

European Space Operations Centre

Das Europäische Satellitenkontrollzentrum



Pressestellen der ESA

ESA Hauptverwaltung: 8-10 rue Mario Nikis
75738 Paris Cedex 15
Frankreich
Tel. (33) 1 53 69 71 55
Fax (33) 1 53 69 76 90

ESTEC Postbus 299
2200 AG Noordwijk
Niederlande
Tel. (31) 71 565 3006
Fax (31) 71 565 7400

ESOC Robert-Bosch-Str. 5
64293 Darmstadt
Deutschland
Tel. (49) 6151 90 2696
Fax (49) 6151 90 2961

ESRIN Via Galileo Galilei
00044 Frascati (Rome)
Italien
Tel. (39) 6 94 18 02 60
Fax (39) 6 94 18 02 57

ESA -Büro Washington 955 L'Enfant Plaza
Suite 7800
Washington DC 20024
Tel. (1) 20 24 88 41 58
Fax (1) 20 24 88 49 30

Die ESA im Internet:

ESA Home Page <http://www.esa.int>

ESRIN Home Page <http://www.esrin.esa.int>

ESOC Home Page <http://www.esoc.esa.int>

ESTEC Home Page <http://www.estec.esa.int>

VORWORT

Die ESA investiert erhebliche Summen in die Entwicklung hochkomplexer Satelliten, die den Anforderungen und Interessen der verschiedenen Programmdirektionen entsprechen. Für viele Außenstehende ist der Start eines Satelliten der Höhepunkt, aber gleichzeitig auch das Ende ihres Engagements und Interesses.

Die Satelliten der ESA erfüllen bestimmte Funktionen im Weltraum – sei es im Bereich der Telekommunikation, Meteorologie, Erdbeobachtung, Mikrogravitationsforschung, der Erkundung des Sonnensystems oder der Astronomieforschung aus dem Weltraum. Es liegt in der Verantwortung des Satellitenkontrollzentrums der ESA, dem ESOC in Darmstadt, dafür zu sorgen, dass die Ziele dieser Missionen optimal erreicht werden.

Das ESOC erfüllt diese Aufgabe, indem es die dafür notwendigen Einrichtungen am Boden – das so genannte Bodensegment – vorbereitet, die Durchführung der Satellitenmission übernimmt und alle damit zusammenhängenden Dienstleistungen erbringt.

In dieser Broschüre werden die Aufgaben des ESOC im Rahmen der Vorbereitung und Durchführung von Satellitenmissionen beschrieben.

INHALTSVERZEICHNIS

EINLEITUNG	2
DIE VORBEREITUNG EINER MISSION	5
DIE DURCHFÜHRUNG EINER MISSION	19
JENSEITS DES REGULÄREN BETRIEBS	25
APPENDIX 1: Vom ESOC betreute Missionen	31
APPENDIX 2: Abkürzungsverzeichnis	32

EINFÜHRUNG



Start einer Ariane-5

Aufgabe des Europäischen Satellitenkontrollzentrums ist die Überwachung und Steuerung von Satelliten und die Einrichtung und der Betrieb der dafür notwendigen Infrastruktur am Boden.

Betrieb von Satelliten

Der Betrieb eines Satelliten umfasst die Planung des gesamten Projekts, die Überwachung und Steuerung des Satelliten, die Navigation im Orbit sowie die Verarbeitung und Weiterleitung der Daten. Mit diesen Arbeitsschritten werden die Ziele der Mission erfüllt, ganz gleich, ob es sich dabei um die Sammlung meteorologischer oder wissenschaftlicher Daten oder um die Bereitstellung von Telekommunikationsdienstleistungen handelt.

Die Überwachung und Steuerung eines Satelliten setzt ein, sobald sich dieser von der Trägerrakete getrennt hat. Zunächst werden die Bordsysteme eingeschaltet, die unter den extremen Bedingungen des Weltraums funktionieren müssen. Bald danach wird die Nutzlast aktiviert und konfiguriert, so dass sie ihre Aufgabe entsprechend der Planung der Nutzer erfüllen kann. Satellitenkontrolle bedeutet Arbeit rund um die Uhr während der gesamten Mission.

Sobald der Satellit vom Boden aus sichtbar ist, wird sein Betriebszustand geprüft. Dabei werden rund 5000 Messwerte pro Minute analysiert. Die Satellitensteuerung erfolgt durch Computerbefehle, die von der Bodenstation zum Satelliten gesendet werden und die Systeme an Bord verändern oder die Nutzlast aktivieren.

Satellitenavigation heißt, einen Satelliten auf die geplante Flug- oder Umlaufbahn zu bringen,

ihn dort zu halten und ihm die richtige Orientierung und Ausrichtung im Weltraum zu geben. Dazu gehört die Festlegung, Vorhersage und Kontrolle der Satellitenflugbahn und die gleichzeitige Bestimmung und Regelung der Fluglage des Satelliten. Bahn- und Lageänderungen erfordern oft komplexe Manöver, für die beispielsweise Steuerdüsen oder Triebwerke an Bord des Satelliten eingesetzt werden.

Infrastruktur am Boden

Die vom ESOC errichtete Bodeninfrastruktur ist zur Unterstützung von Satellitenmissionen unterschiedlichster Art geeignet und umfasst sämtliche dafür notwendigen Einrichtungen und Leistungen. Hierzu gehört ein weltumspannendes Netz von Bodenstationen und Kontrollzentren, Einrichtungen zur Verarbeitung von Nutzlastdaten, Satellitenkontrollsysteme, Simulations- und Kommunikationssysteme. An die Zuverlässigkeit und Wartungsfähigkeit der Bodeneinrichtungen werden hohe Anforderungen gestellt. Durch umsichtige Einführung innovativer Technologien wird eine möglichst hohe Kosteneffizienz des Betriebs erzielt.

Diese Infrastruktur ist hauptsächlich für Missionen der ESA bestimmt, kann aber auch anderen Weltraumorganisationen und Industriefirmen zur Verfügung gestellt werden. Je nach Vertragsvereinbarung kann ESOC alle Arten von Dienstleistungen anbieten, von der Beratung bis zum gesamten Missionsbetrieb.

Erfolg einer Satellitenmission

Die Phase des Satellitenbetriebs ist die abschließende und kritischste Phase eines Weltraumprojekts. Sie muss den Ertrag der

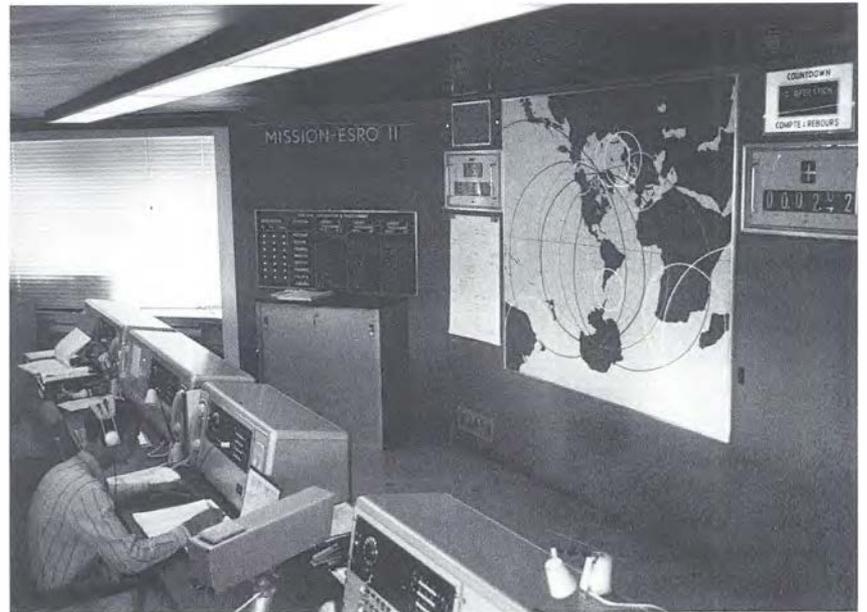
investierten Mittel bringen. Dieser Ertrag umfasst die Menge, Qualität und Verfügbarkeit von Satellitendaten und -diensten, die wiederum sehr stark von der Effektivität der Satellitensteuerung abhängen. Der Erfolg einer Mission wird also an ihrem Ertrag gemessen und an der Fähigkeit des ESOC, Mängel oder Störungen des Satelliten in seiner Umlaufbahn zu beheben.

Seit 1967 hat ESOC mehr als 40 Satellitenmissionen erfolgreich durchgeführt (im Anhang 1 sind sämtliche vom ESOC betreuten Missionen aufgeführt), und jede hat andere Anforderungen an die Fachleute für Satellitensteuerung gestellt. Dazu gehörten:

- wissenschaftliche Satellitenmissionen auf erdnahen, hochexzentrischen und interplanetaren Bahnen
- Missionen zur Erforschung der Schwerelosigkeit auf erdnaher Umlaufbahn
- Erdbeobachtungsmissionen auf erdnaher Umlaufbahn
- meteorologische Missionen auf der geostationären Umlaufbahn
- Telekommunikationsmissionen auf der geostationären Umlaufbahn.

Besonders erwähnenswert sind folgende Satellitenmissionen, für deren Betrieb ESOC allein verantwortlich war:

- Die Steuerung der Raumsonde GIOTTO zu ihrer Begegnung mit dem Kometen Halley im Jahr 1986 war ein spektakulärer Erfolg.



Einer der ersten Kontrollräume für die Mission ESRO 2

Nachdem die Sonde diese gefährliche Begegnung überstanden hatte, wurde sie in eine Art Winterschlaf versetzt. 1990 wurde sie von den Spezialisten im ESOC reaktiviert und durch einen kontrollierten Vorbeiflug an der Erde auf eine neue Bahn zum Kometen Grigg-Skjellerup gebracht, den sie zwei Jahre später erreichte und analysierte. Diese Steuerungsmanöver waren sehr anspruchsvoll und von historischer Bedeutung.

- Die erfolgreiche Durchführung der EURECA-Mission, bei der die europäische wiederverwertbare Raumplattform (European Retrieval Carrier) von der amerikanischen Raumfähre im Weltraum abgesetzt und später wieder geborgen wurde. Dieses Projekt bewies die Fähigkeit des ESOC, in



Integral-Kontrollraum im ESOC

Bildkomposition von MOP-2 und ADC



Meteosat MOP-1

Eureca am Greifarm des Space Shuttle



- enger Zusammenarbeit mit einer anderen Weltraumorganisation (NASA) komplexe Rendezvous- und Andockmanöver vom Boden aus zu steuern.
- Zwischen 1977 und 1995 hat ESOC die sechs europäischen Meteosat-Missionen durchgeführt. Diese Aufgabe umfasste die gesamte Satellitenüberwachung, -steuerung und -navigation, die Kontrolle und Datenverarbeitung der Nutzlast, die Extraktion der Bilddaten sowie die Verteilung und Archivierung der Daten. Dieser Service für die Meteorologie war in seiner Qualität und Kontinuität einzigartig.

Insgesamt hat ESOC vier Missionen vor dem Scheitern bewahrt: TD1 A, Geos-1, Olympus und Hipparcos, von denen letztere besonders bedeutsam war. Im August 1989 versagte das Apogäumstriebwerk des Satelliten Hipparcos, das ihn vom Transfer-Orbit auf seine geostationäre Bahn bringen sollte. Von dort sollte er die Positionen und Eigenbewegungen von rund 100 000 Sternen vermessen. Innerhalb von drei Monaten arbeiteten die Spezialisten im ESOC einen neuen Missionsplan aus, nahmen die erforderlichen Änderungen am Bodensegment und an der Software an Bord des Satelliten vor, so dass die Mission auch von der ungünstigen elliptischen Umlaufbahn aus durchgeführt werden konnte. Hipparcos überlebte sogar seine geplante Lebensdauer, und während der drei Jahre dauernden Mission wurden alle wissenschaftlichen Ziele erreicht.

ESOC verfügt über einen hohen Standard in der Durchführung von Satellitenmissionen. In der Vorbereitungs- und Durchführungsphase werden hochqualifizierte Fachkräfte eingesetzt. Ihre besonderen Fähigkeiten und die ausgefeilten Konzepte für die Kontrolle und den Betrieb der verschiedenen Satellitenprojekte der ESA basieren auf einer mehr als 30-jährigen Erfahrung. ESOC ist als führendes und einzigartiges Expertenzentrum für die Steuerung von Weltraumprojekten in Europa anerkannt. Um seine hohen Qualitätsstandards beizubehalten und zu sichern, ist ESOC seit November 1999 nach ISO 9001 zertifiziert.

Der große Erfahrungsschatz und die umfassende und technologisch fortschrittliche Bodensegment-Infrastruktur sichern die Position des ESOC als Autorität für die Steuerung von Satelliten. ESOC ist damit auch eine wertvolle Erfahrungsquelle für die zukünftigen Projekte der ESA.

DIE VORBEREITUNG EINER MISSION



Einleitung

In den meisten Fällen beginnt die Arbeit des ESOC schon mit der Entwicklung des Konzepts für die Mission und den Satelliten. Dazu gehört vor allem die Analyse der für die Mission am besten geeigneten Umlaufbahn, die Ausstattung des Satelliten, um seine Steuerung optimal zu gestalten, sowie die Einrichtungen am Boden, die zur Betreuung der Mission benötigt werden. Die Einbindung beginnt bereits mit den Durchführbarkeitsstudien und wird während der Satellitenstudien der Phase A fortgesetzt.

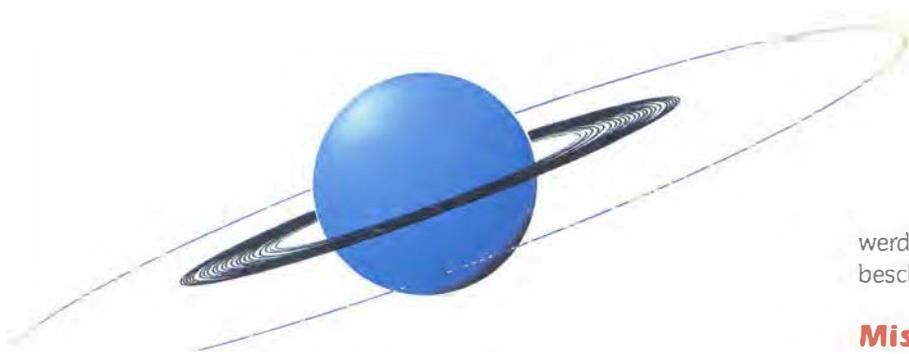
Nach Auswahl und Genehmigung einer Satellitenmission wirkt das ESOC an der Aufstellung der betriebstechnischen Anforderungen für die Phasen B und C/D mit, an der Formulierung der ausführlichen Spezifikation der notwendigen Boden-einrichtungen und -dienste sowie an der Festlegung der erforderlichen Schnittstellen für

den Daten- und Informationsaustausch zwischen dem Kunden und ESOC.

Anschließend beginnen verschiedene Abteilungen des ESOC mit den Aufgaben, die während der Vorbereitungszeit eines Satelliten zu erledigen sind. Dazu gehört die Entwicklung des Satelliten sowie die Integration und Durchführung von Testprogrammen. Diese Phase nimmt in der Regel rund fünf Jahre in Anspruch. Sie gipfelt in der vollen Bereitschaft und Verfügbarkeit sämtlicher Einrichtungen, Dienstleistungen und Teams mit dem „Einfrieren“ aller Softwaresysteme, der Hardware und Dokumentation vor der Aufnahme des Satellitenbetriebs.

Die Aktivitäten des ESOC während der Vorbereitung einer Mission umfassen sehr verschiedene Disziplinen. Sie sind in der unten stehenden Abbildung zusammengefasst und

Vorbereitungsphase		Phase des Starts und der Inbetriebnahme	Routinebetriebsphase	
Management Missionsvorbereitung		Start	Management Missionsdurchführung	
Betriebsvorbereitung	Missionsanalyse Missionsbetrieb Flugdynamik Flugprozeduren		Flugbetrieb	Satellitenbetrieb Flugdynamik-Betrieb Flugprozeduren
Entwicklung der Softwaresysteme	Flugkontrolle Flugdynamik Missionsplanung Bereitstellung der Daten Wartung der Satellitensoftware Simulator / Testwerkzeug		Wartung der Software-Systeme	Flugkontrolle Flugdynamik Missionsplanung Bereitstellung der Daten Satellitensoftware Simulator
Bereitstellung der Anlagen	Bodenstationstechnik Aufbau des Kommunikationsnetzes Vorbereitung des Kontrollraums Installation der Computer-Hardware		Betrieb und Wartung der Anlagen	Bodenstationen Kommunikation Kontrollräume Computer Hardware
Systemintegration und Test			Validierung	
Trainings- und Simulationsprogramm		Training und Simulationen		



werden in den folgenden Kapiteln ausführlich beschrieben.

Missionsanalyse

Als Missionsanalyse bezeichnet man die mathematischen Untersuchungen, mit denen ermittelt wird, wie sich die Ziele der Satellitenmission unter Berücksichtigung der dafür eingesetzten finanziellen Mittel am besten erreichen lassen. Im einzelnen geht es dabei um die Bestimmung der Umlaufbahn, die Wahl der Trägerrakete, die Nutzung der Bodenstationen, die Planung des Satellitenbetriebs und seiner Lebensdauer.

Diese sehr bedeutsamen Aspekte werden vom ESOC in einer sehr frühen Planungsphase der Mission in enger Kooperation mit dem Projektteam in Betracht gezogen. Die Ergebnisse werden an das mit dem Bau des Satelliten beauftragte Unternehmen weitergeleitet, da die ausgewählte Flugbahn und das daraus abgeleitete Betriebskonzept für den Satelliten Einfluss auf viele Dimensionen des Satellitendesigns haben, wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist.

Tabelle 2 zeigt, dass für verschiedene Arten von Satellitenmissionen jeweils unterschiedliche Umlaufbahnen am besten geeignet sind.

Tabelle 1: Einfluss der Umlaufbahn auf das Satellitendesign

Die Art der Mission bestimmt:

- die benötigte Startenergie im Verhältnis zur Satellitenmasse, um die nominale Bahn zu erreichen
- die Wahl der Trägerrakete und die Bahninjektionsstrategie
- die Masse und Dimension des Satelliten

Anforderungen an die Bahninjektion und Steuerung bestimmen:

- das Bahnregelungskonzept (Ein- oder Zweikomponententreibstoff, Feststoff)
- die Zahl und Art der erforderlichen Manöver
- den Treibstoffvorrat an Bord des Satelliten

Die nominale Umlaufbahn bestimmt:

- die Lebensdauer des Satelliten auf der Umlaufbahn und seine Bahnstabilität
- die Erfassung des Satelliten durch die verfügbaren Bodenstationen
- die Typen und Positionen der Lagesensoren
- den Umfang der Sonneneinstrahlung für Stromerzeugung und Temperaturregelung
- die Dauer der Schattenperioden und den Batterieversorgungsbedarf
- die Sendefrequenz des Satelliten zur Bodenstation und die Qualität der Funkverbindung

Tabelle 2: Typen von Umlaufbahnen für verschiedene Missionen

Typ	Umlaufbahn	Missionsart	Satellit
1	erdnahe Kreisbahn erdnahe Bahn über die Pole (auch sonnensynchron)	Wissenschaft Mikrogravitationsforschung Erdbeobachtung	Spacelab Eureca, ISS ERS-1, ERS-2, Envisat
2	hochexzentrisch	Erforschung des erdnahen Raums Astronomie	HEOS, Cluster CosB, Exosat, ISO, XMM, INTEGRAL, FIRST/PLANCK
3	geostationär	Telekommunikation Meteorologie Wissenschaft	OTS, ECS, Marecs, Olympus, Artemis Meteosat Geos, (Hipparcos)
4	Erd/Sonne-Librationspunkt	Sonnenforschung	Soho
5	interplanetar	Erforschung des Sonnensystems	Giotto, Ulysses, Rosetta
6	planetar	Planetenforschung	Cassini/Huygens, Mars Express

Die wesentlichen Kennzeichen der verschiedenen Umlaufbahntypen:

- Bei erdnahen Umlaufbahnen (Typ 1) ist der Startenergiebedarf niedrig und die Kommunikationsentfernung gering. Sie lassen sich direkt mit dem Space Shuttle erreichen und bieten daher die Möglichkeit der Rückführung und Instandsetzung. Ihre Nachteile liegen allerdings im Luftwiderstand in der Hochatmosphäre, sie haben häufige Schattenperioden und sehr kurze Bodenkontaktzeiten.
- Bei hochexzentrischen Umlaufbahnen (Typ 2) ist der Startenergiebedarf verhältnismäßig niedrig. Während des größten Teils der Bahnperiode befindet sich der Satellit außerhalb des Einflussbereichs der Erde. Potentielle Probleme bereiten die Bahnstabilität sowie das häufige Passieren der Strahlungsgürtel der Erde.
- Geostationäre Umlaufbahnen (Typ 3) eignen sich besonders für Telekommunikationssatelliten und bestimmte wissenschaftliche und meteorologische Anwendungen, erfordern aber eine hohe Startenergie.
- Umlaufbahnen um den Erde/Sonne-Librationspunkt (Typ 4) sind für die Beobachtung der Sonne und Sterne geeignet. Der Startenergiebedarf ist hoch, und die Kommunikationsentfernungen sind groß.
- Interplanetare Bahnen (Typ 5) haben einen hohen Startenergiebedarf, der durch gravitationelle Swingbys gemindert werden kann. Es handelt sich dabei meist um Missionen von langer Dauer. Die Kommunikationsdistanz ist sehr groß, und der Satellit entfernt sich häufig weit von der Sonne, was zu einer reduzierten Nutzungsmöglichkeit der Sonnenenergie für die Stromerzeugung führt.
- Planetare Umlaufbahnen (Typ 6) sind ähnlich wie die Bahnen des Typs 5. Der Kontakt zur Bodenstation wird durch Abschattungen unterbrochen, und die Komplexität der Mission ist hoch.

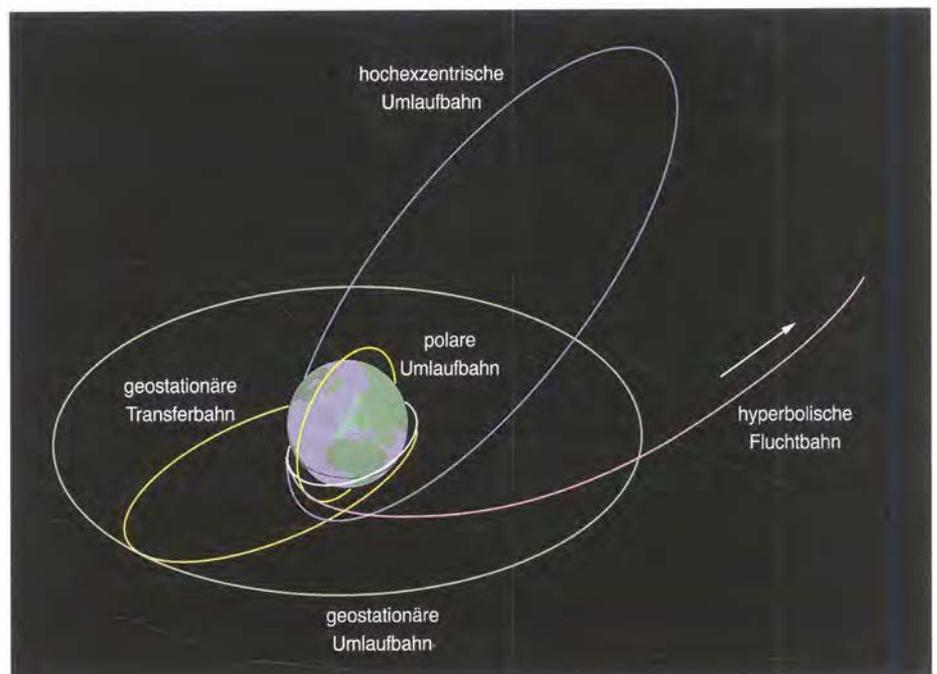
Die verschiedenen Bahntypen sind in der Grafik schematisch dargestellt.

Die Missionsanalyse beschränkt sich keineswegs auf die Wahl der optimalen Bahn. Sie wird während der gesamten Vorbereitungsphase fortgesetzt und beschäftigt sich mit allen Fragen, die die

Umlaufbahn betreffen. Hierzu gehören:

- die Berechnung der jahreszeitabhängigen und täglichen Startfenster;
- die Berechnung bestimmter kritischer Faktoren wie der Kontakt zur Bodenstation, Erdschattenperioden, Sichtbarkeit des zu beobachtenden Himmelsausschnitts und Abschattungen;
- die Definition der Bahninjektionsstrategie und die Optimierung der Bahnmanöver;
- die Genauigkeitsuntersuchung des Navigationssystems und die Abschätzung der Treibstoffbilanz.

Bei diesen Aufgaben stützt sich das Team für Missionsanalyse auf die neuesten Erkenntnisse der Himmelsmechanik, der angewandten Mathematik sowie der Theorie und Abschätzung des Verhaltens von Regelkreisen. Leistungsfähige Workstations und eine Bibliothek komplexer Software Tools und Anwendungen ermöglichen es, sämtliche Aspekte von Flug- und Umlaufbahnen detailliert zu analysieren. Computeranimationen spezieller Weltraumregionen wie beispielsweise der Magnetosphäre oder des Strahlungsgürtels oder auch die dreidimensionale Darstellung der Beziehungen zwischen Satellit, Erde, Sonne und den Planeten werden sowohl zur Unterstützung der Missionsanalyse als auch in der Öffentlichkeitsarbeit und zu Bildungszwecken eingesetzt.





Vorbereitung des Bodensegments

Der Begriff Bodensegment umfasst alle Elemente, Einrichtungen und Dienstleistungen, die zur Unterstützung des Betriebs eines Satelliten am Boden notwendig sind. Hiervon zu unterscheiden ist das Weltraumsegment, das aus dem Satelliten und der Trägerrakete besteht.

Die wichtigsten Elemente des Bodensegments:

- das Bodenstationsnetz. Über die Bodenstationen laufen sämtliche Kommunikationsverbindungen zwischen dem Kontrollzentrum und dem Satelliten
- die Softwaresysteme für Satellitenüberwachung und -steuerung, Flugdynamik, Missionsplanung und die Weiterleitung der Daten
- Computer-Hardware für die Verarbeitung der

Softwaresysteme und Einrichtungen für die Wartung und Validierung der Satelliten-Software

- der Satelliten- und Bodensegmentsimulator
- das Kontrollzentrum mit den Kontrollräumen, von denen der Satellit gesteuert wird
- die Kommunikationssysteme, die all diese Elemente miteinander verbinden
- das trainierte Team für Missionskontrolle
- Betriebspläne und -verfahren sowie die dazugehörigen Betriebsdatenbanken.

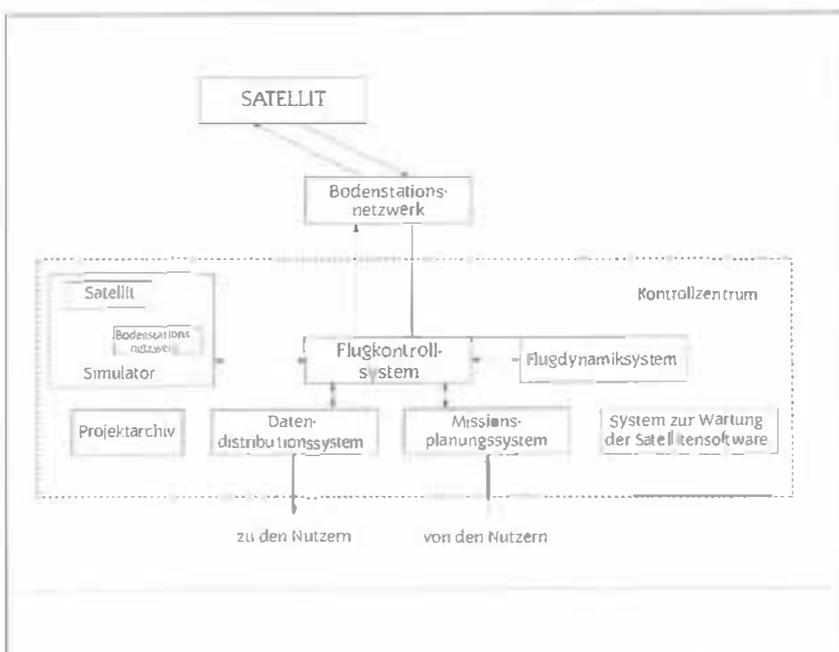
In der nebenstehenden Übersicht sind die Komponenten eines typischen Bodensegments schematisch dargestellt.

Vorbereitung des Betriebs

Die Definition des Bodensegments muss Hand in Hand gehen mit dem Entwurf und der Entwicklung des Satelliten. Jede Mission stellt unterschiedliche Anforderungen an das Satellitendesign, die bei der Erstellung des Bodensegments berücksichtigt werden müssen.

Der erste Schritt ist die Formulierung des Betriebskonzepts für die Mission. Es legt das Gesamtzenario für den Betrieb und die Steuerung des Satelliten, die Nutzlast und die verschiedenen Elemente des Bodensegments fest. Die detaillierten Spezifikationen für das Bodensegment basieren auf dieser Arbeit. Dabei müssen die verschiedenen Phasen der Mission berücksichtigt werden, da jede von ihnen andere Anforderungen an das Bodensegment stellt.

Die Informationen zur Konzeption des Satelliten und seiner Nutzlast, aus denen die Spezifikationen für das Bodensegment abgeleitet werden, liefert das Projektteam. Die wichtigste Informationsquelle ist darüber



hinaus das Benutzerhandbuch für den Satelliten, das von der mit dem Bau des Satelliten beauftragten Firma herausgegeben wird. Es enthält eine ausführliche Beschreibung des Satelliten und seiner Subsysteme und legt fest, was in jeder Phase der Mission in betriebstechnischer Hinsicht zu tun ist. Diese Informationen vermitteln dem Team für die Steuerung des Satelliten den notwendigen Einblick in sämtliche Funktionsabläufe und sind die Basis für die Ausarbeitung der Pläne und der einzelnen Arbeitsschritte, die während der Flugphase des Satelliten umgesetzt werden.

Bodenstationsnetz

Die Bodenstation ist das Bindeglied zwischen dem Satelliten auf der Umlaufbahn und dem Kontrollzentrum am Boden. ESOC hat für die Missionen der ESA ein weltumspannendes Bodenstationsnetz – genannt ESTRACK – errichtet. Die insgesamt 11 Antennen stehen in Kourou (Französisch-Guayana), Malindi (Kenia), Maspalomas (Kanarische Inseln, Spanien), Villafranca (Spanien), Redu (Belgien), Kiruna (Schweden), Perth (Australien) und New Norcia (Australien, 35 m, im Bau). Jede Mission stellt spezifische Anforderungen an die Bodenstationen. Manche Missionen – vor allem solche, die in Kooperation mit anderen Organisationen durchgeführt werden – erfordern den Einsatz zusätzlicher Stationen, die nicht der ESA gehören. Dies können Stationen anderer europäischer Agenturen oder das Bodenstationsnetz der NASA für interplanetare Missionen sein.

Für die unterschiedlichen Phasen jeder Satellitenmission werden Stationen an verschiedenen Orten der Welt benötigt. Bei allen Missionen ist in den ersten Tagen (LEOP =



Phase des Starts und der Inbetriebnahme) ein nahezu ständiger Kontakt mit dem Satelliten erforderlich, damit alle kritischen Steuerungsmanöver zuverlässig durchgeführt werden können, um den Satelliten sicher von der Injektionsbahn auf die vorgesehene Einsatzbahn zu bringen.

Die LEOP-Stationen der ESA in Villafranca (Spanien), Perth (Australien) und Kourou (Französisch-Guayana) gewährleisten durch ihre geographische Verteilung eine einwandfreie Erfassung, vor allem bei Satelliten auf der Übergangsbahn zum geostationären Orbit. Für Satelliten, die auf polare Umlaufbahnen gebracht werden sollen, eignen sich am besten Stationen in der Nähe der Pole, da sie den Satelliten öfter im Blickfeld haben als solche in Äquatornähe. Die ESA-Station in Salmijärvi (Kiruna/Schweden) erfüllt diesen Anspruch sehr gut. Um bei polaren Missionen eine möglichst lückenlose Erfassung des Satelliten in der Anfangsphase zu erzielen, bedarf es mehrerer Stationen entlang der Flugbahn. Daher werden von anderen Weltraumorganisationen Stationen angemietet, die dann mit den ESA-Stationen in Perth, Kourou und Villafranca (Spanien) zusammenarbeiten.

Bodenstationen für Satelliten auf anderen Umlaufbahnen werden so ausgewählt, dass die Zeitdauer der Sichtbarkeit vom Boden möglichst lang ist. Satelliten auf der geostationären Umlaufbahn, die von Punkten auf einem bestimmten Meridian rund um die Uhr

Bodenstation in Maspalomas





**Bodenstation in Perth
(Australien)**

sichtbar sind, bereiten am wenigsten Probleme, da die Station nur auf oder in der Nähe des geeigneten Längengrads liegen muss. Die ESA-Station in Redu (Belgien) ist für eine ganze Reihe geostationärer Satelliten eingesetzt worden.

Jede für eine bestimmte Mission ausgewählte Station muss den spezifischen Merkmalen des zu betreuenden Satelliten angepasst werden. Verschiedene Teile ihrer Ausstattung werden speziell auf die zu übertragenden Kommando- und Empfangsfrequenzen, die Art der Daten und andere Charakteristika der Satellitenmission ausgelegt.

Tabelle 3: Merkmale einer typischen Bodenstation

RF-System:	
Antennendurchmesser	15 m
Sendefrequenz	2025 - 2120 MHz
Empfangsfrequenz S-Band	2200 - 2300 MHz
Empfangsfrequenz X-Band	8400 - 8500 MHz
Äquivalente Strahlungsleistung	74 dBW
G/T S-Band	29 dB/K
G/T X-Band	39 dB/K
Telemetrie:	
Nominelle Datenrate	bis zu 1 Mb/s
Maximale Datenrate	bis zu 105 Mb/s
Übertragungsverfahren	PCM und CCSDS Paketvermittlung
Telekommando:	
Nominelle Datenrate	2 kb/s
Übertragungsverfahren	PCM und CCSDS Paketvermittlung
Bahnverfolgung:	
Entfernungsmessgenauigkeit	1 m
Geschwindigkeitsmessgenauigkeit	0.1 mm/s

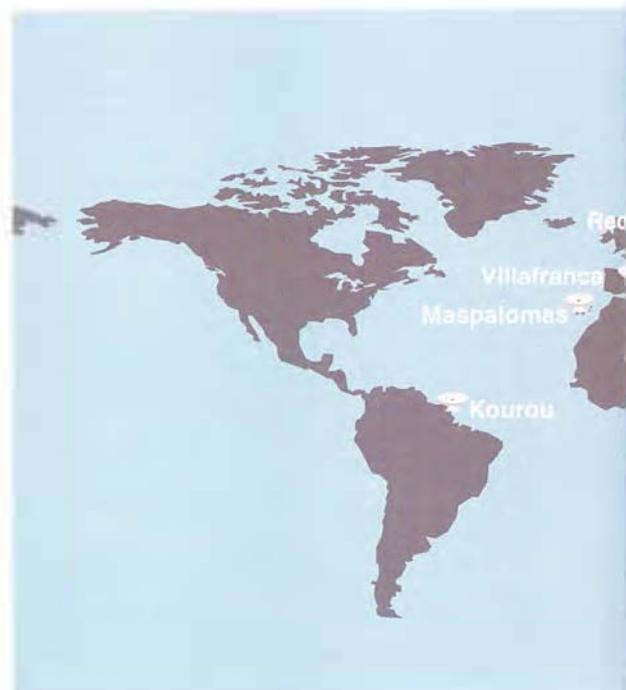
In Tabelle 3 sind die typischen Merkmale einer ESA-Bodenstation, die im S- und X-Band arbeitet, zusammengefasst. Die Karte gibt einen Überblick über die weltweiten Standorte der ESA-Stationen.

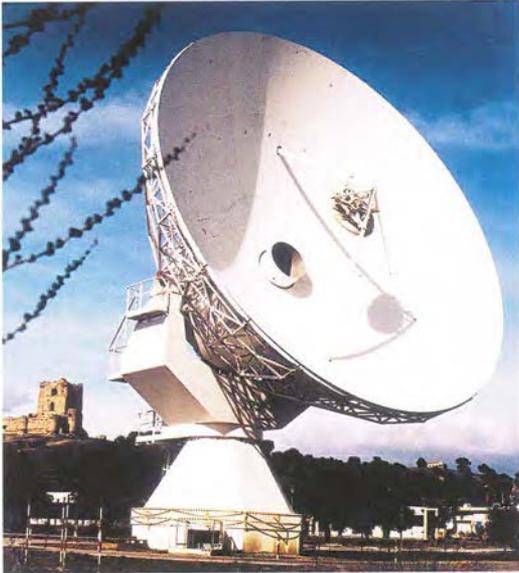
Flugkontrollsysteme

Die im Kontrollzentrum für die Verarbeitung der Telemetriedaten und die Vorbereitung der Telekommandos verwendeten Einrichtungen werden unter dem Begriff Flugkontrollsysteme zusammengefasst. Hierunter fallen sowohl die Software- als auch die Hardware-Systeme, die für jede Satellitenmission benötigt werden. Viele Elemente dieser Systeme sind für verschiedene Missionen anwendbar.

Bei der Suche nach der optimalen Lösung für jedes neue Projekt wird auch geprüft, welche Teile bereits vorhandener Flugkontrollsysteme wieder verwendbar sind und in welchem Ausmaß neue Leistungsmerkmale gefordert sind. Gerade in diesem Bereich lassen sich durch die Anwendung von Standards bei den betriebstechnischen Anforderungen im Satellitendesign Einsparungen bei den Kosten für die Entwicklung von Flugkontrollsystemen erzielen.

Die Systeme für die Interpretation der Telemetriedaten und die Generierung von Kommandosignalen stützen sich auf





ESA-Bodenstation in Villafranca, Spanien

Datenbanken. Die für die Einrichtung der Betriebsdatenbanken notwendigen Informationen werden dem ESOC von dem Unternehmen, das den Satelliten im Auftrag der ESA gebaut hat, in elektronischer Form zur Verfügung gestellt. Die fehlerfreie Erstellung, Validierung und Wartung dieser Informationen ist von höchster Bedeutung für einen zuverlässigen Betrieb des Satelliten.

Die Flugkontrollsysteme werden für eine Vielfalt von Aufgaben konzipiert. Beispiele dafür sind in Tabelle 4 aufgeführt. Von besonderer Bedeutung ist die hohe Zuverlässigkeit unter Echtzeitbedingungen, kurze Antwortzeiten, die garantierte Verfügbarkeit der Daten und die

Eindeutigkeit der Information. Spezielle Einrichtungen sorgen dafür, dass alle Kommandosignale korrekt sind, bevor sie hochgefunkt werden. Sie überprüfen auch die Telemetriedaten, also die empfangenen Daten, auf Fehler. Die Verarbeitung riesiger Datenmengen und das Management komplexer autonomer Systeme an Bord des Satelliten stellen hohe Ansprüche an die Flugkontrollsysteme. Diese laufen mehrheitlich auf redundanten und dadurch hochverfügbaren Unix Client/Server Konfigurationen. Zahlreiche Betriebsfunktionen, vor allem für die Lage- und Bahnregelung und die Borddatenverarbeitung, werden in die



Cluster-Kontrollraum

Mikroprozessorenprogramme an Bord des Satelliten implementiert. Wenn beim Betrieb des Satelliten Probleme auftauchen, ist es oft nötig, die Bord-Software zu modifizieren, beispielsweise um eine potentielle Verschlechterung oder den Ausfall von Bordgeräten (Kreisel oder andere Systeme) des Satelliten zu kompensieren. Die Verantwortung für den Betrieb von Satelliten bedeutet für ESOC nicht nur die Wartung der Satellitensoftware, sondern auch die betriebstechnische Validierung der daran vorgenommenen Modifikationen. Veränderungen der Satellitensoftware können auch Anpassungen am Bodensegment erforderlich machen. Diese müssen entsprechend unter strikter Konfigurationskontrolle modifiziert und betriebstechnisch validiert werden, um Fehler in der Steuerung des Satelliten zu vermeiden.

Flugdynamiksysteme

Ein wichtiger Aspekt der Durchführung von Satellitenmissionen ist die Satellitennavigation.





Computerraum im ESOC

Tabelle 4: Komponenten eines Flugkontrollsystems und ihre Funktionen

Betriebsvorbereitung	Aufstellung und Fortschreibung <ul style="list-style-type: none"> - des Flugbetriebsplans - der Betriebsdatenbank - der Missionsplanungs-Datenbank
Missionsplanung	Verarbeitung von externen Planungsvorgaben Aufstellung und Validierung von Satelliten-Betriebsplänen
Kontrolle des Kommunikationsnetzwerks	Kontrolle der Verbindungen zwischen dem Kontrollzentrum und den Bodenstationen für <ul style="list-style-type: none"> - die Telemetriedaten - die Telekommandos - die Bahnverfolgungsinformationen
Satellitenüberwachung	Telemetrieempfang von den Bodenstationen Zeitabgleich Weltraum – Boden Umwandlung der Telemetriedaten des Satelliten in technische Größen Prüfung des Betriebszustands auf Einhaltung der Grenzwerte Anzeige von Satellitendaten in graphischer oder numerischer Form in Echtzeit oder in schnellem Vor/Rücklauf Online-Zugang zu den Satellitendaten früherer Missionen
Satellitensteuerung	Erzeugung sämtlicher Arten von Satellitensteuerungsbefehlen Online oder zeitlich programmierte Übermittlung der Befehle an die Bodenstationen zur Übertragung an den Satelliten Prüfung der Steuerungsbefehle vor der Übertragung Verifizierung der Ausführung der Befehle nach der Übertragung Registrierung und Anzeige der erteilten Befehle
Nutzereinrichtungen	Kontrolle des Zugangs der Nutzer unter Verwendung eines Privilegiensystems
Satellitensoftware	Wartung der Satellitensoftware für die Computer und Prozessoren im Satelliten Validierung der Softwareänderungen vor der Implementierung an Bord
Datenverteilung	Verteilung von Online- und Offline-Daten an externe Nutzer (andere Kontrollzentren, Datenzentren, Forschungsinstitute)
Leistungsanalyse	Zugang zu und Abruf von historischen Satellitendaten Offline und periodische Analyse und Visualisierung der von Nutzern festgelegten Algorithmen Verfassen von Betriebsberichten

Darunter versteht man die Bestimmung, Vorhersage und Regelung der Umlauf- oder Flugbahn eines Satelliten sowie die Bestimmung und Regelung seiner Ausrichtung und Lage im Weltraum. Das ist das Aufgabenfeld der Spezialisten für Flugdynamik im ESOC, die sich hierfür spezieller Flugdynamiksysteme bedienen.

Um die Ziele seiner Mission zu erreichen, muss jeder Satellit auf einer im Voraus festgelegten Umlaufbahn fliegen. Das Team für Flugdynamik verfeinert die Arbeit der Spezialisten für Missionsanalyse und setzt sie in die Praxis um. Eine ihrer ersten Aufgaben bei jedem Satellitenprojekt ist die Ermittlung der spezifischen Merkmale der Injektionsbahn, nachdem sich der Satellit von der Trägerrakete getrennt hat. Anschließend bereiten sie die Informationen vor, die benötigt werden, um den Satelliten in seine endgültige Umlaufbahn zu bringen.

Dieser erste Schritt umfasst die Verarbeitung der von den Bodenstationen empfangenen Bahnverfolgungsdaten und die Berechnung der Bahnelemente der Anfangsumlaufbahn. Hierfür ist eine genaue Kenntnis der Systeme der Bodenstation und des Satelliten erforderlich. Anschließend muss ermittelt werden, um wieviel die erreichte Umlaufbahn von der gewünschten Bahn abweicht, und es müssen die entsprechenden Veränderungen in der Geschwindigkeit des Satelliten durch Bahnmanöver vorgenommen werden. Dies geschieht mit Hilfe der Steuertriebwerke und -düsen, mit denen der Satellit je nach Bahninjektionsstrategie und Anforderungen der

Mission ausgestattet ist. Interplanetare Sonden erfordern auf ihrer Reise zu einer bestimmten Region im fernen Weltraum häufig eine sich über mehrere Jahre erstreckende Folge von Bahnmanövern. Manchmal führen sie auch Swing-by Manöver an anderen Planeten durch,

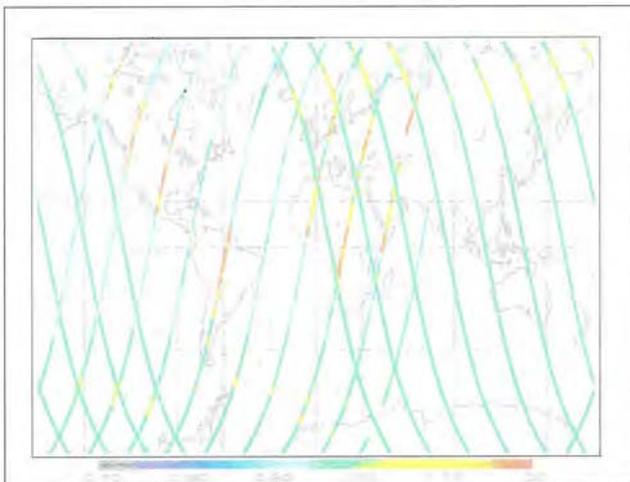


Flugdynamikraum im ESOC

um zusätzlichen Schwung zu bekommen. Besonders hohe Anforderungen an die Kompetenz des Teams und der Systeme für Flugdynamik stellen Manöver, bei denen ein Satellit an ein anderes Raumschiff angekoppelt wird.

Satelliten sind auf ihrer Umlaufbahn geringfügigen Störungen ausgesetzt, wie beispielsweise dem Strahlungsdruck der Sonne oder der Gravitationskraft von Erde, Mond und anderen Planeten. Diese Bahnstörungen summieren sich mit der Zeit und müssen durch kleine, regelmäßige Bahnkorrekturmanöver ausgeglichen werden. Bei einem geostationären Satelliten spricht man von „Positionshaltung“. Es ist wichtig, ihn in einer Position auf einem bestimmten Längen- und Breitengrad zu halten, die nur einen Bruchteil eines Grades umfasst.

Die Umlaufbahn des europäischen Fernerkundungssatelliten ERS wurde so gewählt, dass er in regelmäßigen Intervallen dieselben Erdregionen überfliegt. Durch den Restluftwiderstand auf seiner 800 km hohen Bahn verliert der Satellit allmählich an Höhe, und die exakte



Künstlerische Darstellung der vier Cluster-II-Satelliten

Wiederholung der Bodenspur wird beeinträchtigt. Da der Restluftwiderstand von der Dichte der Atmosphäre abhängt, müssen auch Vorhersagen zur Sonnenaktivität bei der Planung der Bahnmanöver berücksichtigt werden.

Nicht nur die Flugbahn des Satelliten, auch seine korrekte Ausrichtung im Weltraum muss regelmäßig sichergestellt werden. Empfindliche Instrumente wissenschaftlicher Satelliten werden auf ausgewählte Sterne oder Sternnebel ausgerichtet, müssen dabei aber von der starken Strahlung der Sonne oder der Erde abgewandt bleiben. Manche Satelliten führen Hunderte von Beobachtungen verschiedener Himmelsobjekte durch, wobei die Zielrichtung des Satelliten in rascher Folge von einem Objekt zum anderen wechseln kann. Im Gegensatz dazu müssen die Antennen von Fernmeldesatelliten über Jahre hinweg konstant auf die Erde weisen.

Informationen über die Fluglage des Satelliten im Raum liefern die an ihm angebrachten Lagesensoren. Manche von ihnen geben die Ausrichtung in Bezug auf die Sonne oder die Erde an, andere sind für die Identifikation von Sternkonstellationen ausgelegt (Sternsensoren), und wiederum andere messen die Veränderung der Lagegeschwindigkeit. Unter Anwendung neuester numerischer Schätzverfahren für die Analyse dieser Informationen ist das Flugdynamiksystem in der Lage, die Fluglage des Satelliten mit hoher Präzision zu messen, oft mit einer Genauigkeit von wenigen Bogensekunden. Die Ergebnisse werden an die Nutzer der Satellitendaten zur Unterstützung der Datenauswertung weitergeleitet.

Lageänderungen werden durch den Einsatz der am Satelliten angebrachten Steuertriebwerke oder -düsen durchgeführt. Die Informationen, die der Satellit zur Ausführung der Manöver benötigt, werden mit Hilfe des Flugdynamiksystems vorbereitet. Dazu gehören beispielsweise Daten für die Zündung der Steuerdüsen, die Regelung der Lagesensoren oder Daten für die Kontrolle der Sicherheitsvorkehrungen an Bord, wie zum Beispiel dem Vermeiden von Sonneneinstrahlung. Diese Informationen werden vom Flugkontrollsystem generiert und in Form von Steuerungsbefehlen über die



Bodenstation zum Satelliten gesendet. Der Ablauf der Manöver wird in Echtzeit genau beobachtet, um das einwandfreie Funktionieren der Bordsysteme zu kontrollieren und die Sicherheit des Satelliten jederzeit zu gewährleisten.

Wie alle empfindlichen Systeme müssen die Instrumente für die Lage- und Bahnvermessung und -regelung geeicht werden. Zusätzlich zu den Leistungsschätzungen für die einzelnen Steuerdüsen werden Schätzungen für die Sensorausrichtungs- und -messfehler benötigt. Da diese Parameter sich mit der Zeit verändern können, müssen während der gesamten Mission Nachmessungen vorgenommen werden. Eichdaten sind auch notwendig, um den Treibstoffverbrauch des Satelliten zu registrieren und anhand dieser Daten die noch verbleibende Nutzungsdauer des Satelliten vorhersagen zu können.

Die Erfahrung des ESOC im Bereich der Flugdynamik ist in Europa unübertroffen. Sie stützt sich auf die besonderen Fähigkeiten hervorragend ausgebildeter Mitarbeiter und die Entwicklung anspruchsvoller Systeme für Flugdynamik. Wie die anderen Einrichtungen des Bodensegments muss das System für

Tabelle 5: Komponenten eines Flugdynamiksystems und ihre Funktionen

Lagebestimmung und -regelung	Verarbeitung von Telemetriedaten, Lageschätzung Vorbereitung der Lageregelungsmanöver Drehmoment- und Treibstoffbilanz
Eichung	Eichung der Steuerdüsenleistung und -ausrichtung Eichung der Leistung und Ausrichtung der optischen Sensoren Eichung der Kreisel
Bahnbestimmung und -regelung	Verarbeitung von Bahnverfolgungsdaten Berechnung der Bahnelemente Vorhersage der Sichtbarkeit für die Bodenstationen, der Schattenperioden, usw. Erstellen der Schätzung für die Ausrichtung der Bodenstationsantennen Vorbereitung der Bahnregelungsmanöver Bemessung des Treibstoffvorrats
Unterstützung der Missionsplanung	Bereitstellung von Planungsdaten über die Umlaufbahn Vorbereitung von Daten zur Fluglage und -bahn für die Missionspläne Vorhersage der Drehmoment- und Treibstoffbilanz
Erzeugung von Hilfsdaten	Zusammenstellung historischer Fluglagedaten Erzeugung von Bahndaten Ermittlung satellitenspezifischer Eichdaten
Qualitätssicherung	Unabhängige Systemvalidierung Überwachung sämtlicher Flugdynamikaufgaben und -funktionen Überprüfung von Leistung und Qualität der Flugdynamik



Flugdynamikraum



Flugdynamik sorgfältig vorbereitet und auf die Anforderungen jeder neuen Satellitenmission zugeschnitten werden. Diese Aufgabe wird erleichtert durch die missionsunabhängige Software-Infrastruktur ORATOS (Orbit and Attitude Operations System). Die wichtigsten Komponenten und Funktionen eines typischen Systems für Flugdynamik sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Einrichtungen des Kontrollzentrums

Zusätzlich zu den Hard- und Software Systemen, die für den Betrieb des Satelliten eingesetzt werden, kommen eine Reihe weiterer Einrichtungen zur Unterstützung des Satellitenbetriebs zum Einsatz. Dazu gehören die Kontrollräume im Kontrollzentrum und das Kommunikationsnetzwerk, das die verschiedenen Computersysteme inner- und außerhalb des Kontrollzentrums miteinander verbindet. ESOC verfügt über folgende Kontrollräume:

- Hauptkontrollraum. Von dort wird der Satellit in der Anfangsphase der Mission (LEOP)

gesteuert (Bild unten)

- Flugdynamikraum
- Projektunterstützungsraum. Hier stehen Projektmitarbeiter und Vertreter der Industrie während der Anfangsphase der Mission (LEOP) dem ESOC Team beratend zur Seite
- Missionsspezifische Kontrollräume. In diesen Räumen wird die Satellitenkontrolle während der Routinephase einer Mission durchgeführt.
- Kontrollraum für die Bodenkonfiguration. Hier werden die Verbindungen und Systeme für die Übertragung von Daten und Steuerungsbefehlen zwischen den Bodenstationen und dem Kontrollzentrum überwacht und konfiguriert.

ESOC betreibt weitere spezialisierte Kontrollzentren in folgenden ESA-Niederlassungen:

- Kontrollzentrum für wissenschaftliche Satelliten in der Bodenstation Villafranca bei Madrid
- Kontrollzentrum für Telekommunikations-Satelliten in der Bodenstation Redu in Belgien.

Hauptkontrollraum im OCC, ESOC



Ein weiterer wichtiger Aspekt sind die Einrichtungen für zuverlässige Kommunikationsverbindungen rund um die Uhr zwischen jeder Bodenstation und dem Kontrollzentrum zur Übertragung von Telemetriedaten, Steuerungskommandos sowie für die Sprechverbindung und den Datenverkehr. ESOC hat ein Kommunikationsnetzwerk zur Ergänzung des Bodenstationsnetzes errichtet und stellt Einrichtungen für andere Kommunikationsaufgaben bereit, wie beispielsweise die Verbindungen zwischen den verschiedenen Niederlassungen der ESA und ihren Kooperationspartnern in Industrie, Forschungsinstituten und anderen Organisationen.



Integration und Test der Bodensegment-Einrichtungen

Zur Sicherstellung einer fehlerfreien Funktion werden Testreihen durchgeführt, die sämtliche Stufen der Integration des Bodensegments umfassen. Sie fangen an mit der Prüfung von Geräteeinheiten und gehen über den Test von Subsystemen und größeren Systemen bis hin zum abschließenden Probelauf der gesamten Betriebseinrichtungen am Boden. Nur so ist ein einwandfreier Zugang zum Satelliten und das volle Erreichen der Missionsziele möglich.

Diese Aktivitäten erstrecken sich über einen Zeitraum von mehreren Monaten gegen Ende der Vorbereitungsphase. Sie erfordern den Einsatz eines Expertenteams für die Integration und den Testlauf des Bodensegments, das zunächst einen umfassenden Testplan erstellt und ihn dann Schritt für Schritt durchführt. Tabelle 6 zeigt einige der wichtigsten Tests, die in dieser Phase durchgeführt werden.

Satellitensimulatoren

Das wichtigste Instrument für die Validierung der Bodensegmentssysteme, Betriebsdatenbanken und Flugkontrollverfahren ist der so genannte Satellitensimulator. Hierbei handelt es sich um ein ausgeklügeltes Softwaresystem, das den Satelliten genau nachbildet. Wenn der Simulator mit dem Missionskontrollsystem verbunden wird, kann das Team für Satellitensteuerung den Betrieb des Satelliten ganz realitätsnah trainieren. Die Simulatoren werden von der Simulatorgruppe im ESOC entwickelt. Dabei stützt sie sich auf folgende

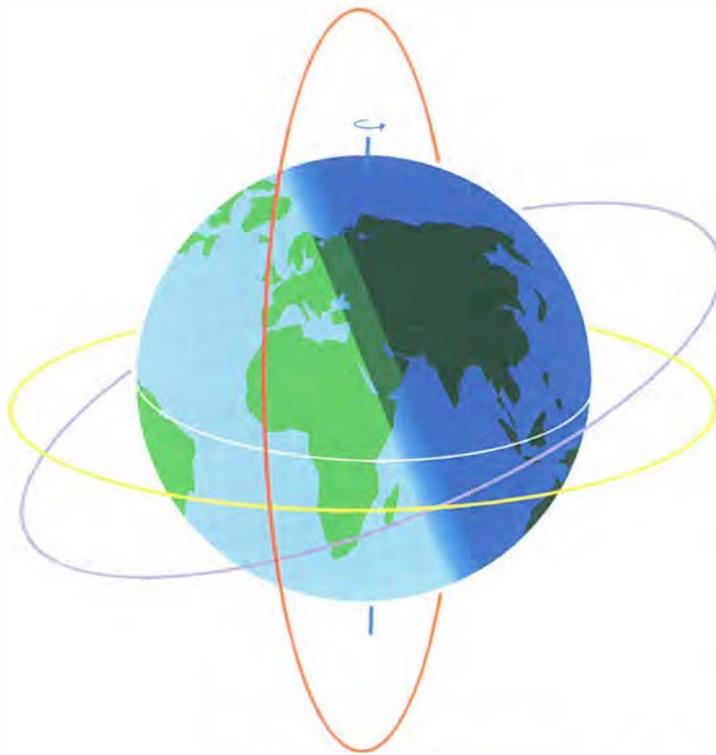
Informationsquellen: die technische Beschreibung des Satelliten, die detaillierten Unterlagen zum Satellitendesign und die Papiere mit den Anforderungen an die Satellitensoftware. Der Simulator besteht aus wieder verwendbaren Modulen, denen missionsspezifische Module hinzugefügt werden.

Tabelle 7 fasst die Merkmale eines typischen Simulators für einen Forschungssatelliten zusammen.

Kontrollraum für
Erdebeobachtung

Tabelle 6: Integrations- und Validierungstests

Test	Anwendungsbereich
Abnahme des Software Systems	Validierung sämtlicher Funktionen der gelieferten Software-Systeme
Validierung der Datenbank	Überprüfung der Richtigkeit aller Eingaben in die Betriebsdatenbanken
Verfahrensvalidierung	Validierung aller Betriebsverfahren
Stationsabnahmetests	Validierung aller Bodenstationsfunktionen
RF-Verträglichkeitstests	Test der Nahtstellen zwischen den RF-Systemen des Satelliten und der Bodenstation
Systemvalidierungstests	Validierung aller Flugkontroll- und Flugdynamiksysteme mit dem Satellitenflugmodell in Online-Tests
Betriebsvalidierungstests	Validierung des Bodensegments im Betrieb (Gesamterprobung)
Missionsbereitschaftstests	Feststellung der Bereitschaft vor Beginn des Missionsbetriebs



Simulationsprogramm

Das Simulationsprogramm wird am Ende der Vorbereitungsphase durchgeführt. Ziel ist es, alle geplanten Operationen unter realistischen Bedingungen durchzuspielen und die Spezialisten für Satellitensteuerung so zu trainieren, dass sie als eingespieltes Team sämtlichen Situationen gewachsen sind. Durch das Simulationsprogramm wird aus gut

geschulten Einzelpersonen ein Team für die Steuerung des Satelliten. Dieses Ziel wird mit der Durchführung ausgewählter Aufgaben des Satellitenbetriebs unter realistischen Bedingungen erreicht und mit dem Schaffen eines Trainingsumfelds, das sich von den tatsächlichen Arbeitsbedingungen kaum unterscheidet und in dem das Missionskontrollteam mit dem Simulator wie mit einem echten Satelliten arbeitet.

Zu den typischen Fällen, die geübt werden, gehören beispielsweise:

- Zusammenarbeit mit dem Raumfahrtzentrum Kourou vor dem Start bis zum Abheben der Rakete und der Trennung des Satelliten
- Trennung des Satelliten bis zur Dreiachsenstabilisierung
- Lage- und Bahnregelungsmanöver mit der zugehörigen Eichung
- Überprüfung der Satellitensubsysteme
- Einschaltung und Überprüfung der Instrumente
- Routinebetrieb incl. Austritt aus dem Perigäum, Beginn der Beobachtungen, Schattenphase, Eintritt ins Perigäum etc.

Es wird großer Wert darauf gelegt, dass sowohl nominale als auch unvorhergesehene Fälle trainiert werden. Der Simulationsleiter gibt absichtlich Störfälle ein, die den Trainingsteilnehmern nicht bekannt sind, um sie in der Erkennung und Beseitigung von Fehlern zu schulen. Die Simulationen sind außerdem ein geeignetes Mittel zur Überprüfung der Missionsdokumentation und der Steuerungsverfahren und um sicherzustellen, dass das Bodensegment vorschriftsmäßig funktioniert.

Solche Simulationen haben auch schon kleinere Probleme im Satellitendesign zum Vorschein gebracht, die beim Satellitenintegrations- und -erprobungsprogramm nicht erkannt wurden.

Nach Abschluss des Simulationsprogramms und nach mehreren Jahren der Vorbereitung ist das Missionskontrollteam hinreichend geschult und bereit, seine Verantwortung bei der Leitung und Durchführung des Satellitenbetriebs zu übernehmen.

Tabelle 7: Die wesentlichen Merkmale eines Simulators für Forschungssatelliten

Untersuchungsgegenstand	Modell
Satellitensubsysteme	Vollrepräsentative Hardware, Software, Mechanismen, pyrotechnische Elemente, Motoren, Ausleger usw. Wirklichkeitsgetreue Telemetrie in allen Betriebsarten Richtige Ausführung der Steuerbefehle
Satellitensoftwaresysteme	Hardware-Emulation Ausführbare Satellitensoftware
Satellitendynamik	Masseeigenschaften des Satelliten Ausführung der Lageregelungsmanöver Sichtbereiche der Lagesensoren
Satellitenumfeld	Bahnbewegung und Bahnmanöver Schatten- und Temperatureingaben Bodenstations-Kontaktzeiten Stermkataloge (einschließlich Planeten)
Schnittstellen des Kommunikationsnetzwerkes	Bodenstationen Kommunikation
Simulatorsteuerung	Schneller als Echtzeit Absichtlich eingegebene Störungen Simulatorüberwachung Wiedergabeeinrichtung für Telemetrie und Steuerungsbefehle

DIE DURCHFÜHRUNG EINER MISSION

Kontaktaufnahme mit dem Satelliten

Für die Durchführung der Satellitensteuerung muss ein regelmäßiger Kontakt zum Satelliten bestehen. Er wird hergestellt, sobald der Satellit in Reichweite einer geeigneten Bodenstation gelangt. Geeignet ist eine Station dann, wenn sie auf die Kommunikation mit dem Satelliten maßgeschneidert wurde.

Sofern sich der Satellit nicht auf einer geostationären Umlaufbahn befindet, bei der er an einer bestimmten Position am Himmel stillzustehen scheint, taucht er am Horizont auf und wird dann für die Bodenstation sichtbar. Anhand der rechnerisch für die Satellitenbahn ermittelten Werte richtet die Station im Voraus ihre Antenne auf die Flugbahn des Satelliten aus. Sobald der Satellit auftaucht, schaltet sich die Station auf sein Funksignal auf und beginnt mit der automatischen Verfolgung seines Flugs über den Himmel. Sollte das Signal gestört werden, setzt die Antenne die Verfolgung auf der Basis der bis jetzt bekannten Umlaufbahn und der daraus berechneten Flugbahn fort.

Schon bald nach der Erfassung des Funksignals kann die Bodenstation die Telemetriedaten demodulieren und dekodieren und sie unmittelbar an das Kontrollzentrum weiterleiten. Damit erhält das Missionskontrollteam die Daten, die es benötigt, um den Zustand des Satelliten zu beurteilen. Zu diesem Zeitpunkt übermittelt die Bodenstation ein Funkfrequenz-Trägersignal zum Satelliten. Um sicherzustellen, dass der Empfänger an Bord des Satelliten dieses Signal erfasst, und um den Dopplereffekt zu kompensieren, der durch die schnelle Fortbewegung des Satelliten entsteht, lässt man die Frequenz für die Funkverbindung zum

Satelliten um den nominellen Wert schwanken. Sobald die Telemetriedaten bestätigen, dass der Empfänger an Bord das Signal erfasst hat, kann die Bodenstation alle vom Kontrollzentrum empfangenen Steuerungsbefehle nach oben senden.

Alle Steuerungsbefehle, die die Bodenstation vom Kontrollzentrum erhält, werden von einem speziellen Gerät geprüft und durch Modulierung der Trägerfrequenz zum Satelliten übertragen.

Während die Bodenstation Steuerungsbefehle sendet und Telemetriedaten empfängt, kann sie Entfernungs- und Geschwindigkeitsmessungen vornehmen, die sie zum Kontrollzentrum zur



Satellitenkontrolleure im ESO



Envisat

Berechnung der Umlaufbahn weiterleitet. Während der gesamten Kontaktzeit verfolgt die Bodenstation den Satelliten und versorgt das Kontrollzentrum mit Telemetriedaten und sendet eventuelle Steuerungsbefehle ab. Aus Gründen der örtlichen Sicherheit wird die Funkverbindung zum Satelliten abgebrochen, sobald der Erhebungswinkel der Bodenstationsantenne beim Abstieg des Satelliten auf 5° über dem Horizont abfällt. Wenn der Satellit sich schließlich dem Horizont nähert und verschwindet, geht auch der Telemetrikontakt verloren. Damit ist der Durchgang beendet.

Phase des Starts und der Inbetriebnahme

Für den Start und das Management der Trägerrakete, die den Satelliten ins All befördert, ist der Betreiber der Trägerrakete verantwortlich. ESOC übernimmt die Verantwortung für die Steuerung des Satelliten, sobald er sich von der Trägerrakete getrennt hat – in der Phase des Starts und der Inbetriebnahme (Launch and Early Orbit Phase – LEOP), wenn der erste Bodenkontakt zu Stande gekommen ist.

Diese Phase ist kritisch, da der Satellit innerhalb eines festen Zeitrahmens voll betriebsbereit gemacht werden muss. Hierzu gehört auch die Entfaltung mechanischer Teile wie beispielsweise der Solarzellenausleger und Antennen, die während des Starts in gefalteter Position am Satelliten anliegen. Außerdem muss er von der Bahn, auf die ihn die Startrakete

Bodenkonfigurationskontrollraum



befördert hat, in die für den Routinebetrieb vorgesehene Umlaufbahn manövriert werden. Weitere zeitkritische Aktivitäten sind die Schalt- und Regelvorgänge, mit denen an Bord die notwendigen Voraussetzungen für die Lagebestimmung und -regelung geschaffen werden, und die Konfigurierung des Satelliten für seine Aufgaben.

Die Aktivitäten dieser Phase werden von einem erweiterten Missionskontrollteam unter der Leitung eines Flugdirektors durchgeführt. Er ist für die Leitung, Koordination und Durchführung der Satellitensteuerung verantwortlich. Dem Missionskontrollteam stehen die für die Entwicklung des Satelliten verantwortlichen Projektteams und Fachleute aus der Industrie zur Seite. Damit wird sichergestellt, dass während dieser kritischen Phase das gesamte Fachwissen zur Verfügung steht.

Das Missionskontrollteam besteht hauptsächlich aus Fachleuten für Satellitensteuerung und Flugdynamik. Sie arbeiten an den Konsolen im Hauptkontrollraum (Main Control Room – MCR) des Kontrollzentrums rund um die Uhr während der gesamten LEOP-Phase. Zu den Schlüsselfiguren im Team gehören der Leiter der Satellitensteuerung, der Leiter des Bodenbetriebs und der Koordinator für Flugdynamik.

Jeder von ihnen leitet die Aktivitäten eines speziell trainierten Teams von Fachleuten, so dass alle geplanten Operationen durchgeführt werden können und dass unvorhergesehene Situationen am Satelliten oder Bodensegment bewältigt werden können.

In der Anfangsphase wird das Missions-



Hauptkontrollraum

kontrollteam von einer Reihe weiterer Mitarbeiter unterstützt. Sie sind verantwortlich für die Computer-Hardware und Software, für die Kommunikations- und Bodenstationseinrichtungen, das Kontrollzentrum sowie die technischen Dienste und stehen rund um die Uhr zur Verfügung.

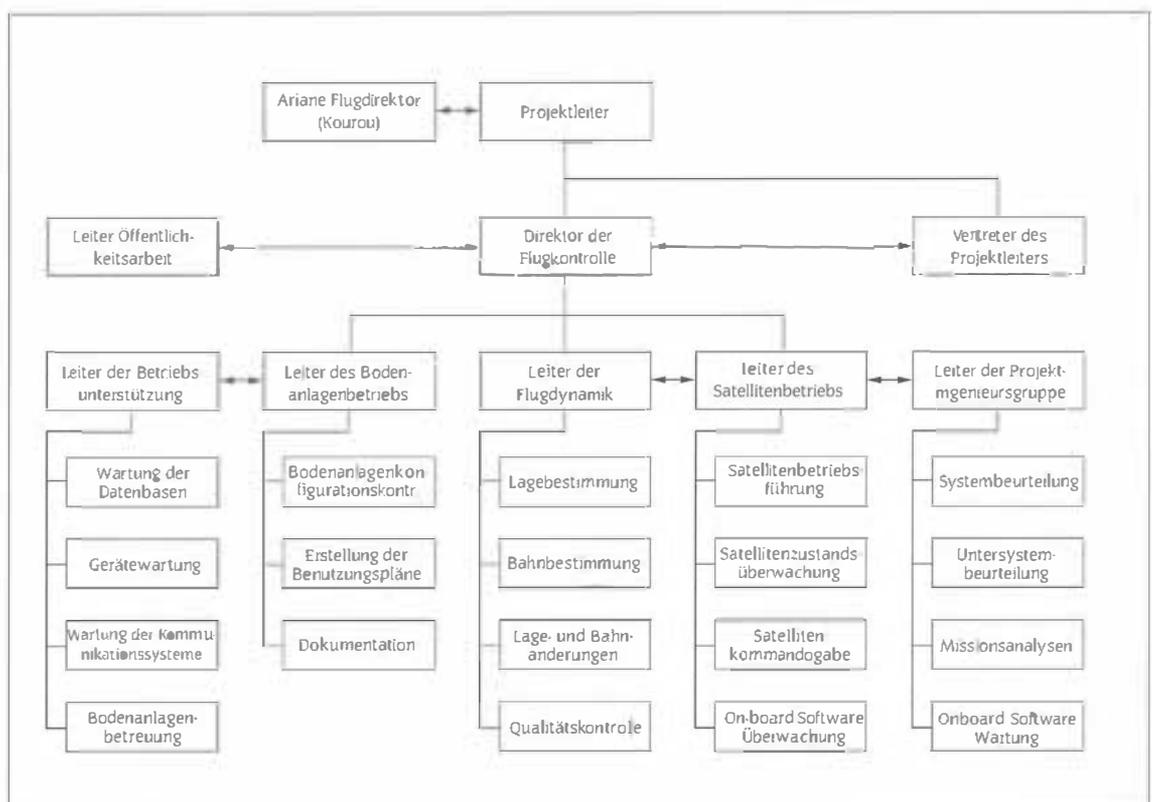
Die folgende Abbildung zeigt das Organigramm eines typischen Flugkontrollteams während der LEOP-Phase.

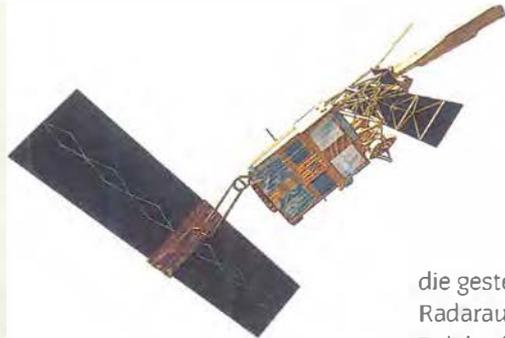
Sobald die Ziele dieser kritischen Phase erreicht sind (d.h. der Satellit befindet sich auf der vorgesehenen Umlaufbahn, die Antennen und Ausleger sind ausgefahren, und der Nutzlastbetrieb wurde eingeleitet), übernimmt ein reduziertes Team den Betrieb des Satelliten. Es arbeitet in einem speziell für den Satelliten eingerichteten Kontrollraum (Dedicated Control Room – DCR) und steuert von dort die folgenden Phasen der Satellitenmission – den Routinebetrieb oder auch die Reise in entfernte Regionen des Weltraums.

Planung des Routinebetriebs

Nachdem die LEOP Phase abgeschlossen und der Satellit auf seiner Umlaufbahn gründlich überprüft wurde, beginnt die Routinebetriebsphase. Jetzt liefert der Satellit die geplanten Dienstleistungen oder „Produkte“, d.h. Daten. Auch in dieser Phase werden alle Aktivitäten sorgfältig geplant und zuverlässig durchgeführt.

Der dafür notwendige Planungsprozess hängt von der Art der Satellitenmission und Steuerung ab. Die Steuerungspläne werden einige Wochen im Voraus aufgestellt und decken mehrere Tage ab. Sie müssen nicht nur





die gestellten Aufgaben, beispielsweise Radaraufnahmen einer bestimmten Region der Erdoberfläche, sondern auch die mit dem Betrieb des Satelliten einhergehenden Sachzwänge berücksichtigen. Dabei kann es sich um eine Beschränkung der unter bestimmten Bedingungen verfügbaren Energie handeln, um Restriktionen der an Bord vorhandenen Speicherkapazität für Telemetriedaten oder um Einschränkungen der möglichen Ausrichtung des Satelliten auf seiner Umlaufbahn. Wenn bei der Planung Konflikte erkannt werden, müssen sie durch entsprechende zeitliche Verschiebungen oder eine Neuformulierung der Pläne beseitigt werden.

Die Planungsvorgaben werden aus den Anforderungen der Nutzer, externer Einrichtungen und denen des Teams für Satellitensteuerung abgeleitet. Zusätzlich zu den nutzerorientierten Aktivitäten müssen alle Maßnahmen zur Satellitensteuerung, d.h. die Kontrolle seiner Bahn und Fluglage, die Erhaltung der Funktionsfähigkeit und Sicherheit sowie alle weiteren notwendigen Steuerungsmaßnahmen geplant werden. All diese Planungen werden in einem Gesamtplan für den Satelliten und einen bestimmten Zeitraum zusammengefasst.

Sobald die Steuerungspläne aufgestellt sind, müssen sie in die entsprechenden Steuerungsbefehle umgesetzt werden. Sie werden zu gegebener Zeit zum Satelliten gesendet, damit er die geplanten Operationen ausführt.

Routinebetriebsphase

In der Routinebetriebsphase des Satelliten werden Telemetrie- und Telekommandodaten

zwischen dem Satelliten und dem Kontrollzentrum ausgetauscht – analog zum Betriebskonzept, das während der Entwicklungsphase des Satelliten und des Bodensegments ausgearbeitet wurde. Der Umfang dieser Interaktionen hängt von folgenden Faktoren ab:

- Art der Mission (Telekommunikation, Beobachtung, Erforschung des fernen Weltraums etc.)
- Art der Umlaufbahn (geostationär, hochexzentrisch etc.)
- Häufigkeit und Dauer des Bodenkontakts (Zahl der Stationen und Sichtbarkeit)
- Vorkehrungen an Bord des Satelliten für die Ausführung der Steuerbefehle und die Übertragung der Telemetriedaten zum Boden
- Komplexität der durchzuführenden Aktivitäten.

Ein Erdkundungssatellit (wie ERS-2) auf einer niedrigen polaren Umlaufbahn (mit einer Periode von 100 Minuten) ist nur bei 10 von 14 Umläufen jeweils 10 Minuten lang sichtbar. Wenn ein solcher Satellit außerhalb des Bodenkontrollbereichs ist, muss er komplexe Operationen ausführen und die Telemetriedaten an Bord speichern können. In diesem Fall muss das Kontrollzentrum alle Steuerbefehle für die späteren Umläufe im Voraus in einem Zeitplan festlegen.

Er wird dann in den Rechner des Satelliten eingespeist und später ausgeführt. Jedes Mal, wenn der Satellit eine geeignete Bodenstation überfliegt, gibt das Kontrollzentrum weitere Weisungen in den Zeitplan ein und ruft die seit dem letzten Durchgang im Satelliten gespeicherten Daten ab. Für das Betriebskonzept einer solchen Satellitenmission sind folgende Anforderungen charakteristisch:

Tabelle 8: Routinebetrieb des Forschungssatelliten XMM

- großer Planungsaufwand
- Erstellung, Einspeisung und Ausführung eines Bordzeitplans
- Speicherung und Entladung der Telemetriedaten
- ein hohes Maß an autonomer Sicherheitsüberwachung und -steuerung an Bord des Satelliten.

Die Sichtbarkeit von interplanetaren Sonden ist ganz anders. Sie kann an manchen Tagen bis zu 10 Stunden betragen, dazwischen kann aber auch tage- oder wochenlang überhaupt kein Kontakt möglich sein. Eine weitere Erschwernis ist die Zeit, die die Steuerbefehle brauchen, um den Satelliten zu erreichen und die Telemetriedaten, um zur Erde zu gelangen. Sie sind trotz Lichtgeschwindigkeit manchmal ein paar Stunden unterwegs. In einem solchen Fall muss das Betriebskonzept ähnlich sein wie das von ERS, das heißt Verwendung eines Bordzeitplans und Datenspeicherung an Bord. Ein Satellit dieser Art wäre aber auch in der Lage, während seiner Monate dauernden Reise in den fernen Weltraum seine Sicherheit selbst zu überwachen. Das heißt, dass sich Heizungen automatisch einschalten, um die Gerätetemperaturen konstant zu halten, dass fehlerhafte Geräte erkannt und Reserveeinheiten automatisch angeschaltet werden oder dass der Satellit sogar eine Serie von Manövern eigenständig durchführt, um nach einem Geräteausfall an Bord oder am Boden den Kontakt mit dem Kontrollzentrum wiederherzustellen. Die Aufgabe des Kontrollzentrums ist es, alle erforderlichen Instruktionen für diese und andere automatischen Bordfunktionen vorzubereiten, was häufig mit komplexen Analysen und Simulationen verbunden ist. Im Vergleich zu solch „exotischen“ Missionen erlaubt ein geostationärer Satellit, der rund um die Uhr sichtbar ist, ein viel einfacheres Betriebskonzept.

Ganz gleich, wie das Betriebskonzept aussieht, ist es die Aufgabe des Kontrollzentrums, alle notwendigen Maßnahmen entsprechend den Anforderungen der Satellitenmission durchzuführen. Tabelle 8 zeigt die typischen Routineoperationen einer wissenschaftlichen Beobachtungsmission (XMM).

Zu Beginn des Kontakts mit dem Kontrollzentrum:

- Erfassung der Satellitentelemetrie und Bestätigung der Funktionsfähigkeit des Satelliten
- Einleitung der Steuerbefehlsübertragung und der Entfernungsmessungen
- Bestimmung der Lage des Satelliten mit Hilfe von Sternensensordaten
- Regelung der Satellitentemperaturen und Überprüfung der Temperatursituation des Teleskops
- Überprüfung der Bordstromversorgung und Aufladen der Batterien, falls erforderlich
- Klarschaltung der Instrumente für den Beginn der Beobachtungen (Laden der Programme)
- Eichung der Lagesensoren
- Einspeisung der Befehle für die Überwachung und Regelung der Betriebssicherheit des Satelliten und der Instrumente

Wissenschaftliche Beobachtungen:

- Einleitung der Sequenz von Lageänderungsmanövern für die geplanten Beobachtungen (Neuausrichtung jeweils nach ein paar Stunden)
- Änderung der Instrumenteneinstellung für jede Neuausrichtung des Satelliten
- Fluglage und Drehmomentüberwachung
- Eichung der Instrumente
- Umschaltung von einer Bordantenne auf eine andere, um den Kontakt zu halten (falls erforderlich)
- Weiterleitung der wissenschaftlichen Daten an das Wissenschaftszentrum

Vor dem Ende des Kontakts mit dem Kontrollzentrum:

- Umschaltung der Instrumente in den Sicherheitsmodus (Vermeiden der Saturierung in den Strahlungsgürteln der Erde)
- Manövrierung des Satelliten in eine sichere Fluglage für den Durchgang durchs Perigäum (Abwenden des Teleskops von der Erde)
- Einschalten des Energieversorgungssystems für den Betrieb im Erdschatten (Batterieversorgung)

Dienstleistungen und Ertrag einer Satellitenmission

Dienstleistungen und Ertrag, die von einer Satellitenmission erbracht werden sollen, hängen von der Art der Mission ab. Ziel eines Telekommunikationssatelliten ist die kontinuierliche Versorgung der Benutzer mit einer Telekommunikationsdienstleistung von Punkt zu Punkt.

Die Ziele eines wissenschaftlichen oder Anwendungssatelliten sind wissenschaftliche

ERS Kontrollraum





Zusammengesetztes Bild der Giotto-Farbkamera vom Kern des Kometen Halley (● 1986 MaxPlanckInstitut für Aeronomie)

Tabelle 9: Beispiele für die Produkte einer Satellitenmission

Produkt	Nutzer oder Verarbeitungsstelle
Meteosat-Aufnahmen	ESOC (vor 1996) EUMETSAT (nach 1996)
ERS Radaraufnahmen mit synthetischer Apertur	schnell gelieferte Produkte: Bodenstation Kiruna Endprodukte: nationale Verarbeitungszentren
ERS-Ozoniüberwachungsdaten (GOME)	ESTEC und die Institute der Hauptexperimentatoren
Giotto - Daten der wissenschaftlichen Instrumente	Hauptexperimentatoren im ESOC, Institute von Hauptexperimentatoren in Europa und den USA
Giotto - Farbkamerabilder vom Kometen Halley	Max-Planck-Institut für Aeronomie, Katlenburg-Lindau, Deutschland
ISO - Daten der wissenschaftlichen Instrumente	ISO-Wissenschaftsbetriebszentrum, Villafranca, Spanien
Cluster - Daten der wissenschaftlichen Instrumente	Schnellauswertung: Gemeinsames Wissenschaftsbetriebszentrum, Großbritannien Endauswertung: Institute der Hauptexperimentatoren in Europa und den USA
Hipparcos-Astrometriedaten	Hipparcos-Sternkatalogkonsortien (FAST in Frankreich, NDAC in Großbritannien, TYCHO in Dänemark)

Beobachtungen oder andere Messungen im Weltraum sowie die Analyse der Ergebnisse. Die endgültige Verarbeitung der Telemetriedaten kann entweder Aufgabe des ESOC oder eines externen Datenzentrums sein. Sie kann aber auch in der Verantwortung einer kleinen Gruppe von Spezialisten oder einzelnen Forschern der betreffenden wissenschaftlichen Gemeinschaft liegen. Ganz gleich für welche Zielsetzung – es ist die Aufgabe des ESOC, den Nutzern des Projekts die größtmögliche Menge qualitativ hochwertiger Daten zu liefern.

In der Vergangenheit wurden die Daten auf Magnetbändern geliefert, die mit der Post versandt wurden. Heute erhalten die Nutzer ihre Daten auf CD Rom oder über lokale oder internationale Kommunikationsnetze. Dazu gehört auch das Internet, wo die gewünschten Produkte zusammen mit den zu ihrer Auswertung notwendigen Tools abgerufen werden können.

Tabelle 9 zeigt Beispiele für die Produkte einer Satellitenmission und die Nutzer, die für ihre endgültige Verarbeitung zuständig sind.

Qualitätsmanagement

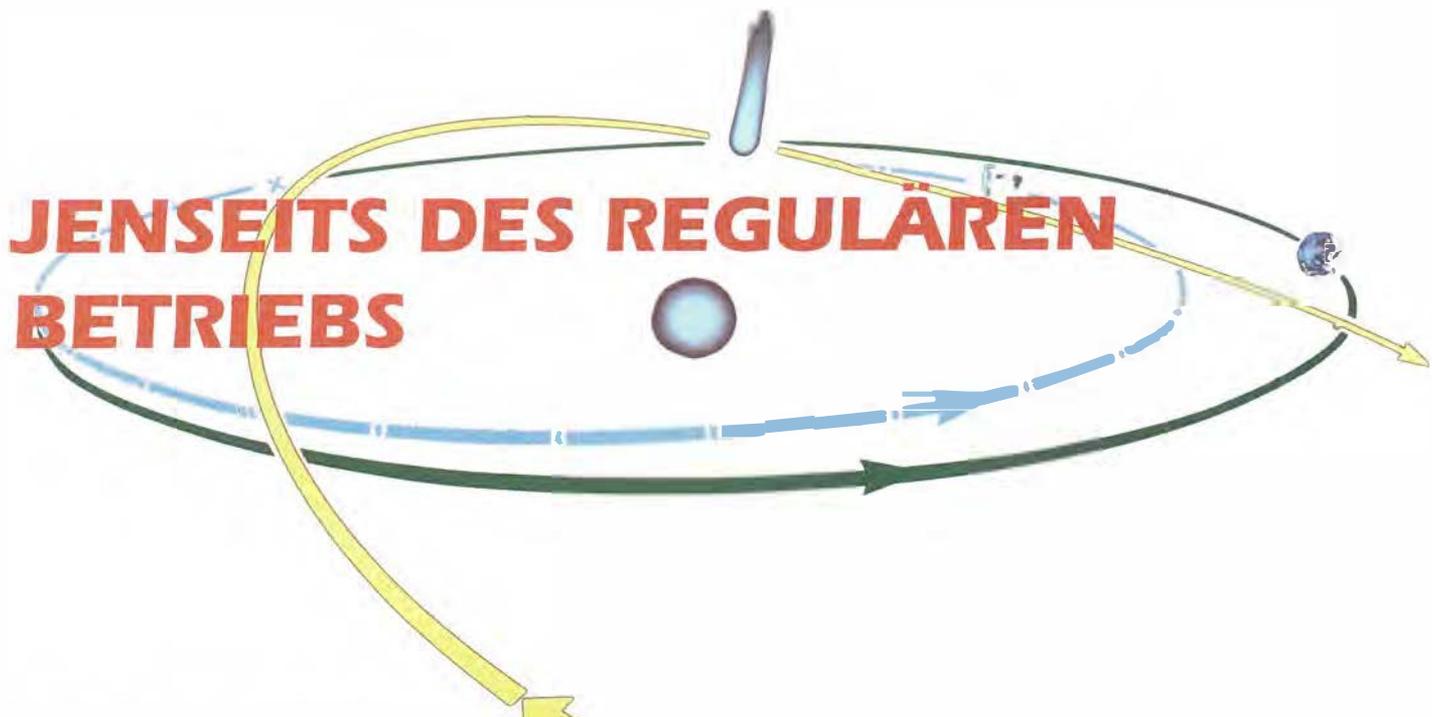
ESOC ist sich der Wichtigkeit der Kundenzufriedenheit mit den angebotenen Serviceleistungen bewusst und hat sich deshalb zu Qualitätsmanagement und permanenter Qualitätsverbesserung verpflichtet.

Das Qualitätsmanagementsystem umfasst sämtliche Prozesse des Zentrums, angefangen bei ersten Kundenverhandlungen möglicher Serviceleistungen über Missionsvorbereitungen und Operationsbetrieb bis hin zum Abschluss einer Mission.

Die Prozeduren innerhalb des Qualitätsmanagementsystems definieren Vorgänge wie Vertragsabschlüsse, Entwicklung des Bodensegments, Fehlersuche sowie Korrekturmaßnahmen, Vermeidungsstrategien und Berichterstattung.

ESOC ist seit November 1999 nach ISO 9001 zertifiziert und verpflichtet sich somit zu regelmäßiger Selbstüberprüfung und ständiger Qualitätsverbesserung.

JENSEITS DES REGULÄREN BETRIEBS



Reaktion auf unerwartete Ereignisse

Es ist die Aufgabe des Kontrollzentrums, den Ertrag einer Satellitenmission zu maximieren und für eine sichere und zuverlässige Durchführung zu sorgen. Nicht immer verläuft alles problemlos, und bei den im Weltraum herrschenden extremen Bedingungen kann es zu unerwarteten Zwischenfällen kommen. Während der Vorbereitungsphasen werden große Anstrengungen unternommen, um mögliche Fehlerquellen sowohl beim Satelliten als auch im Bodensegment gering zu halten. Und es werden Vorbereitungen getroffen und Pläne entwickelt, wie die Situation gerettet werden kann, falls Fehler auftreten.

Außerplanmäßige Entwicklungen werden von den Flugkontrollsystemen automatisch angezeigt. Die für die Steuerung zuständigen Mitarbeiter verfolgen Unregelmäßigkeiten bei den im Kontrollzentrum eingehenden Telemetriedaten und vergleichen alle wichtigen Parameter mit vorher festgesetzten Grenzwerten. Wenn es zu einer Überschreitung kommt, ertönen Alarmsignale. Bei der Abweichung kann es sich um einen langsamen, aber nicht Besorgnis erregenden Temperaturanstieg handeln, aber auch um einen gravierenden Fehler an Bord des Satelliten wie beispielsweise die falsche Ausführung eines Steuerbefehls oder die Störung eines Mikroprozessors.

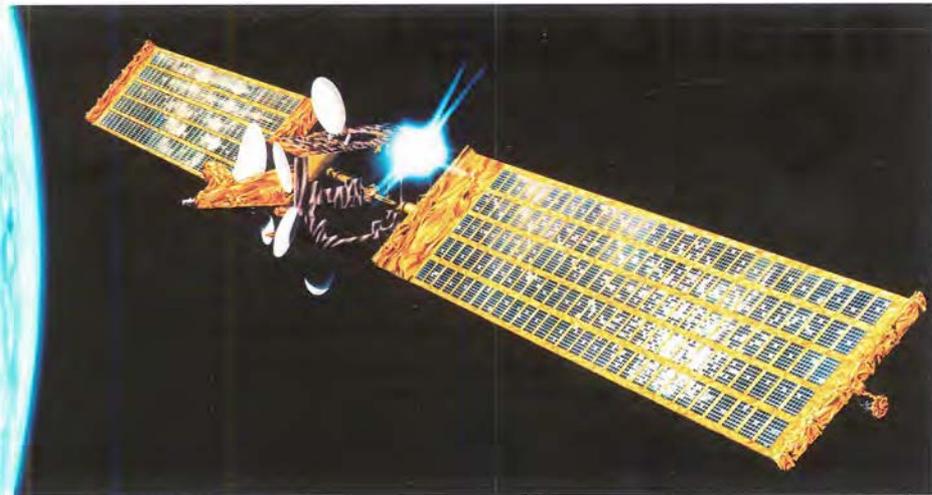
Sobald ein Alarmsignal ertönt, gehen die Satellitenkontrollteams daran, die Fehlerursache zu ermitteln, und unternehmen die notwendigen Abhilfemaßnahmen. Der Ablauf dieses Prozesses wird vorher festgelegt. Außerdem wurden die Teams in der Beseitigung von Fehlern am Satellitensimulator gründlich

geschult und wissen, wie man sie analysiert und behebt. Wenn ein neues Abhilfeverfahren für eine unvorhergesehene komplexe Störung ausgearbeitet werden muss, wird es zunächst am Simulator entwickelt und getestet, bevor es am Satelliten zur Anwendung kommt.

Gerätefehler an Bord können zur Folge haben, dass der Betrieb des Satelliten modifiziert werden muss – beispielsweise wenn ein Kreisel ausfällt und keine Lageänderungsinformationen mehr liefert. In solchen Fällen kann möglicherweise der Fehler kompensiert werden, indem man einige der Bord-Steueralgorithmen ändert und neue Software entwickelt, die die ausgefallene Funktion übernimmt. Alle Veränderungen der Software an Bord des Satelliten werden mit Hilfe des Satellitensimulators zunächst komplett validiert, bevor sie in den Bordrechner eingegeben werden.

Störungen treten nicht nur am Satelliten, sondern gelegentlich auch am Bodensegment auf. Das Missionskontrollteam muss deshalb auch in der Behebung von solchen Fehlern versiert sein, beispielsweise bei Ausfällen am Motor der Bodenstationsantenne oder in den Datenleitungen zur Bodenstation sowie bei wetterbedingten Schäden durch elektrische Stürme, Wind und Überschwemmung. In diesen Fällen muss zunächst sichergestellt werden, dass der Satellit nicht in Gefahr ist, und der normale Betrieb wird mit Hilfe von Reserveeinrichtungen so rasch wie möglich wieder aufgenommen.

Ganz selten ist der Zwischenfall so gravierend, dass die Satellitenmission nicht wie ursprünglich geplant fortgesetzt werden kann. Dann müssen umfangreichere



Olympus

Abhilfemaßnahmen getroffen und Möglichkeiten zur Erhaltung des Satelliten und zur Rettung der Mission gefunden werden. Zeit spielt hier eine wichtige Rolle, da der Zustand des Satelliten sich weiter verschlechtern kann, während der Rettungsplan ausgearbeitet wird. ESOC hat in der Vergangenheit mehrere solcher Herausforderungen gut gemeistert.

Rettung eines Satelliten

Der Telekommunikationssatellit Olympus wurde im Juli 1989 gestartet. ESOC war für die Startphase und Inbetriebnahme zuständig und übertrug die Verantwortung für die Routinephase dem Kontrollzentrum der italienischen Weltraumorganisation in Fucino. Vorzeitige Mängel führten dazu, dass der Betrieb des Satelliten mit der Zeit immer komplizierter wurde. Ab Mai 1991 lieferte nur noch ein Solarzellenausleger Strom, und Fehler in den Erdsensoren erschwerten die Lageregelung. Nach einer weiteren Störung schaltete der Satellit automatisch auf Notbetrieb. Die Wiederaufnahme des Normalbetriebs war jetzt keine einfache Sache mehr. Im Verlauf der dazu notwendigen komplexen Operationen fing der Satellit plötzlich an zu taumeln. Er versuchte, seine Bewegungen wieder unter Kontrolle zu bringen, aber die selbsttätig zündenden Steuerdüsen ließen ihn aus seiner Sollposition driften, und der Kontakt mit dem Boden ging ganz verloren. Innerhalb einer Woche froren der Treibstoff für die Steuerdüsen und die Batterieflüssigkeit ein. Es gab praktisch keine Telemetrie- und Telekommandokapazität mehr und nur noch eine marginale, schwankende Stromversorgung. Der Satellit rotierte langsam und driftete mit einer Geschwindigkeit von 5° pro Tag um die Erde.

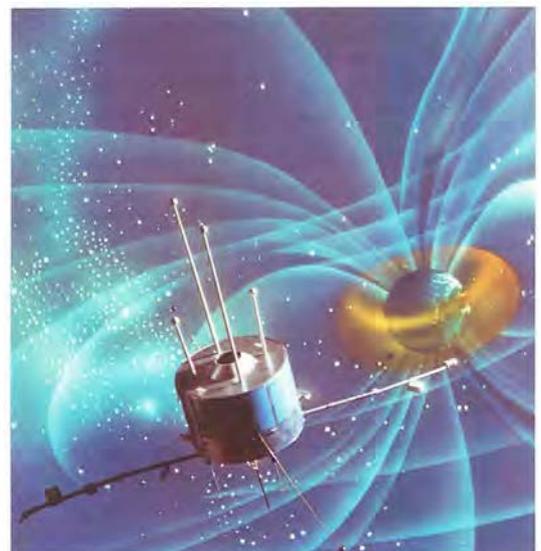
ESOC wurde beauftragt, einen Rettungsplan

auszuarbeiten. Ein Team von rund 50 Steuerungs- und Satellitenspezialisten wurde zusammengestellt. Es hatte einen sehr komplexen Plan zu entwickeln und anzuwenden und sicherte sich die Unterstützung zusätzlicher Bodenstationen (auch von CNES und NASA) zu. Die Einrichtungen im ESOC wurden erweitert, um die Kontrolle der Mission zu übernehmen. Nach Wochen intensiver Anstrengungen und äußerst kritischer Operationen und nach dem Abschicken Tausender von Steuerbefehlen gelang es, den Satelliten Ende Juli 1991 wieder in den Griff zu bekommen. Zwei Wochen später wurde er auf seine reguläre Umlaufbahn zurückgebracht und nahm nach kurzer Zeit den Betrieb wieder auf. ESOC hat damit bewiesen, dass es in der Lage ist, einen funktionsunfähigen Satelliten wieder zum Leben zu erwecken.

Neudefinition einer Mission

Der Forschungssatellit GEOS wurde im April 1977 gestartet. Er sollte mit einer Thor Delta Rakete auf einen geostationären Transferorbit und durch Zündung eines Triebwerks an Bord des Satelliten auf die geostationäre Bahn gebracht werden. Da die Trägerrakete teilweise versagte, gelangte der Satellit auf eine Umlaufbahn, deren Periode nur 3,8 statt der angestrebten 10,5 Stunden betrug. Auch war die Drehgeschwindigkeit mit 1,5 statt 90 U/min absolut ungenügend, und der Satellit taumelte sehr stark – mit einem Präzessionswinkel von 35°.

Die erste Kontaktaufnahme mit dem Satelliten



GEOS

zeigte, dass die Drehgeschwindigkeit zu niedrig war. Deshalb wurde sehr schnell ein Manöver zur Erhöhung der Drehgeschwindigkeit durchgeführt. Nach einer groben Schätzung wurde klar, dass sowohl Fluglage als auch die Umlaufbahn von GEOS weit von den Sollwerten abwichen. Um die Temperaturen im Satelliten in vernünftigen Grenzen zu halten, wurde ein Lagekorrekturmanöver durchgeführt. Mehr Sorge bereitete allerdings die Gefahr, dass die Solarzellen aufgrund der zu niedrigen Umlaufbahn in den Strahlungsgürteln der Erde rasch geschädigt würden. Der Satellit musste daher so schnell wie möglich auf eine andere Bahn gebracht werden. Da die ursprünglich geplante geostationäre Umlaufbahn nicht mehr erreichbar war, wurden intensive Analysen durchgeführt, um die bestmögliche Umlaufbahn zu ermitteln, die mit Hilfe des Bordtriebwerks erreicht werden konnte.

Das war keine leichte Aufgabe, da die Bahn nicht nur den wissenschaftlichen Erfordernissen genügen musste, sondern auch einer Reihe von Einschränkungen unterworfen war. Dazu gehörten die Sichtbarkeit durch Bodenstationen, der Blickwinkel der Satellitenantenne, die Bahnstabilität und Schattenperioden.

Nach fünf Tagen war eine akzeptable Lösung gefunden, und der Satellit wurde auf eine geneigte, elliptische Umlaufbahn mit einer Periode von 12 Stunden gebracht. Auf dieser Bahn lieferte er dann noch sehr wertvolle wissenschaftliche Daten. Die ESA entschied sich, einen zweiten, identischen Satelliten zu starten, GEOS-2, der etwa 15 Monate später erfolgreich auf seine geostationäre Bahn gebracht wurde. Die Schnelligkeit, mit der ESOC eine Lösung für GEOS erarbeitet hat, war für die Rettung der Mission fundamental.

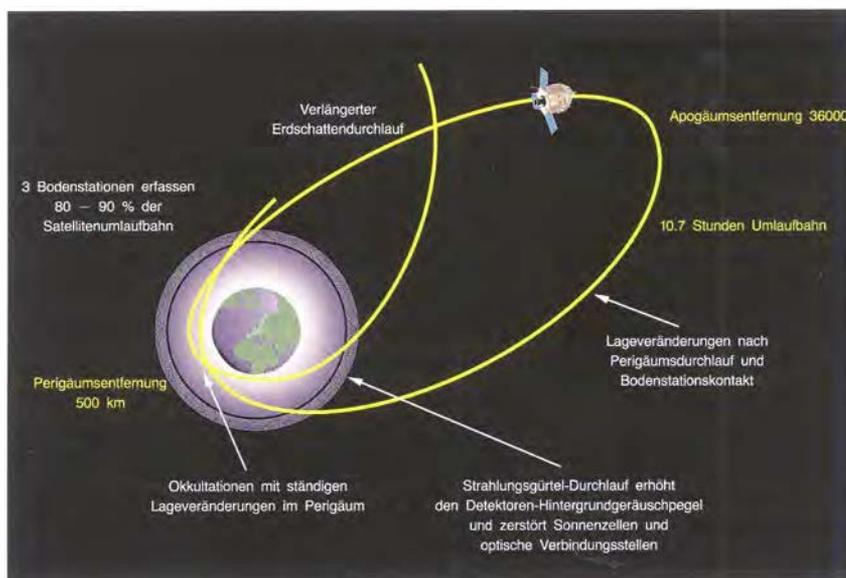
HIPPARCOS, ein wissenschaftlicher Satellit, hatte die Aufgabe, die Position, Entfernung und Eigenbewegung von Sternen mit äußerster Präzision zu messen. Auch er sollte auf die geostationäre Bahn befördert werden, wo er in ständigem Kontakt mit der ESA-Bodenstation im Odenwald gewesen wäre. Hipparcos wurde im August 1989 gestartet. Seine Steuerung in den Transferorbit verlief problemlos – bis zu dem Moment, als der Apogäumsmotor gezündet werden sollte. Durch ein Versagen der beiden pyrotechnischen Kreise konnte die Zündung

nicht ausgeführt werden, und Hipparcos blieb auf der Transferbahn.

Mit der geringen Menge an Hydrazin Treibstoff, die an Bord des Satelliten zur Verfügung stand, wurde das Perigäum angehoben, um den Restluftwiderstand und die schädlichen Auswirkungen des atomaren Sauerstoffs zu verringern. Auf der elliptischen Umlaufbahn mit einer Periode von 10 Stunden und 40 Minuten konnte Hipparcos von der Station im Odenwald nur während etwa 32% der Zeit erfasst werden. Daher waren zusätzliche Stationen erforderlich,



Hipparcos



und die Stationen in Perth und Kourou wurden entsprechend eingerichtet. Später unterstützte die NASA das Projekt mit ihrer Station in Goldstone in der Mojave-Wüste.

Hipparcos Umlaufbahnen

Es konnte kein kontinuierlicher Funkkontakt zum Satelliten aufgebaut werden, und er durchlief lange Phasen im Erdschatten. Oft waren die zu beobachtenden Sterne verdeckt. Informationen über die Ausrichtung des Satelliten waren schwer zu bekommen, und die Lageregelung im Perigäumbereich war sehr problematisch, weil dieser Teil der Flugbahn durch die Van-Allen-Strahlungsgürtel ging. Ein beträchtlicher Teil der Flugoperationen für Hipparcos musste neu konzipiert werden. Die Steuerung des Satelliten war zunächst sehr riskant, da unter dem enormen Zeitdruck nicht alle möglicherweise eintretenden Notfälle eingeschätzt und die entsprechenden Maßnahmen zur Vorbeugung getroffen werden konnten.

Wissenschaftler beobachten die Begegnung Giotto mit dem Kometen Grigg-Skjellerup

Durch die Umsetzung der revidierten Mission konnte schon nach weniger als vier Monaten mit der Erfassung der wissenschaftlichen Daten begonnen werden. Die Datenerfassungsrate lag zunächst bei etwa 50%, konnte aber nach Optimierung der Steuerungsverfahren auf 65% erhöht werden. Obwohl nacheinander vier der fünf Kreisel ausfielen und zahlreiche andere Störungen auftraten, die weitgehend auf die hohe Intensität der Van-Allen-Strahlung zurückzuführen waren, dauerte die Hipparcos-Mission vier Jahre – 18 Monate länger als für die ursprüngliche Mission vorgesehen waren.

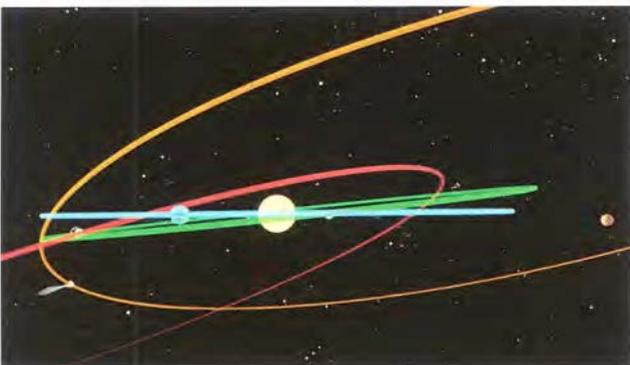


Die Kometensonde Giotto

Trotz falscher Umlaufbahn und der Beeinträchtigung durch die Strahlung hat Hipparcos alle wissenschaftlichen Ziele erreicht. Die Spezialisten im ESOC hatten sogar ein geniales Lageregelungsverfahren entwickelt, das ohne Kreisel funktionierte. Allerdings setzten die Strahlungsschäden am Bordcomputer der Mission eine Ende, bevor es ausprobiert werden konnte.

Im Fall von Giotto wurde ESOC vor die Aufgabe gestellt, für eine Kometensonde, die sich bereits im Weltraum befand, eine zweite Mission zu entwickeln. Die im Juli 1985 gestartete Forschungssonde war für eine neunmonatige interplanetare Reise und die Begegnung mit dem auf sie zurasenden Kometen Halley ausgelegt. Diese Mission war sehr erfolgreich, und – entgegen aller Erwartungen – überstand der Satellit den mit Hypergeschwindigkeit aufprasselnden Staubhagel bei der Begegnung mit dem Kometen, auch wenn er stark in Mitleidenschaft gezogen wurde. Hinzu kommt, dass auf Grund der sparsamen Navigation und präzisen Bahninjektion durch die Trägerrakete Ariane und das Bordtriebwerk 90% des ursprünglichen Treibstoffvorrats noch zur Verfügung standen.

Die Giotto-Umlaufbahn für die GEM-Mission



Trotz der durch den Staubhagel verursachten Schäden, die eine radikale Veränderung des thermischen Verhaltens der Sonde zur Folge hatten, trotz der Instabilität der



Energieverteilung und des Ausfalls zahlreicher automatischer Funktionen, war sie noch betriebsfähig. Nach der Begegnung mit dem Kometen Halley gab es noch keinen detaillierten Plan für die Erweiterung der Mission, und es waren auch keine Ressourcen für den weiteren kontinuierlichen Betrieb verfügbar. Um möglichst viele Optionen offen zu halten, manövrierte man die Sonde auf einen Rückkehrkurs zur Erde, was über die Hälfte des noch verbliebenen Treibstoffs kostete. Dann wurde sie auf minimalen Energieverbrauch geschaltet, das ESOC steuerte sie in eine thermisch optimale Lage und schaltete den Sender ab. Giotto war nun praktisch still gelegt.

Nach vierjährigem „Winterschlaf“ wurde GIOTTO reaktiviert. Noch nie war versucht worden, nach so langer Zeit ohne Telemetriedaten und auf eine so weite Entfernung – Giotto war 100 Millionen Kilometer von der Erde entfernt – den Funkkontakt mit einem Raumfahrzeug wiederherzustellen. Man tappte gewissermaßen im Dunkeln. Die Strategie, die man in jahrelanger Arbeit entwickelt hatte, erforderte sechs Tage komplexer Operationen und führte zur erfolgreichen Wiederbelebung der Sonde.

Die Überprüfung des Satelliten zeigte, dass etwa die Hälfte der wissenschaftlichen Instrumente noch betriebsbereit war. Allerdings waren die Reservesysteme an Bord durch den Ausfall zweier wichtiger Einheiten weiter reduziert. Der Komet Grigg-Skjellerup wurde als nächstes Ziel gewählt, da er den besten Kompromiss zwischen wissenschaftlichem Nutzen und technischer Realisierbarkeit darstellte. Dennoch musste der beschädigte Satellit in einer Weise eingesetzt werden, die bei seiner Konzeption nicht vorgesehen war.

Bei diesem Projekt führten die Spezialisten im ESOC eine Premiere in der Geschichte der

Raumfahrt durch. Giotto war die erste interplanetare Sonde, deren Bahn durch einen gravitationellen Vorbeiflug an der Erde geändert wurde. Danach wurde die Sonde erneut in einen Winterschlaf versetzt. Sie überlebte extrem hohe Temperaturen und wurde zwei Jahre später, im Mai 1992, reaktiviert. Die zweite Begegnung, im Juli 1992, bei der sich Giotto dem Kern des Kometen GriggSkjellerup bis auf 200 km näherte, fand in sehr großer Entfernung von der Sonne statt. Die Leistungsreserve fiel dadurch so stark ab, dass es zweifelhaft war, ob ein weiteres Experiment überhaupt durchführbar war. Trotzdem gelang es, wichtige Messungen durchzuführen und die Daten zur Erde zu übermitteln. Somit konnte mit geringen Zusatzkosten ein zweiter Kometenvorbeiflug erfolgreich realisiert werden.

Beendigung einer Satellitenmission

Die Lebensdauer von Satelliten wird bereits bei der Planung der Mission festgelegt. Sie liegt in der Regel zwischen zwei und zehn Jahren, oder auch darüber. Bei der Planung der Lebensdauer müssen grundsätzlich folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- die gewünschte Umlaufbahn (geostationär, polar etc.) muss während der gesamten Mission beibehalten, und es muss genügend Treibstoff für alle geplanten Bahnmanöver vorgesehen werden;
- die Fluglage muss während der gesamten Mission geregelt werden, und der Treibstoff muss für alle geplanten Lagemanöver ausreichen; während der gesamten Mission muss unter Berücksichtigung der Alterung von Solarzellen genügend elektrische Energie erzeugt werden;
- die Ausrüstung muss den Bedingungen im Weltraum standhalten und so redundant sein, dass der Satellit während der gesamten Mission zuverlässig funktioniert.

Eine Satellitenmission dauert in der Regel so lange, wie der Satellit und seine Nutzlast die gestellten Aufgaben erfüllen. Wenn die dazu benötigten Ressourcen an Bord (elektrische Energie und Treibstoff) erschöpft sind oder wenn Pannen in der Ausrüstung den Betrieb immer mehr erschweren, muss der Abschluss der Mission in Betracht gezogen werden.

In manchen Fällen kommt es auch zu einem

plötzlichen Ende, beispielsweise wenn der Kontakt zum Satelliten verloren geht. In anderen Fällen kann der Abschluss einer Satellitenmission lang und anstrengend sein, wie die letzten Monate des sehr erfolgreichen Hipparcos-Projekts, oder aber auch ganz unkompliziert wie die Beendigung der zweiten Mission der Giotto-Sonde.

Wenn das Ende einer Mission geplant werden kann, ist es häufig sinnvoll, noch eine Reihe abschließender Tests durchzuführen, beispielsweise mit der mechanischen Ausrüstung des Satelliten. Sofern möglich, sollte der Satellit auf eine so genannte Friedhofsbahn gesteuert werden, wo er für andere Satelliten oder Raumflüge keine Gefahr mehr darstellt. Das Kontrollzentrum betrachtet eine Satellitenmission als abgeschlossen, wenn der Funkkontakt zum Satelliten endgültig eingestellt wurde. Für das Schicksal des Satelliten nach dem Abschalten gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten: Er kann durch den Luftwiderstand langsam absinken und in der



Atmosphäre verglühen, oder er bleibt für Tausende von Jahren auf der Umlaufbahn.

Weltraumschrott

Als Weltraumschrott bezeichnet man die ständig zunehmende Menge an nicht mehr genutzter Hardware auf Erdumlaufbahnen. Es handelt sich dabei um ausgebrannte Raketenoberstufen, aufgegebene Satelliten, abgeworfene Zusatztriebwerke, Bruchstücke von Satelliten und Raketenstufen und zahllose andere Metallteile wie Schutzschilde, Ausleger, Abdeckungen und Kappen. Ihr Umfang variiert von der Größe eines Autos oder größer bis hin zu mikroskopisch feinen Staubteilchen. Der

Beobachtbare Trümmerpopulation auf der Basis von Daten des NASA/USSpaceCom. Die Gegenstände wurden stark vergrößert, um sie sichtbar zu machen.

Weltraumschrott entwickelt sich zu einer ernsthaften Bedrohung für derzeitige und zukünftige Satellitenmissionen, da das Risiko einer Kollision mit aktiven Satelliten vor allem in intensiv genutzten Umlaufbahnen wie dem geostationären „Ring“ oder dem Bereich der niedrigen Erdumlaufbahnen (mit Höhen unter 2000 km) immer größer wird. Dieses Problem ist für alle Raumfahrtorganisationen von Bedeutung.

Um das Problem in den Griff zu bekommen, werden von allen Weltraumorganisationen – und selbstverständlich auch der ESA – Vorsorge-maßnahmen getroffen. Die Konstrukteure von Trägerraketen und Satelliten sind „umweltbewusst“ geworden und bemühen sich, den entstehenden Weltraumschrott so gering wie möglich zu halten. Es ist das Prinzip der ESA, jeden geostationären Satelliten am Ende seiner Nutzungsdauer auf eine mindestens 300 km über dem geostationären „Ring“ liegende Friedhofsbahn zu befördern.

Ein weiteres wichtiges Thema ist die Gefahr des Wiedereintritts in die Erdatmosphäre. Zwar verglühen die meisten Objekte bei diesem Prozess, aber Bruchstücke von großen, massiven Geräten können bis zur Erdoberfläche gelangen und stellen eine potentielle Gefahr für bewohnte Gebiete dar.

Folgende Satelliten sind in die Erdatmosphäre eingetreten und Teile davon auf der Erde gelandet, ohne völlig zu verglühen:

- KOSMOS 954 im Januar 1978: ein russischer Satellit mit einem Kernreaktor
- SKYLAB im Juli 1979: das 75 Tonnen schwere

US-Raumlabor

- KOSMOS 1402, ein Teil im Januar und ein Teil im Februar 1983: ein russischer Satellit mit einem Kernreaktor
- Salyut-7 / Kosmos 1686 im Februar 1991: die 40 Tonnen schwere russische Raumstation.

In solchen Fällen erstellt ESOC Vorhersagen von Zeit und Ort des Wiedereintritts und informiert die Behörden der ESA-Mitgliedsstaaten. ESOC untersteht auch die Koordination des Forschungsprogramms der ESA zum Thema Weltraumschrott, das sich auf folgende Aktivitäten konzentriert:

- Beschreibung und Modellierung der Gesamtpopulation der Weltraumtrümmer
- Verwaltung und Aktualisierung der Weltraumschrott-Datenbank DISCOS
- Analyse und Vorhersage der Lebensdauer von Objekten der ESA im Weltraum
- Untersuchung von Hypergeschwindigkeitsaufschlägen und Abschirmungsmaßnahmen
- Entwicklung von Methoden zur Kontrolle und Eindämmung des Weltraumschrotts.

Die Datenbank DISCOS ist einzigartig in Europa. Sie enthält Informationen wie Bahnparameter, Größe und Masse der mehr als 8000 um die Erde kreisenden Weltraumschrottteile, die größer als 10-20 cm sind. Mehrmals pro Woche werden die Eintragungen ergänzt, wenn neue Satellitenmissionen gestartet oder laufende Missionen beendet werden oder wenn die Radar- und optischen Sensoren des amerikanischen Weltraum-Überwachungsnetzes neue Informationen liefern. DISCOS erlaubt aber auch, eventuelle Kollisionen der von ESOC

unterstützten Satelliten mit herumfliegenden Teilen zu vermeiden.

Aufgrund dieser Maßnahmen ist es möglich, die Entwicklung der Trümmerpopulation vorherzusagen und das Ziel eines globalen Verständnisses des Problems zu erreichen. Es werden auch Lösungsmöglichkeiten entwickelt, wie das durch den Weltraumschrott für die Raumfahrt entstehende Risiko in akzeptablen Grenzen gehalten werden kann.

Luftaufnahme des ESOC in Darmstadt



Appendix 1 : Vom ESOC unterstützte ESA-Missionen

Name	Zweck	Startdatum	Missionsdauer (Jahre)	Umlaufbahn	Stationen	Bemerkungen
ESRO-2	Wissenschaft	17.05.1968	3	LEO (erdnah)	Redu/Falkland/FBA/Spitzbergen/Tromsø	
ESRO-1 A	Wissenschaft	03.10.1968	2	LEO (erdnah)	Redu/Falkland/FBA/Tromsø	
HEOS A 1	Wissenschaft	05.12.1968	7	HEO (hohezentratisch)	Redu/FBA	
ESRO 1 B	Wissenschaft	01.10.1969	2 Monate	LEO	Redu/Falkland/FBA/Tromsø	(Transferbahn nicht korrekt erreicht durch Fehler der Trägerrakete)
HEOS A 2	Wissenschaft	31.01.1972	2	HEO (hohezentratisch)	Redu/FBA/Spitzbergen	
TD-1A	Wissenschaft	12.03.1972	2	LEO (erdnah)	verschiedene	
ESRO-4	Wissenschaft	20.11.1972	2	LEO (erdnah)	Redu/Falkland/Spitzbergen/Tromsø	
COS-B	Wissenschaft	09.08.1975	7	HEO (hohezentratisch)	Redu	
GEOS-1	Wissenschaft	20.04.1977	5	GTO (geotransfer)	Redu/ODW/NASA	
ISEE-2	Wissenschaft	22.10.1977	10	HEO (hohezentratisch)	STDN	Kontrollzentrum in GSFC
Meteosat-1	Meteorologie	23.11.1977	8	GEO (geostationär)	ODW	
IUE	Wissenschaft	28.01.1978	18 Jahre/ 8 Monate	HEO (hohezentratisch)	Vilspa	Kontrollzentrum in Vilspa (ESANASA Gemeinschaftsmission)
GEOS 2	Wissenschaft	14.07.1978	6	GEO (geostationär)	Redu/ODW	
OTS 2	Telekom	11.05.1978	13	GEO (geostationär)	Fucino/Redu	
Meteosat-2	Meteorologie	19.06.1981	10	GEO (geostationär)	ODW	
Marecs A	Telekom	20.12.1981	14 Jahre/ 9 Monate	GEO (geostationär)	Redu/Vilspa	
Exosat	Wissenschaft	26.05.1983	3	HEO (hohezentratisch)	Vilspa	
ECS-1	Telekom	16.08.1983	13 Jahre/ 6 Monate	GEO (geostationär)	Redu	Kontrollzentrum in Redu
ECS-2	Telekom	04.08.1984	9	GEO (geostationär)	Redu	Kontrollzentrum in Redu
Marecs-B2	Telekom	10.11.1984	laufend	GEO (geostationär)	Redu/Vilspa	
Giotto	Wissenschaft	02.07.1985	Winterschlaf	interplanetar	Carnarvon/Parkes/DSN/Perth	
ECS-4	Telekom	10.09.1987	laufend	GEO (geostationär)	Redu	Kontrollzentrum in Redu
MeteosatP2	Meteorologie	15.06.1988	7	GEO (geostationär)	ODW	
ECS 5	Telekom	21.07.1988	12	GEO (geostationär)	Redu	Kontrollzentrum in Redu
MOP-1	Meteorologie	06.03.1989	6	GEO (geostationär)	ODW	
Olympus	Telekom	12.07.1989	4	GEO (geostationär)	Fucino	nur LEOP Phase
Hipparcos	Wissenschaft	08.08.1989	4	GTO (geotransfer)	ODW/Perth/Goldstone	
Ulysses	Wissenschaft	06.10.1990	laufend	interplanetar	DSN	Kontrollzentrum bei JPL, Pasadena
MOP 2	Meteorologie	02.03.1991	laufend	GEO	ODW	Kontrolle abgegeben an EUMETSAT (12/95)
ERS 1	Erdbeobachtung	17.07.1991	9	LEO (erdnah)	Kiruna	
Eureca	Mikrogravitation	31.07.1992	1	LEO (erdnah)	MASPAL/KRU	zurückgeführt vom Space Shuttle
MOP 3	Meteorologie	20.11.1993	laufend	GEO (geostationär)	ODW	Kontrolle an EUMETSAT übergeben
ERS 2	Erdbeobachtung	21.04.1995	laufend	LEO (erdnah)	Kiruna	
ISO	Wissenschaft	17.11.1995	3	HEO (hohezentratisch)	Vilspa/Goldstone	LEOP vom ESOC
Huygens	Wissenschaft	15.10.1997	laufend	interplanetar	durch JPL, Pasadena	Routinebetrieb Vilspa Gemeinschaftsmission mit NASA (Cassini)
Teamsat	Technologie	31.10.1997	5 Tage	GTO	Kourou	Gemeinschaftsmission mit ESTEC
Pastel	Nutzlast auf Spot	424.04.1998	laufend	LEO		CNES Mission
XMM	Wissenschaft	10.12.1999	laufend	HEO	Perth, KRU/Santiago (Chile)	
Cluster II	Wissenschaft	16.07.2000	laufend	HEO	Vilspa	09.08.2000



Abkürzungsverzeichnis

AOCS	Attitude and Orbit Control Subsystem Lage- und Bahnregelungs-Untersystem	FOP	Flight Operations Plan Flugbetriebsplan
CD ROM	Compact Disc Read Only Memory CD-Festspeicher	G/T	Gain/Noise Temperature Gewinn/Rausch-Temperatur
CNES	Centre National d'Études Spatiales Französische Weltraumorganisation	LEOP	Launch and Early Orbit Phase Phase des Starts und der Inbetriebnahme
CSG	Centre Spatial Guyanais Raumfahrtzentrum Guyana	MCR	Main Control Room at ESOC Hauptkontrollraum im ESOC
DCR	Dedicated Control Room at ESOC Missionsspezifischer Kontrollraum im ESOC	NASA	National Aeronautics and Space Administration (USA) Weltraumorganisation der USA
DISCOS	Database and Information System Characterising Objects in Space Datenbank und Informationssystem für Objekte im Weltraum	NASDA	National Aeronautics and Space Development Agency (Japan) Japanische Weltraumorganisation
D/TOS	ESA Directorate of Technical and Operational Support ESA-Direktorat für technische und betriebliche Unterstützung	OBDH	On Board Data Handling Subsystem Borddatensystem
EIRP	Effective Isotropical Radiated Power Äquivalente Strahlungsleistung	OCC	Operations Control Centre at ESOC Satellitenkontrollzentrum im ESOC
ESA	European Space Agency Europäische Weltraumorganisation	ODB	Operations Database Betriebsdatenbank
ESOC	European Space Operations Centre Europäisches Satellitenkontrollzentrum	ORATOS	Orbit and Attitude Operations System System für Bahn- und Lageregelungsmanöver
		PCM	Pulse Coded Modulation Pulsocodemodulation
		RF	Radio Frequency Funkfrequenz

Herausgeber ESA Publications Division
ESTEC, Noordwijk, Niederlande

Verfasser: Howard Nye

Beiträge von: Kurt Debatin, Walter Flury, Guy Janin,
Trevor Morley, Xavier Marc, Boris Smeds, Norbert Schmitt

Koordinatorin: Jocelyne Landeau-Constantin

Redaktionelle Bearbeitung: Brigitte Schürmann
Barbara Warmbein

Layout: Isabel Kenny

Preis: 25 Dfl / 10 Euros

ISBN 92-9092-380-6
ISSN 0250-1589

Copyright: © 2001 European Space Agency

European Space Agency
Agence spatiale européenne

Contact: *ESA Publications Division*
c/o ESTEC, PO Box 299, 2200 AG Noordwijk, The Netherlands
Tel. (31) 71 565 3400 - Fax (31) 71 565 5433