

Nachrichtentechnik 2

Ph. Hartl

Fernwirktechnik der Raumfahrt



Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

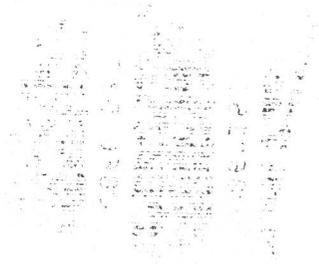
TP 87
H 331

7960439
5

Philipp Hartl

Fernwirktechnik der Raumfahrt

Telemetrie,
Telekommando, Bahnvermessung



Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York 1977

Dr.-Ing. PHILIPP HARTL

o. Professor, Institut für Luft- und Raumfahrt
der Technischen Universität Berlin

Dr.-Ing. HANS MARKO

o. Professor, Direktor des Instituts für Nachrichtentechnik
der Technischen Universität München

Mit 104 Abbildungen

ISBN 3-540-08172-0 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
ISBN 0-387-08172-0 Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin

Library of Congress Cataloging in Publication Data

Hartl, Philipp. Fernwirktechnik der Raumfahrt. (Nachrichtentechnik ; Bd. 2) Bibliography: p. Includes index. 1. Space vehicles -- Command control systems. 2. Aerospace telemetry. 3. Space vehicles -- Tracking. I. Title. II. Series. TL3280.H37 629.47'43 77-1564

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Bei Vervielfältigungen für gewerbliche Zwecke ist gemäß § 54 UrhG eine Vergütung an den Verlag zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist.

© by Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 1977.

Printed in Germany

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

Offsetdruck: fotokop wilhelm weihert kg, Darmstadt · Bindearbeiten: Konrad Trittsch, Würzburg

2362/3020 5 4 3 2 1 0

Nachrichtentechnik
Herausgegeben von H. Marko
Band 2



✓

E. HÖLZLER, H. HOLZWARTH

Pulstechnik

Band 1: Grundlagen
Bearbeitet von R. Kersten, H. Larsen
176 Abb. XIV, 422 Seiten, 1975.
Gebunden DM 112,--
ISBN 3-540-06887-2

Band 2: Anwendungen und Systeme
Bearbeitet von K. Euler, P. Gerke, R. Kersten,
H. Laysieffer, H. Stegmeyer
289 Abb. XIV, 463 Seiten, 1976.
Gebunden DM 138,--
ISBN 3-540-07386-8

Preisänderungen vorbehalten

Aus den Besprechungen:
"Der im Jahre 1957 erschienene *Hölzler-Holzwarth* war über viele Jahre das klassische Buch über die *Theorie und Technik der Pulsmodulation* - so der damalige Titel. Es ist uneingeschränkt zu begrüßen, daß dieses seit langem vergriffene Werk jetzt nach gründlicher Überarbeitung in zweiter Auflage erscheint und dabei der Versuch gemacht wird, die zahlreichen neuen Ergebnisse auf diesem Gebiet zu berücksichtigen."

Archiv für Elektronik und Übertragungstechnik

"Obwohl von mehreren Autoren verfaßt, ist das Buch ein harmonisches Ganzes. Es ist nicht nur zum Einarbeiten in die Pulstechnik geeignet, sondern bietet auch dem Fachmann dank Systematik, Vielfalt und Ausrichtung auf die Zukunft eine Bereichergewähltes Literaturverzeichnis. Das Buch ist Studenten und in der Praxis stehenden Ingenieuren gleichermaßen wärmstens zu empfehlen."

Elektrotechnik und Maschinenbau

"Wahrscheinlich gibt es im deutschsprachigen Raum keine vergleichbare Abhandlung, in der die Pulstechnik aus theoretischer Sicht so umfassend behandelt wird wie in dem vorliegenden Werk."

Elektronik

Eine Auswahl

W. GILOI, H. LIEBIG

Logischer Entwurf digitaler Systeme

196 Abb. IX, 307 Seiten. 1973.
Geheftet DM 32, --
ISBN 3-540-06067-7

H. LIEBIG

Logischer Entwurf digitaler Systeme
Beispiele und Übungen

92 Abb. VIII, 175 Seiten. 1975.
Geheftet DM 24, --
ISBN 3-540-06912-7

I. HARTMANN

Lineare Systeme
Grundlagen der Systemdynamik und
Regelungstechnik

70 Abb. XI, 347 Seiten. 1976.
Geheftet DM 26, --
ISBN 3-540-07758-8

K. KROSCHER

Statistische Nachrichtentheorie

Teil 1: Signalerkennung und Parameter-
schätzung

60 Abb. VIII, 183 Seiten. 1973.
Geheftet DM 22, --
ISBN 3-540-06499-0

Teil 2: Signalschätzung

41 Abb. VII, 189 Seiten. 1974.
Geheftet DM 23, --
ISBN 3-540-06712-4

R. LAUBER

Prozeßautomatisierung I
Aufbau und Programmierung von Prozeß-
rechensystemen

125 Abb., 26 Tab. VIII, 263 Seiten. 1976.
Geheftet DM 48, --
ISBN 3-540-07502-X

H. LIEBIG

Rechnerorganisation
Hardware und Software digitaler Rechner

102 Abb. X, 282 Seiten. 1976.
Geheftet DM 52, --
ISBN 3-540-07596-8

Preisänderungen vorbehalten

H.D. LÜKE

Signalübertragung
Einführung in die Theorie der
Nachrichtenübertragungstechnik

150 Abb. XII, 300 Seiten. 1975.
Geheftet DM 29, 80
ISBN 3-540-07125-3

W. RUPPRECHT

Netzwerksynthese
Entwurfstheorie linearer passiver und
aktiver Zweipole und Vierpole

213 Abb. X, 381 Seiten. 1972.
Geheftet DM 45, --
ISBN 3-540-05529-0

D. SEITZER

Elektronische Analog-Digital-Umsetzer
Verfahren, Bauelemente, Beispiele

103 Abb. VII, 143 Seiten. 1977.
Geheftet DM 39, --
ISBN 3-540-07954-8

D. SEITZER

Arbeitsspeicher für Digitalrechner

141 Abb. VII, 168 Seiten. 1975.
Geheftet DM 29, --
ISBN 3-540-06928-3

R. UNBEHAUEN

Elektrische Netzwerke
Eine Einführung in die Analyse

280 Abb. IX, 347 Seiten. 1972.
Geheftet DM 43, --
ISBN 3-540-05846-X

H. WOLF

Nachrichtenübertragung
Eine Einführung in die Theorie

55 Abb. VIII, 248 Seiten. 1974.
Geheftet DM 32, --
ISBN 3-540-06359-5

H. WOLF

Lineare Systeme und Netzwerke
Eine Einführung

131 Abb. VIII, 268 Seiten. 1971.
Geheftet DM 24, --
ISBN 3-540-05271-2

Geleitwort

Die Nachrichten- oder Informationstechnik befindet sich seit vielen Jahrzehnten in einer stetigen, oft sogar stürmisch verlaufenden Entwicklung, deren Ende nicht abzusehen ist. Durch die Fortschritte der Technologie wurden ebenso wie durch die Verbesserung der theoretischen Methoden nicht nur die vorhandenen Anwendungsgebiete ausgeweitet und den sich ändernden Erfordernissen angepaßt, sondern auch neue Anwendungsgebiete erschlossen.

Zu den klassischen Aufgaben der Nachrichtenübertragung und Nachrichtenvermittlung ist die Nachrichtenverarbeitung hinzugekommen, die viele Gebiete des beruflichen, neuerdings auch des privaten Lebens in zunehmendem Maße verändert. Die Bedürfnisse und Möglichkeiten der Raumfahrt haben gleichermaßen neue Perspektiven eröffnet wie die verschiedenen Alternativen zur Realisierung breitbandiger Kommunikationsnetze. Neben die analoge ist die digitale Übertragungstechnik, neben die klassische Text-, Sprach- und Bildübertragung ist die Datenübertragung getreten. Die Nachrichtenvermittlung im Raumvielfach wurde durch die elektronische zeitmultiplexe Vermittlungstechnik ergänzt. Satelliten- und Glasfasertechnik haben zu neuen Übertragungsmedien geführt. Die Realisierung nachrichtentechnischer Schaltungen und Systeme ist durch den Einsatz des Elektronenrechners und die digitale Schaltungstechnik erheblich verbessert und erweitert worden.

Die Buchreihe "Nachrichtentechnik" soll dieser Entwicklung Rechnung tragen und eine zeitgemäße Darstellung der wichtigsten Themen der Nachrichtentechnik anbieten. Die einzelnen Bände werden von Fachleuten geschrieben, die auf dem jeweiligen Gebiet kompetent sind. Jedes Buch soll in ein bestimmtes Teilgebiet einführen, die wesentlichen heute bekannten Ergebnisse darstellen und eine Brücke zur weiterführenden Spezialliteratur bilden. Dadurch soll es sowohl dem Studierenden bei der Einarbeitung in die jeweilige Thematik als auch dem im Beruf stehenden Ingenieur oder

Physiker als Grundlagen- oder Nachschlagewerk dienen. Die einzelnen Bände sind in sich abgeschlossen, ergänzen einander jedoch innerhalb der Reihe. Damit ist eine gewisse Überschneidung unvermeidlich, ja sogar erforderlich.

Die derzeitige Planung für die Reihe reicht von den Methodenlehren wie Netzwerktheorie, Systemtheorie, Modulation, Codierung, Informationstheorie, logische Schaltungen, rechnergestützte Entwurfsmethoden, Simulation usw. bis zu den verschiedenen Anwendungsgebieten wie Fernwirktechnik, Sprachübertragung, Bildübertragung, Datenübertragung, Nachrichtenvermittlung, optische Nachrichtenübertragung, Datenverarbeitung, Prozeßrechen-technik usw. Ihre Realisierung wird allerdings einige Zeit in Anspruch nehmen.

Ich hoffe, daß die Konzeption dieser Buchreihe, nämlich eine dem Wissensstand entsprechende Darstellung des Gesamtgebietes der Nachrichtentechnik in Form von Einzeldarstellungen aus der Feder kompetenter Fachleute zu bringen, viele Freunde an Universitäten und Hochschulen sowie in der Industrie finden wird. Anregungen aus dem Interessentenkreis sind jederzeit willkommen.

Dem Springer-Verlag sei an dieser Stelle für die Mithilfe bei der Gestaltung dieser Reihe und die ansprechende Ausstattung der ersten Bände gedankt.

München, im Januar 1977

H. Marko

Vorwort

Das Buch entstand aus meiner Vorlesung "Raumfahrttelektronik", die ich an der Technischen Universität Berlin halte. Es wendet sich einerseits an Studenten und Ingenieure der Nachrichtentechnik, die an Raumfahrt interessiert sind, und andererseits an Ingenieure der Raumfahrttechnik, die einen Einblick in die nachrichtentechnischen Belange gewinnen wollen.

Ich habe versucht, die Theorien möglichst einfach zu gestalten und sehr vereinfachte Modelle zugrundegelegt, damit das Verständnis für die physikalischen Dinge besonders klar hervorgehoben wird. Bezüglich der Mathematik werden keine besonderen Anforderungen gestellt. Auch in Hinblick auf die Nachrichtentechnik sind die Voraussetzungen denkbar gering gehalten worden.

Der Titel "Fernwirktechnik" wurde gewählt, um schon nach außen hin eine klare Abgrenzung zu dem in derselben Serie erscheinenden Buch über die Nachrichtensatelliten zu finden. Es geht im folgenden um Themen, die in der englischen Sprache mit "Telemetry", "Telecommand" und "Tracking" bezeichnet werden und nicht etwa um die Ton- und Bildübertragung wie beim Nachrichtensatelliten. Die Aufgabe der Telemetrie besteht darin, die Meßdaten des Raumfahrzeugs zur Erde zu übertragen. Die Aufgabe des Telekommandos umfaßt den Bereich der Befehlserteilung an das Raumfahrzeug. Tracking oder Bahnvermessung dient der Ermittlung von Ort und Geschwindigkeit des Flugkörpers.

Der Stoff ist natürlich für eine ausführliche Behandlung des Themas zu umfangreich, so daß eine gewisse Auswahl zu treffen war. Es wurde versucht, Grundlagen und Entwurfsmethoden zu beschreiben. Auf die Behandlung von Details und speziellen Ausführungsformen habe ich fast durchweg verzichtet, in der Hoffnung, daß der Leser durch das Studium des Buches angeregt wird und in der Lage ist, die weiterführende Literatur zu lesen und zu verstehen.

In einem Überblick werden zunächst die Aufgaben der Raumfahrt-Fernwirktechnik und die Funktionsweisen der Teilsysteme allgemein beschrieben. Darauf folgt die parametrische Beschreibung der Signalübertragung und des Rauschens, da durch diese die Auslegung der hochfrequenten Anlagen im wesentlichen bestimmt werden. Im Kapitel 3 werden Möglichkeiten und Probleme der Modulationstechnik aus der Sicht der Raumfahrt beschrieben, bei der es bevorzugt darauf ankommt, Lösungen zu finden, die bordseitig einen geringen Leistungsverbrauch haben. In diesem Zusammenhang spielen das Multiplexen, die phasenkohärente Demodulation und die PCM-Technik eine wesentliche Rolle. Dadurch werden aber vielfältige Synchronisationstechniken erforderlich, die dann im Kapitel 4 behandelt werden.

In der Raumfahrt ist eine Messung nur dann sinnvoll, wenn auch eine Ortsbestimmung erfolgen kann. Daraus erklärt sich die Forderung, im Rahmen der Fernwirktechnik funktechnische Methoden der Positions- und Geschwindigkeitsbestimmung mitzubehandeln.

Im Kapitel 6 werden schließlich einige Besonderheiten der Wellenausbreitung behandelt, die sich dadurch ergeben, daß das Signal auch die Atmosphäre passieren muß. Es treten dabei insbesondere in der Ionosphäre eine Reihe von Effekten auf, die sich vor allem bei der Bahnbestimmung störend bemerkbar machen.

Für Ausdauer und Gewissenhaftigkeit bei der Anfertigung der Reinschrift bedanke ich mich bei Frau M. Schmidt, für die Erstellung der vielen Zeichnungen bei Frau U. Detlefs.

Dem Verlag danke ich für seine wertvolle Unterstützung.

Berlin, im Frühjahr 1977

Philipp Hartl

Verzeichnis wichtiger Konstanten

Absolute Dielektrizitätskonstante

$$\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

Absolute Permeabilität

$$\mu_0 = 1,25664 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$$

Boltzmann-Konstante

$$k = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{ Ws/K}$$

Elektronenladung

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

Erdbeschleunigung

$$g = 9,80665 \text{ m/s}^2$$

Erdradius Äquator/Pol

$$R = 6378/6356 \text{ km}$$

Gravitationskonstante

$$G = 6,67410^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

Lichtgeschwindigkeit

$$c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Mittlere Entfernung Erde/Mond

$$d = 384400 \text{ km}$$

Mittlere Entfernung Erde/Sonne

$$1 \text{ AE} = 149,5 \cdot 10^6 \text{ km}$$

Plancksches Wirkungsquantum

$$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Ws}^2$$

Ruhemasse des Elektrons

$$m = 0,9107 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

Umrechnung Kelvin/Celsius

$$T_K = T_C + 273,15^0$$

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis wichtiger Konstanten	XIII
1 Funktionen des Fernwirksystems	1
1.1 Prinzipieller Aufbau	2
1.2 Das TDRS-System	6
1.3 Meßnetze	6
1.4 Bahnvermessung	8
1.5 Telemetrie	11
1.5.1 Datenarten	11
1.5.2 Funktionen	12
1.6 Telekommando	15
1.6.1 Datenarten	15
1.6.2 Funktionen	16
2 Signalübertragung und Rauschen	17
2.1 Antennenparameter	17
2.2 Diskussion	25
2.2.1 Wirkflächenbegrenzungen	26
2.2.2 Wirkflächen- und Gewinnbegrenzung	26
2.2.3 Gewinnbegrenzungen	27
2.2.4 Transitionsfrequenz	27
2.2.5 Das Rechnen in dB	27
2.3 Rauschen	30
2.3.1 Thermisches Rauschen	30
2.3.2 Inneres Rauschen	32
2.3.2.1 Rauschen von Widerständen	32
2.3.2.2 Serien- und Parallelschaltung	34
2.3.2.3 Rauschen von Vierpolen	35
2.3.2.4 Kettenschaltung	39
2.3.2.5 Rauschen von Verlustvierpolen	40

2.3.3	Äußeres Rauschen	41
2.3.3.1	Das Plancksche Strahlungsgesetz	41
2.3.3.2	Rauschtemperatur der Antenne	44
2.3.3.3	Effektive Rauschtemperatur	44
2.3.3.4	Numerische Berechnung	45
2.3.3.5	Kosmische Rauschquellen	48
2.3.4	System-Rauschtemperatur	52
2.4	Radiofenster	53
2.5	Störabstand; Pegelplan	53
3	Modulation	56
3.1	Harmonische Trägersignale	56
3.1.1	Amplitudenmodulation	58
3.1.1.1	Leistungsaufteilung	58
3.1.1.2	Hochfrequenz-Bandbreite	61
3.1.2	Winkelmodulation	62
3.1.2.1	Phasenmodulation	62
3.1.2.1.1	PM mit sinusförmigem Primärsignal	63
3.1.2.1.2	PM mit binärem Primärsignal	64
3.1.2.1.3	PM mit zwei binären Unterträgern	67
3.1.2.1.4	PM-Demodulation	68
3.1.2.2	Frequenzmodulation	69
3.1.2.2.1	FM-Demodulation	70
3.2	Rauschverhalten	71
3.2.1	Amplitudenmodulation	71
3.2.2	Phasenmodulation	73
3.2.3	Frequenzmodulation	74
3.2.4	Pre- und Deemphase	77
3.2.5	Schwellwert	78
3.3	Frequenzmultiplex	79
3.3.1	Prinzip	79
3.3.2	IRIG-FM-FM-System	80
3.3.3	Kombinationsfrequenzen beim Frequenzmultiplexen	82
3.4	Pulsförmiges Trägersignal	86
3.4.1	Abtasttheorem	86
3.4.2	Zeitmultiplex	90
3.4.3	Quantisierung	92
3.4.4	Quantisierte Pulsmodulationsverfahren	96
3.5	Pulscodemodulation	96
3.5.1	Stufenzahl und Codewortlänge	96

3.5.2	Prinzipieller Aufbau eines binären PCM-Telemetrie- systems	98
3.5.3	PCM-Bit-Formate	102
3.5.4	Detektionsprozeß	105
3.5.5	Wortfehlerwahrscheinlichkeit	111
3.5.6	PCM mit n-ärer Modulation	112
3.5.7	Binäre Codierung	116
3.5.7.1	Orthogonalcode	116
3.5.7.2	Transorthogonalcode	118
3.5.7.3	Biorthogonalcode	118
3.5.7.4	Kanalkapazität	119
4	Synchronisation	121
4.1	Phase Locked Loop	121
4.2	Kenndaten des PLL	127
4.3	Tiefpaßfilter	130
4.4	Anwendungsformen	133
4.4.1	PLL mit Untersetzter	134
4.4.2	Lange Regelschleife	134
4.4.3	Frequenztranslation	136
4.4.4	PLL als Demodulator	136
4.4.5	Zusatzeinrichtungen für den Fangvorgang	138
4.5	Der hybride PLL	139
4.6	Der digitale PLL	140
4.6.1	Number Controlled Oscillator	140
4.6.2	Vergleich des DPLL mit dem PLL	142
4.7	PSK-Unterträgersynchronisation	142
4.7.1	Quadrierschleife (Squaring Loop)	144
4.7.2	Costas-Schleife	144
4.7.3	Entscheidungs-Rückkopplungsschleife (Decision-Feedback Loop)	145
4.7.4	Trägerfrequenzrückgewinnung bei Mehrphasen-PSK	145
4.8	Bitsynchronisation	145
4.8.1	Ein- und Zweikanalverfahren	146
4.8.2	Gewinnung des Bittaktes im Einkanalverfahren	146
4.9	Rahmensynchronisation	147
4.10	PN-Folgen	150
4.10.1	Zufällige Folgen und PN-Folgen	153
4.10.2	Autokorrelationsfunktion (AKF) und Kreuzkorrelations- funktion (KKF) für binäre Folgen	155

4.10.3	AKF-Eigenschaft und Leistungsspektrum mit PN-Folgen ..	156
4.10.4	Steuerung von Synchronisationsvorgängen mit PN-Folgen	160
5	Funktechnische Bahnvermessung	162
5.1	Ranging	162
5.1.1	Ranging mit Frequenzkombinationen (Tone Ranging)	166
5.1.2	Frequenzwobbelung	166
5.1.3	PN-Ranging	168
5.1.4	BINOR-Codes	168
5.2	Dopplermessung	169
5.2.1	Erdsatelliten	170
5.2.2	Zweiweg-Dopplermessung	172
5.2.3	Zweifrequenz-Dopplermessung	174
5.2.4	Raumsonden	174
5.3	Interferometer	177
6	Wellenausbreitung	180
6.1	Brechungsindex	180
6.2	Neutralgasatmosphäre	182
6.3	Ionosphäre	182
6.3.1	Phasen- und Gruppengeschwindigkeit	183
6.3.2	Phasenwegverkürzung	184
6.3.3	Gruppenwegverlängerung	185
6.3.4	Brechung	185
6.3.5	Dopplereffekt	185
6.3.6	Szintillationen	186
6.3.7	Magnetfeldeinfluß	186
6.3.8	Der Faraday-Effekt	187
7	Anhang	189
7.1	Pegelplan	189
7.2	Dynamisches Verhalten des PLL	193
7.2.1	Phasenfehler	195
7.2.2	Fangbereich	198
7.3	Codemultiplex	200
7.3.1	PN-Spreizung	201
7.3.2	Frequenzspringen	201
7.4	Großflächige Parabolantennen	202
	Literaturverzeichnis	204
	Sachverzeichnis	206

1 Funktionen des Fernwirksystems

Vom Standpunkt der Nachrichtentechnik aus gesehen handelt es sich bei der Raumfahrt um "mobile Dienste" über extrem große Entfernungen, d.h. um Funkübertragung von und zu bewegten Objekten. Die Fernwirkanlagen werden dabei sowohl zur Steuerung der Transportsysteme eingesetzt, d.h. der ein- und mehrstufigen Trägerraketen, als auch zur Überwachung der "Nutzlasten". Nutzlasten sind bisher noch vorwiegend unbemannte Instrumentierungskapseln, die je nach Einsatzbereich unterschiedlich bezeichnet werden, nämlich als

- Höhenraketenutzlasten, wenn sie auf ballistischen Bahnen fliegen und nach einer Flugdauer von mehreren Minuten zur Erde zurückkehren, dabei in der Regel aber zerstört werden;
- Erdsatelliten, wenn sie in einer Umlaufbahn die Erde umkreisen;
- (Raum)Sonden, wenn sie den Bereich der Erdanziehung verlassen und den eigentlichen Weltraum durchfliegen. Hierzu gehören die Mondsonden, die planetaren Sonden und die interplanetaren Raumsonden.

Im folgenden beziehen sich die Betrachtungen bevorzugt auf Satelliten und Raumsonden, denn für diese Raumfahrzeuge sind hinsichtlich der Reichweite und der erforderlichen Flexibilität die Anforderungen am größten.

Daß ein unbemanntes Raumfahrzeug eine Mission nur dann erfüllen kann, wenn durch die Mittel der Fernwirktechnik Kontakt zur Erde besteht, ist offensichtlich und unterstreicht die enorme Bedeutung dieser Technik für die Raumfahrt. Welchen Sinn sollte wohl der "Betrieb" eines Satelliten haben, wenn man keine Daten empfangen kann, die etwas darüber aussagen, was er mißt, wo er mißt und ob bzw. wie seine Instrumentierung arbeitet.

Bei bemannten Raumfahrtmissionen, die durch die Realisierung des "Space Shuttle" (Raumfähre) in Zukunft wesentlich häufiger sein werden, scheint auf den ersten Blick ein Verzicht auf gewisse Teil-

funktionen der Fernwirktechnik denkbar zu sein, da die Mannschaft entsprechende Überwachungsaufgaben übernehmen kann. Sicherheitsanforderungen, Komplexität und die zusätzliche Aufgabe bemannter Missionen, an ganz bestimmten Orten die Besatzung und Instrumentierung des Raumfahrzeuges wieder heil zu landen, erhöhen jedoch die Anforderungen in Wirklichkeit.

Die Überwachung des Betriebsablaufs ist in allen Fällen, sowohl bei bemannten als auch bei unbemannten Missionen, durch ein Team durchzuführen, das in einem Kontrollzentrum die Meßdaten der Mission empfängt, beurteilt erforderliche Maßnahmen mittels Datenverarbeitungsanlagen errechnet und sie per Telekommando veranlaßt.

Die wesentlichen Aufgaben der Fernwirktechnik sind:

- die Funkverbindung zum Raumfahrzeug herzustellen und aufrechtzuhalten (Signalacquisition),
- die relevanten Bahndaten (Dopplergeschwindigkeit, Entfernung, Winkel) zur Positions- und Geschwindigkeitsbestimmung des Raumfahrzeuges zu ermitteln (Tracking),
- technische Daten zu empfangen, die über das Raumfahrzeug und dessen Instrumentierung Auskunft geben (Telemetrie),
- Daten der wissenschaftlichen Instrumentierung zu empfangen und für eine Weiterverarbeitung aufzubereiten (Signalaufbereitung),
- Kommandos in Form von Steuersignalen an die Geräte des Raumfahrzeuges zu übertragen (Telekommando).

Besonderheiten ergeben sich für die Nachrichtentechnik aus

- den außergewöhnlich großen Entfernungen (starke Signalschwächung, lange Signallaufzeit, Kommandoverzögerung),
- den hohen Geschwindigkeiten (Dopplereffekt, Antennennachführung),
- den hohen spezifischen Kosten für elektrische Energie und Nutzlastmasse sowie
- den technologischen Anforderungen des Weltraums.

1.1 Prinzipieller Aufbau

Abb. 1.1 zeigt in Form eines Blockschaltbildes die wichtigsten Einheiten eines Fernwirksystems. Es besteht aus den Telemetrie-, Telekommando- und Bahnvermessungsanlagen. Diese drei Untersysteme sind in vielen Fällen miteinander verknüpft, um