

Ernst Messerschmid · Reinhold Bertrand · Frank Pohlemann

# Raumstationen

Systeme und Nutzung



Springer

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Geschichte und aktuelle Entwicklung</b> .....	<b>7</b>
2.1	Visionen, Konzepte und erste Entwürfe von Raumstationen (1865 - 1957) .....	7
2.2	Chronologie amerikanischer Raumstations-Studien (1957 - 1985) und Skylab .....	11
2.3	Die russischen Raumstationen Salyut und Mir bis 1994 .....	26
2.4	Das europäische Raumlabor Spacelab und das amerikanische Modul Spacehab .....	31
2.4.1	Das europäische Spacelab-Programm .....	31
2.4.2	Das amerikanische Spacehab-Modul .....	40
2.5	Von der Mir-Station zur Internationalen Raumstation (1994 - 2003) .....	41
2.5.1	Weiterer Ausbau und Nutzung der Mir-Station, Phase 1 (1994 - 1997) .....	43
2.5.2	Beginn des Aufbaus der Internationalen Raumstation, Phase 2 (1997 - 1999) .....	45
2.5.3	Nutzung der Internationalen Raumstation und weiterer Ausbau, Phase 3 (1999 - 2002) .....	48
2.5.4	Allgemeine Beschreibung der Internationalen Raumstation .....	50
2.6	Raumstationen im Vergleich .....	55
<b>3</b>	<b>Umwelt</b> .....	<b>59</b>
3.1	Gravitationsfeld .....	59
3.1.1	Gravitationsfeld in größerem Abstand von einem Zentralkörper .....	60

3.1.2	Gravitationsfeld in der Nähe eines Zentralkörpers	61
3.2	Magnetfeld	63
3.2.1	Das Magnetfeld der Erde	63
3.2.2	Das Magnetfeld der Sonne	67
3.3	Radioaktive Strahlung	68
3.3.1	Grundbegriffe	68
3.3.2	Teilchensolaren Ursprungs: Sonnenwind	70
3.3.3	Teilchensolaren Ursprungs: Solar Flares	70
3.3.4	Teilchengalaktischen Ursprungs	71
3.3.5	Strahlungsgürtel im Erdmagnetfeld	71
3.3.6	Auswirkungen der Strahlung auf Materialien und auf den Organismus	74
3.3.7	Schutzmaßnahmen	76
3.4	Elektromagnetische Strahlung	79
3.4.1	Galaktisches Radiofrequenz-Rauschen	80
3.4.2	Solare Strahlung	80
3.4.3	Solarer Strahlungsdruck	82
3.4.4	Albedostrahlung	82
3.4.5	Thermalstrahlung	82
3.5	Natürliche und andere Strahlungsquellen	83
3.6	Atmosphäre	84
3.6.1	Aufbau	84
3.6.2	Atomarer Sauerstoff	89
3.7	Ionosphäre	91
3.7.1	Ionosphärenmodelle	91
3.7.2	Variationen in der Ionosphäre	92
3.7.3	Verhalten von Radiowellen in der Ionosphäre	93
3.8	Feste Materie	94
3.8.1	Meteoroiden	94
3.8.2	Sporadischer Fluß	95
3.8.3	Meteoroidenschauer	96
3.8.4	Space Debris	97
3.8.5	Auftreten von Space Debris	97
3.8.6	Zeitliche Entwicklung der Gefahren durch Space Debris	100
3.8.7	Schutz vor Space Debris und Implikationen für Raumstationen	102
3.9	Induzierte Umgebung – Kontaminationen	105

<b>4</b>	<b>Das Lebenserhaltungssystem .....</b>	<b>109</b>
4.1	Das Lebenserhaltungssystem als 'Umweltschützer des Menschen' .....	109
4.1.1	Physiologische Randbedingungen .....	110
4.1.2	Metabolische Randbedingungen .....	112
4.1.3	Weitere Randbedingungen .....	113
4.2	Aufgaben des Lebenserhaltungssystems .....	114
4.2.1	Übersicht und Klassifizierung .....	114
4.2.2	Luftmanagement .....	115
4.2.3	Wassermanagement .....	130
4.2.4	Abfallmanagement .....	138
4.2.5	Nahrungsversorgung .....	139
4.2.6	Crewsicherheit .....	140
4.3	Ausblick auf bioregenerative Lebenserhaltungssysteme .....	141
4.4	Zusammenfassung .....	146
<b>5</b>	<b>Energiesystem .....</b>	<b>149</b>
5.1	Energieversorgung .....	149
5.1.1	Besonderheiten der Raumstationen .....	150
5.1.2	Energiequellen und Speichersysteme .....	152
5.2	Technologie .....	157
5.2.1	Photovoltaische Solargeneratoren .....	157
5.2.2	Solardynamische Generatoren .....	167
5.2.3	Einfluß der Schattenphase auf die Auslegung solarer Energieversorgungssysteme .....	170
5.2.4	Vergleich Photovoltaik - Solardynamik .....	174
5.2.5	Energieverteilung und Aufbereitung .....	177
5.3	Gesamtsystem - Beispiele .....	180
<b>6</b>	<b>Das Lage- und Bahnregelungssystem .....</b>	<b>185</b>
6.1	Zum Lage- und Bahnregelungsproblem .....	185
6.2	Störeinflüsse .....	187
6.2.1	Aerodynamische Verzögerung .....	188
6.2.2	Aerodynamisches Moment .....	191

6.2.3	Gravitationsgradient	191
6.2.4	Betriebsbedingte Einflüsse	194
6.3	Flugstrategien	195
6.3.1	Strategien zur Lageregelung	195
6.3.2	Bahnregelungsstrategien	202
6.4	Antriebstechnologien	209
6.4.1	Schuberzeugung	209
6.4.2	Stellmomenterzeugung	213
6.4.3	Sensorik	217
6.5	Gesamtsystem	218
<b>7</b>	<b>Nutzung</b>	<b>221</b>
7.1	Umgebungsbedingungen und Nutzungsdisziplinen	221
7.1.1	Schwereelosigkeit und Mikrogravitation	222
7.1.2	Vakuum	225
7.1.3	Weltraumstrahlung	226
7.1.4	Überblick über die Nutzerdisziplinen	227
7.1.5	Weltraumwissenschaften	228
7.1.6	Beobachtungsplattform für die Erde und Atmosphäre	228
7.1.7	Ingenieurwissenschaften und Technologie im Weltraum	229
7.2	Physik und Materialforschung	229
7.2.1	Erzielte Resultate und Gebiete für weitere Forschungen	229
7.2.2	Zusammenfassung der Aussichten für die Internationale Raumstation	242
7.3	Biowissenschaften	243
7.3.1	Erzielte Resultate und Gebiete für weitere Forschungen	243
7.3.2	Schwerpunkte weiterer Forschung in den Biowissenschaften	252
7.4	Weltraumwissenschaften	256
7.4.1	Typische Disziplinen der Weltraumwissenschaften	256
7.4.2	Was bietet die Internationale Raumstation für die Weltraumwissenschaften?	257
7.5	Erdbeobachtung	259
7.6	Ingenieurwissenschaften und Technologieentwicklung	262

7.6.1	Validierung neuer Technologien .....	263
7.6.2	Beispiele für die Entwicklung von Systemen und Komponenten .....	264
7.7	Ausblick auf industrielle und kommerzielle Anwendungen ....	266
7.7.1	Potentielle Anwendungsgebiete .....	267
7.7.2	Flüssigkeits- und Materialwissenschaften .....	267
7.7.3	Biotechnologie und Medizin .....	268
7.7.4	Zusammenfassung der industriellen Anwendungen ...	269
7.8	Kristallzüchtung .....	271
7.8.1	Allgemeine Aspekte zur Kristallzüchtung .....	271
7.8.2	Kristallzüchtung anorganischer Verbindungen und materialwissenschaftliche Untersuchungen unter Mikrogravitationsbedingungen .....	275
7.8.3	Kristallzüchtung makromolekularer biologischer Substanzen im schwerelosen Raum .....	279
7.8.4	Bedeutung der Kristallzüchtung biologischer Substanzen .....	287
	<b>Mikrogravitation .....</b>	<b>291</b>
8.1	Mikrogravitation als Standortvorteil .....	292
8.2	Wege in die Mikrogravitation .....	294
8.2.1	Fallturm .....	294
8.2.2	Parabelflüge .....	295
8.2.3	Ballistische Raketen .....	296
8.2.4	Raumkapseln .....	297
8.2.5	Mitfluggelegenheiten .....	298
8.2.6	SPAS .....	299
8.2.7	EURECA .....	300
8.2.8	Spacelab .....	301
8.2.9	Raumstationen .....	301
8.2.10	Vergleich der Flugmöglichkeiten .....	302
8.3	Störbeschleunigungen in Raumstationen .....	304
8.3.1	Luftwiderstand .....	305
8.3.2	Gezeitenkräfte .....	307
8.3.3	g-Jitter .....	311
8.3.4	Solarer Strahlungsdruck .....	316
8.4	Störungskompensation und Levitation .....	316

<b>Systementwurf</b> .....	<b>321</b>
9.1 Der Lebenszyklus eines Raumfahrtprojekts .....	321
9.2 Das Entwurfsproblem .....	327
9.3 Methoden und Werkzeuge für den Vorentwurf .....	330
9.3.1 Methodik für den Vorentwurf .....	331
9.3.2 Entwurfswerkzeuge .....	345
9.4 Raumstationsarchitekturen .....	350
9.4.1 Konzepte der 'Concept Development Group' und 'Freedom' .....	351
9.4.2 Die Mir Konfiguration .....	354
9.4.3 Columbus Free Flying Laboratory .....	355
9.4.4 Die Internationale Raumstation .....	356
9.5 Druckmodulkonfigurationen .....	359
<b>Synergismen</b> .....	<b>363</b>
10.1 Begriffe .....	363
10.2 Kopplung von Subsystemen .....	365
10.3 Systembilanzen .....	366
10.4 Beispiele synergetischer Kopplungen .....	367
10.4.1 Unvernetztes System .....	369
10.4.2 Regenerative Brennstoffzelle zur Energiespeicherung .	373
10.4.3 Regenerative Brennstoffzelle zur Schadstoffilterung ..	376
10.4.4 Elektrolytisch aufbereitete Treibstoffe .....	380
10.5 Sicherheit und Zuverlässigkeit .....	382
10.6 Zusammenfassung .....	383
<b>Human Factors</b> .....	<b>385</b>
11.1 Begriffe und historische Entwicklung .....	385
11.2 Der Mensch im Weltraum .....	388
11.3 Human Factors Engineering .....	390
11.3.1 Organisation und Einbettung .....	391
11.3.2 Methoden des Human Factor Engineering: .....	392
11.3.3 Hilfsmittel des Human Factor Engineering .....	396

11.4	Gestaltung einer Arbeitskonsole .....	400
11.5	Habitability und Crew Performance .....	407
<b>Betrieb und Wartung .....</b>		<b>411</b>
12.1	Logistik .....	411
12.1.1	Transportbedarf .....	412
12.1.2	Trägersysteme und Transportleistungen .....	415
12.1.3	Das Automate d Transfer Vehicle (ATV) .....	416
12.1.4	Transportszenario .....	419
12.1.5	Rückkehrkapseln .....	421
12.2	Daten- und Kommunikationssysteme .....	424
12.2.1	Datenmanagementsystem .....	424
12.2.2	Übertragungsstrecken zu den Raumstationen .....	426
12.2.3	Verteilte Datensysteme .....	429
12.2.4	Auslegung der Funksysteme .....	432
12.2.5	Antennen .....	436
12.2.6	Modulation und Codierung .....	439
12.2.7	Das TDRS-System .....	442
12.2.8	Daten- und Kommunikationssysteme für die Internationale Raumstation .....	445
12.3	Automatisierung und Wartbarkeit .....	445
12.3.1	Nutzlastbetrieb auf Raumstationen .....	446
12.3.2	Gestaltung von wartbaren und reparierbaren Nutzlasten .....	447
12.3.3	Automatisierung des Nutzlastbetriebes .....	449
12.3.4	Test und Verifikation .....	453
12.3.5	Zusammenfassung .....	454
12.4	Telescience .....	454
12.4.1	Crewzeit als kritische Ressource .....	455
12.4.2	Teleoperation und Telepräsenz .....	457
<b>Die Internationale Raumstation ISS .....</b>		<b>459</b>
13.1	Stations- und Missionselemente .....	459
13.1.1	Stationsmerkmale .....	459
13.1.2	Stufenweiser Aufbau der Internationalen Raumstation ..	462
13.1.3	Missionsmerkmale .....	463



13.2	Nutzlasten für die druckeregelten Stationsteile .....	465
13.2.1	Die amerikanischen Labormodule .....	465
13.2.2	Columbus Orbital Facility (COF) .....	467
13.2.3	Japanese Experiment Module (JEM) .....	470
13.2.4	Die russischen Labormodule .....	470
13.3	Anbringungsmöglichkeiten für externe Nutzlasten .....	471
13.3.1	Die amerikanische Gitterstruktur (Integrated Truss Assembly ITA) .....	471
13.3.2	Die Japanische EM Exposed Facility (JEM-EF) .....	473
13.3.3	Die russischen Befestigungsmöglichkeiten für externe Nutzlasten .....	473
13.3.4	Die diversen Robotersysteme für den ISS-Außenbereich .....	473
13.4	Transportsysteme und Logistikcontainer .....	476
13.5	Nutzlasten und deren Auswahl .....	479
13.5.1	Typische Nutzlasten: Experimentiereinrichtungen und Experimente .....	479
13.5.2	Auswahl der Mehrfachnutzereinrichtungen .....	480
13.5.3	Zugang für kommerzielle Nutzer .....	483
13.5.4	Nutzungsplanung .....	484
13.5.5	Internationale Koordinierung der Raumstationsnutzung .....	486
13.5.6	Vom Konzeptentwurf zur Qualifikation .....	488
13.5.7	Entwicklungsunterstützung .....	489
13.5.8	Die Nutzerunterstützungs- und Betriebszentren .....	491
13.5.9	Von der Überprüfung am Boden bis zum Start .....	492
13.5.10	Experimentdurchführung: Von der Installierung der Experimente auf der Station bis zur Rückführung der Ergebnisse auf die Erde .....	493
13.6	Europäische Vorbereitungen zur ISS-Nutzung .....	495
13.6.1	Gegenwärtige europäische Pläne zur Nutzung der Internationalen Raumstation .....	495
13.6.2	Europäische Nutzungspläne für die frühe Nutzungsphase .....	496
13.6.3	Europäische Nutzungspläne für die Anfangsnutzungsphase .....	497
13.6.4	Ausblick auf die europäischen Pläne für die Routinenutzungsphase .....	499
13.6.5	Nutzungsförderung .....	500
13.6.6	Vorbereitung künftiger Nutzlasten .....	501

<b>14</b>	<b>Literatur</b> .....	<b>503</b>
	<b>Physikalische Konstanten</b> .....	<b>519</b>
	<b>Glossar</b> .....	<b>521</b>
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	<b>529</b>