

Satellitenfrequenzkoordinierung

Hans Dodel • René Wörfel

Satellitenfrequenzkoordinierung

Regelungen – Linkdesign – Systemtechnik

Hans Dodel[†]

René Wörfel
Hohenlinden
Deutschland

Das Titelbild erscheint mit freundlicher Genehmigung der ESA (P. Carril)

ISBN 978-3-642-29202-6

978-3-642-29203-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-29203-3

Springer Heidelberg Dordrecht London New York

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-vieweg.de

Vorwort

Mit dem Start des Sputnik (der *Begleiter*) im Jahr 1957, gefolgt vom *Explorer* (der *Erforscher*) begann die Belegung des Weltraums mit Satelliten, also faktisch hochfliegenden Sensor- und Funkstationen. Die Europäer folgten in den 60-er Jahren des letzten Jahrhunderts, in denen auch der erste kommerziell nutzbare Kommunikationssatellit (*INTELSAT 1* oder *Early Bird*) in Betrieb genommen wurde. Während diese Anfangszeit der Satellitenkommunikation eher durch Herausforderungen auf der technischen Seite der Raketen und Satelliten gekennzeichnet waren, gilt es heute mehr und mehr, die Funkverträglichkeit zwischen den dicht im Orbit platzierten Satellitensystemen sicherzustellen.

Diese Funkverträglichkeit umfasst nicht nur ein mehr oder weniger trockenes und umfangreiches Regelungetüm, sondern auch die operationell-technischen Interaktionen zwischen dem Systementwurf von Bodenstationen und Satelliten, den zu unterstützenden Funkdiensten bis hin zu *business cases* sowie den Nachbarsatellitensystemen und terrestrischen Funksystemen.

Hierfür wurden im Lauf der letzten 40 Jahre vielfältige internationale und nationale Regelwerke und Prozeduren erarbeitet, deren wesentliche Elemente und Auswirkungen auf Systemdesign und -betrieb in diesem Buch beschrieben werden.

Unser Buch beschreibt das Prozedere und die Formalitäten einer Funkanmeldung, die ein Betreiber beachten muss, wenn er einen neuen Dienst mit geostationären oder umlaufenden Satelliten, eine Satelliten-Erdfunkstelle oder Satelliten-Terminals aufbauen will. Dieser Anmeldeprozess ist dialogisch mehrstufig und langwierig. Er erfordert zum Einen ein großes Maß an Ingenieursarbeit und zum Zweiten die Kenntnis der relevanten nationalen und internationalen Rechtsgrundlagen und der daraus abgeleiteten Vorschriften für Anmeldung und Betrieb von Satelliten und Erdfunkstellen. Beide Bereiche werden in diesem Buch ausführlich behandelt und an Beispielen erläutert.

Das zentrale Element des technischen Teils einer Funkanmeldung, welches auch die schwierigsten Hürden beinhaltet, ist die sogenannte Frequenzkoordinierung des anzumeldenden Systems – die ingenieurwissenschaftliche Darstellung der Funkverträglichkeit des neuen Systems im Umfeld der schon existierenden und geplanten Systeme. Dabei muss der Antragsteller nach der amtlichen Veröffentlichung seines Vorhabens auf Einwendungen eventuell betroffener Betreiber antworten und den Nachweis erbringen (ggf. unter Anpassungen im Systemdesign oder -betrieb),

dass diese Dienste durch den zur Genehmigung angemeldeten neuen Service nicht unzulässig beeinträchtigt werden.

Um den Verwaltungsaufwand der Anmeldungen im Rahmen zu halten, wurde Anfang der neunziger Jahre beschossen, die Gültigkeit von nicht in die Realisierung überführten Anmeldungen auf sieben Jahre seit ihrer Abgabe zu begrenzen. Damit sollte auch verhindert werden, dass bloße Dienst-Anmeldungen mit ihren damit verbundenen Ansprüchen zum Gegenstand von (Finanz)Spekulationen werden, was aber leider nicht geglückt ist.

Der Betreiber in spe muss also in diesem dynamisch wachsenden Umfeld eine Orbitposition und ein Frequenzspektrum so früh wie möglich anmelden (*first come, first served*, wenn er sich nicht auf die pro Land geringen Ressourcen geplanter Bänder abstützen will), schon deshalb weil eine getätigte Anmeldung des Systems inzwischen Grundlage für den Geschäftsplan und für den Aufbau des Systems ist: Dann stehen ab Anmeldungsabgabe 84 Monate für die Spezifizierung des Satelliten und seine industrielle Ausschreibung, für Vertragsvergabe und Fertigung, und schließlich für den Einschuss, die *In Orbit Tests* einschließlich Systemabnahme und für die Aufnahme des Wirkbetriebs zur Verfügung.

Die beiden Autoren haben einzelne Satelliten und auch ganze Konstellationen von Satelliten sowie Erdfunkstellen, von den großen Intelsat *Standard A* Antennen (mit 30 m Durchmesser) bis zu kleinen Terminals für den kommerziellen Sektor und für den wehrtechnischen Einsatz erfolgreich angemeldet und dem Wirkbetrieb übergeben. René Wörfel als Experte der Firma AUDENS TC GmbH war und ist an einer Vielzahl an nationalen und internationalen Satellitenprojekten tätig. Die Experten der AUDENS TC bearbeiten im Rahmen der Beratung zu kompletten Satellitensystemen u. a. nationale und internationale Anmeldungen, Koordinierungen sowie Lizenzierungen von Funksystemen für kommerzielle und institutionelle Kunden.

Neben der fachlichen Zielsetzung soll dieses Buch erwürdiges Gedenken an Hans Dodel sein, der leider viel zu früh und zu schnell im letzten Jahr von uns gegangen ist. Hans Dodel war ein nicht nur von mir geschätzter und kompetenter Kollege sowie auch als Mensch äußerst angenehm und nett. Ich hoffe, mit der Überarbeitung und Fertigstellung seinem Andenken ausreichend gerecht geworden zu sein und möchte damit auch seiner Familie Dodel alles Gute für die Zukunft wünschen.

Bedanken möchte ich mich bei den Kollegen Dr. Henry J. Meyerhoff und Stephan Winter für ihre Mitwirkung bzw. Zuarbeit. Ein lieber Dank gilt meiner Familie für ihre Unterstützung sowie ihr Verständnis und Toleranz, da ich mich in den Monaten des Buchschreibens nur begrenzt in das Familienleben einbringen konnte.

Anzumerken bleibt noch, dass der Inhalt dieses Buches auch weiterhin im Seminar QS1.11 der Carl Cranz Gesellschaft für technisch-wissenschaftliche Weiterbildung in Oberpfaffenhofen (Bayern) präsentiert wird, in deutsch und in Englisch; beide Lehrgänge werden von der CCG auch als In-Haus-Seminare bei Kunden durchgeführt.

im Frühjahr 2012
München

René Wörfel

Inhalt

1 Die Systemfaktoren	1
1.1 Satellitenkommunikation – Möglichkeiten, Wirtschaftlichkeit	1
1.2 Satellitennetze – Topologien, Betriebskonzepte	2
1.3 Kategorien von Satellitendiensten	2
1.3.1 Zuordnung der Dienste zu Kommunikations-Typen	3
1.4 Die Frequenzkoordinierung	4
1.5 Notwendigkeit der Koordinierung	6
1.6 Zusammenfassung	7
Literatur	7
2 Orbits	9
2.1 Überblick	9
2.2 Umlaufbahnen	10
2.3 Der Geostationäre Orbit	11
2.4 Inklinierte geostationäre Bahnen	13
2.4.1 Der leicht inklinierte geostationäre Orbit	13
2.4.2 Der inklinierte geostationäre Orbit	13
2.5 Der erdnahe kreisförmige Orbit	14
2.6 Der polare Orbit	15
2.7 Der hoch inklinierte elliptische Orbit	16
2.8 Konstellationen von umlaufenden Satelliten	16
2.9 Extraterrestrische Orbits	17
2.10 Zusammenfassung	17
Literatur	18
3 Satellitendienste, Frequenzen und Projektmanagement	19
3.1 Überblick	19
3.2 Definitionen der Satellitenfunkdienste	20
3.3 Frequenzbänder im Satellitenfunk	27
3.4 Ausgewählte Frequenzbandunterteilungen	32
3.4.1 C-Band	33
3.4.2 Ku-Band	33
3.4.3 Ka-Band	33

3.5	Ungeplante und geplante Bänder	35
3.6	Sonstige Dienste und Sonderdienste	36
3.6.1	Litte Leo-Dienste	36
3.6.2	Big LEO-Dienste	36
3.6.3	Aeronautische Dienste	36
3.6.4	Sonderdienste	37
3.7	Militärische Anmeldungen	42
3.8	Sonderanwendungen in Industrie, Wissenschaft, Medizin	43
3.9	Lizenzfreier Funk und Betrieb	44
3.10	Auslegung und Dimensionierung von Satellitenstrecken	45
3.11	Frequenzkoordinierung als Teil des Projektmanagements	46
3.12	Zusammenfassung	52
	Literatur	52
4	Übertragungstechnik und Linkbudgets	55
4.1	Überblick, das Signal, das Rauschen, die Verfahren	55
4.2	Die Ende-zu-Ende-Übertragung über Satellit	56
4.3	Linkbestimmende Satellitenparameter	62
4.4	Linkbestimmende Terminalparameter	69
4.5	EIRP	77
4.5.1	Die Sendeleistung P	77
4.5.2	Der Sendegewinn G	77
4.5.3	Die EIRP	78
4.6	Einheitsgewinn, Spezifische Leistung, Feldstärke	79
4.6.1	Der Einheitsgewinn UG	79
4.6.2	Die spezifische Empfangsleistung	79
4.6.3	Die Feldstärke	81
4.7	Der Gütefaktor $G-T$	82
4.8	Linkbestimmende Abstrahlbegrenzungen	84
4.8.1	Leistungsflussdichtebeschränkungen von Satelliten	84
4.8.2	Außer-Band-Abstrahlung im Spektrum	88
4.8.3	Nebenaussendungsbegrenzung Erde-Satellit	89
4.8.4	Ergebnis und Empfehlung	96
4.8.5	Zusammenfassung zu Abstrahlbegrenzungen	97
4.9	Die Ausbreitungsverluste PL für Uplink und Downlink	98
4.9.1	Relevante ITU-Recommendations zur Charakterisierung der Übertragungsstrecke	100
4.9.2	Die Funkfeld-Dispersion FD	108
4.9.3	Die Verluste AD in der trockenen Atmosphäre	110
4.9.4	Die Regendämpfung RD	110
4.9.5	Zusammenfassung der Ausbreitungsverluste PL	113
4.10	Das Träger-Rauschleistungsverhältnis $C-N$	114
4.10.1	Die Trägerleistung C	114
4.10.2	Die Rauschleistung N	116
4.10.3	Das Träger/Rauschleistungsdichteverhältnis	118
4.10.4	Das Träger/Rauschleistungsverhältnis serieller Strecken	118

- 4.11 Verfügbarkeit der Strecke – *Link Availability* 119
- 4.12 Kanalabhängige Bitrate, Codierung und Modulation 121
- 4.13 Verschlüsselung, Zugriffsverfahren, Codierung 122
 - 4.13.1 Verschlüsselung 123
 - 4.13.2 Bündelung und Zugriffsverfahren 123
 - 4.13.3 Kanalcodierung 127
 - 4.13.4 Interleaver 138
- 4.14 Modulationsverfahren 139
 - 4.14.1 Amplitudenmodulation – ASK 140
 - 4.14.2 Phasenmodulation 141
 - 4.14.3 Frequenzmodulation – MSK, GMSK 144
- 4.15 Der Spektralabfall – der Roll-Off Faktor – die benötigte
Satellitenbandbreite 145
- 4.16 Die benötigte Bandbreite im Satelliten 147
- 4.17 Frequenzumsetzung 149
- 4.18 Die Streckenbilanz der Übertragung 150
 - 4.18.1 Modellierungsmethoden der Satellitenstrecke 150
 - 4.18.2 Haben des Strecken-Träger/Rauschleistungsverhältnisses ... 152
 - 4.18.3 Soll des Strecken-Träger-/Rauschleistungsverhältnisses ... 153
 - 4.18.4 Soll gleich Haben der Mehrträger-Satellitenübertragung ... 154
 - 4.18.5 Verbindungen zwischen Satelliten 155
 - 4.18.6 Verbindungen Flugkörper-zu-Satellit 155
- 4.19 Zusammenfassung 157
- Literatur 158

- 5 Funkstörung/Funkverträglichkeit/Frequenzkoordinierung** 161
 - 5.1 Überblick 161
 - 5.2 Linkeinflüsse einzelner Elemente auf Gesamtbudget 162
 - 5.2.1 Rauschbegrenzte Links 162
 - 5.2.2 Intermodulationsbegrenzte Links 164
 - 5.2.3 Interferenz- bzw. Koordinierungsbegrenzte Links 164
 - 5.3 Die Funkstörung 168
 - 5.3.1 Rechenmethoden zur Quantifizierung von Interferenzen ... 168
 - 5.3.2 Hilfsberechnungen 171
 - 5.3.3 Störpegelberechnung gemäß ITU Appendix 8 – das $\Delta T/T$... 175
 - 5.3.4 Störpegelberechnung gemäß ITU-Rec S. 741 – das $C - I$... 179
 - 5.3.5 Die zulässige Störung 181
 - 5.4 Möglichkeiten zur Entkopplung störender Interferenzen in der
Satellitenkommunikation 181
 - 5.5 Koordinierung zwischen geostationären Satelliten 187
 - 5.6 Koordinierung zwischen NGSO- und GEO-Systemen 196
 - 5.7 Koordinierung von Satellitensystemen mit terrestrischen
Funkdiensten 204
 - 5.8 Koordinierung der Erdfunkstelle mit terrestrischem Funk 207
 - 5.8.1 Azimut und Elevation zum Satelliten und Horizont der
Erdfunkstelle 208

- 5.8.2 Die Bestimmung des Horizonts θ um die Erdfunkstelle 209
- 5.8.3 Die Koordinierungsentfernung um die Erdfunkstelle 210
- 5.8.4 Koordinierung der Erdfunkstelle mit terrestrischem Funk
innerhalb des Koordinierungsgebietes 214
- 5.8.5 Die Fall-zu-Fall-Koordinierung einer Erdfunkstelle mit
terrestrischen Funkstationen 216
- 5.9 TVRO 220
- 5.10 SNG 221
- 5.11 VSAT 221
- 5.12 Konstellationen 221
- 5.13 HAPs 222
- 5.14 Sekundärnutzung/NIB 222
- 5.15 Laser-Kommunikation 223
- 5.16 Zusammenfassung 223
- Literatur 225
- 6 Die Internationale Regulierungsbehörde 227**
 - 6.1 Die ITU und deren Funksektor 227
 - 6.1.1 Der Radiocommunications Sector der ITU 228
 - 6.1.2 Das Radio Regulations Board 232
 - 6.1.3 Die Studiengruppen des Funksektors der ITU 233
 - 6.1.4 Die Weltfunkkonferenzen und deren Vorbereitung 233
 - 6.2 Radio Regulations and Rules of Procedure 237
 - 6.2.1 Historie 237
 - 6.2.2 Struktur der Radio Regulations 239
 - 6.2.3 Preface 240
 - 6.2.4 Chapter 1, Terminologie 241
 - 6.2.5 Chapter 2, Frequenzplan 243
 - 6.2.6 Chapter 3, Anmeldungen und Koordinierungen 252
 - 6.2.7 Chapter 4, Interferenzen 264
 - 6.2.8 Chapter 6, Anforderungen an Stationen und Dienste 265
 - 6.2.9 Weitere Bestimmungen 269
 - 6.2.10 Appendices zu den Artikeln 270
 - 6.3 ITU-Recommendations 281
 - 6.4 Korrespondenzmedien der ITU 285
 - 6.4.1 ITU-Master International Frequency Register (MIFR) 286
 - 6.4.2 Circular Letters (CR) und die International Frequency
Information Circular (BR-IFIC) 287
 - 6.4.3 Filing-Übersichten gemäß ITU-Datenbanken 290
 - 6.4.4 Bearbeitung der Filings mittels BRSOFT 297
 - 6.5 Zusammenfassung 303
 - Literatur 304
- 7 Das deutsche Szenar 305**
 - 7.1 Deutsche Satellitensysteme bzw. -Anmeldungen 305

7.1.1	Geostationäre Satellitensysteme	305
7.1.2	Nichtgeostationäre Satellitensysteme	310
7.2	Das Telekommunikationsgesetz (TKG) in Deutschland	311
7.3	BNetzA und NARFA GE	313
7.3.1	Bundesnetzagentur	314
7.3.2	NARFA GE	315
7.4	Der Frequenzbereichszuweisungsplan	316
7.5	Der Frequenznutzungsplan der BNetzA	316
7.6	Nationale Anmeldungen von Bodenstationen bzw. Satelliten – Verwaltungsvorschrift Satellitenfunk	317
7.6.1	Allgemeine Vorgaben	319
7.6.2	Frequenzzuteilungsverfahren für Erdfunkstellen	319
7.6.3	Frequenzzuteilungsverfahren für Satellitenfunknetze	320
7.6.4	Übertragung der Orbit- und Frequenznutzungsrechte auf den Antragsteller	321
7.7	Anmeldung und Koordinierung von Satelliten-Bodenstationen	322
7.8	Anmeldung von Satellitensystemen	324
7.8.1	Vorausveröffentlichung (Advance Publication „A“)	327
7.8.2	Einsprüche, der Requests for Coordination „C“, die Koordinierung	329
7.8.3	Notifizierung (Notification, „N“); der „Trigger Angle“; RR11C	333
7.9	Korrespondenzen und Störungsmeldungen	335
7.10	Nationale und ITU-Anmeldungsgebühren	336
7.11	Zusammenfassung	337
	Literatur	338
8	Regionale und nationale Institutionen	339
8.1	Die staatenübergreifenden Behörden Europas	339
8.1.1	CEPT	340
8.1.2	Europäische Regulierungsbehörde ECC und ECO	341
8.1.3	ETSI	345
8.1.4	EU und EC	350
8.2	Außereuropäische staatenübergreifende Gremien	354
8.3	Weitere deutschsprachige Frequenzagenturen	354
8.3.1	Österreich	355
8.3.2	Schweiz	356
8.3.3	Niederlande	357
8.4	Zusammenfassung	358
	Literatur	359
9	Schlussbetrachtungen und Ausblick	361
9.1	Überblick	361
9.2	Frequenzkoordinierung – Merksätze	362
9.3	Ausblick	363

- 10 Mindestabgaben für Satellitenanmeldungen per Circular Letter CR/86** 365
- 11 Mindestangaben für Satellitenanmeldungen** 377
 - 11.1 Antragsbeispiel über BNetzA (aus Kapitel 7), Auszug des Antragsformular für die grundlegenden Angaben 379
- 12 Finden einer GEO-Position – SNL, SNS** 381
 - 12.1 Prüfung der Space Network List (SNL) 383
 - 12.2 Prüfung der SNL auf Anmeldungsdatum 387
 - 12.3 Prüfung der SRS bzw. GIMS-Datenbank der ITU auf Ausleuchtzonen 387
 - 12.4 Prüfung der SNS-Liste auf Frequenzen und Polarisationen 387
 - 12.5 Verhandlung mit existierenden Betreibern 388
 - 12.6 Ausweichen in höhere Frequenzbänder 388
- 13 Antragsbeispiele API bzw. RfC (CR/C)/ITU** 391
 - 13.1 API-Anmeldung eines Satellitensystems mit niedrigfliegendem Satelliten 392
 - 13.2 Prinzipdarstellung der Inhalte einer C-Veröffentlichung eines geostationären Satellitensystems 396
 - 13.3 Beispiel einer CR/C-Anmeldung „Strahleemann“ 397
- 14 Agenda Items der WRC-12** 401
- 15 Liste der verwendeten Abkürzungen** 405
- 16 Relevante Definitionen** 415
- Sachverzeichnis** 419