

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	29
	Quellen und Literatur	31
1.1	Historischer Überblick	32
1.1.1	Einführung	32
1.1.2	Die Entwicklung der unbemannten deutschen und europäischen Raumfahrt	33
1.1.3	Die Entwicklung der bemannten Raumfahrt in Europa	39
	Literatur	42
1.2	Raumfahrtmissionen	42
1.2.1	Raumfahrt-Systemsegmente	42
1.2.1.1	Das Raumsegment	43
1.2.1.2	Das Transfersegment	46
1.2.1.3	Das Bodensegment	46
1.2.2	Auslegung der Systemsegmente für Raumfahrtmissionen	48
1.2.3	Klassifizierung von Raumfahrtmissionen	51
1.2.3.1	Erdbeobachtung	51
1.2.3.2	Wetterbeobachtung	51
1.2.3.3	Technologieerprobung	51
1.2.3.4	Grundlagenforschung	52
1.2.3.5	Kommunikation	53
1.2.3.6	Navigation	53
1.2.3.7	Militärische Missionen	54
1.2.3.8	Planetare Erkundung und Exploration	54
1.2.3.9	Bemannte Raumfahrt	55
	Quellen und Literatur	55
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	57
2.1	Umgebung Weltraum	57
2.1.1	Raumfahrzeug und Weltraumumgebung	57
2.1.2	Einfluss von Sonne und Weltraumhintergrund	59
2.1.2.1	Physik der Sonne	59
2.1.2.2	Die Sonnenstrahlung	60
2.1.2.3	Sonnenwind	61
2.1.2.4	Energiereiche Teilchen	62
2.1.3	Einfluss der Erde	62
2.1.3.1	Die Erdatmosphäre	62
2.1.3.2	Magnetfeld der Erde	64
2.1.3.3	Bewegung geladener Teilchen in der Magnetosphäre	65
2.1.3.4	Der Strahlungsgürtel (Van-Allen-Belt)	65
2.1.4	Einfluss auf das Raumfahrzeug und die Missionsplanung	66
2.1.4.1	Gravitation und Magnetik	66
2.1.4.2	Elektromagnetische Strahlung	68
2.1.4.3	Atmosphärische Einflüsse	69
2.1.4.4	Energiereiche Teilchenstrahlung	70
2.1.4.5	Hochvakuum	72
2.1.4.6	Kontamination	72
2.1.4.7	Mikrometeoriten und Weltraummüll	73
	Literatur	74

<b>2.2</b>	<b>Bahnmechanik</b>	74
2.2.1	Bahnmodellierung	74
2.2.1.1	Kepler-Bahnen	74
2.2.1.2	Die Bahn im erdfesten System	77
2.2.1.3	Bahnstörungen	78
2.2.1.4	Analytische Bahnmodelle	82
2.2.1.5	Numerische Bahnvorhersage	85
2.2.2	Bahnbestimmung	87
2.2.2.1	Tracking-Systeme	87
2.2.2.2	Beobachtungsmodell	90
2.2.2.3	Linearisierung	91
2.2.2.4	Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate	91
2.2.2.5	Kalman-Filterung	93
2.2.3	Bahnauslegung und -haltung	95
2.2.3.1	Hohmann-Transfer	95
2.2.3.2	Fernerkundungssatelliten	96
2.2.3.3	Geostationäre Satelliten	98
	Literatur	101
<b>2.3</b>	<b>Aerothermodynamik und Wiedereintritt</b>	102
2.3.1	Einleitung	102
2.3.2	Globale Energiebetrachtungen	102
2.3.3	Strömungsmechanische und chemische Phänomene beim Wiedereintritt	104
2.3.4	Wärmeflussbilanz und Thermalschutzsysteme	106
2.3.5	Wiedereintrittsbahn	109
2.3.6	Aerodynamische Betrachtungen	111
2.3.7	Werkzeuge zur Bestimmung aerothermodynamischer Daten	113
	Literatur	116
<b>2.4</b>	<b>Mikrometeoriten und Space Debris</b>	117
2.4.1	Die Umgebungsbedingungen	117
2.4.1.1	Mikrometeoriten	117
2.4.1.2	Space Debris	117
2.4.2	Zukünftige Entwicklung und Vermeidungstechniken	119
2.4.3	Impaktflüsse und Impaktrisiko	120
2.4.3.1	Mikrometeoriten	121
2.4.3.2	Space Debris	121
2.4.3.3	Impaktrisiko	123
2.4.4	Schutzmaßnahmen für Raumfahrzeuge	123
2.4.4.1	Schutzkonzepte	123
2.4.4.2	Bemessung von Schutzmaßnahmen	124
2.4.5	Planung von Missionen	128
	Literatur	128
<b>3</b>	<b>Trägersysteme</b>	131
3.1	Gesamtsysteme	132
3.1.1	Einführung	132
3.1.2	Grundlagen	133
3.1.2.1	Nutzlasten und Missionen	133
3.1.2.2	Impuls und Raketengrundgleichung	134
3.1.2.3	Stufung	134
3.1.2.4	Aufstiegsbahn und Antriebsbedarf	135
3.1.3	Baugruppen	136

3.1.4	Projektphasen.....	136
3.1.5	Trägersysteme.....	137
3.1.5.1	Aktuelle Trägersysteme.....	138
3.1.5.2	Konzepte für die Zukunft.....	147
	Literatur.....	149
<b>3.2</b>	<b>Stufentechnologien.....</b>	<b>149</b>
3.2.1	Einführung/Übersicht.....	150
3.2.2	Missionsprofile und Betrieb.....	152
3.2.3	Baugruppen/Subsysteme/Technologien.....	155
3.2.4	Systemauslegung.....	162
3.2.4.1	Auslegung des Gesamtsystems.....	162
3.2.4.2	Einflüsse auf die Systemauslegung.....	163
3.2.4.3	Teilsystem-Auslegung.....	165
<b>3.3</b>	<b>Antriebssysteme.....</b>	<b>167</b>
3.3.1	Theorie des chemischen Antriebs.....	168
3.3.1.1	Grundlagen.....	168
3.3.1.2	Treibstoffe.....	168
3.3.2	Triebwerkstypen.....	169
3.3.2.1	Druckgassysteme.....	170
3.3.2.2	Pumpensysteme.....	170
3.3.2.3	Feststoffantriebe.....	172
3.3.3	Komponenten.....	174
3.3.3.1	Einspritzkopf.....	174
3.3.3.2	Brennkammer und Düse.....	178
3.3.3.3	Gasgeneratoren.....	183
3.3.3.4	Turbopumpe.....	184
3.3.4	Sonderprobleme.....	188
3.3.5	Testanlagen für Raketenantriebe.....	189
3.3.6	Zukünftige Antriebe.....	191
	Literatur.....	192
<b>3.4</b>	<b>Startinfrastruktur.....</b>	<b>192</b>
3.4.1	Anforderungen und Aufgaben.....	192
3.4.2	Konzepte.....	193
3.4.3	Ein ausgeführtes Beispiel: Ariane 5.....	194
3.4.4	Übersicht über bestehende Startanlagen.....	197
<b>3.5</b>	<b>Qualifikationsprozess.....</b>	<b>198</b>
3.5.1	Einführung/Übersicht.....	198
3.5.2	Qualifikationskategorien.....	203
3.5.3	Mechanische Qualifikationsmaßnahmen.....	203
3.5.4	Funktionelle Qualifikationsmaßnahmen.....	204
<b>3.6</b>	<b>Höhenforschungsraketen.....</b>	<b>206</b>
3.6.1	Aufbau einer Höhenforschungsrakete.....	206
3.6.1.1	Antriebe.....	207
3.6.1.2	Nutzlasten.....	208
3.6.1.3	Auslegung.....	209
3.6.2	Anwendungen.....	209
3.6.2.1	Atmosphärenphysik.....	209
3.6.2.2	Weltraumwissenschaften.....	210
3.6.2.3	Schwerelosigkeitsforschung.....	210

3.6.2.4	Hyperschalltechnologien .....	212
3.6.2.5	Studentenexperimente .....	212
3.6.3	Missionsablauf .....	213
3.6.3.1	Trägerauswahl .....	213
3.6.3.2	Startplätze .....	214
3.6.3.3	Missionsvorbereitung .....	214
3.6.3.4	Startdurchführung .....	215
3.6.4	Ausblick .....	216
	Literatur .....	216
<b>4</b>	<b>Raumfahrzeug-Subsysteme .....</b>	<b>219</b>
<b>4.1</b>	<b>Struktur und Mechanismen .....</b>	<b>220</b>
4.1.1	Die Primärstruktur des Raumfahrzeugs .....	221
4.1.1.1	Designtreiber und dimensionierende Lastfälle .....	221
4.1.1.2	Auswahl der Strukturwerkstoffe .....	222
4.1.1.3	Sandwich-, Differential- und Integralbauweise .....	223
4.1.1.4	Ausgasung, Degradation und Oberflächenschutz .....	227
4.1.1.5	Inserts .....	228
4.1.1.6	Fertigung und Integration .....	229
4.1.2	Sekundäre und entfaltbare Strukturen .....	230
4.1.2.1	Gerätehalterungen und Isolierungen .....	230
4.1.2.2	Entfaltbare Panels .....	231
4.1.2.3	Booms .....	232
4.1.3	Strukturmechanische Modellierung und Analyse .....	233
4.1.3.1	Finite-Elemente-Modelle und Modalmodelle .....	233
4.1.3.2	Resonanzverhalten und Eigenmoden .....	235
4.1.3.3	Festigkeitsnachweis und Margins of Safety (MoS) .....	235
4.1.3.4	Modellierung kritischer Schnittstellen .....	236
4.1.4	Qualifikation der Raumfahrzeugstruktur .....	237
4.1.5	Mechanismen .....	238
4.1.5.1	Pyromechanismen .....	238
4.1.5.2	Nicht-explosive Aktuatoren und Launch Locks .....	239
4.1.5.3	Federmechanismen .....	240
4.1.5.4	Elektromotoren und Stelltriebe .....	241
4.1.5.5	Drallräder und Kreisel .....	243
4.1.5.6	Tribologische Materialien .....	244
4.1.5.7	Schmierung von Lagern und Mechanismen .....	246
	Literatur .....	248
<b>4.2</b>	<b>Energieversorgung .....</b>	<b>249</b>
4.2.1	Energieerzeugung .....	250
4.2.2	Energiequellen .....	250
4.2.2.1	Fotovoltaik .....	252
4.2.2.2	Solardynamik .....	252
4.2.2.3	Nukleare Energieversorgung .....	254
4.2.2.4	Chemische Energie/Brennstoffzelle .....	255
4.2.3	Entwicklungsprozess zur Auslegung einer optimierten EVS-Architektur .....	256
4.2.4	EVS-Architekturen .....	257
4.2.5	Solargenerator .....	261
4.2.5.1	Solarzellen-Technologien .....	261
4.2.5.2	Silizium-Solarzellen .....	263
4.2.5.3	Multijunction Gallium-Arsenid auf Germanium-Solarzellen (GaAs/Ge) .....	264
4.2.5.4	Elektrische Kennwerte von Solarzellen .....	264

4.2.5.5	Temperatur- und Strahlungsverhalten.....	264
4.2.5.6	Solargenerator-Technologien .....	266
4.2.5.7	Reihenschaltung von Solarzellen .....	266
4.2.5.8	Parasitäre Kapazitäten und Induktivitäten .....	267
4.2.5.9	Betriebstemperaturen.....	267
4.2.5.10	Elektrostatische Aufladung, Entladung und Durchschlagseffekte .....	267
4.2.6	Energiespeicher .....	268
4.2.6.1	Sekundärbatterie-Technologien.....	268
4.2.6.2	Vergleich der Batterietechnologien .....	271
4.2.6.3	Berechnungsgrundlagen zur Auslegung von Batterien .....	272
4.2.6.4	Batterieladeregelung.....	273
4.2.7	Grundsätzliche EVS-Designbetrachtungen .....	274
4.2.7.1	Busspannung .....	274
4.2.7.2	Aufbereitung der Solargeneratorenergie .....	274
4.2.7.3	Spannungswandler und Leistungsregler .....	276
4.2.7.4	Erdungskonzept .....	276
4.2.7.5	Maßnahmen zum Schutz des Energieversorgungsbusses.....	276
4.2.7.6	Energieverteilung .....	277
	Literatur .....	277
<b>4.3</b>	<b>Thermalkontrolle .....</b>	<b>278</b>
4.3.1	Einleitung.....	278
4.3.2	Thermische Grundlagen .....	278
4.3.2.1	Umweltbedingungen.....	278
4.3.2.2	Wärmeübertragung durch Strahlung .....	280
4.3.2.3	Wärmeleitung.....	283
4.3.2.4	Wärmetransport durch erzwungene Konvektion.....	284
4.3.2.5	Mathematisches Thermalmodell.....	285
4.3.3	Entwicklung des Thermalsystems .....	286
4.3.3.1	Übersicht .....	286
4.3.3.2	Analyseverfahren.....	287
4.3.3.3	Verifikation durch Test.....	291
4.3.4	Technische Lösungen .....	292
4.3.4.1	Überblick .....	292
4.3.4.2	Thermische Isolation .....	292
4.3.4.3	Zwei-Phasen-Kühlkreisläufe.....	294
4.3.4.4	Thermische Oberflächen.....	298
4.3.4.5	Heizelemente .....	299
4.3.4.6	Pumpkühlkreisläufe .....	300
4.3.5	Beispiele für einen Thermalentwurf .....	301
4.3.5.1	TerraSAR-X .....	301
4.3.5.2	Columbus.....	309
	Literatur .....	313
<b>4.4</b>	<b>Satellitenantriebssysteme .....</b>	<b>313</b>
4.4.1	Grundlagen der Satellitenantriebe.....	313
4.4.1.1	Antriebssystem-Aufgaben.....	313
4.4.1.2	Stabilisierungsverfahren.....	314
4.4.2	Antriebssystemtypen .....	314
4.4.2.1	Kaltgassysteme.....	314
4.4.2.2	Einstoffsysteme .....	314
4.4.2.3	Zweistoffsysteme .....	315
4.4.2.4	Elektrische Systeme .....	315
4.4.2.5	Feststoffsysteme.....	315
4.4.2.6	Vor- und Nachteile verschiedener Antriebssysteme .....	315

4.4.3	Treibstoffe .....	316
4.4.4	Förderverfahren und Treibstofflagerung .....	318
4.4.4.1	Blow-Down-Betrieb .....	318
4.4.4.2	Förderung bei konstantem Druck .....	319
4.4.4.3	Treibstofflagerung .....	319
4.4.5	Kaltgas-Antriebe .....	323
4.4.5.1	Kaltgastriebwerke .....	324
4.4.5.2	Entwurfsaspekte .....	324
4.4.6	Chemische Antriebe .....	325
4.4.6.1	Systeme mit Mono-Treibstoffen .....	325
4.4.6.2	Systeme mit Bi-Treibstoffen .....	329
4.4.7	Elektrische Antriebe .....	333
4.4.7.1	Triebwerkstypen und -Prinzipien .....	333
4.4.7.2	Aufbau eines elektrischen Antriebssystems .....	335
4.4.8	Komponenten für chemische Antriebssysteme .....	336
4.4.9	Bodenanlagen und Services .....	337
	Literatur .....	338
<b>4.5</b>	<b>Lageregelung .....</b>	<b>339</b>
4.5.1	Einführung und Übersicht .....	339
4.5.1.1	Bedeutung für den Satellitenbus .....	340
4.5.1.2	Bedeutung für die Nutzlast .....	340
4.5.1.3	Anwendungsgebiete .....	340
4.5.2	Anforderungen an die Lageregelung .....	340
4.5.3	Lagebeschreibung .....	341
4.5.3.1	Koordinatensysteme .....	341
4.5.3.2	Richtungskosinus-Matrix .....	342
4.5.3.3	Euler-Winkel .....	342
4.5.3.4	Quaternionen .....	343
4.5.4	Lagedynamik .....	343
4.5.4.1	Lagekinematik und -dynamik .....	343
4.5.4.2	Störmomente .....	344
4.5.5	Lagebestimmung und -regelung .....	345
4.5.5.1	Lagebestimmung .....	345
4.5.5.2	Lageregelung .....	346
4.5.6	Lagesensorik .....	347
4.5.6.1	Generelle Aspekte für Lagesensoren .....	347
4.5.6.2	Sternsensoren .....	348
4.5.6.3	Sonnensensoren .....	349
4.5.6.4	Erdsensoren .....	350
4.5.6.5	Magnetometer .....	352
4.5.6.6	Gyroskope, Kreisel .....	352
4.5.6.7	GNSS als Lagesensor .....	355
4.5.7	Lageaktuatorik .....	356
4.5.7.1	Generelle Aspekte für Aktuatoren .....	356
4.5.7.2	Reaktionsräder, Drallräder, Control Momentum Gyros .....	357
4.5.7.3	Triebwerke für die Lageregelung .....	359
4.5.7.4	Magnet-Torquer .....	360
4.5.8	Verifikation der Lageregelung .....	361
4.5.8.1	Analytische Verifikation .....	361
4.5.8.2	Software-Simulation .....	362
4.5.8.3	Hardware-in-the-Loop-Test .....	362
4.5.8.4	Teststand, Gaslager .....	363
	Literatur .....	364

<b>4.6</b>	<b>Datenmanagement</b> .....	364
4.6.1	Bordrechner-Architektur .....	365
4.6.2	Strahlungsfestigkeit, Temperaturprobleme .....	367
4.6.3	Busse .....	367
4.6.3.1	Serielle asynchrone Schnittstelle RS232, RS422 und RS485 .....	368
4.6.3.2	CAN-Bus (Controller Area Network) .....	368
4.6.3.3	I2C-Bus .....	369
4.6.3.4	SPI-Bus .....	370
4.6.3.5	SpaceWire .....	370
4.6.3.6	MIL-STD-1553 .....	371
4.6.4	Betriebssysteme .....	371
4.6.5	Rechner mit rekonfigurierbarer Logik .....	372
4.6.5.1	Logikbausteine .....	372
4.6.5.2	Hardware-Beschreibungssprachen .....	373
4.6.6	Software-Entwicklung .....	374
	Literatur .....	375
<b>4.7</b>	<b>Kommunikation</b> .....	375
4.7.1	Einleitung .....	375
4.7.2	Frequenzbänder .....	376
4.7.2.1	Atmosphärische Dämpfung .....	376
4.7.2.2	Maximale Leistungsflussdichte auf dem Erdboden .....	376
4.7.3	Kanalkapazität .....	377
4.7.4	Antennen .....	378
4.7.4.1	Parabolantenne mit hoher Richtwirkung .....	378
4.7.4.2	Antennengewinn der Parabolantenne .....	378
4.7.4.3	Keulenbreite der Parabolantenne .....	379
4.7.4.4	Polarisation .....	379
4.7.5	Thermisches Rauschen .....	379
4.7.5.1	Antennentemperatur .....	380
4.7.5.2	Systemrauschtemperatur .....	380
4.7.6	Modulationsarten .....	381
4.7.6.1	Frequenzmodulation (FM) .....	381
4.7.6.2	Signal-Rausch-Leistung bei Frequenzmodulation .....	381
4.7.6.3	Präemphase und Deemphase .....	382
4.7.6.4	Phasenmodulation (PM) .....	383
4.7.6.5	Frequency Shift Keying (FSK) .....	383
4.7.6.6	Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) .....	383
4.7.6.7	Bitfehlerwahrscheinlichkeiten für verschiedene Modulationsarten .....	383
4.7.7	Pulsmodulation (PCM) .....	384
4.7.8	Paket-Telemetrie .....	386
4.7.9	Code Division Multiple Access (CDMA) .....	386
4.7.10	Koppelnetzwerke .....	387
4.7.11	Sende- und Empfangsanlage des BIRD-Satelliten .....	388
4.7.11.1	Auslegung .....	388
4.7.11.2	Streckenbilanz .....	388
4.7.11.3	Ausblick .....	390
	Literatur .....	391
<b>5</b>	<b>Aspekte bemannter Missionen</b> .....	393
<b>5.1</b>	<b>Der Mensch im Weltraum</b> .....	394
5.1.1	Die Besetzungen der Internationalen Raumstation .....	394
5.1.1.1	Zusammensetzung und Auswahl der Mannschaft .....	394

5.1.1.2	ISS-Crew-Aufgaben .....	394
5.1.1.3	ISS-Crew-Alltag .....	396
5.1.1.4	Die ISS-Crew als Arbeitsteam .....	397
5.1.2	Das Astronautentraining .....	398
5.1.2.1	Das mehrstufige Astronautentrainingsprogramm .....	398
5.1.2.2	Trainingsorganisation und Methoden .....	400
5.1.2.3	Crew-Qualifikationen .....	401
5.1.3	Trainingsinfrastruktur im Europäischen Astronauten-Zentrum (EAC) .....	402
5.1.3.1	Allgemeine Trainingsinfrastruktur .....	402
5.1.3.2	Infrastruktur für das Columbus-System-Training .....	404
5.1.3.3	Nutzlast-Training und Simulationsinfrastruktur .....	405
5.1.3.4	Infrastruktur für das Training zur Raumfahrzeugsteuerung und für Extravehicular Activities ...	407
	Literatur .....	408
<b>5.2</b>	<b>Lebenserhaltungssysteme .....</b>	<b>408</b>
5.2.1	Aufgaben eines Lebenserhaltungssystems .....	408
5.2.1.1	Einleitung .....	408
5.2.1.2	Die Atmosphäre .....	409
5.2.1.3	Druckkontrolle, Abgabe und Ventile .....	409
5.2.1.4	Überwachung der Luftzusammensetzung .....	410
5.2.1.5	Lüftung und Luftkonditionierung .....	411
5.2.1.6	Luftaufbereitung und Schadgasbindung .....	413
5.2.1.7	Wasser- und Urinaufbereitung .....	417
5.2.1.8	Branderkennung und -bekämpfung .....	419
5.2.1.9	Außenbordaktivitäten .....	419
5.2.1.10	Thermalkontrolle .....	421
5.2.1.11	Crew Habitation Systems .....	422
5.2.1.12	Nahrung .....	422
5.2.2	Bilanzen .....	423
5.2.2.1	Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxidproduktion eines Astronauten .....	423
5.2.2.2	Das offene Lebenserhaltungssystem .....	423
5.2.2.3	Das geschlossene Lebenserhaltungssystem .....	423
5.2.3	Das Lebenserhaltungssystem der ISS .....	424
5.2.3.1	ECLS-Designphilosophie .....	424
5.2.3.2	ECLS-Gesamtsystem .....	425
5.2.3.3	Versorgung der ISS und Entsorgung .....	425
5.2.4	Biologische Lebenserhaltungssysteme .....	427
5.2.4.1	Einleitung .....	427
5.2.4.2	Terrestrische Entwicklungen, Erfahrungen auf Systemebene .....	427
5.2.4.3	Fluganlagen .....	427
5.2.4.4	Offene Punkte .....	427
	Literatur .....	430
<b>5.3</b>	<b>Rendezvous und Docking .....</b>	<b>430</b>
5.3.1	Einleitung .....	430
5.3.2	Die RVD-Mission .....	430
5.3.2.1	Space Shuttle (USA) .....	431
5.3.2.2	Sojus und Progress (Russland) .....	432
5.3.2.3	ATV (Europa) .....	432
5.3.3	Grundlagen der Bahndynamik .....	432
5.3.4	Die Sicherheitsanforderungen .....	435
5.3.5	Das ATV-RVD-System .....	437
5.3.5.1	Das Antriebssystem .....	438
5.3.5.2	Flugführung und Flugregelung .....	439



5.3.6	Verifikation und Test .....	441
5.3.7	Ausblick .....	442
	Literatur .....	443
<b>6</b>	<b>Missionsbetrieb</b> .....	<b>445</b>
<b>6.1</b>	<b>Satellitenbetrieb</b> .....	<b>445</b>
6.1.1	Prinzipien und Vorgehensweise .....	445
6.1.2	Missionstypen .....	447
6.1.2.1	Satelliten im niedrigen Erdorbit .....	447
6.1.2.2	Satelliten im hochelliptischen Orbit .....	447
6.1.2.3	Geostationäre Satelliten .....	447
6.1.2.4	Sonden in den Lagrange-Punkten L1/L2 .....	447
6.1.2.5	Interplanetare Sonden .....	447
6.1.3	Vorbereitungsaktivitäten .....	447
6.1.3.1	Missionsanalysen und Systemstudien .....	449
6.1.3.2	Implementierung .....	449
6.1.3.3	Test und Validierung .....	449
6.1.3.4	Training und Simulationen .....	450
6.1.4	Missionsphasen .....	452
6.1.4.1	LEOP-Betrieb .....	452
6.1.4.2	Commissioning und In-Orbit Test Phase .....	452
6.1.4.3	Routinebetrieb .....	454
6.1.4.4	Wiederherstellung des Betriebs (Recovery) .....	454
6.1.4.5	Außerbetriebnahme und Deorbiting .....	455
6.1.5	Aufgaben des Missionsbetriebs .....	455
6.1.5.1	Analyse des Satellitenverhaltens .....	455
6.1.5.2	Bearbeitung von Anomalien .....	455
6.1.5.3	Satellitenbetrieb .....	455
6.1.5.4	Datenerfassung und -verteilung .....	456
6.1.5.5	Missionsplanung .....	457
6.1.5.6	Navigation und Flugdynamik .....	457
<b>6.2</b>	<b>Kontrollzentrum</b> .....	<b>458</b>
6.2.1	Kontrollräume .....	458
6.2.2	Hardwarekomponenten .....	459
6.2.2.1	Rechner- und Netzwerkarchitektur .....	459
6.2.2.2	Sprachkommunikationssystem .....	460
6.2.2.3	Videosystem .....	460
6.2.2.4	Stromversorgung .....	461
6.2.2.5	Zugangskontrolle und IT-Sicherheit .....	461
6.2.3	Softwarekomponenten .....	461
6.2.3.1	Telemetrie- und Kommandosystem .....	462
6.2.3.2	Display-System .....	464
6.2.3.3	Missionsplanungssystem .....	465
6.2.3.4	Unterstützungssoftware .....	466
6.2.4	Kommunikationsverbindungen .....	466
6.2.4.1	Echtzeitdatenübertragung .....	466
6.2.4.2	Offline-Datenübertragung .....	467
6.2.4.3	Audio- und Videoverbindungen .....	467
<b>6.3</b>	<b>Bodenstationsnetzwerk</b> .....	<b>468</b>
6.3.1	Aufgaben einer Bodenstation .....	468
6.3.1.1	Übertragung vom Boden zum Raumfahrzeug (Uplink) .....	468

6.3.1.2	Übertragung vom Raumfahrzeug zum Boden (Downlink).....	468
6.3.1.3	Telemetrie .....	469
6.3.1.4	Telekommando .....	469
6.3.1.5	Bahnbestimmung (Tracking) .....	469
6.3.2	Standortauswahl für eine Bodenstation .....	470
6.3.3	Bodenstationskomponenten für erdumlaufende Satelliten .....	471
6.3.3.1	Empfangspfad (Downlink).....	472
6.3.3.2	Sendepfad (Uplink) .....	472
6.3.3.3	Nachführung einer Antenne.....	472
6.3.3.4	Rauscharmer Vorverstärker (LNA).....	473
6.3.3.5	Endverstärker (HPA).....	473
6.3.3.6	Frequenzumsetzer.....	474
6.3.3.7	Basisband-Geräte.....	474
6.3.3.8	Zeit- und Referenzfrequenz-Anlagen .....	476
6.3.3.9	Datennetzwerk .....	476
6.3.4	Link-Designaspekte.....	477
6.3.4.1	Frequenzbereiche .....	478
6.3.4.2	Antennengröße.....	480
6.3.4.3	Abgestrahlte Leistung EIRP .....	480
6.3.4.4	Empfangsgüte G-T .....	481
6.3.4.5	Antennenausrichtung.....	481
6.3.4.6	Funkfelddispersion und Regendämpfung.....	482
6.3.4.7	Störleistung .....	484
6.3.4.8	Die Streckenbilanz.....	486
6.3.5	Bodenstationsbetrieb .....	486
6.3.5.1	Steuerungs- und Kontrollsystem.....	486
6.3.5.2	Operationelle Durchführung einer Passage.....	487
<b>6.4</b>	<b>Betrieb für bemannte Missionen.....</b>	<b>488</b>
6.4.1	Vorbereitung .....	488
6.4.1.1	Entwicklung der Werkzeuge.....	490
6.4.1.2	Training, Simulationen und Zertifizierung .....	491
6.4.1.3	Abstimmung der Schnittstellen zu den internationalen Partnern .....	492
6.4.1.4	Planung der Aktivitäten.....	492
6.4.2	Systembetrieb eines ISS-Moduls .....	493
6.4.2.1	Systembetrieb des Columbus-Moduls .....	494
6.4.2.2	Lebenserhaltungssystem.....	494
6.4.2.3	Stromversorgung und Temperaturregelung.....	494
6.4.2.4	Daten- und Kommunikationssystem .....	494
6.4.3	Koordination des Nutzlastbetriebs auf der ISS .....	495
6.4.3.1	Nutzlastkoordinierung am Col-CC .....	495
6.4.3.2	Koordination mit den europäischen Nutzerzentren .....	495
6.4.3.3	Koordination mit der ESA .....	496
6.4.4	Die ISS-Kommunikationsinfrastruktur .....	496
6.4.4.1	Betrieb der europäischen Kommunikationsinfrastruktur.....	496
6.4.4.2	Verbindung zu den Nutzerzentren, zum EAC und zu den ESCs .....	498
	Literatur .....	498
<b>7</b>	<b>Raumfahrtnutzung .....</b>	<b>501</b>
<b>7.1</b>	<b>Erdbeobachtung.....</b>	<b>505</b>
7.1.1	Kategorien der Anwendung der Erdbeobachtung .....	505
7.1.2	Anwendung der Erdbeobachtung am Beispiel „Bestimmung der oberirdischen Biomasse“ .....	510
7.1.3	Elemente von Erdbeobachtungsmissionen.....	512

7.1.3.1	Beobachtungsprofile .....	512
7.1.3.2	Typische Bahnen von Erdbeobachtungssatelliten .....	512
7.1.3.3	Aufnahmesysteme .....	513
7.1.3.4	On Board Data Handling .....	515
7.1.3.5	Nutzlast-Bodensegmente .....	515
7.1.4	Nutzungsprogramme und wichtige Erdbeobachtungsmissionen .....	519
	Literatur .....	520
<b>7.2</b>	<b>Kommunikation</b> .....	<b>521</b>
7.2.1	Der Anfang – Sputnik .....	521
7.2.1.1	Der Einstieg – COMSAT .....	521
7.2.1.2	Der Mobilfunk – MARISAT .....	521
7.2.1.3	Das nationale MOLNIJA-Programm .....	522
7.2.1.4	Nationale Satellitennetze .....	522
7.2.2	Die Satellitenkommunikationsdienste .....	522
7.2.2.1	MOLNIJA-Satelliten und Bahnen .....	523
7.2.2.2	Lokale Dienste und die Last Mile .....	523
7.2.3	Die Tiefflieger .....	523
7.2.4	Satelliten in mittlerer Flughöhe .....	525
7.2.5	Satelliten in höheren Bahnen .....	526
7.2.6	Satelliten in hochinklinierten Bahnen .....	526
7.2.7	Satelliten in inklinierten, geosynchronen Bahnen .....	527
7.2.8	Satelliten in polaren Bahnen .....	528
7.2.9	Stratosphärenplattformen .....	528
7.2.10	Die Fernmeldedienste Little – Big – Mega .....	529
7.2.10.1	Little Services .....	529
7.2.10.2	Big Services .....	529
7.2.10.3	Super Services .....	529
7.2.10.4	Mega Services .....	529
7.2.11	Der Transponder .....	530
7.2.11.1	Variable Transponder-Sendeleistungen .....	530
7.2.11.2	Multi-Mode Tubes .....	530
7.2.11.3	Variable Transponder-Bandbreite .....	531
7.2.11.4	Intelligente Antennen .....	531
7.2.11.5	Störerausblendende Satellitenantennen .....	531
7.2.11.6	Multiple Zellen bildende Antennen .....	531
7.2.11.7	Bordseitige Verarbeitung und Vermittlung .....	532
7.2.11.8	Nutzlasten mit multiplen Frequenzbändern .....	532
7.2.12	Die Übertragungstechnik .....	532
7.2.13	Die Zugriffstechnik .....	533
7.2.14	Frequenzbereiche über dem elektromagnetischen Spektrum .....	533
7.2.15	Die Entsorgung von Satelliten .....	534
7.2.16	Ausblick .....	534
	Literatur .....	534
<b>7.3</b>	<b>Navigation</b> .....	<b>535</b>
7.3.1	Grundprinzip der Satellitennavigation .....	535
7.3.1.1	Geschichte der Navigation .....	535
7.3.1.2	Ursprung der Satellitennavigation – Transit .....	535
7.3.1.3	Funktionsweise der Satellitennavigation .....	536
7.3.2	Satellitennavigationssysteme .....	536
7.3.2.1	Systemdesign .....	536
7.3.2.2	GPS, GLONASS, Galileo und COMPASS .....	537
7.3.3	Raumsegment .....	539

7.3.3.1	Komponenten eines Navigationssatelliten .....	539
7.3.3.2	Satellitenbahnen .....	539
7.3.4	Bodensegment .....	542
7.3.4.1	Galileo Ground Control Segment (GCS) .....	542
7.3.4.2	Galileo Ground Mission Segment (GMS) .....	545
7.3.5	Navigationssignale und Dienste .....	547
7.3.5.1	Bezugssysteme für Zeit und Raumkoordinaten .....	547
7.3.5.2	Navigationssignale .....	549
7.3.5.3	Galileo-Dienstekonzept .....	550
7.3.6	Empfänger .....	551
7.3.7	Genauigkeit und Fehlereinflüsse .....	552
7.3.7.1	Fehlerquellen des Satelliten .....	552
7.3.7.2	Signalausbreitungsfehler .....	552
7.3.7.3	Empfängerfehler .....	552
	Literatur .....	553
<b>7.4</b>	<b>Weltraumastronomie und Planetenmissionen .....</b>	<b>553</b>
7.4.1	Astronomiemissionen .....	553
7.4.1.1	Röntgensatelliten .....	553
7.4.1.2	Gamma-Astronomie .....	554
7.4.1.3	Infrarot-Satelliten .....	555
7.4.1.4	Hubble Space Telescope (HST) .....	555
7.4.1.5	Die Suche nach Exoplaneten .....	557
7.4.2	Mondmissionen .....	557
7.4.3	Planetenmissionen .....	560
7.4.4	Bahndynamik interplanetarer Raumsonden .....	566
7.4.4.1	Interplanetarer Transfer .....	566
7.4.4.2	Orbit- und Rendezvousmissionen .....	566
7.4.4.3	Swing-by-Manöver .....	566
7.4.5	Schlüsseltechnologien für Planetenmissionen .....	567
7.4.5.1	Thermalsystem für extreme Umgebungsbedingungen .....	567
7.4.5.2	Radiothermal Generators RTGs .....	567
7.4.5.3	Landesysteme .....	567
7.4.5.4	Kommunikationssysteme für große Distanzen .....	568
7.4.5.5	Navigation .....	569
	Literatur .....	569
<b>7.5</b>	<b>Materialwissenschaften .....</b>	<b>570</b>
7.5.1	Mikrogravitation .....	570
7.5.1.1	Entstehung .....	570
7.5.1.2	Auswirkung .....	572
7.5.2	Kritische Phänomene .....	573
7.5.3	Fluidphysik .....	574
7.5.3.1	Statik .....	574
7.5.3.2	Dynamik .....	574
7.5.3.3	Weiche Materie .....	575
7.5.4	Erstarrung .....	576
7.5.4.1	Kristallzucht .....	576
7.5.4.2	Gerichtete Erstarrung .....	576
7.5.4.3	Metalle .....	576
7.5.4.4	Unterkühlung .....	577
7.5.5	Thermophysik .....	578
7.5.5.1	Messungen in Kartuschen .....	578
7.5.5.2	Behälterfreie Experimente .....	579

7.5.6	Nutzlasten .....	580
	Literatur .....	583
<b>7.6</b>	<b>Weltraummedizin und -biologie .....</b>	<b>583</b>
7.6.1	Medizin im Weltraum.....	583
7.6.2	Missionsszenarien.....	585
7.6.3	Erfahrungshorizont.....	585
7.6.4	Umweltparameter .....	586
7.6.5	Medizinisch-physiologische Probleme beim Aufenthalt im All .....	587
7.6.5.1	Veränderungen der Körperzusammensetzung.....	587
7.6.5.2	Kardio-vaskuläres System.....	588
7.6.5.3	Muskel- und Skelettsystem.....	588
7.6.5.4	Sinnessysteme .....	589
7.6.5.5	Ernährung .....	589
7.6.5.6	Strahlung .....	590
7.6.6	Psycho-physiologische Probleme beim Aufenthalt im All .....	591
7.6.6.1	Biorhythmen .....	591
7.6.6.2	Isolation und Beengtsein.....	591
7.6.7	Gegenmaßnahmen.....	593
7.6.7.1	Kardio-vaskuläres System.....	594
7.6.7.2	Muskel- und Skelettsystem.....	595
7.6.7.3	Neuro-sensorisches System .....	595
7.6.7.4	Strahlenschutz .....	595
7.6.7.5	Individuelle Datenbasis für Astronauten .....	595
7.6.8	Ausblick .....	596
	Literatur .....	596
<b>7.7</b>	<b>Neue Technologien und Robotik .....</b>	<b>597</b>
7.7.1	Raumfahrt-Robotik .....	597
7.7.1.1	Manipulatoren im Erdorbit.....	599
7.7.1.2	Erste Technologie-Experimente auf dem Weg zum teilautonomen Service-Roboter im Weltraum ..	600
7.7.1.3	Neuere Technologieentwicklungen und -experimente .....	603
7.7.1.4	Landermissionen zur Exploration des Weltraums.....	607
7.7.2	On-Orbit Servicing.....	611
7.7.2.1	Eigenschaften und Optionen .....	611
7.7.2.2	Serviceaufgaben im Orbit .....	612
7.7.2.3	Bausteine .....	614
7.7.2.4	Technologieanforderungen .....	614
7.7.2.5	Einflussfaktoren.....	615
7.7.2.6	Bisherige und geplante Missionsbeispiele.....	615
	Literatur .....	618
<b>8</b>	<b>Konfiguration/Entwurf eines Raumflugkörpers .....</b>	<b>621</b>
<b>8.1</b>	<b>Missionskonzept und Missionsarchitektur.....</b>	<b>622</b>
8.1.1	Die Elemente einer Raumflugmission.....	622
8.1.1.1	Das Missionsziel .....	622
8.1.1.2	Das Missionskonzept .....	622
8.1.1.3	Das Startelement .....	623
8.1.1.4	Orbit und Konstellation .....	623
8.1.1.5	Das Raumelement .....	624
8.1.1.6	Die Kommunikationsarchitektur.....	624
8.1.1.7	Satelliten-Bodenstationen .....	625
8.1.1.8	Missionskontrollzentrum und Missionsbetrieb .....	625

8.1.1.9	Datenprozessierung, Archivierung und Verteilung.....	626
8.1.1.10	Nutzer.....	626
8.1.2	Die Segmente einer Raumflugmission.....	627
8.1.3	Die Missionsarchitektur.....	627
8.1.4	Entwicklung eines Missionskonzepts und einer Missionsarchitektur.....	628
8.1.4.1	Die Missionsidee.....	628
8.1.4.2	Formulierung der Missionsziele.....	628
8.1.4.3	Definition des Nutzerbedarfs.....	629
8.1.4.4	Definition der Missionsanforderungen und Randbedingungen.....	629
8.1.4.5	Grobkonzepte der Mission und alternative Missionsarchitekturen.....	631
8.1.4.6	Identifizierung der Systemtreiber.....	631
8.1.4.7	Beschreibung der ausgewählten Missionsarchitektur.....	631
8.1.4.8	Identifikation der kritischen Anforderungen.....	631
8.1.4.9	Missionsanalyse und Bewertung, Missionsnutzen.....	631
8.1.4.10	Beschreibung des Missionskonzepts.....	631
	Literatur.....	631
<b>8.2</b>	<b>Systementwurf und Systemintegration.....</b>	<b>632</b>
8.2.1	Der Systementwurf eines Raumfahrtssystems.....	632
8.2.1.1	Der Systembegriff.....	632
8.2.1.2	Der Entwurfsprozess.....	632
8.2.1.3	Die Entwurfsphilosophie.....	634
8.2.2	Die Systemintegration.....	636
8.2.2.1	Der Prozess der Systemintegration.....	636
8.2.2.2	Integrations- und Testeinrichtungen.....	637
8.2.2.3	Bodenhilfseinrichtungen.....	637
8.2.3	Die Systemverifikation.....	638
8.2.3.1	Die Ziele der Verifikation.....	638
8.2.3.2	Phasen der Verifikation.....	638
8.2.3.3	Methoden der Verifikation.....	638
8.2.3.4	Ebenen der Verifikation.....	639
8.2.3.5	Modelle zur Verifikation.....	639
8.2.3.6	Modellphilosophien.....	640
8.2.3.7	Die Hardwarematrix.....	640
8.2.3.8	Die Verifikationsmatrix.....	641
	Literatur.....	641
<b>8.3</b>	<b>Umweltsimulation und Testkonzepte.....</b>	<b>641</b>
8.3.1	Wesen und Bedeutung der Umweltsimulation.....	641
8.3.2	Verifikationsplanung und Kosteneinfluss.....	643
8.3.3	Mechanische Tests.....	644
8.3.3.1	Vibrationstests.....	644
8.3.3.2	Akustik.....	647
8.3.3.3	Schock.....	648
8.3.3.4	Modaltest.....	650
8.3.3.5	Masseeigenschaften.....	652
8.3.4	Weltraumsimulationstests.....	653
8.3.4.1	Thermal Balance Tests.....	654
8.3.4.2	Bakeout-Test.....	654
8.3.4.3	Thermal-Vakuumtest.....	654
8.3.4.4	Thermal-Zyklentest.....	655
8.3.4.5	OSTC-Test.....	655
8.3.4.6	Thermoelastischer Verformungstest.....	655
8.3.4.7	Testanlagen.....	657

8.3.5	EMV und Magnetik .....	659
8.3.5.1	Elektromagnetische Verträglichkeit .....	659
8.3.5.2	Magnetik (Magnetische Reinheit) .....	661
8.3.6	Spezielle Umwelttests und Funktionstests .....	662
8.3.6.1	Spezielle Umwelttests .....	662
8.3.6.2	Funktionstests .....	663
8.3.7	Künftige Entwicklung .....	665
	Literatur .....	666
<b>8.4</b>	<b>Systemdesign am Beispiel CUBESAT</b> .....	<b>666</b>
8.4.1	Einleitung .....	666
8.4.2	Missionskonzepte und -szenarien .....	667
8.4.2.1	Missionsziel .....	667
8.4.2.2	Nutzlast .....	668
8.4.2.3	Satellitenbus .....	668
8.4.2.4	Orbit .....	668
8.4.2.5	Startrakete .....	668
8.4.2.6	Bodensegment .....	668
8.4.3	Anforderungen .....	668
8.4.4	Systementwurf und Subsysteme .....	669
8.4.4.1	Lageregelungssystem .....	670
8.4.4.2	Antriebssystem .....	670
8.4.4.3	Kommunikationssystem .....	671
8.4.4.4	Energieversorgungssystem .....	671
8.4.4.5	Kommando- und Datenverarbeitungssystem .....	671
8.4.4.6	Thermalsystem .....	672
8.4.4.7	Struktur und Mechanismen .....	672
8.4.5	Modellphilosophie .....	672
8.4.5.1	Prototypen .....	672
8.4.5.2	Ingenieurmodell .....	673
8.4.5.3	Flugmodell .....	673
8.4.6	AIT (Assembly, Integration and Testing) .....	674
8.4.6.1	Integration .....	674
8.4.6.2	Vibrationstests .....	674
8.4.6.3	Thermal-Vakuumtests .....	675
8.4.7	Betriebsaspekte und Bodensegment .....	675
	Literatur .....	676
<b>8.5</b>	<b>Systemdesign am Beispiel Mikrosatellit</b> .....	<b>676</b>
8.5.1	Entwurfsphilosophie für Mikrosatelliten .....	676
8.5.2	Design der Missionselemente der Mikrosatellitenmission <i>BIRD</i> .....	677
8.5.2.1	Motivation und Missionsziel .....	677
8.5.2.2	Das Missionskonzept .....	677
8.5.2.3	Das Startelement .....	677
8.5.2.4	Orbit und Konstellation .....	677
8.5.2.5	Das Raumsegment .....	678
8.5.2.6	Kommunikationsarchitektur .....	681
8.5.2.7	Satelliten-Bodenstationen .....	681
8.5.2.8	Missionskontrollzentrum und Missionsbetrieb .....	681
8.5.2.9	Datenprozessierung, Archivierung und Verteilung .....	682
8.5.2.10	Nutzer .....	682
8.5.3	Systemintegration und Systemverifikation .....	683
	Literatur .....	686

<b>8.6</b>	<b>Galileo-Satelliten</b> .....	686
8.6.1	Systemanforderungen .....	686
8.6.2	Designkriterien und -prozess.....	687
8.6.3	Bus und Subsysteme.....	690
8.6.3.1	Struktur und Thermalhaushalt .....	690
8.6.3.2	Stromversorgung .....	691
8.6.3.3	Bordcomputer und Datenbus .....	691
8.6.3.4	Telemetrie und Telekommando .....	691
8.6.3.5	Bahn- und Lageregelung .....	692
8.6.3.6	Laser-Reflektor .....	692
8.6.3.7	Antrieb .....	692
8.6.3.8	Kabelbaum.....	693
8.6.4	Nutzlast.....	693
8.6.4.1	Nutzlastarchitektur .....	693
8.6.4.2	Nutzlastgeräte.....	693
8.6.4.3	Notfunk-Transponder .....	696
8.6.5	Launcher Interfaces .....	696
8.6.6	Satellitenfertigung und Tests .....	696
8.6.6.1	Einleitung.....	696
8.6.6.2	Modellphilosophie.....	697
8.6.6.3	Integration und Plattformtests.....	699
8.6.6.4	Nutzlasttests .....	699
8.6.6.5	Integrierte Satellitentests .....	701
8.6.6.6	Launcher-Integration und In-Orbit-Validierung .....	702
<b>8.7</b>	<b>Die Radarsatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X</b> .....	702
8.7.1	Projektorganisation.....	702
8.7.2	Missionskonzept .....	702
8.7.3	Das Terra-SAR-X- und TanDEM-X-Raumsegment.....	704
8.7.3.1	Satellitenkonzept.....	704
8.7.3.2	Satellitenbus .....	705
8.7.3.3	SAR-Instrument .....	706
8.7.3.4	Tracking, Occultation und Ranging Equipment .....	707
8.7.3.5	Laser Communication Terminal .....	707
8.7.3.6	Unterschiede zwischen TerraSAR-X und TanDEM-X.....	707
8.7.4	Das operationelle Konzept .....	709
8.7.4.1	Auswahl und Festlegung der Orbitparameter .....	709
8.7.4.2	Bodensegment und Missionsbetrieb .....	710
8.7.5	Inbetriebnahme .....	712
	Literatur .....	713
<b>9</b>	<b>Management von Raumfahrtprojekten</b> .....	715
	Literatur .....	716
<b>9.1</b>	<b>Projektmanagement in der Raumfahrt</b> .....	716
9.1.1	Projektmanagement .....	716
9.1.1.1	Rückblick .....	716
9.1.1.2	Einführung.....	717
9.1.2	Charakterisierung eines Raumfahrtprojekts.....	720
9.1.2.1	Prozesse in der Raumfahrttechnik .....	721
9.1.2.2	Realisierungsphasen der ESA .....	723
9.1.2.3	Kommerzieller Beschaffungsansatz.....	726
9.1.3	Projektmanagement-Disziplinen.....	727
9.1.3.1	Planung.....	727



9.1.3.2	Projektführung	731
9.1.3.3	Projekt-Controlling	732
9.1.3.4	Kommunikation und Reporting	732
9.1.4	Projektmanagement-Hilfsmittel	732
9.1.4.1	Organisationsformen	732
9.1.4.2	Modellphilosophie	734
9.1.4.3	Risikomanagement	734
9.1.4.4	Kosten- und Zeitplanung	734
9.1.4.5	Qualitätsmanagement-Aspekte	736
9.1.4.6	Konfigurationsmanagement	736
9.1.4.7	Logistik	736
9.1.4.8	IT-Sicherheit und Geheimhaltung	737
9.1.4.9	Personen- und Gütersicherheit	737
9.1.5	Projektmanagement-Dokumentation	738
9.1.5.1	Managementplan	738
9.1.5.2	Projekthandbuch	739
9.1.6	Auftraggeber-Auftragnehmer-Beziehung	739
9.1.6.1	Beschaffungsvorgang	739
9.1.6.2	Reviewprozess	740
9.1.6.3	Abnahmen	741
9.1.6.4	Endabnahme	741
9.1.7	Orientierung	742
	Literatur	742
<b>9.2</b>	<b>Qualitätsmanagement</b>	<b>742</b>
9.2.1	Begriffe	742
9.2.2	Anforderungen und Vorgaben	744
9.2.2.1	Anforderungen	744
9.2.2.2	Qualitätspolitik und Qualitätsziele	744
9.2.2.3	Qualitätskennzahlen	744
9.2.2.4	Kundenzufriedenheit	745
9.2.2.5	Handbuch	745
9.2.2.6	Verfahrensanweisungen, Arbeitsanweisungen	745
9.2.3	Die Hauptprozesse	745
9.2.3.1	Angebot	746
9.2.3.2	Vorentwicklung/Entwicklung	746
9.2.3.3	Beschaffung	747
9.2.3.4	Fertigung	747
9.2.3.5	Lagerung, Transport, Wartung (Betrieb)	748
9.2.4	Die Organisation des Qualitätsmanagements	748
9.2.5	Produktsicherung (PS)	749
9.2.5.1	Entwurfssicherung	749
9.2.5.2	Zuverlässigkeit (Reliability)	750
9.2.5.3	Verfügbarkeit (Availability)	750
9.2.5.4	Wartbarkeit (Maintainability)	751
9.2.5.5	Sicherheit (Safety)	751
9.2.5.6	Teile, Materialien und Verfahren	751
9.2.5.7	Elektrische, elektronische und elektromechanische (EEE) Bauteile	752
9.2.5.8	Hardware-Qualitätssicherung	753
9.2.5.9	Software-Qualitätssicherung	753
9.2.6	Produktsicherung im Projekt	753
9.2.6.1	Projektphasen	753
9.2.6.2	Projektnahtstellen	755
9.2.6.3	Produktbaum (Product Tree)	755

9.2.6.4	Anforderungen und Vorgaben .....	755
9.2.6.5	Lasten- und Pflichtenheft .....	755
9.2.6.6	Auswahl Qualitätsstandards .....	757
9.2.6.7	Modellphilosophie .....	757
9.2.6.8	Projektmeilensteine .....	757
9.2.7	Planung der Produktsicherung im Projekt .....	759
9.2.7.1	Planungsvoraussetzungen .....	759
9.2.7.2	Der Produktsicherungsablauf .....	759
9.2.7.3	Produktsicherungsplan .....	761
9.2.8	Risikomanagement .....	761
9.2.9	Konfigurationsmanagement .....	761
9.2.10	Änderungs- und Fehlermanagement .....	762
9.2.11	Die Verifikation der Anforderungen .....	762
9.2.12	Lessons Learned .....	763
9.2.13	Zusammenfassung .....	763
	Literatur .....	763
<b>9.3</b>	<b>Kostenmanagement .....</b>	<b>764</b>
9.3.1	Einleitung .....	764
9.3.2	Zielsetzung .....	764
9.3.3	Kostenmanagementprozess .....	765
9.3.3.1	Prozessüberblick .....	765
9.3.3.2	Einbettung in den Projektmanagementzyklus .....	766
9.3.4	Aufgabenfelder im Kostenmanagement .....	768
9.3.4.1	Kostenschätzung .....	768
9.3.4.2	Kostenbudgetierung (Kostenplanung) .....	772
9.3.4.3	Kostenkontrolle .....	773
9.3.5	Close-out .....	776
9.3.6	Ausblick .....	777
9.3.6.1	Virtueller Wettbewerb .....	777
9.3.6.2	Electronic B2B .....	777
	Literatur .....	777
<b>9.4</b>	<b>Raumfahrtrecht .....</b>	<b>777</b>
9.4.1	Grundlagen des Raumfahrtrechts .....	777
9.4.1.1	Internationales Raumfahrtrecht der Vereinten Nationen .....	778
9.4.1.2	Sonstiges internationales Raumfahrtrecht .....	781
9.4.2	Rechtliche Begleitung der Mission .....	782
9.4.2.1	Erforderliche staatliche Genehmigungen .....	782
9.4.2.2	Registrierung von Weltraumgegenständen .....	790
9.4.2.3	Vertragliche Gestaltung der Mission .....	791
9.4.2.4	Haftungsrisiken .....	797
9.4.3	Raumfahrt in der Zuständigkeit von ESA und EU .....	798
	Literatur .....	799
	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>803</b>
	<b>Symbolverzeichnis .....</b>	<b>811</b>
	<b>Sachwortverzeichnis .....</b>	<b>815</b>