



Udo Renner · Joachim Nauck · Nikolaos Balteas

Satellitentechnik

Eine Einführung

Mit 111 Abbildungen und 17 Tabellen

Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo 1988

Professor Dr.-Ing. Udo Renner
Dipl.-Ing. Nikolaos Balteas
Institut für Luft- und Raumfahrt
Technische Universität Berlin
Straße des 17. Juni 136
D-1000 Berlin 12

Dr.-Ing. Joachim Nauck
MBB-ERNO Raumfahrttechnik
Hünefeldstraße 1–5
D-2800 Bremen 1

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek:

Renner, Udo: Satellitentechnik: e. Einf./U. Renner; J. Nauck; N. Balteas. – Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo: Springer, 1988

ISBN-13: 978-3-642-83149-2

e-ISBN-13: 978-3-642-83148-5

DOI: 10.1007/978-3-642-83148-5

NE: Nauck, Joachim; Balteas, Nikolaos:

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1988

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1988

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.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Textfassung: Mit einem System der Springer Produktions-Gesellschaft, Berlin;

Datenkonvertierung: Brühlsche Universitätsdruckerei, Gießen;

2068/3020-543210

Vorwort

Nach dem Start des ersten künstlichen Satelliten „Sputnik“ am 4. Oktober 1957 hat sich die Satellitentechnik im Laufe von drei Jahrzehnten zu einer eigenständigen technischen Disziplin entwickelt, die zum Teil bereits die Phase der staatlich geförderten Forschung hinter sich gelassen hat und, insbesondere bei den Nachrichten- und Rundfunksatelliten, nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten betrieben wird.

Das Buch entstand aus der Vorlesung „Satellitentechnik“ an der Technischen Universität Berlin und wendet sich an Studenten und Ingenieure der Raumfahrttechnik. Es soll das physikalische und technische Grundwissen vermitteln, das für die daran anschließende Vorlesung „Satellitenentwurf“ erforderlich ist.

Nach einer einleitenden Diskussion der Bedeutung der Satellitentechnik, insbesondere zur Lösung oder zum Verständnis erdgebundener Probleme, wird in den beiden folgenden Kapiteln die Bahndynamik eines gestörten Zweikörpersystems behandelt mit dem Ziel, den Treibstoffbedarf für die notwendigen Bahnkorrekturen zu berechnen, ein Faktor, der insbesondere bei längeren Missionsdauern die Dimensionierung eines Satelliten beeinflusst.

Kapitel 4 behandelt die wechselseitigen Beziehungen zwischen Satellit und Trägerfahrzeug und die Randbedingungen, die sich daraus für die Konfiguration und Dimensionierung des Satelliten ergeben. Nachdem damit die Grundkonfiguration für eine vorgegebene Mission gewählt ist, werden in den folgenden Kapiteln die einzelnen Untersysteme nacheinander behandelt: Struktur, Energieversorgung, Nachrichtenübertragung, Thermalkontrolle, Lageregelung, Antriebssysteme und Zuverlässigkeitsberechnung.

Wir danken dem Verlag für die Anregung zu diesem Buch und die gute Zusammenarbeit bei der Erstellung des Manuskriptes.

Berlin, im Winter 1987

Udo Renner
Joachim Nauck
Nikolaos Balteas

Inhaltsverzeichnis

1	Bedeutung der Raumfahrt	1
1.1	Die zweidimensionale Erschließung unseres Lebensraums	1
1.2	Die dreidimensionale Erschließung unseres Lebensraums	2
1.3	Die bedeutendsten Raumfahrtprojekte	3
1.4	Die Umgebungsbedingungen im Weltraum	7
2	Bahndynamik	9
2.1	Ballistischer Flug	9
2.2	Bahnänderungsmanöver	12
2.3	Bahnbestimmung	14
2.4	Kreisförmige Bahnen	17
2.5	Interplanetare Flüge	19
3	Bahnstörungen	25
3.1	Abplattung der Erde	25
3.2	Ungleichförmige Massenverteilung der Erde	25
3.3	Gravitationseinflüsse von Sonne und Mond	25
3.4	Sonnendruck	26
3.5	Restatmosphäre	27
4	Satellitenkonfiguration	28
4.1	Interface: Satellit – Trägersystem	28
4.2	Das System „Satellit“	36
5	Struktur	42
5.1	Statische und dynamische Lastannahmen	42
5.2	Strukturbauteile	42
5.3	Strukturanalyse	47
6	Energieversorgung	58
6.1	Solarzellen	58
6.2	Batterien	62
6.3	Zusammenwirken von Batterie und Solarzellen	65
6.4	Spannungsregelung	66

VIII Inhaltsverzeichnis

7	Nachrichtenübertragung	68
7.1	Telemetrie und Telekommando	70
7.2	Computer	70
7.3	Pulsmodulator/-demodulator	71
7.4	Frequenzumsetzung und Modulation	71
7.5	Leistungsverstärker/Empfänger	73
7.6	Antennenübertragungsstrecke	74
7.7	Entfernungsmessungen	77
7.8	Richtungsmessungen	77
8	Thermalkontrolle	79
8.1	Aufgaben	79
8.2	Grundlagen	82
8.3	Technische Lösungen	91
9	Lageregelung	99
9.1	Dreiaachsenstabilisierung	99
9.2	Drallstabilisierung	101
9.3	Äußere Störmomente	110
9.4	Stellglieder	115
10	Antriebssysteme	118
10.1	Abschätzende Berechnungsverfahren	119
10.2	Feststoffantriebe	120
10.3	Kaltgassysteme	122
10.4	Heißgassysteme	125
10.5	Elektrische Antriebssysteme	130
10.6	Tanks	133
11	Zuverlässigkeitsberechnung	135
	Verzeichnis der Abkürzungen der im Buch erwähnten Satellitenprojekte . .	137
	Weiterführende Literatur	139
	Sachverzeichnis	140

Symbolverzeichnis

- a Große Ellipsenhalbachse (Kap. 2)
- A Fläche (Kap. 3, Kap. 9), Schichtfläche/Oberfläche (Kap. 8)
- b Kleine Ellipsenhalbachse (Kap. 2)
- B Bandbreite (Kap. 7), Induktion (Kap. 9)
- B_K Bremskraft (Kap. 3, Kap. 9)
- B_e Erdfeldstärke (Kap. 9)
- c Federsteifigkeit (Kap. 5), spezifische Wärme (Kap. 8)
- C Allgemeine Integrationskonstante (Kap. 2)
- C_w Widerstandsbeiwert (Kap. 3, Kap. 9)
- d Dämpfung (Kap. 5)
- D Antennendurchmesser (Kap. 7), Schichtdicke (Kap. 8), Dämpfungsfaktor (Kap. 9)
- e Massenspezifische Energie (Kap. 2)
- e_{pot} Massenspezifische potentielle Energie (Kap. 2)
- e_{kin} Massenspezifische kinetische Energie (Kap. 2)
- $e_{i,j}$ Konfigurationsfaktor (Kap. 8)
- E Elastizitätsmodul (Kap. 5), Energie (Kap. 9)
- f Frequenz (Kap. 7), Leistungsgewicht (Kap. 9)
- F Kraft (Kap. 2), Fläche (Kap. 5, Kap. 7), Schub (Kap. 10)
- h Massenspezifischer Drall (Kap. 2)
- h_B Höhe über dem Meeresspiegel (Kap. 2)
- h_p Höhe des Perigäums (Kap. 3)
- h_A Höhe des Apogäums (Kap. 3)
- H Drall (Kap. 2, Kap. 9)
- i Inklination (Kap. 2), Stromstärke (Kap. 9)
- I Strom (Kap. 6)
- I_α Trägheitsmoment (Kap. 9)
- J Trägheitsmoment (Kap. 5)
- K Wärmeleitzahl (Kap. 8), Kraft (Kap. 9)
- K_e Spezifischer elektrischer Leitwert (Kap. 9)
- l Entfernung, Abstand (Kap. 2)
- L Länge (Kap. 5)
- m Masse (Kap. 2, Kap. 5, Kap. 8, Kap. 10)
- M Drehmoment (Kap. 5, Kap. 9)
- N Normalkraft (Kap. 5)
- p Sonnendruck (Kap. 1), Bahnparameter (Kap. 2), Druck (Kap. 10)
- P Leistung (Kap. 6, Kap. 8, Kap. 9)

X Symbolverzeichnis

- P_{eff} Effektiver Sonnendruck (Kap. 1, Kap. 9)
 q Drahtquerschnitt (Kap. 9)
 Q Querkraft (Kap. 5), Wärmeenergie (Kap. 8)
 r Reflektionsgrad (Kap. 1, Kap. 3), Radiusvektor, Abstand vom Gravitationskörper (Kap. 2)
 R Erdradius (Kap. 2), elektrischer Widerstand (Kap. 9)
 \dot{R} Radialgeschwindigkeit (Kap. 7)
 S_u Umfang (Kap. 5)
 S Bestrahlungsstärke/Solarkonstante (Kap. 8)
 t Zeit (Kap. 2, Kap. 8 bis 11), Querschnittsdicke (Kap. 5)
 T Periodendauer, Umlaufzeit (Kap. 2), Temperatur (Kap. 5, Kap. 8, Kap. 10), äquivalente Rauschtemperatur (Kap. 7)
 T^n Übertragungsmatrix (Kap. 5)
 U Spannung (Kap. 6, Kap. 9)
 v Geschwindigkeit (Kap. 2, Kap. 9), Schnittkraftvektor (Kap. 5)
 v_T Ausstoßgeschwindigkeit (Kap. 2, Kap. 10)
 V Volumen (Kap. 8 bis 10)
 w Verschiebung (Kap. 5), Windungszahl (Kap. 9)
 Z Zentrifugalkraft (Kap. 9), Zuverlässigkeit (Kap. 11)
 α Azimuth (Kap. 2), Wärmedehnungskoeffizient (Kap. 5), Antennenöffnungswinkel (Kap. 7), Absorptionsgrad (Kap. 8), Lagewinkel (Kap. 9)
 γ Frühlingspunkt (Kap. 2)
 γ Spezifisches Gewicht (Kap. 5)
 δ Elevation (Kap. 2)
 δv Virtuelle Verschiebung (Kap. 5)
 ε Exzentrizität (Kap. 2), Emissionsgrad (Kap. 8)
 θ Geographische Breite (Kap. 2), Antennenkeulenbreite (Kap. 7)
 λ_G Winkel zwischen Greenwich-Meridian und Frühlingspunkt (Kap. 2)
 λ Geographische Länge (Kap. 2), Wellenlänge (Kap. 7), Wärmeleitfähigkeit (Kap. 8), Ausfallrate (Kap. 11)
 μ Spezielle Gravitationskonstante (Kap. 2)
 ρ Atmosphärendichte (Kap. 2, Kap. 9), Dichte (Kap. 5, Kap. 8)
 σ Spannung (Kap. 5), spezifisches Gewicht (Kap. 9)
 τ Schubspannung (Kap. 5)
 φ Bahnwinkel mit Bezug zum Perigäum oder wahre Anomalie (Kap. 2)
 Φ Vorhaltwinkel (Kap. 2)
 ψ Einfallswinkel (Kap. 8)
 ω Winkelabstand des Perigäums (Kap. 2), Kreisfrequenz (Kap. 5), Winkelgeschwindigkeit (Kap. 9)
 Ω Länge des aufsteigenden Knotens (Kap. 2)

Konstanten

- AU Astronomische Einheit, $1,49538 \cdot 10^{11}$ (m)
 c Lichtgeschwindigkeit, 299 793 (km/s)
 G Universelle Gravitationskonstante, $6,674 \cdot 10^{-11}$ (Nm^2/kg^2)
 k Boltzmann-Konstante, $1,38 \cdot 10^{-23}$ (Ws/K)

- R Gaskonstante 8,31434 (J/MkgK)
R_E Mittlerer Erdradius, 6378,140 (km)
S Mittlere solare Energiedichte, 1372 (W/m²)
μ₀ Permeabilitätskonstante (Vakuum) 4π · 10⁻⁷ (H/m)
μ_E Gravitationskonstante der Erde, 398600 (km³/s²)
σ Stefan-Boltzmann-Konstante, 5,66961 · 10⁻⁸ (W/m²K⁴)