

Hans Dodel · Sabrina Eberle

Satelliten- kommunikation

2., korrigierte und erweiterte Auflage

Mit 151 Abbildungen und 62 Tabellen

 Springer

Inhaltsverzeichnis

1	Aktuelle Aspekte der Satellitenkommunikation	1
1.1	Die Rolle des Satelliten in der Kommunikation.....	4
1.1.1	Fernsehen und Hörfunk	4
1.1.2	Corporate Multicast	5
1.1.3	Satellite News Gathering	5
1.1.4	Katastropheneinsätze	5
1.1.5	Flexible Geschäftskommunikation mit VSATs	5
1.1.6	Nationaler, Regionaler und Internationaler Thin Route Traffic.....	6
1.1.7	Mobilfunk, PCS, S-UMTS, G4	6
1.1.8	Zeitbegrenzte Anwendungen	7
1.1.9	NATO und UNO-Missionen	7
1.1.10	Aufbau unterentwickelter Infrastrukturen	7
1.2	Attribute der Telekommunikation	8
1.3	Die OSCAR-Serie von Fernmeldesatelliten	9
1.4	Aktuelle Fragen in der Satellitenkommunikation.....	10
1.5	Bidirektionale Signalverarbeitung und Vermittlung	11
1.6	Satellitenavigation	13
1.7	Zusammenfassung	15
2	Satellitenbahnen und die Satellitenkontrolle	17
2.1	Die Fluchtgeschwindigkeit	19
2.2	Die allgemeine Kreisbahn	20
2.2.1	Die geostationäre Kreisbahn	21
2.2.2	Eigeneinschuss	25
2.2.3	Der Direkteinschuss	26
2.2.4	Der Super GEO, der Moon Slinger	26
2.2.5	Sea Launch	28
2.2.6	Das Ekliptik/Äquinoktium-Problem	29
2.3	Nicht-geostationäre Bahnen	29
2.3.1	Die inklinierte geosynchrone Kreisbahn, der Tanja-Orbit ..	29

2.3.2	Niedrig fliegende Satelliten; LEOs – PEOs	30
2.3.3	Hochelliptische Bahnen – HEOs, der Tundra-Orbit	31
2.3.4	Kreisbahnen mittlerer Höhe; MEO	34
2.3.5	Kreisbahnen grösserer Höhe	34
2.3.6	Die ortsfeste Fussspur	34
2.3.7	Die Walker Konstellationsparameter	35
2.3.8	Sehr tief fliegende Plattformen; HAP	35
2.4	Globale Bedeckung mit der kleinsten Zahl von Satelliten	35
2.4.1	Zwei GEOs für die Kontinente ohne Pazifik, ohne die Pole ..	35
2.4.2	Drei GEOs für die gesamte Erde, ohne die Pole	36
2.4.3	Vier inklinierte GEOs für die gesamte Erde, mit den Polen ..	36
2.4.4	Fünf inklinierte GEOs für die gesamte Erde, mit den Polen ..	36
2.4.5	Zusammenfassung	36
2.5	Die Satellitenkontrolle	37
2.5.1	Bestimmung der Position in Ost/West-Richtung	39
2.5.2	Position in Nord/Süd-Richtung	40
2.5.3	Ausrichtung	41
2.5.4	Funktion	41
2.5.5	Der Betrieb von sicherheitsrelevanten Satelliten	41
2.5.6	Die Satellitenkontrolle am Beispiel GALILEO	42
2.6	Zusammenfassung	44
3	Frequenzen und ihre Koordinierung	47
3.1	Orbitzuweisungen	50
3.1.1	Orbitalabstände	50
3.2	Elektromagnetische Verträglichkeit; Störpegelberechnung	51
3.2.1	Die C-I > 35 dB Methode	52
3.2.2	Die $\Delta f/t < 6\%$ Methode	52
3.2.3	Uplink und Downlink	53
3.2.4	Die Störleistung	53
3.2.5	Die Berechnung	54
3.2.6	First Come, First Served	55
3.2.7	Sekundärzuweisungen	55
3.2.8	Die Leistungsflusssichte auf der Erde	55
3.2.9	Elektrosmog	56
3.3	Dienstkategorien und Frequenzzuweisungen	57
3.4	Die Koordinierung von Satelliten und Erdfunkstellen	59
3.4.1	Advance Publication	60
3.4.2	Request for Coordination; Trigger Angle	60
3.4.3	Notification	60
3.4.4	Vorrechte Terrestrische Systeme, GEO und NGSO	61
3.4.5	Änderungen	61
3.4.6	Multi-Lateral Meeting	61
3.4.7	Pre-Determined Arc	61
3.4.8	Partagieren	62
3.4.9	Partagieren im Raum	62
3.4.10	Partagieren in der Frequenz	62
3.4.11	Partagieren in der Zeit	62
3.4.12	Partagieren in der Polarisation	62
3.4.13	Partagieren im Code	62
3.4.14	Partagieren nach RR342/Versuchsfunk	63
3.4.15	Partagieren nach RR 5.150 - ISM	63
3.4.16	Licence Free Operation	63
3.4.17	Verfallsdatum	64
3.5	Die Entsorgung von Satelliten	64
3.6	Ionentriebwerke	65
3.7	Die Lorentz-Kraft	66
3.8	Orbital Recovery	66
3.9	Hybridverfahren	66
3.10	Institutionen	66
3.10.1	Nationale Institutionen	66
3.10.2	Regionale Institutionen	67
3.10.3	ETSI	68
3.10.4	WTO/GATS	68
3.10.5	EICTA	69
3.11	Wie meldet man einen Satelliten an – Lizenzen	69
3.11.1	Systemplanung	69
3.11.2	Funkzulassung	69
3.11.3	Bodensegment	69
3.11.4	Betriebslizenzen	70
3.12	Die Pfändung eines Satelliten im Orbit	70
3.12.1	Der nominelle Satellitenbetrieb	71
3.12.2	Zusammenfassung Pfändung	72
3.13	Zusammenfassung	72
4	Codierung, Chiffrierung, Interleaving, Modulation	75
4.1	Digitalisierung – die Nyquist Rate	76
4.1.0.1	Aliasing	78
4.2	Quellencodierung	78
4.2.1	Comandierung	78
4.2.1.1	Amplituden-Comandierung	78
4.2.1.2	Frequenz-Comandierung	79
4.2.1.3	Begrenzer	79
4.2.1.4	Echo	80
4.2.1.5	Der Rauschunterdrücker	80
4.2.2	Sprachcodierung	81
4.2.3	Videokomprimierung	82
4.2.3.1	Bildprädition und Bewegungskompensation	83
4.2.3.2	Codierung mit Variabler Bitrate, VBR	84
4.2.3.3	Modulation von MPEG-Signalen	84

5.1.1	Die Trägerleistung C	129
5.1.2	Die Rauschleistung N	130
5.1.3	Das Träger/Rauschleistungs-dichteverhältnis	132
5.1.4	Das Träger/Rauschleistungs-verhältnis serieller Strecken	132
5.1.4.1	Die Rauschzahl NF	133
5.1.4.2	Die $EIRP$	134
5.1.4.3	Die Ausbreitungsverluste PL	136
5.2	Verfügbarkeit der Strecke	147
5.2.1	Availability und Reliability	147
5.2.2	Lastanpassung zur Erhöhung der Verfügbarkeit	149
5.2.3	Der diversitäre Empfang (Diversity Reception)	149
5.2.4	Adaptive Nachregelung der Sendeleistung	150
5.3	Der Gütefaktor $G-T$	151
5.3.1	Der Empfangsgewinn G	151
5.3.2	Die Rauschtemperatur T	151
5.3.3	Die Empfänger-güte $G-T$ von Satelliten	153
5.3.4	Typische Empfänger-Güten von Erdfunkstellen und Terminals	153
5.3.5	Die Güteminderung durch Regen	156
5.3.6	Die Güteminderung durch Vegetationsdurchdringung	157
5.3.7	$G-T$ -Degradation durch Fehlweisung der Empfangsantenne	158
5.3.8	Empfangsdegradation durch Fehlweisung der Satellitenantenne	160
5.3.9	Empfang zweier Satelliten mit einer schielenden Bodenantenne	161
5.4	Der Arbeitspunkt des Transponders	161
5.5	Intermodulation, Kleinträgerunterdrückung, Störungen	162
5.5.1	Die aktive Intermodulation	162
5.5.2	Noise Power Ratio und $C-IM3$	166
5.5.3	Third Order Intercept, TOI	168
5.5.4	Frequenzplan zur Vermeidung von Intermodulation	170
5.5.5	Linearisierung des Verstärkers	171
5.5.6	Die passive Intermodulation, PIMPs	171
5.5.7	Zusammenfassung Intermodulation	173
5.5.8	Die Kleinträgerunterdrückung	173
5.5.9	Funktstörungen	174
5.6	Das Soll und Haben der Streckenbilanz	175
5.6.1	Das Haben, das Strecken-Träger/Rauschleistungs-verhältnis	175
5.6.2	Das Soll, das Übertragungs-Träger/Rauschleistungs-verhältnis	176
5.6.3	Das Soll gleich Haben der Satellitenübertragung	181
5.7	Zusammenfassung der Arten von Transpondern	185
5.7.1	Der transparente Transponder fester Bandbreite, singulärer Zuweisung	185

4.2.3.4	Zusammenfassung MPEG	84
4.2.4	Audiokomprimierung	85
4.2.5	3-D-Fernsehen	87
4.3	Verschlüsselung	87
4.3.1	Verschlüsselungsprotokollebene	88
4.3.2	Cryptoverfahren	89
4.3.3	Kategorien von Schlüsseln und Codes	90
4.3.4	Der Data Encryption Standard DES	90
4.3.5	Das RSA Chiffrierverfahren	91
4.3.6	Elektronische Unterschrift	92
4.3.7	Digitale Unterschrift	92
4.3.8	Steganographie	93
4.3.9	Schlüsselgebrauchsdauer und Schlüsselaustausch	93
4.3.10	Verschlüsselung im Mobilfunk	95
4.3.11	Gesetzliche Überwachung	95
4.3.12	Zusammenfassung zur Verschlüsselung	96
4.4	Multiplexing	97
4.4.1	Das Frequenzbündelungsverfahren FDM	97
4.4.2	Das Zeitbündelungsverfahren TDM	99
4.4.3	Das Codebündelungsverfahren CDM	99
4.5	Kanalcodierung	99
4.6	Blockverschlüsselung	105
4.7	Modulationsverfahren	106
4.7.1	Phasenmodulation	108
4.7.1.1	QPSK	108
4.7.1.2	OQPSK	110
4.7.1.3	MSK, GMSK	110
4.7.1.4	UQPSK, UOQPSK	112
4.7.1.5	BOC, Manchester Modulation	112
4.7.1.6	8PSK	113
4.7.1.7	QAM, QAMSK	114
4.7.2	Puls-Positions-Modulation (PPM)	114
4.7.3	Der Hakenempfänger – Rake Receiver	114
4.7.4	Spektralabfall der PSK-Modulation – Der Roll-Off Factor	116
4.7.5	Codulation	118
4.7.6	Systemtechnischer Vergleich der Modulationsverfahren	118
4.7.7	Die benötigte Bandbreite im Satelliten	120
4.8	Frequenzumsetzung	121
4.9	Die Übertragung	122
4.9.1	Die Übertragungskapazität – das Shannon Limit	122
4.9.2	Kanalabhängige Bitrate, Codierung und Modulation	124
4.10	Zusammenfassung	125
5	Das Relais im Orbit und die Streckenbilanz	127
5.1	Das Träger-Rauschleistungs-verhältnis $C-N$	129

5.7.2	Transparente Transponder fester Bandbreite, dualer Zuweisung	186
5.7.3	Transparente Transponder fester Bandbreite, bedarfsangepasster Frequenz	187
5.7.4	Transparente Transponder bedarfsangepasster Bandbreite ..	187
5.7.5	Die bordseitige Bündelung	187
5.7.6	Der bordseitige Vermittler	187
5.7.7	Der regenerative Transponder	189
5.7.8	Zusammenfassung, Transponder	189
5.7.9	Optische Übertragungsstrecken – Laser-Links	190
5.8	Zusammenfassung	196
6	Vielfachzugriff, Erstzugriff, Protokolle	199
6.1	Der Vielfachzugriff	199
6.1.1	Der Vielfachzugriff im Zeitbereich	200
6.1.2	Der Vielfachzugriff in der Frequenz	202
6.1.2.1	SCPC	203
6.1.2.2	SSB/SC/FDM/FM/FDMA	204
6.1.2.3	IMPs & PIMPs – die Intermodulation der Träger im Transponder	205
6.1.2.4	MFTDMA, MFCDMA	205
6.1.2.5	Zusammenfassung FDMA	205
6.1.3	Der Vielfachzugriff mit Codes	206
6.1.3.1	Die Sequenz-Modulation – PN-CDMA	207
6.1.3.2	Die Eigenstörung in PN-CDMA	207
6.1.3.3	Frequenzsprungverfahren – FH-CDMA	208
6.1.3.4	Das Zeitsprungverfahren	208
6.1.3.5	W-CDMA, WBCDMA, FD-CDMA, TD-CDMA, TD-SCDMA	209
6.1.3.6	Die Intermodulation bei CDMA	209
6.1.3.7	Graceful Degradation	209
6.1.3.8	Zusammenfassung CDMA	210
6.1.4	Der Vielfachzugriff im Raum	210
6.1.5	Der Vielfachzugriff in der Polarisation	211
6.1.6	Das Fallbeispiel SPADE	212
6.1.7	Beurteilung der Vielfachzugriffsverfahren	213
6.2	Der Erstzugriff	215
6.2.1	Die Verfahren	216
6.2.2	Demand Assignment Multiple Access	217
6.2.2.1	Carrier Sensed – Anrufe vom Fahrzeug	217
6.2.2.2	Carrier Sensed – Anrufe zum Fahrzeug	217
6.2.2.3	Carrier Sensed – Zusammenfassung	217
6.2.2.4	Die Maritime Kurzwelle – Polling	218
6.2.2.5	Die Maritime Kurzwelle – Selektivruf	218
6.2.3	Das Beispiel INMARSAT	218
6.2.4	Zufallszugriff ALOHA	220
6.2.4.1	Random ALOHA	221
6.2.4.2	Slotted ALOHA	222
6.2.5	Paketvermittlung in Satellitennetzen; Protokolle	223
6.2.6	Zusammenfassung der Erstzugriffsverfahren	224
6.3	Multiplexing	225
6.3.1	Das Zeitbündelungsverfahren TDD, TDM	225
6.3.2	StatMux	226
6.3.3	Das Frequenzbündelungsverfahren FDD, FDM	226
6.3.3.1	COFDM	226
6.3.4	Das Codebündelungsverfahren CDM	227
6.3.5	INBOUND-Verkehr	227
6.3.6	OUTBOUND-Verkehr	228
6.4	Zusammenfassung Zugriffs- und Übertragungstechniken	229
6.5	Die Statistik des Vielfachzugriffs	230
6.5.1	Die Erlang Betriebsmodi	231
6.5.1.1	Betriebsmodus Erlang A: Lost Calls Held	231
6.5.1.2	Betriebsmodus Erlang B: Lost Calls Cleared	231
6.5.1.3	Betriebsmodus Erlang C: Lost Calls Delayed	231
6.5.1.4	Fallbeispiel zum Grade of Service, Lines und Trunks	231
6.5.1.5	Fallbeispiel zur Peak-to-Average Verkehrsdichte ..	232
6.6	Protokolle	232
6.6.1	Paketvermittlung	234
6.6.2	Internet und andere Netze	236
6.6.3	Die Protokolle TCP und IP	236
6.6.4	Caching, Streaming and Spoofing	237
6.6.5	ITU- und ISO-Standards	237
6.6.6	Packet Satellite Network	238
6.6.7	Das Kanalprotokoll PODA	239
6.6.8	ATM	241
6.7	Zusammenfassung	242
7	Die klassische Satellitenkommunikation	245
7.1	Internationale Systeme	247
7.1.1	INTELSAT	247
7.1.2	NewSkies	249
7.1.3	INTERSPUTNIK	249
7.1.4	PANAMSAT	251
7.1.5	SKYNET SATELLITE SERVICES/ORION	251
7.1.6	SATCOM/SPACENET/GE AMERICOM	252
7.1.7	GALAXY/PANAMSAT/SPACEWAY	252
7.1.8	Molnija	252
7.1.9	Weitere internationale Systeme	253
7.2	Regionale Systeme	254

5.7.2	Transparente Transponder fester Bandbreite, dualer Zuweisung	186
5.7.3	Transparente Transponder fester Bandbreite, bedarfsangepasster Frequenz	187
5.7.4	Transparente Transponder bedarfsangepasster Bandbreite ..	187
5.7.5	Die bordseitige Bündelung	187
5.7.6	Der bordseitige Vermittler	187
5.7.7	Der regenerative Transponder	189
5.7.8	Zusammenfassung, Transponder	189
5.7.9	Optische Übertragungsstrecken – Laser-Links	190
5.8	Zusammenfassung	196
6	Vielfachzugriff, Erstzugriff, Protokolle	199
6.1	Der Vielfachzugriff	199
6.1.1	Der Vielfachzugriff im Zeitbereich	200
6.1.2	Der Vielfachzugriff in der Frequenz	202
6.1.2.1	SCPC	203
6.1.2.2	SSB/SC/FDM/FM/FDMA	204
6.1.2.3	IMPs & PIMPs – die Intermodulation der Träger im Transponder	205
6.1.2.4	MFTDMA, MFCDMA	205
6.1.2.5	Zusammenfassung FDMA	205
6.1.3	Der Vielfachzugriff mit Codes	206
6.1.3.1	Die Sequenz-Modulation – PN-CDMA	207
6.1.3.2	Die Eigenstörung in PN-CDMA	207
6.1.3.3	Frequenzsprungverfahren – FH-CDMA	208
6.1.3.4	Das Zeitsprungverfahren	208
6.1.3.5	W-CDMA, WBCDMA, FD-CDMA, TD-CDMA, TD-SCDMA	209
6.1.3.6	Die Intermodulation bei CDMA	209
6.1.3.7	Graceful Degradation	209
6.1.3.8	Zusammenfassung CDMA	210
6.1.4	Der Vielfachzugriff im Raum	210
6.1.5	Der Vielfachzugriff in der Polarisation	211
6.1.6	Das Fallbeispiel SPADE	212
6.1.7	Beurteilung der Vielfachzugriffsverfahren	213
6.2	Der Erstzugriff	215
6.2.1	Die Verfahren	216
6.2.2	Demand Assignment Multiple Access	217
6.2.2.1	Carrier Sensed – Anrufe vom Fahrzeug	217
6.2.2.2	Carrier Sensed – Anrufe zum Fahrzeug	217
6.2.2.3	Carrier Sensed – Zusammenfassung	217
6.2.2.4	Die Maritime Kurzwelle – Polling	218
6.2.2.5	Die Maritime Kurzwelle – Selektivruf	218
6.2.3	Das Beispiel INMARSAT	218

7.2.1	EUTELSAT	254
7.2.2	ARABSAT	254
7.2.3	AGRANI	255
7.2.4	PALAPA	255
7.2.5	TURKSAT/EurAsiaSat	255
7.2.6	NAHUEL	255
7.2.7	Weitere regionale Systeme	256
7.3	Nationale Systeme	256
7.3.1	Deutschland	256
7.3.2	Der französische Fernmeldesatellit TELECOM	257
7.3.3	ITALSAT	258
7.3.4	HISPASAT	258
7.3.5	BRASILSAT	258
7.3.6	INDSAT	259
7.3.7	ThaiSAT	259
7.3.8	MABUHAI/AGILA	259
7.3.9	OLYMPUS	259
7.3.10	AMOS	260
7.3.11	CERES	260
7.3.12	TELESAT	260
7.3.13	TELSTAR	260
7.3.14	Fernsehverteildienste in Europa	261
7.3.15	Fernsehverteildienste in USA	261
7.4	Zusammenfassung und Ausblick	262
8	Moderne Satellitenkommunikation	265
8.1	Leistungsfähigere und qualitativere Satelliten	265
8.1.1	Leistungsfähigere Satelliten	265
8.1.2	Steigerungen der Satellitenkapazität	267
8.1.3	Digitalisierung	267
8.1.4	Broadcast Satellite Services	267
8.1.5	Mobilfunk – Mobile Satellite Services	267
8.1.6	Qualitativere Satelliten	268
8.2	Intelligenter Satelliten – Signalverarbeitung und Vermittlung an Bord	268
8.2.1	Die Vermittlungsfunktion	269
8.2.2	Die Optimierung der Übertragungskapazität	269
8.2.3	Im Orbit rekonfigurierbare Übertragungskapazität	269
8.2.4	In-Orbit Vernetzte Übertragungskapazität – Inter Satellite Links	269
8.2.5	Die regenerative Verarbeitung der Signale	270
8.2.6	Die Umsetzung der Signalbündelung im Satelliten	270
8.3	Kleinere Erdfunkstellen	271
8.3.1	Die Erdfunkstelle – das Terminal	272
8.3.2	Die Kosten der Erdfunkstelle	274

8.3.3	Der Aufbau der Erdfunkstelle	275
8.3.4	Parabolantennen	276
8.3.5	Phased Array Antenna	276
8.3.6	Hochfrequenzsender und -empfänger	277
8.3.7	Erdfunkstellenstandards	277
8.3.8	Erdfunkstellentechnologietrends	279
8.4	Höhere Frequenzbereiche	280
8.5	Höherwertige Modulationstechniken	281
8.6	Intelligenter Codierverfahren und Chiffriermethoden	282
8.7	Effektivere Nutzung mit höchster Signalkomprimierung	282
8.7.1	Sprachkompression	282
8.7.2	VideoKompression	282
8.8	Dynamische Zugriffsverfahren	283
8.9	Operationell adaptive Sendeleistung	284
8.10	Verkehrsangepasste Bandbreite	286
8.11	Kanalangepasste Übertragung	286
8.12	Respondierende Netztopologie	286
8.12.1	Netzarchitekturen	287
8.12.1.1	Der Stern	287
8.12.1.2	Vermaschte Architekturen	292
8.12.1.3	Hybride Architekturen	295
8.12.1.4	Vergleich der Architekturen	296
8.12.1.5	Zusammenfassung	298
8.13	Zeitgemässes Protocol Engineering	298
8.14	Stand der Technologie	299
8.14.1	DVB-RCS und DOCSIS Protokolle	299
8.14.2	Der DVB-S2 Standard	300
8.14.3	Kosteneffektive Systemlösungen	300
8.15	Breitbandsatellitensysteme	300
8.15.1	Netze mit Kleinsterdfunkstellen bei höheren Frequenzen	300
8.15.2	Das ACTS der NASA	301
8.15.3	Systeme im Ku-, Ka-, Q-, V- und W-Band	302
8.15.4	Das Ka-Band-System von ASTRA	303
8.15.5	Warum Ka-Band? Wie Ka-Band?	304
8.16	Mega LEOs, GEOs, HEOs und HAPs	304
8.16.1	TELEDESIC	305
8.16.2	Celestri	306
8.16.3	SkyBridge	306
8.16.4	EuroSkyWay	306
8.16.5	QUASISTATIONARY/PENTRIAD	307
8.16.6	SpaceWay	307
8.16.7	Netzkontrolle und Überleitfunktion	308
8.16.8	Protokolle	308
8.16.9	Überleitfunktion/der Gateway	308
8.16.10	Zusammenfassung Mega Systeme	308

8.17	Zusammenfassung	309
9	Der klassische Satellitenmobilfunk	311
9.1	Mobilfunk via Satellit	312
9.2	Maritimer Funk via Satellit – die INMARSAT	313
9.2.1	Die Kommunikationsdienste	316
9.2.1.1	Der Standard-A	317
9.2.1.2	Der Standard-B	317
9.2.1.3	Der Standard-C	317
9.2.1.4	Der Mini-C	318
9.2.1.5	Das Aero-H und H ⁺	318
9.2.1.6	Das Aero-L	318
9.2.1.7	Das Aero-I	318
9.2.1.8	Das Aero-C	318
9.2.1.9	Das Aero-mini-M	318
9.2.1.10	Der Standard-D	319
9.2.1.11	Der Standard-D ⁺	319
9.2.1.12	Der Standard-E	319
9.2.1.13	Der Standard-E ⁺	319
9.2.1.14	Der Standard-M	319
9.2.1.15	Das Mini-M	320
9.2.1.16	Das Mini-M4	320
9.2.1.17	Der Standard-P	320
9.2.1.18	Die BGAN-Terminals	320
9.2.2	Global Roaming	321
9.2.3	Handy-zu-Handy-Verbindungen	321
9.2.4	Regional Broadband Global Area Network	321
9.3	Der INMARSAT-Spinoff ICO	321
9.4	Tarife	322
9.5	Der Navigationsdienst SBAS	322
9.6	Der Seenotfunk	323
9.7	Satellitengestützte Positionsbestimmung	326
9.7.1	EUTELTRACS	326
9.7.2	OMNITRACS	326
9.7.3	STARFIX	326
9.7.4	COLOS	326
9.7.5	GNSS	327
9.7.6	Galileo	327
9.7.7	GPS	327
9.8	Zusammenfassung	328
10	Personal Communications Services	331
10.1	Gründe für LEOs	333
10.1.1	Signallaufzeit	333
10.1.2	Funkfelddispersion	333

10.1.3	Sättigung des geostationären Orbits	335
10.1.4	Sättigung des Frequenzspektrums	335
10.1.5	Zelldurchmesser auf der Erde	336
10.1.6	Erhebungswinkel im urbanen Bereich, bei höheren Frequenzen	336
10.1.7	Satellitenkosten	337
10.1.8	Einschusskosten	337
10.1.9	Gefahr der Störung und Zerstörung	338
10.1.10	Zusammenfassung LEOs	338
10.2	Little LEOs	339
10.2.1	ARGOS	340
10.2.2	STARSYS	341
10.2.3	VITA	341
10.2.4	GONETS	342
10.2.5	LEO One	342
10.2.6	FAISAT	342
10.2.7	TEMISAT	342
10.2.8	SAFIR	343
10.2.9	ORBCOMM	344
10.2.10	LEOSAT	345
10.2.11	TUBSAT	345
10.2.12	BREMSAT	345
10.2.13	LunarSAT	346
10.2.14	AMSAT	346
10.2.15	Zusammenfassung Little LEOs	348
10.3	Big LEOs	348
10.3.1	GONETS	350
10.3.2	IRIDIUM	351
10.3.3	GlobalStar	355
10.3.4	ECCO-Equatorial	360
10.3.5	COURIER	360
10.3.6	ODYSSEY	361
10.3.7	ELEKON/STIR	361
10.3.8	CONSTELLATION	362
10.3.9	Archimedes	362
10.3.10	ELLIPSO II	362
10.3.11	Ariadna	363
10.3.12	Zusammenfassung Big LEOs	363
10.4	UMTS	364
10.5	Little GEOs – Data Only aus dem GEO	366
10.5.1	INMARSAT	366
10.5.2	EUTELTRACS	366
10.5.3	MDC	366
10.5.4	EUMETSAT	366
10.6	Big GEOs – Telefonie zum Handy aus dem GEO	367

10.6.1	Einführung	367
10.6.2	ACeS/Garuda-1	367
10.6.3	Thuraya	369
10.6.4	MSV	370
10.7	Zusammenfassung	371
11	Satellitenkommunikation in der Verteidigung	375
11.1	Frequenz- und Orbitalzuweisungen	376
11.2	Wirtschaftliche Raumsegmente	377
11.3	Übertragungsverfahren und Protokolle	377
11.4	Betriebssicherheit und Countermeasures	378
11.4.1	Abschuss des Satelliten	378
11.4.2	Störung des Satellitenbetriebs	380
11.4.3	Störung der Satellitenübertragung	380
11.5	Vernetzung und Interoperabilität	383
11.6	Die Erdfunkstellen und Bodenterminals	386
11.7	Die NATO	387
11.8	Nationale Systeme	388
11.8.1	Die USA	388
11.8.1.1	DSCS	388
11.8.1.2	United States Navy	392
11.8.1.3	United States Air Force	393
11.8.1.4	Zusammenfassung USA	394
11.8.2	England	394
11.8.3	Frankreich	396
11.8.4	Italien	397
11.8.5	Spanien	397
11.8.6	XTAR-EUR - XTAR-LANT	397
11.8.7	Deutschland	398
11.8.8	Brasilien	398
11.8.9	Japan	398
11.8.10	Australien	398
11.8.11	Korea	399
11.8.12	Russland	399
11.9	Zusammenfassung	400
12	Wirtschaftlichkeit	401
12.1	Kosten für das Raumsegment	403
12.2	Modelle zur Realisierung von nationalen Satellitensystemen	409
12.3	Wirtschaftlichkeit eines Satellitensystems	410
12.3.1	Fernsehastrahlung	410
12.3.2	Geschäftskommunikation	411
12.3.3	Das Betreibergeschäft im Vergleich zum Herstellergeschäft	412
12.3.4	Das Dienstgeschäft im Vergleich zum Betreibergeschäft	412
12.3.5	Weltweite Open Skies	413

12.3.6	Rentabilität von INTELSAT Kanälen	413
12.3.7	Die Wirtschaftlichkeit eines Mega LEO für Breitbanddienste	413
12.3.8	Die Wirtschaftlichkeit eines Big LEO für Kommunikation	414
12.3.9	Die Wirtschaftlichkeit eines Little LEO für Position Reporting	414
12.4	Die Wirtschaftlichkeit Kabel versus Satellit	415
12.5	Die Wirtschaftlichkeit eines Navigationssystems	415
12.6	Zusammenfassung	416
Anhang A: Die Rauschzahl eines Verstärkers mit Bandpassverhalten		417
A.1	Einleitung	417
A.2	Die Rauschzahl	418
A.3	Die Allgemeine Rauschzahl	419
A.4	Die Zusätzliche Rauschzahl	420
A.5	Die Rauschzahl paralleler Verstärker	420
A.6	Die Rauschzahl serieller Verstärker	421
A.7	Das Rauschmass	423
A.8	Die Rauschzahl passiver Komponenten	423
A.9	Die Messung der Rauschzahl im Niederfrequenzbereich	426
A.10	Die Messung der Rauschzahl im Hochfrequenzbereich	427
A.11	Zusammenfassung	428
Anhang B: Die Gewinnzahl einer Antenne mit Parabolspiegel		429
Liste der verwendeten Abkürzungen		431
Erläuterung der Fachausdrücke		447
Abkürzungen von Organisationen		455
Sachverzeichnis		459
Die Autoren		465