<b>Aerothermodynamik und Wiedereintritt.....</b>	<b>114</b>
2.3.1	Einleitung.....	114
2.3.2	Globale Energiebetrachtungen.....	114
2.3.3	Strömungsmechanische und chemische Phänomene beim Wiedereintritt .....	115
2.3.4	Wärmeflussbilanz und Thermalschutzsysteme .....	118
2.3.5	Wiedereintrittsbahn .....	120
2.3.6	Aerodynamische Betrachtungen .....	122
2.3.7	Werkzeuge zur Bestimmung aerothermodynamischer Daten .....	124
	Literatur .....	127
<b>2.4</b>	<b>Mikrometeoriten und Space Debris.....</b>	<b>128</b>
2.4.1	Die Umgebungsbedingungen.....	128
2.4.1.1	Mikrometeoriten .....	128
2.4.1.2	Space Debris .....	128
2.4.2	Zukünftige Entwicklung und Vermeidungstechniken .....	130
2.4.3	Impaktflüsse und Impaktrisiko.....	131
2.4.3.1	Mikrometeoriten .....	132
2.4.3.2	Space Debris .....	132
2.4.3.3	Impaktrisiko .....	134
2.4.4	Schutzmaßnahmen für Raumfahrzeuge .....	134
2.4.4.1	Schutzkonzepte .....	134
2.4.4.2	Bemessung von Schutzmaßnahmen.....	135
2.4.5	Planung von Missionen .....	139
	Literatur .....	139
<b>3</b>	<b>Trägersysteme .....</b>	<b>143</b>
<b>3.1</b>	<b>Gesamtsysteme .....</b>	<b>144</b>
3.1.1	Einführung.....	144
3.1.2	Grundlagen .....	145

3.1.2.1	Nutzlasten und Missionen .....	145
3.1.2.2	Impuls und Raketengrundgleichung .....	146
3.1.2.3	Stufung .....	146
3.1.2.4	Aufstiegsbahn und Antriebsbedarf .....	147
3.1.3	Baugruppen.....	148
3.1.4	Projektphasen.....	148
3.1.5	Trägersysteme.....	149
3.1.5.1	Aktuelle Trägersysteme.....	150
3.1.5.2	Konzepte für die Zukunft .....	159
	Literatur .....	161
<b>3.2</b>	<b>Stufentechnologien.....</b>	<b>161</b>
3.2.1	Einführung/Übersicht .....	162
3.2.2	Missionsprofile und Betrieb.....	164
3.2.3	Baugruppen/Subsysteme .....	167
3.2.4	Stufensystemtechnologien .....	174
3.2.4.1	Auslegung des Gesamtsystems .....	174
3.2.4.2	Einflüsse auf die Systemauslegung .....	175
3.2.4.3	Teilsystem-Auslegung.....	177
<b>3.3</b>	<b>Antriebssysteme .....</b>	<b>179</b>
3.3.1	Theorie des chemischen Antriebs.....	179
3.3.1.1	Grundlagen .....	179
3.3.1.2	Treibstoffe .....	180
3.3.2	Triebwerkstypen .....	181
3.3.2.1	Druckgassysteme.....	181
3.3.2.2	Pumpensysteme.....	182
3.3.2.3	Feststoffantriebe .....	183
3.3.3	Komponenten .....	185
3.3.3.1	Einspritzkopf.....	185
3.3.3.2	Brennkammer und Düse .....	189
3.3.3.3	Gasgeneratoren .....	194
3.3.3.4	Turbopumpe .....	195
3.3.4	Sonderprobleme.....	199
3.3.5	Testanlagen für Raketenantriebe.....	200
3.3.6	Zukünftige Antriebe .....	202
	Literatur .....	203
<b>3.4</b>	<b>Startinfrastruktur.....</b>	<b>203</b>
3.4.1	Anforderungen und Aufgaben .....	203
3.4.2	Konzepte.....	204
3.4.3	Ein ausgeführtes Beispiel: Ariane 5 .....	204
3.4.4	Übersicht über bestehende Startanlagen .....	208
<b>3.5</b>	<b>Qualifikationsprozess .....</b>	<b>208</b>
3.5.1	Einführung/Übersicht .....	208
3.5.2	Qualifikationskategorien.....	213
3.5.3	Mechanische Qualifikationsmaßnahmen .....	213
3.5.4	Funktionelle Qualifikationsmaßnahmen .....	214
<b>4</b>	<b>Raumfahrzeug-Subsysteme.....</b>	<b>217</b>
<b>4.1</b>	<b>Struktur und Mechanismen .....</b>	<b>218</b>
4.1.1	Die Primärstruktur des Raumfahrzeugs.....	219

4.1.1.1	Designtreiber und dimensionierende Lastfälle.....	219
4.1.1.2	Auswahl der Strukturwerkstoffe.....	220
4.1.1.3	Sandwich-, Differential- und Integralbauweise.....	221
4.1.1.4	Ausgasung, Degradation und Oberflächenschutz .....	225
4.1.1.5	Inserts.....	226
4.1.1.6	Fertigung und Integration.....	227
4.1.2	Sekundäre und entfaltbare Strukturen.....	228
4.1.2.1	Gerätehalterungen und Isolierungen.....	228
4.1.2.2	Entfaltbare Panels .....	229
4.1.2.3	Booms .....	230
4.1.3	Strukturmechanische Modellierung und Analyse.....	231
4.1.3.1	Finite-Elemente-Modelle und Modalmodelle.....	231
4.1.3.2	Resonanzverhalten und Eigenmoden.....	233
4.1.3.3	Festigkeitsnachweis und Margins of Safety (MoS) .....	233
4.1.3.4	Modellierung kritischer Schnittstellen .....	234
4.1.4	Qualifikation der Raumfahrzeugstruktur.....	235
4.1.5	Mechanismen .....	235
4.1.5.1	Pyromechanismen.....	236
4.1.5.2	Nicht-explosive Aktuatoren und Launch Locks .....	237
4.1.5.3	Federmechanismen.....	238
4.1.5.4	Elektromotoren und Stelltriebe.....	239
4.1.5.5	Drallräder und Kreisel.....	241
4.1.5.6	Tribologische Materialien .....	242
4.1.5.7	Schmierung von Lagern und Mechanismen .....	244
	Literatur .....	246
<b>4.2</b>	<b>Energieversorgung.....</b>	<b>247</b>
4.2.1	Energieerzeugung .....	248
4.2.2	Energiequellen .....	248
4.2.2.1	Fotovoltaik .....	250
4.2.2.2	Solardynamik .....	250
4.2.2.3	Nukleare Energieversorgung .....	252
4.2.2.4	Chemische Energie/Brennstoffzelle.....	253
4.2.3	Entwicklungsprozess zur Auslegung einer optimierten EVS-Architektur .....	254
4.2.4	EVS-Architekturen.....	255
4.2.5	Solargenerator .....	259
4.2.5.1	Solarzellen-Technologien.....	259
4.2.5.2	Silizium-Solarzellen .....	261
4.2.5.3	Multijunction Gallium-Arsenid auf Germanium-Solarzellen (GaAs/Ge).....	262
4.2.5.4	Elektrische Kennwerte von Solarzellen.....	262
4.2.5.5	Temperatur- und Strahlungsverhalten.....	262
4.2.5.6	Solargenerator-Technologien .....	264
4.2.5.7	Reihenschaltung von Solarzellen .....	264
4.2.5.8	Parasitäre Kapazitäten und Induktivitäten .....	265
4.2.5.9	Betriebstemperaturen.....	265
4.2.5.10	Elektrostatische Aufladung, Entladung und Durchschlagseffekte .....	265
4.2.6	Energiespeicher .....	266
4.2.6.1	Sekundärbatterie-Technologien.....	266
4.2.6.2	Vergleich der Batterietechnologien .....	269
4.2.6.3	Berechnungsgrundlagen zur Auslegung von Batterien .....	270
4.2.6.4	Batterieladeregulierung.....	271
4.2.7	Grundsätzliche EVS-Designbetrachtungen .....	272
4.2.7.1	Busspannung .....	272
4.2.7.2	Aufbereitung der Solargeneratorenergie .....	272

4.2.7.3	Spannungswandler und Leistungsregler .....	274
4.2.7.4	Erdungskonzept .....	274
4.2.7.5	Maßnahmen zum Schutz des Energieversorgungsbusses .....	274
4.2.7.6	Energieverteilung .....	275
	Literatur .....	275
<b>4.3</b>	<b>Thermalkontrolle .....</b>	<b>275</b>
4.3.1	Einleitung .....	275
4.3.2	Thermische Grundlagen .....	276
4.3.2.1	Umweltbedingungen .....	276
4.3.2.2	Wärmeübertragung durch Strahlung .....	278
4.3.2.3	Wärmeleitung .....	280
4.3.2.4	Thermischer Kontaktwiderstand .....	281
4.3.2.5	Mathematisches Thermalmodell .....	282
4.3.3	Entwicklung des Thermalsystems .....	283
4.3.3.1	Übersicht .....	283
4.3.3.2	Analyseverfahren .....	284
4.3.3.3	Verifikation durch Test .....	288
4.3.4	Technische Lösungen .....	289
4.3.4.1	Überblick .....	289
4.3.4.2	Thermische Isolation .....	289
4.3.4.3	Zwei-Phasen-Kühlkreisläufe .....	292
4.3.4.4	Thermische Oberflächen .....	295
4.3.4.5	Heizelemente .....	297
4.3.5	Beispiel eines Thermalentwurfs .....	297
4.3.6	Betrieb des Thermalkontrollsystems .....	302
	Literatur .....	305
<b>4.4</b>	<b>Satellitenantriebssysteme .....</b>	<b>305</b>
4.4.1	Grundlagen der Satellitenantriebe .....	305
4.4.1.1	Antriebssystem-Aufgaben .....	305
4.4.1.2	Stabilisierungsverfahren .....	306
4.4.2	Antriebssystemtypen .....	306
4.4.2.1	Kaltgassysteme .....	306
4.4.2.2	Einstoffsysteme .....	306
4.4.2.3	Zweistoffsysteme .....	307
4.4.2.4	Elektrische Antriebssysteme .....	307
4.4.2.5	Feststoff-Antriebssysteme .....	307
4.4.2.6	Vor- und Nachteile verschiedener Antriebssysteme .....	307
4.4.3	Treibstoffe .....	308
4.4.4	Förderverfahren und Treibstofflagerung .....	310
4.4.4.1	Blow-Down-Betrieb .....	310
4.4.4.2	Förderung bei konstantem Druck .....	311
4.4.4.3	Treibstofflagerung .....	311
4.4.5	Kaltgas-Antriebssysteme .....	315
4.4.5.1	Kaltgastriebwerke .....	316
4.4.5.2	Entwurfsaspekte .....	316
4.4.6	Chemische Antriebssysteme .....	317
4.4.6.1	Einstoffsysteme .....	317
4.4.6.2	Zweistoffsysteme .....	321
4.4.7	Elektrische Antriebssysteme .....	325
4.4.7.1	Triebwerkstypen und -Prinzipien .....	325
4.4.7.2	Elektrische Antriebssysteme .....	327
4.4.8	Komponenten für chemische Antriebssysteme .....	328

4.4.9	Bodenanlagen und Services .....	329
	Literatur .....	330
<b>4.5</b>	<b>Lageregelung .....</b>	<b>331</b>
4.5.1	Einführung und Übersicht .....	331
4.5.1.1	Bedeutung für den Satellitenbus.....	332
4.5.1.2	Bedeutung für die Nutzlast.....	332
4.5.1.3	Anwendungsgebiete .....	332
4.5.2	Anforderungen an die Lageregelung .....	332
4.5.3	Lagebeschreibung .....	333
4.5.3.1	Koordinatensysteme .....	333
4.5.3.2	Richtungskosinus-Matrix .....	334
4.5.3.3	Euler-Winkel .....	334
4.5.3.4	Quaternionen .....	335
4.5.4	Lagedynamik.....	335
4.5.4.1	Lagekinematik und -dynamik .....	335
4.5.4.2	Störmomente.....	336
4.5.5	Lagebestimmung und -regelung .....	337
4.5.5.1	Lagebestimmung .....	337
4.5.5.2	Lageregelung.....	338
4.5.6	Lagesensorik.....	339
4.5.6.1	Generelle Aspekte für Lagesensoren.....	339
4.5.6.2	Sternsensoren.....	340
4.5.6.3	Sonnensensoren.....	341
4.5.6.4	Erdsensoren.....	342
4.5.6.5	Magnetometer.....	344
4.5.6.6	Gyroskope, Kreisel .....	344
4.5.6.7	GNSS als Lagesensor .....	347
4.5.7	Lageaktuatorik .....	348
4.5.7.1	Generelle Aspekte für Aktuatoren .....	348
4.5.7.2	Reaktionsräder, Drallräder, Control Momentum Gyros .....	349
4.5.7.3	Triebwerke für die Lageregelung .....	351
4.5.7.4	Magnet-Torquer .....	352
4.5.8	Verifikation der Lageregelung.....	353
4.5.8.1	Analytische Verifikation .....	353
4.5.8.2	Software-Simulation .....	354
4.5.8.3	Hardware-in-the-Loop-Test .....	354
4.5.8.4	Teststand, Gaslager.....	355
	Literatur .....	356
<b>4.6</b>	<b>Datenmanagement .....</b>	<b>356</b>
4.6.1	Informationsbearbeitung an Bord.....	356
4.6.1.1	Unterschiede zur Datenverarbeitung auf der Erde .....	356
4.6.1.2	Tendenzen in der Entwicklung .....	358
4.6.1.3	Verbindungstopologie.....	360
4.6.2	Bordrechner.....	361
4.6.2.1	FPGAs (Free Programmable Gate Array) und SOC (System on one CHIP).....	361
4.6.2.2	Rechner für Weltraumanwendungen.....	362
4.6.3	Software .....	364
4.6.3.1	Die Probleme mit Software .....	364
4.6.3.2	Ein Beispiel für Reduktion der Softwarekomplexität .....	365
4.6.3.3	Softwarefunktion und Anforderungen .....	366
4.6.3.4	Echtzeit-Programmierung.....	367
4.6.4	Verlässlichkeit .....	368

4.6.4.1	Modulinterne Behandlung der Modulfehler .....	369
4.6.4.2	Modulexterne Behandlung durch redundante Module .....	369
4.6.4.3	Vertrauenswürdige Module (Self checking pairs) .....	370
4.6.4.4	Fehlertolerante Konstruktionen .....	370
	Literatur .....	371
<b>4.7</b>	<b>Kommunikation</b> .....	<b>372</b>
4.7.1	Einleitung .....	372
4.7.2	Frequenzbänder .....	372
4.7.2.1	Atmosphärische Dämpfung .....	373
4.7.2.2	Maximale Leistungsflussdichte auf dem Erdboden .....	373
4.7.3	Kanalkapazität .....	374
4.7.4	Antennen .....	374
4.7.4.1	Parabolantenne mit hoher Richtwirkung .....	374
4.7.4.2	Antennengewinn der Parabolantenne .....	374
4.7.4.3	Keulenbreite der Parabolantenne .....	375
4.7.4.4	Polarisation .....	376
4.7.5	Thermisches Rauschen .....	376
4.7.5.1	Antennentemperatur .....	376
4.7.5.2	Systemrauschtemperatur .....	377
4.7.6	Modulationsarten .....	377
4.7.6.1	Frequenzmodulation (FM) .....	377
4.7.6.2	Signal-Rausch-Leistung bei Frequenzmodulation .....	378
4.7.6.3	Präemphase und Deemphase .....	378
4.7.6.4	Phasenmodulation (PM) .....	379
4.7.6.5	Frequency Shift Keying (FSK) .....	379
4.7.6.6	Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) .....	379
4.7.6.7	Bitfehlerwahrscheinlichkeiten für verschiedene Modulationsarten .....	380
4.7.7	Puls Code Modulation (PCM) .....	381
4.7.8	Paket-Telemetrie .....	382
4.7.9	Code Division Multiple Access (CDMA) .....	383
4.7.10	Koppelnetzwerke .....	383
4.7.11	Sende- und Empfangsanlage des BIRD-Satelliten .....	384
4.7.11.1	Auslegung .....	385
4.7.11.2	Streckenbilanz .....	385
	Literatur .....	387
<b>5</b>	<b>Aspekte bemannter Missionen</b> .....	<b>389</b>
<b>5.1</b>	<b>Der Mensch im Weltraum</b> .....	<b>389</b>
5.1.1	Die Besatzungen der Internationalen Raumstation .....	390
5.1.1.1	Zusammensetzung und Auswahl der Mannschaft .....	390
5.1.1.2	ISS-Crew-Aufgaben .....	390
5.1.1.3	ISS-Crew-Alltag .....	392
5.1.1.4	Die ISS-Crew als Arbeitsteam .....	392
5.1.2	Das Astronautentraining .....	394
5.1.2.1	Das mehrstufige Astronautentrainingsprogramm .....	394
5.1.2.2	Trainingsorganisation und Methoden .....	396
5.1.2.3	Crew-Qualifikationen .....	397
5.1.3	Trainingsinfrastruktur im Europäischen Astronauten-Zentrum (EAC) .....	399
5.1.3.1	Allgemeine Trainingsinfrastruktur .....	399
5.1.3.2	Infrastruktur für das Columbus-System-Training .....	399
5.1.3.3	Nutzlast-Training und Simulationsinfrastruktur .....	401
5.1.3.4	Infrastruktur für das Training zur Raumfahrzeugsteuerung und für Extravehicular Activities ...	402

Literatur .....	404
<b>5.2 Lebenserhaltungssysteme .....</b>	<b>404</b>
5.2.1 Aufgaben eines Lebenserhaltungssystems .....	404
5.2.1.1 Einleitung .....	404
5.2.1.2 Die Atmosphäre .....	405
5.2.1.3 Druckkontrolle, Abgabe und Ventile .....	405
5.2.1.4 Überwachung der Luftzusammensetzung .....	406
5.2.1.5 Lüftung und Luftkonditionierung .....	406
5.2.1.6 Luftaufbereitung und Schadgasbindung .....	408
5.2.1.7 Wasser- und Urinaufbereitung .....	412
5.2.1.8 Branderkennung und -bekämpfung .....	414
5.2.1.9 Außenbordaktivitäten .....	415
5.2.1.10 Thermalkontrolle .....	416
5.2.1.11 Crew Habitation Systems .....	417
5.2.1.12 Nahrung .....	418
5.2.2 Bilanzen .....	418
5.2.2.1 Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxidproduktion eines Astronauten .....	418
5.2.2.2 Das offene Lebenserhaltungssystem .....	418
5.2.2.3 Das geschlossene Lebenserhaltungssystem .....	419
5.2.3 Das Lebenserhaltungssystem der ISS .....	420
5.2.3.1 ECLS-Designphilosophie .....	420
5.2.3.2 ECLS-Gesamtsystem .....	421
5.2.3.3 Versorgung der ISS und Entsorgung .....	421
5.2.4 Biologische Lebenserhaltungssysteme .....	423
5.2.4.1 Einleitung .....	423
5.2.4.2 Terrestrische Entwicklungen, Erfahrungen auf Systemebene .....	423
5.2.4.3 Fluganlagen .....	423
5.2.4.4 Offene Punkte .....	423
Literatur .....	426
<b>5.3 Rendezvous und Docking .....</b>	<b>426</b>
5.3.1 Einleitung .....	426
5.3.2 Die RVD-Mission .....	426
5.3.2.1 Space Shuttle (USA) .....	427
5.3.2.2 Sojus und Progress (Russland) .....	428
5.3.2.3 ATV (Europa) .....	428
5.3.3 Grundlagen der Bahndynamik .....	428
5.3.4 Die Sicherheitsanforderungen .....	431
5.3.5 Das ATV-RVD-System .....	433
5.3.5.1 Das Antriebssystem .....	434
5.3.5.2 Flugführung und Flugregelung .....	435
5.3.6 Verifikation und Test .....	437
Literatur .....	438
<b>6 Missionsbetrieb .....</b>	<b>441</b>
<b>6.1 Satellitenbetrieb .....</b>	<b>441</b>
6.1.1 Prinzipien und Vorgehensweise .....	441
6.1.2 Missionstypen .....	443
6.1.2.1 Satelliten im niedrigen Erdborbit .....	443
6.1.2.2 Satelliten im hochelliptischen Orbit .....	443
6.1.2.3 Geostationäre Satelliten .....	443
6.1.2.4 Sonden in den Lagrange-Punkten L1/L2 .....	443



6.1.2.5	Interplanetare Sonden .....	443
6.1.3	Vorbereitungsaktivitäten .....	443
6.1.3.1	Missionsanalysen und Systemstudien .....	445
6.1.3.2	Implementierung .....	445
6.1.3.3	Test und Validierung .....	445
6.1.3.4	Training und Simulationen .....	446
6.1.4	Missionsphasen .....	448
6.1.4.1	LEOP-Betrieb .....	448
6.1.4.2	Commissioning und In-Orbit Test Phase .....	448
6.1.4.3	Routinebetrieb .....	450
6.1.4.4	Wiederherstellung des Betriebs (Recovery) .....	450
6.1.4.5	Außerbetriebnahme und Deorbiting .....	451
6.1.5	Aufgaben des Missionsbetriebs .....	451
6.1.5.1	Analyse des Satellitenverhaltens .....	451
6.1.5.2	Bearbeitung von Anomalien .....	451
6.1.5.3	Satellitenbetrieb .....	451
6.1.5.4	Datenerfassung und -verteilung .....	452
6.1.5.5	Missionsplanung .....	453
6.1.5.6	Navigation und Flugdynamik .....	453
<b>6.2</b>	<b>Kontrollzentrum .....</b>	<b>454</b>
6.2.1	Kontrollräume .....	454
6.2.2	Hardwarekomponenten .....	455
6.2.2.1	Rechner- und Netzwerkarchitektur .....	455
6.2.2.2	Sprachkommunikationssystem .....	456
6.2.2.3	Videosystem .....	456
6.2.2.4	Stromversorgung .....	457
6.2.2.5	Zugangskontrolle und IT-Sicherheit .....	457
6.2.3	Softwarekomponenten .....	457
6.2.3.1	Telemetrie- und Kommandosystem .....	458
6.2.3.2	Display-System .....	460
6.2.3.3	Missionsplanungssystem .....	461
6.2.3.4	Unterstützungssoftware .....	462
6.2.4	Kommunikationsverbindungen .....	462
6.2.4.1	Echtzeitdatenübertragung .....	462
6.2.4.2	Offline-Datenübertragung .....	463
6.2.4.3	Audio- und Videoverbindungen .....	463
<b>6.3</b>	<b>Bodenstationsnetzwerk .....</b>	<b>464</b>
6.3.1	Aufgaben einer Bodenstation .....	464
6.3.1.1	Übertragung vom Boden zum Raumfahrzeug (Uplink) .....	464
6.3.1.2	Übertragung vom Raumfahrzeug zum Boden (Downlink) .....	464
6.3.1.3	Telemetrie .....	465
6.3.1.4	Telekommando .....	465
6.3.1.5	Bahnbestimmung (Tracking) .....	465
6.3.2	Standortauswahl für eine Bodenstation .....	466
6.3.3	Bodenstationskomponenten für erdumlaufende Satelliten .....	467
6.3.3.1	Empfangspfad (Downlink) .....	468
6.3.3.2	Sendepfad (Uplink) .....	468
6.3.3.3	Nachführung einer Antenne .....	468
6.3.3.4	Rauscharmer Vorverstärker (LNA) .....	469
6.3.3.5	Endverstärker (HPA) .....	469
6.3.3.6	Frequenzumsetzer .....	470
6.3.3.7	Basisband-Geräte .....	470

6.3.3.8	Zeit- und Referenzfrequenz-Anlagen .....	472
6.3.3.9	Datennetzwerk .....	472
6.3.4	Link-Designaspekte .....	473
6.3.4.1	Frequenzbereiche .....	474
6.3.4.2	Antennengröße .....	476
6.3.4.3	Abgestrahlte Leistung EIRP .....	476
6.3.4.4	Empfangsgüte G-T .....	477
6.3.4.5	Antennenausrichtung .....	477
6.3.4.6	Funkfelddispersion und Regendämpfung .....	478
6.3.4.7	Störleistung .....	480
6.3.4.8	Die Streckenbilanz .....	482
6.3.5	Bodenstationsbetrieb .....	482
6.3.5.1	Steuerungs- und Kontrollsystem .....	482
6.3.5.2	Operationelle Durchführung einer Passage .....	483
6.4	<b>Betrieb für bemannte Missionen .....</b>	<b>484</b>
6.4.1	Vorbereitung .....	484
6.4.1.1	Entwicklung der Werkzeuge .....	486
6.4.1.2	Training, Simulationen und Zertifizierung .....	487
6.4.1.3	Abstimmung der Schnittstellen zu den internationalen Partnern .....	487
6.4.1.4	Planung der Aktivitäten .....	488
6.4.2	Systembetrieb eines ISS-Moduls .....	489
6.4.2.1	Systembetrieb des Columbus-Moduls .....	489
6.4.2.2	Lebenserhaltungssystem .....	489
6.4.2.3	Stromversorgung und Temperaturregelung .....	490
6.4.2.4	Daten- und Kommunikationssystem .....	490
6.4.3	Koordination des Nutzlastbetriebs auf der ISS .....	490
6.4.3.1	Nutzlastkoordinierung am Col-CC .....	491
6.4.3.2	Koordination mit den europäischen Nutzerzentren .....	491
6.4.3.3	Koordination mit der ESA .....	491
6.4.4	Die ISS-Kommunikationsinfrastruktur .....	492
6.4.4.1	Betrieb der europäischen Kommunikationsinfrastruktur .....	492
6.4.4.2	Verbindung zu den Nutzerzentren, zum EAC und zu den ESCs .....	493
7	<b>Raumfahrtnutzung .....</b>	<b>497</b>
7.1	<b>Erdbeobachtung .....</b>	<b>501</b>
7.1.1	Kategorien der Anwendung der Erdbeobachtung .....	501
7.1.2	Elemente von Erdbeobachtungsmissionen .....	506
7.1.2.1	Beobachtungsprofile .....	506
7.1.2.2	Typische Bahnen von Erdbeobachtungssatelliten .....	506
7.1.2.3	Aufnahmesysteme .....	507
7.1.2.4	On Board Data Handling .....	508
7.1.2.5	Nutzlast-Bodensegmente .....	509
7.1.3	Nutzungsprogramme und wichtige Erdbeobachtungsmissionen .....	514
	Literatur .....	514
7.2	<b>Kommunikation .....</b>	<b>515</b>
7.2.1	Der Anfang - Sputnik .....	515
7.2.1.1	Der Einstieg - COMSAT .....	515
7.2.1.2	Der Mobilfunk - MARISAT .....	515
7.2.1.3	Das nationale MOLNIJA-Programm .....	516
7.2.1.4	Nationale Satellitennetze .....	516
7.2.2	Die Satellitenkommunikationsdienste .....	516

7.2.2.1	MOLNIJA-Satelliten und Bahnen.....	517
7.2.2.2	Lokale Dienste und die Last Mile .....	517
7.2.3	Die Tiefflieger.....	517
7.2.4	Satelliten in mittlerer Flughöhe .....	519
7.2.5	Satelliten in höheren Bahnen.....	520
7.2.6	Satelliten in hochinklinierten Bahnen.....	520
7.2.7	Satelliten in inklinierten, geosynchronen Bahnen.....	521
7.2.8	Satelliten in polaren Bahnen .....	522
7.2.9	Stratosphärenplattformen.....	522
7.2.10	Die Fernmeldedienste Little – Big – Mega.....	523
7.2.10.1	Little Services.....	523
7.2.10.2	Big Services.....	523
7.2.10.3	Super Services .....	523
7.2.10.4	Mega Services.....	523
7.2.11	Der Transponder .....	523
7.2.11.1	Variable Transponder-Sendeleistungen.....	524
7.2.11.2	Multi-Mode Tubes .....	524
7.2.11.3	Variable Transponder-Bandbreite .....	524
7.2.11.4	Intelligente Antennen.....	525
7.2.11.5	Störerausblendende Satellitenantennen.....	525
7.2.11.6	Multiple Zellen bildende Antennen .....	525
7.2.11.7	Bordseitige Verarbeitung und Vermittlung .....	525
7.2.11.8	Nutzlasten mit multiplen Frequenzbändern .....	526
7.2.12	Die Übertragungstechnik .....	526
7.2.13	Die Zugriffstechnik.....	527
7.2.14	Frequenzbereiche über dem elektromagnetischen Spektrum .....	527
7.2.15	Die Entsorgung von Satelliten .....	527
7.2.16	Ausblick .....	527
	Literatur .....	528
<b>7.3</b>	<b>Navigation .....</b>	<b>528</b>
7.3.1	Grundprinzip der Satellitennavigation .....	528
7.3.1.1	Geschichte der Navigation.....	528
7.3.1.2	Ursprung der Satellitennavigation – Transit.....	529
7.3.1.3	Funktionsweise der Satellitennavigation .....	529
7.3.2	Satellitennavigationssysteme.....	530
7.3.2.1	Systemdesign .....	530
7.3.2.2	GPS, GLONASS, Galileo und COMPASS .....	531
7.3.3	Raumsegment.....	532
7.3.3.1	Komponenten eines Navigationssatelliten .....	532
7.3.3.2	Satellitenbahnen .....	533
7.3.4	Bodensegment .....	535
7.3.4.1	Galileo Ground Control Segment (GCS) .....	536
7.3.4.2	Galileo Ground Mission Segment (GMS) .....	538
7.3.5	Navigationssignale und Dienste .....	541
7.3.5.1	Bezugssysteme für Zeit und Raumkoordinaten .....	541
7.3.5.2	Navigationssignale .....	543
7.3.5.3	Galileo-Dienstekonzept.....	544
7.3.6	Empfänger .....	545
7.3.7	Genauigkeit und Fehlereinflüsse .....	545
7.3.7.1	Fehlerquellen des Satelliten.....	545
7.3.7.2	Signalausbreitungsfehler .....	546
7.3.7.3	Empfängerfehler .....	546
	Literatur .....	546

<b>7.4</b>	<b>Weltraumastronomie und Planetenmissionen</b>	547
7.4.1	Astronomiemissionen	547
7.4.1.1	Röntgensatelliten	547
7.4.1.2	Gamma-Astronomie	548
7.4.1.3	Infrarot-Satelliten	548
7.4.1.4	Hubble Space Telescope (HST)	548
7.4.2	Mondmissionen	549
7.4.3	Planetenmissionen	552
7.4.4	Bahndynamik interplanetarer Raumsonden	557
7.4.4.1	Interplanetarer Transfer	557
7.4.4.2	Orbit- und Rendezvousmissionen	558
7.4.4.3	Swing-by-Manöver	558
7.4.5	Schlüsseltechnologien für Planetenmissionen	558
7.4.5.1	Thermalsystem für extreme Umgebungsbedingungen	558
7.4.5.2	Radiothermal Generators RTGs	559
7.4.5.3	Landesysteme	559
7.4.5.4	Kommunikationssysteme für große Distanzen	560
7.4.5.5	Navigation	561
	Literatur	561
<b>7.5</b>	<b>Materialwissenschaften</b>	561
7.5.1	Mikrogravitation	562
7.5.1.1	Entstehung	562
7.5.1.2	Auswirkung	564
7.5.2	Kritische Phänomene	564
7.5.3	Fluidphysik	566
7.5.3.1	Statik	566
7.5.3.2	Dynamik	566
7.5.3.3	Weiche Materie	567
7.5.4	Erstarrung	567
7.5.4.1	Kristallzucht	568
7.5.4.2	Gerichtete Erstarrung	568
7.5.4.3	Metalle	568
7.5.4.4	Unterkühlung	569
7.5.5	Thermophysik	570
7.5.5.1	Messungen in Kartuschen	570
7.5.5.2	Behälterfreie Experimente	571
7.5.6	Nutzlasten	572
	Literatur	574
<b>7.6</b>	<b>Weltraummedizin und -biologie</b>	575
7.6.1	Medizin im Weltraum	575
7.6.2	Missionsszenarien	576
7.6.3	Erfahrungshorizont	577
7.6.4	Umweltparameter	578
7.6.5	Medizinisch-physiologische Probleme beim Aufenthalt im All	579
7.6.5.1	Veränderungen der Körperzusammensetzung	579
7.6.5.2	Kardio-vaskuläres System	579
7.6.5.3	Muskel- und Skelettsystem	580
7.6.5.4	Sinnessysteme	580
7.6.5.5	Ernährung	581
7.6.5.6	Strahlung	581
7.6.6	Psycho-physiologische Probleme beim Aufenthalt im All	582
7.6.6.1	Biorhythmen	582

7.6.6.2	Isolation und Beengtsein .....	583
7.6.7	Gegenmaßnahmen .....	584
7.6.7.1	Kardio-vaskuläres System .....	586
7.6.7.2	Muskel- und Skelettsystem .....	586
7.6.7.3	Neuro-sensorisches System .....	586
7.6.7.4	Strahlenschutz .....	587
7.6.7.5	Individuelle Datenbasis für Astronauten .....	587
7.6.8	Ausblick .....	587
	Literatur .....	587
<b>7.7</b>	<b>Neue Technologien und Robotik .....</b>	<b>589</b>
7.7.1	Raumfahrt-Robotik .....	589
7.7.1.1	Manipulatoren im Erdorbit .....	590
7.7.1.2	Erste Technologie-Experimente auf dem Weg zum teilautonomen Service-Roboter im Weltraum .....	592
7.7.1.3	Neuere Technologieentwicklungen und -experimente .....	595
7.7.1.4	Landermissionen zur Exploration des Weltraums .....	599
7.7.2	On-Orbit Servicing .....	602
7.7.2.1	Eigenschaften und Optionen .....	603
7.7.2.2	Serviceaufgaben im Orbit .....	604
7.7.2.3	Bausteine .....	605
7.7.2.4	Technologieanforderungen .....	606
7.7.2.5	Einflussfaktoren .....	606
7.7.2.6	Bisherige und geplante Missionsbeispiele .....	607
	Literatur .....	610
<b>8</b>	<b>Konfiguration/Entwurf eines Raumflugkörpers .....</b>	<b>613</b>
<b>8.1</b>	<b>Missionskonzept und Missionsarchitektur .....</b>	<b>613</b>
8.1.1	Die Elemente einer Raumflugmission .....	613
8.1.1.1	Das Missionsziel .....	613
8.1.1.2	Das Missionskonzept .....	613
8.1.1.3	Das Startelement .....	614
8.1.1.4	Orbit und Konstellation .....	614
8.1.1.5	Das Raumelement .....	615
8.1.1.6	Die Kommunikationsarchitektur .....	615
8.1.1.7	Satelliten-Bodenstationen .....	616
8.1.1.8	Missionskontrollzentrum und Missionsbetrieb .....	616
8.1.1.9	Datenprozessierung, Archivierung und Verteilung .....	617
8.1.1.10	Nutzer .....	617
8.1.2	Die Segmente einer Raumflugmission .....	617
8.1.3	Die Missionsarchitektur .....	618
8.1.4	Entwicklung eines Missionskonzepts und einer Missionsarchitektur .....	618
8.1.4.1	Die Missionsidee .....	618
8.1.4.2	Formulierung der Missionsziele .....	619
8.1.4.3	Definition des Nutzerbedarfs .....	619
8.1.4.4	Definition der Missionsanforderungen und Randbedingungen .....	619
8.1.4.5	Grobkonzepte der Mission und alternative Missionsarchitekturen .....	621
8.1.4.6	Identifizierung der Systemtreiber .....	621
8.1.4.7	Beschreibung der ausgewählten Missionsarchitektur .....	621
8.1.4.8	Identifikation der kritischen Anforderungen .....	622
8.1.4.9	Missionsanalyse und Bewertung, Missionsnutzen .....	622
8.1.4.10	Beschreibung des Missionskonzepts .....	622
	Literatur .....	622

<b>8.2</b>	<b>Systementwurf und Systemintegration</b>	622
8.2.1	Der Systementwurf eines Raumfahrtssystems	622
8.2.1.1	Der Systembegriff	622
8.2.1.2	Der Entwurfsprozess	623
8.2.1.3	Die Entwurfsphilosophie	625
8.2.2	Die Systemintegration	627
8.2.2.1	Der Prozess der Systemintegration	627
8.2.2.2	Integrations- und Testeinrichtungen	627
8.2.2.3	Bodenhilfeeinrichtungen	628
8.2.3	Die Systemverifikation	628
8.2.3.1	Die Ziele der Verifikation	628
8.2.3.2	Phasen der Verifikation	628
8.2.3.3	Methoden der Verifikation	629
8.2.3.4	Ebenen der Verifikation	629
8.2.3.5	Modelle zur Verifikation	629
8.2.3.6	Modellphilosophien	630
8.2.3.7	Die Hardwarematrix	631
8.2.3.8	Die Verifikationsmatrix	631
	Literatur	631
<b>8.3</b>	<b>Umweltsimulation und Testkonzepte</b>	632
8.3.1	Wesen und Bedeutung der Umweltsimulation	632
8.3.2	Verifikationsplanung und Kosteneinfluss	633
8.3.3	Mechanische Tests	634
8.3.3.1	Vibrationstests	635
8.3.3.2	Akustik	637
8.3.3.3	Schock	639
8.3.3.4	Modaltest	640
8.3.3.5	Masseeigenschaften	643
8.3.4	Weltraumsimulationstests	644
8.3.4.1	Thermal Balance Tests	644
8.3.4.2	Bakeout-Test	645
8.3.4.3	Thermal-Vakuumtest	645
8.3.4.4	Thermal-Zyklentest	645
8.3.4.5	OSTC-Test	646
8.3.4.6	Thermoelastischer Verformungstest	646
8.3.4.7	Testanlagen	647
8.3.5	EMV und Magnetik	650
8.3.5.1	Elektromagnetische Verträglichkeit	650
8.3.5.2	Magnetik (Magnetische Reinheit)	651
8.3.6	Spezielle Umwelttests und Funktionstests	653
8.3.6.1	Spezielle Umwelttests	653
8.3.6.2	Funktionstests	654
8.3.7	Künftige Entwicklung	656
	Literatur	656
<b>8.4</b>	<b>Systemdesign am Beispiel CUBESAT</b>	656
8.4.1	Einleitung	656
8.4.2	Missionskonzepte und -szenarien	658
8.4.2.1	Missionsziel	658
8.4.2.2	Nutzlast	658
8.4.2.3	Satellitenbus	658
8.4.2.4	Orbit	658
8.4.2.5	Startrakete	659

8.4.2.6	Bodensegment .....	659
8.4.3	Anforderungen .....	659
8.4.4	Systementwurf und Subsysteme .....	660
8.4.4.1	Lageregelungssystem .....	660
8.4.4.2	Antriebssystem .....	661
8.4.4.3	Kommunikationssystem .....	661
8.4.4.4	Energieversorgungssystem .....	662
8.4.4.5	Kommando- und Datenverarbeitungssystem .....	662
8.4.4.6	Thermalsystem .....	662
8.4.4.7	Struktur und Mechanismen .....	662
8.4.5	Modellphilosophie .....	663
8.4.5.1	Prototypen .....	663
8.4.5.2	Ingenieurmodell .....	663
8.4.5.3	Flugmodell .....	664
8.4.6	AIT (Assembly, Integration and Testing) .....	664
8.4.6.1	Integration .....	664
8.4.6.2	Vibrationstests .....	665
8.4.6.3	Thermal-Vakuumtests .....	665
8.4.7	Betriebsaspekte und Bodensegment .....	665
	Literatur .....	666
<b>8.5</b>	<b>Systemdesign am Beispiel Mikrosatellit .....</b>	<b>666</b>
8.5.1	Entwurfsphilosophie für Mikrosatelliten .....	666
8.5.2	Design der Missionselemente der Mikrosatellitenmission BIRD .....	667
8.5.2.1	Motivation und Missionsziel .....	667
8.5.2.2	Das Missionskonzept .....	667
8.5.2.3	Das Startelement .....	668
8.5.2.4	Orbit und Konstellation .....	668
8.5.2.5	Das Raumsegment .....	668
8.5.2.6	Kommunikationsarchitektur .....	671
8.5.2.7	Satelliten-Bodenstationen .....	672
8.5.2.8	Missionskontrollzentrum und Missionsbetrieb .....	672
8.5.2.9	Datenprozessierung, Archivierung und Verteilung .....	673
8.5.2.10	Nutzer .....	673
8.5.3	Systemintegration und Systemverifikation .....	673
	Literatur .....	676
<b>8.6</b>	<b>Galileo-Satelliten .....</b>	<b>677</b>
8.6.1	Systemanforderungen .....	677
8.6.2	Designkriterien und -prozess .....	678
8.6.3	Bus und Subsysteme .....	680
8.6.3.1	Struktur und Thermalhaushalt .....	680
8.6.3.2	Stromversorgung .....	681
8.6.3.3	Bordcomputer und Datenbus .....	682
8.6.3.4	Telemetrie und Telekommando .....	682
8.6.3.5	Bahn- und Lageregelung .....	682
8.6.3.6	Laser-Reflektor .....	683
8.6.3.7	Antrieb .....	683
8.6.3.8	Kabelbaum .....	683
8.6.4	Nutzlast .....	683
8.6.4.1	Nutzlastarchitektur .....	683
8.6.4.2	Nutzlastgeräte .....	685
8.6.4.3	Notfunk-Transponder .....	686
8.6.5	Launcher Interfaces .....	687

8.6.6	Satellitenfertigung und Tests .....	687
8.6.6.1	Einleitung.....	687
8.6.6.2	Modellphilosophie.....	687
8.6.6.3	Integration und Plattformtests.....	689
8.6.6.4	Nutzlasttests .....	691
8.6.6.5	Integrierte Satellitentests .....	692
8.6.6.6	Launcher-Integration und In-Orbit-Validierung .....	692
<b>9</b>	<b>Management von Raumfahrtprojekten .....</b>	<b>695</b>
	Literatur .....	696
<b>9.1</b>	<b>Projektmanagement in der Raumfahrt .....</b>	<b>696</b>
9.1.1	Projektmanagement .....	696
9.1.1.1	Rückblick .....	696
9.1.1.2	Einführung .....	697
9.1.2	Charakterisierung eines Raumfahrtprojekts.....	700
9.1.2.1	Prozesse in der Raumfahrttechnik .....	701
9.1.2.2	Realisierungsphasen der ESA .....	703
9.1.2.3	Kommerzieller Beschaffungsansatz.....	706
9.1.3	Projektmanagement-Disziplinen.....	707
9.1.3.1	Planung .....	707
9.1.3.2	Projektführung.....	711
9.1.3.3	Projekt-Controlling .....	712
9.1.3.4	Kommunikation und Reporting .....	712
9.1.4	Projektmanagement-Hilfsmittel .....	712
9.1.4.1	Organisationsformen .....	712
9.1.4.2	Modellphilosophie.....	714
9.1.4.3	Risikomanagement .....	714
9.1.4.4	Kosten- und Zeitplanung .....	714
9.1.4.5	Qualitätsmanagement-Aspekte .....	716
9.1.4.6	Konfigurationsmanagement.....	716
9.1.4.7	Logistik .....	716
9.1.4.8	IT-Sicherheit und Geheimhaltung.....	717
9.1.4.9	Personen- und Gütersicherheit .....	717
9.1.5	Projektmanagement-Dokumentation.....	718
9.1.5.1	Managementplan.....	718
9.1.5.2	Projekthandbuch .....	719
9.1.6	Auftraggeber-Auftragnehmer-Beziehung .....	719
9.1.6.1	Beschaffungsvorgang .....	719
9.1.6.2	Reviewprozess .....	720
9.1.6.3	Abnahmen .....	721
9.1.6.4	Endabnahme .....	721
9.1.7	Orientierung .....	722
	Literatur .....	722
<b>9.2</b>	<b>Qualitätsmanagement.....</b>	<b>722</b>
9.2.1	Begriffe.....	722
9.2.2	Anforderungen und Vorgaben .....	724
9.2.2.1	Anforderungen .....	724
9.2.2.2	Qualitätspolitik und Qualitätsziele.....	724
9.2.2.3	Qualitätskennzahlen.....	724
9.2.2.4	Kundenzufriedenheit .....	725
9.2.2.5	Handbuch.....	725
9.2.2.6	Verfahrensanweisungen, Arbeitsanweisungen.....	725



9.2.3	Die Hauptprozesse.....	725
9.2.3.1	Angebot.....	726
9.2.3.2	Vorentwicklung/Entwicklung .....	726
9.2.3.3	Beschaffung.....	727
9.2.3.4	Fertigung .....	727
9.2.3.5	Lagerung, Transport, Wartung (Betrieb).....	728
9.2.4	Die Organisation des Qualitätsmanagements .....	728
9.2.5	Produktsicherung (PS).....	729
9.2.5.1	Entwurfssicherung .....	729
9.2.5.2	Zuverlässigkeit (Reliability) .....	730
9.2.5.3	Verfügbarkeit (Availability) .....	730
9.2.5.4	Wartbarkeit (Maintainability) .....	731
9.2.5.5	Sicherheit (Safety).....	731
9.2.5.6	Teile, Materialien und Verfahren .....	731
9.2.5.7	Elektrische, elektronische und elektromechanische (EEE) Bauteile.....	732
9.2.5.8	Hardware-Qualitätssicherung .....	733
9.2.5.9	Software-Qualitätssicherung .....	733
9.2.6	Produktsicherung im Projekt.....	733
9.2.6.1	Projektphasen.....	733
9.2.6.2	Projektnahtstellen .....	735
9.2.6.3	Produktbaum (Product Tree) .....	735
9.2.6.4	Anforderungen und Vorgaben .....	735
9.2.6.5	Lasten- und Pflichtenheft .....	735
9.2.6.6	Auswahl Qualitätsstandards.....	737
9.2.6.7	Modellphilosophie.....	737
9.2.6.8	Projektmeilensteine .....	737
9.2.7	Planung der Produktsicherung im Projekt.....	739
9.2.7.1	Planungsvoraussetzungen .....	739
9.2.7.2	Der Produktsicherungsablauf .....	739
9.2.7.3	Produktsicherungsplan .....	741
9.2.8	Risikomanagement .....	741
9.2.9	Konfigurationsmanagement.....	741
9.2.10	Änderungs- und Fehlermanagement.....	742
9.2.11	Die Verifikation der Anforderungen .....	742
9.2.12	Lessons Learned.....	743
9.2.13	Zusammenfassung .....	743
	Literatur .....	743
<b>9.3</b>	<b>Kostenmanagement .....</b>	<b>744</b>
9.3.1	Einleitung.....	744
9.3.2	Zielsetzung .....	744
9.3.3	Kostenmanagementprozess .....	745
9.3.3.1	Prozessüberblick .....	745
9.3.3.2	Einbettung in den Projektmanagementzyklus .....	746
9.3.4	Aufgabenfelder im Kostenmanagement .....	748
9.3.4.1	Kostenschätzung .....	748
9.3.4.2	Kostenbudgetierung (Kostenplanung).....	752
9.3.4.3	Kostenkontrolle .....	753
9.3.5	Close-out.....	756
9.3.6	Ausblick .....	757
9.3.6.1	Virtueller Wettbewerb .....	757
9.3.6.2	Electronic B2B .....	757
	Literatur .....	757

---

<b>9.4</b>	<b>Raumfahrtrecht</b> .....	757
9.4.1	Grundlagen des Raumfahrtrechts .....	757
9.4.1.1	Internationales Raumfahrtrecht der Vereinten Nationen .....	758
9.4.1.2	Sonstiges internationales Raumfahrtrecht .....	761
9.4.2	Rechtliche Begleitung der Mission .....	762
9.4.2.1	Erforderliche staatliche Genehmigungen .....	762
9.4.2.2	Registrierung von Weltraumgegenständen .....	770
9.4.2.3	Vertragliche Gestaltung der Mission .....	771
9.4.2.4	Haftungsrisiken .....	777
9.4.3	Raumfahrt in der Zuständigkeit von ESA und EU .....	778
	Literatur .....	779
	<b>Sachwortverzeichnis</b> .....	783