

# **SYSTEMS ENGINEERING**

Martin Wilke

**Integrierter modellbasierter Satellitenentwurf**



Herbert Utz Verlag · Wissenschaft  
München

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme  
Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist  
bei Der Deutschen Bibliothek erhältlich

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2002

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

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2002

ISBN 3-8316-0159-3

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München  
Tel.: 089/277791-00 · Fax: 089/277791-01  
utz@utzverlag.com · www.utzverlag.de

---

# Inhalt

<b>1 Einführung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Einleitung .....	1
1.2 Motivation und Ziele .....	2
1.3 Vorgehen.....	3
<b>2 Grundlagen der Satellitenentwicklung .....</b>	<b>7</b>
2.1 Einführung in die Satellitentechnik.....	7
2.2 Umlaufbahnen und Konstellation .....	9
2.3 Bodenstationen .....	10
2.4 Satelliten .....	13
2.4.1 Nutzlast .....	16
2.4.2 Struktur und Mechanismen .....	16
2.4.3 Energieversorgung.....	17
2.4.4 Lageregelung .....	18
2.4.5 Telemetrie und Command .....	20
2.4.6 Data Handling .....	21
2.4.7 Antrieb.....	21
2.4.8 Thermalkontrolle .....	23
2.5 Startgeräte – Launcher .....	23
<b>3 Entwicklungsprozesse für Raumfahrtmissionen.....</b>	<b>25</b>
3.1 Missionsphasen eines Satellitenprojekts .....	25
3.2 Kommerzielle Satellitenentwicklung .....	29
3.3 Die frühe Phase der Satellitenentwicklung: Die Angebotserstellung.....	33
3.3.1 Aktivitäten.....	34
3.3.2 Charakteristika der Konzeptphase .....	39
3.4 Defizite der Angebotsphase .....	41
3.4.1 Situationsanalyse .....	41
3.4.2 Kerndefizite des Satellitenentwurfs .....	45
3.5 Anforderungen an verbesserte Konzeptphase.....	46
<b>4 Methodische Grundlagen .....</b>	<b>49</b>
4.1 Grundlagen der Systemtechnik.....	49
4.1.1 Historische Entwicklung.....	49
4.1.2 Definition der Systemtechnik .....	49
4.1.3 Systemdefinition .....	51
4.1.4 Arten von Systemen.....	52

4.2	Vorgehensmodelle / Systementwicklungsmodelle .....	53
4.2.1	Systemtechnisches Vorgehensmodell .....	53
4.2.2	Integrierte Produktentwicklung .....	54
4.2.3	Concurrent Engineering .....	55
4.2.4	Modellbasierte Systementwicklung .....	56
4.3	Systemtechnische Modellbildung und Simulation .....	57
4.3.1	Formalisierungsbestandteile .....	57
4.3.2	Modellierung .....	59
4.3.3	Simulation .....	60
4.4	Concept Design Center .....	61
4.4.1	Grundlegendes Konzept .....	61
4.4.2	Project Design Center (Jet Propulsion Laboratory, NASA) .....	61
4.4.3	Das Satellite Design Office .....	62
4.4.4	Concurrent Design Facility (ESTEC) .....	63
4.4.5	Space System Concept Center (LRT, TUM) .....	64
4.4.6	Laboratory for Spacecraft and Mission Design (California Institute of Technology) .....	64
4.4.7	Complex Systems Development and Operations Laboratory (Massachusetts Institute of Technology) .....	64
4.4.8	Charakteristika bekannter Concept Design Center .....	65
4.5	Zusammenfassung .....	67
<b>5</b>	<b>Integrierter, modellbasierter Satellitenentwurf .....</b>	<b>69</b>
5.1	Das Gesamtsystem Satellitenentwicklung .....	70
5.2	Die Hauptbestandteile der integrierten, modellbasierten Satellitenentwicklung (IMSE) .....	73
5.3	Team 74 .....	
5.3.1	Grundlagen .....	75
5.3.2	Teamzusammensetzung .....	76
5.4	Prozess .....	79
5.4.1	Vorgehenslogik .....	79
5.4.2	Sessionorganisation .....	81
5.4.3	Disziplinprozess .....	82
5.5	Modelle .....	83
5.5.1	Allgemeine Anforderungen .....	83
5.5.2	Entity Relationship Modelle .....	84
5.5.3	Entwicklung des generisches Projektmodells .....	85
5.5.4	Vorgehen bei der Modellbildung .....	88
5.6	Tools .....	93
5.6.1	Allgemeine Werkzeuge .....	94
5.6.2	Spezialwerkzeuge .....	94
5.6.3	Integratives Werkzeug .....	94
5.7	Infrastruktur .....	96
5.8	Qualitative Darstellung der Nutzenpotentiale .....	98
5.8.1	Definition der Metriken für den ideal sequentiellen Auslegungsprozess .....	98
5.8.2	Ableitung der Metriken für den dokumentbasierten Prozess .....	100
5.8.3	Ableitung der Metriken für den modellbasierten Ansatz .....	102
5.8.4	Nutzenpotential und Einsatzgebiete .....	104
5.9	Zusammenfassung .....	106
<b>6</b>	<b>Umsetzung der Methodik .....</b>	<b>109</b>
6.1	Integratives Werkzeug MuSSat .....	109
6.1.1	Anforderungen an das Programm .....	110
6.1.2	Programmkonzept .....	110
6.1.3	Funktionalitäten im Modellierungsmodus .....	112
6.1.4	Funktionen im Analysemodus .....	115
6.1.5	Funktionen bei der Alternativenbewertung .....	117

6.2	Anwendungsbeispiel Power Subsystem .....	118
6.2.1	Grundlagen .....	118
6.2.2	Modellierung .....	120
6.2.3	Durchgeführte Untersuchungen .....	125
6.3	Satellite Design Office.....	129
6.3.1	Ausgangssituation.....	129
6.3.2	Zielsetzung.....	129
6.3.3	Team.....	130
6.3.4	Prozess .....	132
6.3.5	Modelle.....	134
6.3.6	Infrastruktur.....	136
6.3.7	Ergebnisse .....	136
6.3.8	Beispielhafte Verifizierung der Metriken.....	137
6.4	Space System Concept Center.....	138
6.4.1	Zielsetzung.....	138
6.4.2	Team.....	139
6.4.3	Prozess .....	140
6.4.4	Modelle.....	141
6.4.5	Tools .....	142
6.4.6	Infrastruktur.....	143
<b>7</b>	<b>Fazit und Ausblick .....</b>	<b>145</b>
7.1	Zusammenfassung .....	145
7.2	Ausblick.....	147
<b>8</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>149</b>
<b>Anhang</b>		
<b>A</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>161</b>
<b>B</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>165</b>

---

# 1 Einführung

## 1.1 Einleitung

In den letzten Jahren hat sich der Markt für Raumfahrtanwendungen, besonders für Satellitensysteme, stark verändert. Am Ende der 80er Jahre bestand das Hauptgeschäft der Raumfahrtindustrie in Aufträgen der internationalen Raumfahrtagenturen, die große, oft bemannte Systeme planen und deren Entwicklung an die Industrie beauftragen. Die Herstellung von Kommunikationssatelliten war zwar keine technische Neuerung mehr, aber der Markt für diese Raumfahrtanwendungen schien zu stagnieren.

Dieses Bild hat sich in den 90ern deutlich geändert. In den letzten Jahren hat das Marktvolumen der satellitengestützten Dienstleistungen, vor allem der satellitengestützten Kommunikation stark zugenommen. Durch den hohen finanziellen Aufwand, der zum Aufbau und Betrieb der internationalen Raumstation ISS getrieben wird, sinkt besonders auf Seiten der institutionellen Anleger das Budget für satellitengestützte Missionen. Dadurch wird der Konkurrenzdruck in diesem Marktsegment deutlich höher. Zu dem selben Ergebnis führt die Entwicklung zur Kommerzialisierung der Satellitenanwendungen, insbesondere im Bereich der satellitengestützten Kommunikation. Durch den steigenden Zeit- und Kostendruck der ‚faster-better-cheaper‘-Initiativen bzw. um dem veränderten Umfeld im Bereich der kommerziellen Kunden gerecht zu werden, müssen die Konzeptfindungsprozesse der Satellitenindustrie in der frühen Phase der Satellitenentwicklung, der Angebotsphase, optimiert werden.