



Raumflugbetrieb und Astronautentraining

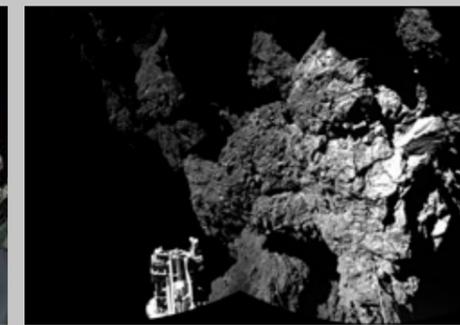
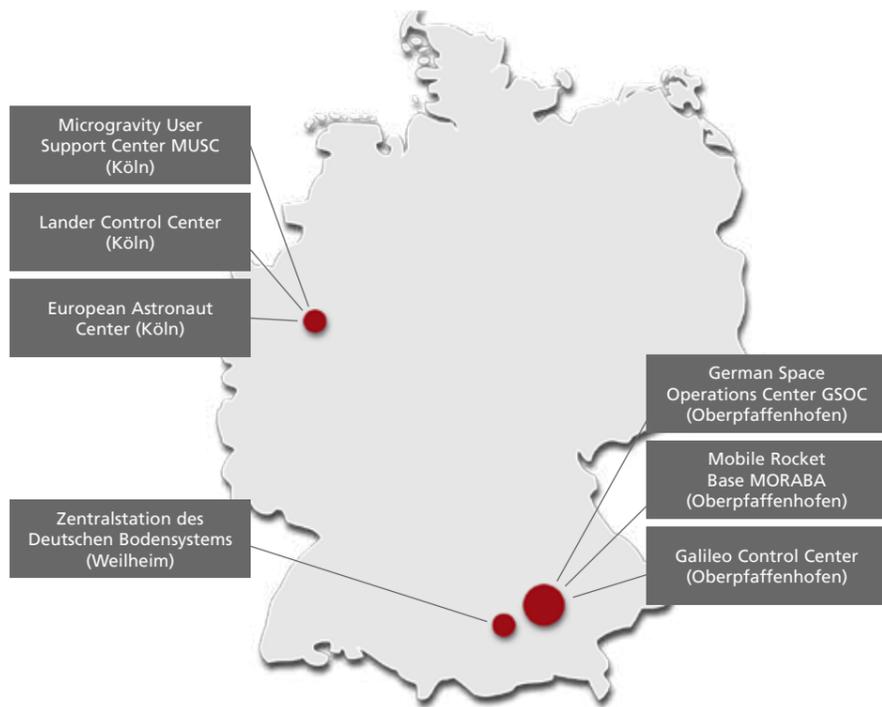
Space Operations and Astronaut Training



Raumflugbetrieb und Astronautentraining	Space Operations and Astronaut Training	
Überblick	Overview	4
Leitbild und Ziele	Guiding Principles and Objectives	7
Missionen und Kampagnen	Missions and Campaigns	
Bemannte Raumfahrt	<i>Human Spaceflight</i>	8
Nutzerzentrum für Weltraumexperimente (MUSC)	<i>Microgravity User Support Center (MUSC)</i>	10
Astronautentraining	<i>Astronaut Training</i>	12
Erdbeobachtungssatelliten	<i>Earth Observation Satellites</i>	14
Kommunikationssatelliten	<i>Communication Satellites</i>	16
Interplanetare Robotik	<i>Robotic Exploration</i>	18
Mobile Raketenbasis	<i>Mobile Rocket Base</i>	20
Forschung und Entwicklung	Research and Development	
Echtzeitbewertung von Nutzlastdaten an Bord	<i>Realtime Evaluation of Payload Data on Board</i>	22
Steuerungs- und Planungssoftware	<i>Control and Planning Software</i>	23
Navigation von Raumfahrzeugen	<i>Spacecraft Navigation</i>	24
Weltraumlage	<i>Space Situational Awareness (SSA)</i>	25
Orbitales Servicing	<i>On-Orbit Servicing (OOS)</i>	26
Testanlage für Weltraumrobotik	<i>European Proximity Operations Simulator (EPOS)</i>	28
Ka-Band-Technologien	<i>Ka-Band Technologies</i>	29
Bodenstationen	<i>Ground Stations</i>	30
Missionsüberblick	Mission Overview	32

Eine der spektakulären Szenen einer Aurora Australis wurde am 15. Juli 2014 von einem Mitglied der Expedition 40 an Bord der ISS fotografiert. Rechts sind Teile der Solarpaneele sichtbar. Bild: NASA

One of the more spectacular scenes of the Aurora Australis was photographed by one of the Expedition 40 crew members aboard the ISS on July 15, 2014. Parts of solar array panels of the space station are visible at right. Image: NASA



Überblick über die Einrichtung

Raumflugbetrieb und Astronautentraining

Der DLR Raumflugbetrieb ist die zentrale Einrichtung für die Durchführung von Raumfahrtmissionen in Deutschland. Hier werden wegweisende Projekte realisiert und neue Ideen für die Gestaltung der Raumfahrt von Morgen entwickelt.

Der DLR Raumflugbetrieb umfasst folgende Bereiche:

- Das Deutsche Raumfahrtkontrollzentrum (GSOC) und die Mobile Raketenbasis (MORABA) am Standort Oberpfaffenhofen bei München
- Die ZDBS (Zentralstation des Deutschen Bodensystems) in Weilheim in Oberbayern
- Das MUSC (Microgravity User Support Center), das EAC (European Astronaut Center) und das LCC (Lander Control Center) in Köln

Betriebsaufgaben

Das Deutsche Raumfahrtkontrollzentrum (GSOC) führt seit 1969 erfolgreich Raumflugmissionen durch. In mehr als 60 Missionen mit unterschiedlichen Anwendungen stellte das DLR seine Kompetenz im Betrieb von Raumfahrzeugen aller Art unter Beweis.

Beim Betrieb von Raumfahrzeugen bestehen höchste Anforderungen an die Sicherheit und Qualität. Der DLR Raumflugbetrieb ist mit den internationalen Normen ISO 27001, ISO 9001 und OHSAS 18001 zertifiziert.

So werden wissenschaftliche Satelliten, z. B. zur Erdbeobachtung, in der flexiblen und zuverlässigen Multimissionsumgebung des Satellitenkontrollzentrums (SCC) in Oberpfaffenhofen gesteuert und überwacht. Hier können mehrere Satelliten von einem Team und aus einem Kontrollraum heraus betreut werden.

Das Landerkontrollzentrum (LCC) am DLR-Standort Köln besitzt darüber hinaus große Kompetenz in der interplanetaren Robotik, insbesondere im Betrieb von Landern.

Das GSOC ist außerdem die führende europäische Betriebs-einrichtung für bemannte Raumflüge. Im Februar 2008 wurde das ESA-Raumlabor „Columbus“ als größter europäischer Beitrag zur Internationalen Raumstation (ISS) in Betrieb genommen. Damit nahm das Columbus-Kontrollzentrum (Col-CC) seine Arbeit auf, die seitdem in enger Kooperation mit den Kontrollzentren der internationalen Partner durchgeführt wird.

Am DLR-Standort Köln-Porz ist das MUSC (Microgravity User Support Center) als spezielles Nutzerzentrum für Weltraum-experimente mit der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von Experimenten auf der ISS beschäftigt.

Ebenfalls in Köln, im europäischen Astronautenzentrum (EAC), werden sowohl die Astronauten der ESA (European Space Agency) als auch der anderen ISS Partner für den Einsatz an den europäischen Komponenten trainiert und betreut. Das EAC wird in einem integrierten Team aus ESA und DLR gemeinsam betrieben.

Der DLR Raumflugbetrieb führt mit seiner Mobilen Raketenbasis (MORABA) Missionen mit Forschungsraketen und -ballonen für wissenschaftliche Experimente u. a. in den Bereichen Aeronomie, Astronomie, Geophysik und Atmosphärenphysik durch.

Overview of the Institute

Space Operations and Astronaut Training

DLR Space Operations is the central institution for spaceflight operations in Germany. Here, groundbreaking space projects are realized and new ideas for spaceflight of tomorrow are developed.

DLR Space Operations covers the following areas:

- German Space Operations Center (GSOC) and the Mobile Rocket Base (MORABA) at Oberpfaffenhofen near Munich
- ZDBS (Zentralstation des Deutschen Bodensystems) in Weilheim, Bavaria
- MUSC (Microgravity User Support Center), the EAC (European Astronaut Center) and the LCC (Lander Control Center) in Cologne

Operational tasks

Since 1969 the German Space Operations Center (GSOC) has been successfully operating space flight missions. During more than 60 missions with different applications DLR demonstrated its competence in operating spacecraft of all kinds.

At spacecraft operations, the upmost security and quality requirements exist. DLR Space Operations is certified as ISO 27001, ISO 9001 and OHSAS 18001 compliant.

Scientific satellites, for example Earth observation satellites, are monitored and controlled within a flexible and reliable multi-mission environment of the Satellite Control Center (SCC) at Oberpfaffenhofen. Within this environment several satellites are supervised by a single team in a single control room.

Furthermore Lander Control Center (LCC) at the DLR location Cologne has extensive expertise in robotic exploration and specializes in the operation of landers.

In addition, GSOC is a leading European operations institution for human space flight. In February 2008, the commissioning of the ESA space laboratory “Columbus” as the largest European contribution to the International Space Station (ISS) began. Since then, the Columbus Control Center (Col-CC) operations are being carried out in close cooperation with the control centers of the international partners.

At the DLR location in Cologne MUSC (Microgravity User Support Center) is, as a specific user center for space experiments, in charge of the preparation, execution and evaluation of experiments on board the ISS.

Also in Cologne, in the European Astronaut Center (EAC) astronauts from ESA as well as from other ISS partners are trained and supervised for their missions with the European ISS components. The EAC is jointly operated by an integrated team from ESA and DLR.

With its Mobile Rocket Base (MORABA), DLR Space Operations launches missions with sounding rockets and balloons for scientific experiments in the areas of aeronomy, astronomy, geophysics and atmospheric physics among others.



Leitbild und Ziele

Die Ziele des DLR Raumflugbetriebs umfassen drei Schwerpunkte:

1. Qualität in Forschung und Entwicklung

Verbunden mit dem Anspruch einer Führungsrolle in Europa be- greift der DLR Raumflugbetrieb Forschung als gesellschaftlichen Auftrag und will deutlich zur Steigerung der Innovation in Deutschland und Europa beitragen.

2. Durchführung hoheitlicher Aufgaben

Als wichtiger Kompetenzträger für die Durchführung von Raumfahrtmissionen will der DLR Raumflugbetrieb bei der Gestaltung des deutschen Raumfahrtengagements mitwirken und Dienste für die moderne Gesellschaft realisieren.

3. Dienstleistungen für die Wirtschaft

Als gefragter Partner der Raumfahrtindustrie will der DLR Raumflugbetrieb in Kooperationen einen Beitrag zum europä- ischen Wachstum liefern. Mit all diesen Zielen geht die kon- tinuierliche Optimierung und Erweiterung der Systeme und Konzepte des DLR Raumflugbetriebs in Projekte sowie mittels verschiedener Forschungs- und Entwicklungsvorhaben einher.

Das GSOC entwickelt zahlreiche neue technologische Anwendungen für Raumflugmissionen. Schwerpunkte sind da- bei u. a. Navigationssysteme für Satelliten, leistungsfähige Missionsplanungssysteme, Rendezvous- und Docking-Techno- logien sowie die Entwicklung von Bodensystemen zur Nutzung des Ka-Frequenzbandes u. v. m.

Guiding Principles and Objectives

The objectives of DLR Space Operations consist of the following three pillars:

1. Excellence in Research and Development

In conjunction with its claim for a leading role in Europe, DLR Space Operations views research as a social responsibility and aims to significantly contribute to innovations throughout Ger- many and Europe.

2. Execution of Responsibilities of public Administration

As a center of competence for the execution of space flight mis- sions DLR Space Operations actively participates in the shaping of Germany's commitment to space flight and the implementa- tion of services for the modern society.

3. Provision of Services for Industry

As a sought-after partner of the space industry DLR Space Operations wants to contribute to European growth by cooper- ating with partners in industry. These goals involve the con- tinuous optimization and extension of the systems and concepts of DLR Space Operations in various projects as well as by research and development projects.

GSOC is developing numerous new technological applications for space flight missions. Main areas include: navigation systems for satellites, powerful mission planning systems, rendezvous and docking technologies as well as the development of ground stations for utilization of the Ka frequency band and many more.

Hunderttausende blaue und rote Sterne sind auf diesem Bild der Galaxie NGC 4449 zu sehen, welches das Weltraumteleskop Hubble aufgenommen hat. Bild: NASA/ESA

Hundreds of thousands of vibrant blue and red stars are visible in this image of galaxy NGC 4449 taken by the NASA/ESA Hubble Space Telescope. Image: NASA/ESA



Bemannte Raumfahrt

Das Columbus-Modul ist Europas Hauptbeitrag zur Internationalen Raumstation (ISS). Das europäische Weltraumlabor ermöglicht dauerhafte, multidisziplinäre Forschung im All und erlaubt verschiedenste Experimente in der Schwerelosigkeit, u. a. aus den Bereichen Biologie, Strahlenforschung, Humanphysiologie, Materialwissenschaften, Fluidphysik und Astronomie.

Der Betrieb des Moduls wird vom Columbus Control Center (Col-CC) in Oberpfaffenhofen aus geleitet. Die wesentlichen Aufgaben dabei sind:

- Überwachung und Steuerung der Schnittstellen vom Columbus-Modul zu den Experimenteinrichtungen des Columbus-Labors
- Fernüberwachung und -bedienung der Lebenserhaltungssysteme wie Luftversorgung, Strom und Kühlung
- Betreuung der Astronauten während ihrer Arbeit im europäischen Labor
- Koordination des wissenschaftlichen Experimentetriebs
- Planung aller europäischen Aktivitäten auf der ISS

- Bereitstellung der Kommunikationswege zwischen ISS, Bodenstationen, Kontroll- und Nutzerzentren
- Empfang, Verarbeitung, Verteilung und Auswertung von Daten
- Training des Betriebspersonals sowie Durchführung von Simulationen

Diese Arbeiten werden von etwa 100 Ingenieuren und Wissenschaftlern übernommen, die auch die Besetzung des Kontrollraums rund um die Uhr sicherstellen.

Für diese Aufgaben hat das DLR von der ESA bereits 2002 den Auftrag zum Aufbau und Betrieb des Col-CC erhalten. Schon zu diesem Zeitpunkt konnte das GSOC auf eine langjährige Erfahrung mit bemannten amerikanischen und russischen Raumflugmissionen zurückblicken (z. B. Spacelab, D1, D2, MIR).

Das Col-CC steht in engem Kontakt mit den internationalen Partnern, insbesondere mit den Missionskontrollzentren der NASA in Houston und Huntsville. Zudem ist es ständig in Verbindung mit den europäischen Nutzerzentren in verschiedenen Ländern, dem Europäischen Astronautenzentrum (EAC) in Köln und den Europäischen Engineering Support Centers in Turin und Bremen.

Human Spaceflight

The Columbus module is Europe's primary contribution to the International Space Station (ISS). The European space laboratory makes durable multi-disciplinary research possible in space and allows various microgravity experiments in different domains such as biology, radiation, human physiology, material science, fluid physics and astronomy.

The Columbus Control Center (Col-CC) in Munich is responsible for Columbus operations. The main tasks are:

- *Monitoring and control of interfaces between Columbus module and experimental facilities of the Columbus lab*
- *Remote supervision and operation of life support systems such as air supply, power and cooling*
- *Supporting the astronauts during their work in the European laboratory*
- *Coordinating scientific experiment operations*
- *Planning of European activities on the ISS*
- *Providing the communication lines between the ISS, ground stations, control and user centers*

- *Receiving, processing, distributing and analyzing data*
 - *Providing training and simulations for operations personnel*
- This work is being done by about 100 engineers and scientists, who also ensure that the control room is manned around the clock.*

For these tasks, the European Space Agency (ESA) commissioned DLR to establish and operate the Col-CC as early as 2002. At that time, GSOC had numerous years of experience with manned American and Russian space missions (e. g. Spacelab, D1, D2, MIR).

The Col-CC is in close contact with the international partners, especially with the NASA mission control centers in Houston and Huntsville. In addition, it is permanently connected with the European USOCs (User Support Operations Center) in different countries, the European Astronaut Center (EAC) in Cologne and the European Engineering Support Centers in Turin and Bremen.



Nutzerzentrum für Weltraumexperimente MUSC

Das Microgravity User Support Center MUSC am DLR-Standort Köln-Porz ist das deutsche Nutzerunterstützungszentrum für die Forschung unter Schwerelosigkeit mit den Schwerpunkten Biowissenschaften und Materialwissenschaften. Es betreibt Bodeninfrastrukturen für die wissenschaftliche Nutzung der Internationalen Raumstation ISS und qualifiziert Weltraumexperimente für ihre Flugdurchführung.

Das MUSC ist das größte der sieben über die ESA-Mitgliedsstaaten verteilten Nutzerzentren für die ISS in Europa. Diese Einrichtungen sind die Verbindung zwischen den europäischen Experimentanlagen auf der ISS und den Wissenschaftlern und Ingenieuren am Boden. Hier können die Wissenschaftler den Verlauf der Experimente direkt überwachen oder auch per Tele-Operation eingreifen.

Seit 2004 werden im MUSC Experimente auf der ISS überwacht und gesteuert. Die empfangenen Daten werden an die Wissenschaftler verteilt. Der Betrieb von zukünftigen Experimenten wird vorbereitet – dabei werden neue Experiment- und Messverfahren entwickelt.

Microgravity User Support Center MUSC

The Microgravity User Support Center MUSC, located in Cologne, is the German User Support Center for microgravity research with focal points in biology and material science. It provides ground infrastructure for the scientific use of the International Space Station ISS and qualifies space experiments for the certification of their flight readiness.

The MUSC is the largest of the seven user centers for the ISS in Europe distributed over the ESA member-states. These institutions are the link between the European experiments on the ISS and the scientists and engineers on the ground. Here, scientists can monitor the progress of the experiments directly or intervene by tele-operation.

Since 2004 space experiments on the ISS are monitored and controlled in MUSC and the data obtained is distributed to the involved scientists. Future experiments are prepared and new procedures for experiments and measurements are developed.





NASA-Astronaut Randy Bresnik während seines Außenbordeinsatzes bei Arbeiten am Columbus-Labor. Bild: NASA

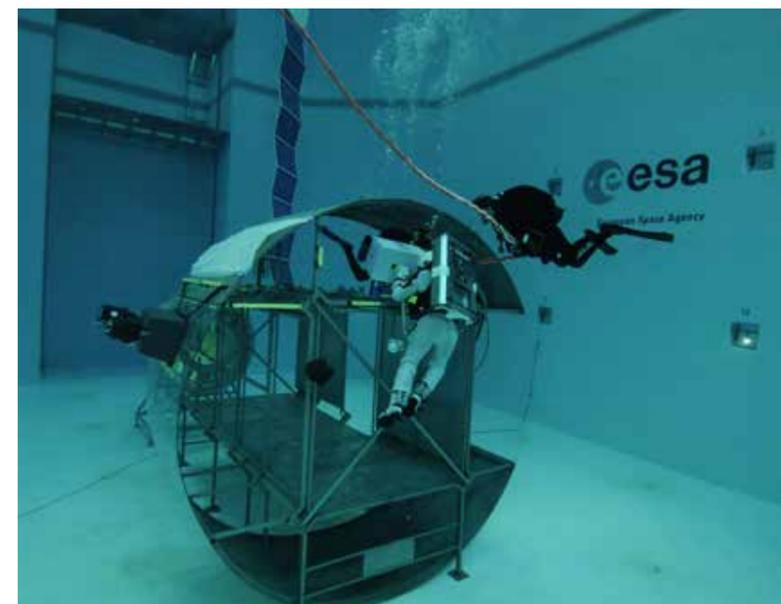
NASA astronaut Randy Bresnik during his extravehicular activity, installing experiment units at the Columbus laboratory. Image: NASA

Schwerelosigkeitstraining von Alexander Gerst im Wasserbecken des Europäischen Astronautenzentrums (EAC) auf dem Gelände des DLR in Köln

Weightlessness training of Alexander Gerst in the Neutral Buoyancy Facility of the European Astronaut Center (EAC) on the grounds of the German Aerospace Center in Cologne

Deutscher ESA-Astronaut Alexander Gerst (ISS Mission „Blue Dot“ Mai - Nov. 2014)

German ESA astronaut Alexander Gerst (ISS mission "Blue Dot" May - Nov. 2014)



Astronautentraining

Nachdem die ESA 1998 begonnen hat, die astronautischen Aktivitäten der einzelnen Mitgliedstaaten zusammenzuführen, wurde ein gemeinsames Astronauten-Corps aufgebaut. Dessen Heimatbasis ist das Europäische Astronautenzentrum (EAC) auf dem Gelände des DLR in Köln-Porz.

Die Abteilung Astronautentraining ist dabei in ein internationales Team integriert, zusammen mit Mitarbeitern der ESA sowie anderen Raumfahrtagenturen.

Neben der Vorbereitung der europäischen Astronauten für Weltraummissionen werden hier auch die Astronauten der internationalen Partner USA, Russland, Kanada und Japan im Umgang mit den europäischen Modulen der Raumstation ausgebildet. Dies beinhaltet außer Training und Simulationen auch eine ausgiebige medizinische Betreuung der Astronauten, sowohl physisch als auch psychologisch.

Astronaut Training

After ESA began to merge the astronautic activities of its member states in 1998, a combined astronaut corps was established. The European Astronaut Center (EAC) on DLR's site in Cologne is its home base.

The department Astronaut Training is integrated in an international team together with personnel from ESA as well as from other space agencies.

Alongside the preparation of the European astronauts for space missions, astronauts of the international partners USA, Russia, Canada and Japan are educated in handling the European modules of the space station. Besides training and simulations this also includes extensive medical care of the astronauts, both physically and psychologically.



Erdbeobachtungssatelliten

Erdbeobachtungssatelliten fliegen meistens in niedrigen Erdumlaufbahnen (LEO). Diese umfassen den Bereich zwischen ca. 300 bis 1.000km. Beobachtung steht dabei für eine Vielzahl von Methoden, die Erde zu vermessen: Aufnahmen der Erde in verschiedenen Frequenzen (z. B. Radar, sichtbares Licht, Infrarot) gehören genauso dazu wie Messungen des Magnetfelds, des Schwerefelds oder der Atmosphäre der Erde. Die gewonnenen Daten sind sowohl für die wissenschaftliche Forschung als auch für den kommerziellen Markt interessant.

Das GSOC betreibt seit 1969 verschiedenste Erdbeobachtungsmissionen. Aktuell werden neben dem Satelliten-System GRACE (das der Erforschung des Schwerefelds der Erde dient) mit dem Satelliten-Gespinn TSX/TDX zwei der erfolgreichsten Radar-Satelliten der Welt betrieben. Die beiden nahezu baugleichen Radar-Satelliten bilden im Abstand von 120 bis 500m senkrecht zur Flugrichtung eine Helix-Formation. Das Ziel der Mission TanDEM-X ist ein äußerst präzises Höhenmodell unserer Erde in einheitlicher Qualität und bislang unerreichter Genauigkeit. Im Rahmen der TerraSAR-X-Mission werden bereits seit 2007 erfolgreich hochqualitative Bilder aufgenommen. Das Multimissionskonzept erlaubt die Steuerung mehrerer Satelliten aus einer Kontrollraumumgebung heraus und damit einen sehr effizienten Betrieb.

Seit dem Start im Juli 2012 wird der Satellit TET-1 am GSOC betrieben – zunächst als Technologieerprobungsträger, der Wis-

senschaftlern und Wirtschaftsunternehmen die Möglichkeit bietet, ihre Neuentwicklungen unter den extremen Bedingungen des Weltraums zu testen. Seit November 2013 ist er Teil der FireBird-Mission, die im Juni 2016 mit dem Start des Satelliten BIROS vervollständigt wurde. Diese Konstellation dient der Beobachtung von Hoch-Temperatur-Ereignissen auf der Erde (z. B. Waldbrände) mittels hochauflösender Infrarotsensoren.

Neben dem Regelbetrieb sind am GSOC weitere LEO-Missionen in Vorbereitung:

- Eu:CROPIS: zwei Gewächshäuser im All, in denen ein kombiniertes Lebenserhaltungssystem das Abfallprodukt Urin zu Dünger verwertet.
- EnMAP: hochwertige Hyperspektralmessungen für präzise Aussagen über Zustand und Veränderung der Erdoberfläche

Zudem bietet das GSOC zertifizierte Dienstleistungen für

- System Design
- System-Entwicklung und -Aufbau
- Missionsanalyse
- Missionsbetrieb

sowie auch Schulungen und Trainings an.



Schema der relativen TSX und TDX Orbits
Scheme of relative TSX and TDX orbits

Earth Observation Satellites

Earth observation satellites are circling the Earth primarily in a low Earth orbit (LEO). This area encompasses the height between 300 and 1,000km above the surface of the Earth. The term observation stands for numerous methods to survey the Earth. Part of these methods is imagery of the Earth in various frequencies (e.g. radar, visible light, infrared), measurements of the magnetic and gravitational field, or of the Earth's atmosphere. The obtained data is of value for scientific research as well as for the commercial market.

GSOC has been operating various Earth observation missions since 1969. In addition to the satellite system GRACE (which serves the exploration of the Earth's gravitational field) two of the world's most successful radar satellites, the twin TSX/TDX satellites, are currently operated from GSOC. The orbits of the two nearly identical satellites form a helix with a distance of 120 to 500m cross track. The goal of the TanDEM-X mission is to generate a highly precise, three-dimensional map of the Earth in uniform quality and unprecedented precision. Within the TerraSAR-X mission high quality images have been successfully recorded since 2007. The multi-mission concept allows for the control of several satellites from within a single control room environment providing efficient operation.

Since the launch in July 2012 the satellite TET-1 is operated at GSOC – at first as technology experiment carrier, offering scientists and the industry the chance to test and verify their ex-

periments under the extreme conditions of space. In November 2013 it became part of the FireBird mission which was completed by the launch of the BIROS satellite in June 2016. This constellation of two satellites observes high-temperature events on Earth (e.g. forest fires) with high resolution infrared sensors.

Besides the regular operations additional LEO-missions are in preparation at GSOC:

- Eu:CROPIS: two greenhouses in space, in which a combined life-support system the waste product urine is utilized into fertilizer
- EnMAP: high quality hyperspectral measurement for precise studies of condition of Earth's surface, and the changes affecting it

Additionally GSOC offers certified services for:

- System design
- System development and configuration
- Mission analysis
- Mission operations

as well as workshops and trainings.

Madagaskar aus dem Weltall gesehen:

Selbst das Auf und Ab der Wellen im Indischen Ozean - auf der Aufnahme gelblich eingefärbt - zeichnet TanDEM-X bei seinem Überflug mit einer Geschwindigkeit von 7,6 km/sec auf. Zu sehen ist auch die Veränderung des Wellengangs, wenn das Wasser durch den engen Eingang der Baie de Diego strömt. Das Wasser in der Bucht selbst, an der auch die Provinzhauptstadt Antsiranana zu erkennen ist, ist im Gegensatz zum welligen Ozean sehr ruhig und reflektiert die Radarsignale von TanDEM-X einheitlicher.

Madagascar seen from space:

Even the ups and downs of the waves in the Indian Ocean - coloured pale yellow on the image - are charted by TanDEM-X as it flies over at a speed of seven kilometres per second. The change in the waves at the entrance to the Diego Suarez Bay is clearly visible. The water in the bay itself, on the shore of which the provincial capital, Antsiranana, can be recognised, is very flat - in contrast to the undulating ocean - and reflects the radar signals from TanDEM-X more uniformly.



Kommunikationssatelliten

Zu den wichtigsten Einsatzbereichen des GSOC gehört seit vielen Jahren das Positionieren und Betreiben von geostationären Satelliten für Kommunikationsanwendungen. Die meisten Systeme dieser Art bestehen aus großen, 2 bis 5 t schweren Satelliten, die im geostationären Orbit (GEO) in ca. 36.000km Entfernung von der Erde fliegen. Da ein Platz in diesem Orbit sehr gefragt ist, muss sich ein Betreiber von der Internationalen Telekommunikations-Union (ITU) eine Box an einem bestimmten Längengrad zuweisen lassen. Den Satelliten in der Launch and Early Orbit Phase (LEOP) nach dem Start der Rakete exakt in diese Box zu positionieren, ohne andere Satelliten zu gefährden, ist sehr anspruchsvoll. Aus diesem Grund wurde das GSOC – nachdem es schon seit den 70er Jahren viel Erfahrung mit den ersten Missionen dieser Art (Symphonie, TV-Sat und DFS Kopernikus) gesammelt hatte – vom kommerziellen Satellitenbetreiber EUTELSAT beauftragt, zwölf Kommunikationssatelliten in den GEO zu bringen und betriebsbereit an EUTELSAT zu übergeben.

Während der LEOP muss die Umlaufbahn des Satelliten mit Manövern des bordeigenen Antriebssystems schrittweise angehoben werden. Damit möglichst wenig Treibstoff dabei verbraucht wird, werden die optimalen Bahnen berechnet. Dafür wird zum Einen regelmäßig der Abstand des Satelliten zur Erde vermessen (genannt Ranging), um seinen exakten Orbit zu bestimmen, und zum Anderen seine Lage kalibriert. Hat der Satel-

lit nach circa einer Woche seine vorgesehene Position erreicht, wird er in seine nominale Konfiguration gebracht (z.B. Solarsegel entfaltet, Drallrad hochgefahren) und es werden sämtliche Systeme getestet. Dann wird die Nutzlast eingeschaltet, die zunächst auch erst vermessen und getestet werden muss, bevor der Satellit seine geplanten Aufgaben beginnen kann.

Aktuell ist das GSOC mit dem Betrieb der sicherheitsrelevanten Mission SATCOMBw betraut. Hierzu gehören zwei geostationäre Kommunikationssatelliten, die das GSOC mit seinem Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen und der Antennenbodenstation in Weilheim nach der erfolgten Positionierung und dem anschließenden Test der Satellitenplattform sowie der Nutzlast über die gesamte Lebensdauer von mindestens 15 Jahren betreibt.

In Vorbereitung sind die Flüge neuer Kommunikationssatelliten (SmallGEO), die etwas kleiner als die konventionellen, schwergewichtigen Satelliten sind und teilweise auch neue elektrische Antriebssysteme mit an Bord haben. Ein neuer Anwendungsbereich sind Relaisdienste für die Datenübertragung anderer in niedrigen Umlaufbahnen fliegenden Satelliten. Dabei ist das neue europäische Relaisatellitensystem EDRS zu nennen, zunächst bestehend aus den beiden Satellitenprojekten EDRS-A (im Orbit seit Januar 2016) und EDRS-C.

Communication Satellites

The positioning and operation of geostationary satellites for communication applications is one of GSOC's most important operational areas for many years. Most systems of this kind consist of large (2 to 5 t) satellites, flying in the geostationary orbit (GEO) in approx. 36,000km distance from the Earth. Since the positions in this orbit are highly demanded, a provider must request the International Telecommunication Union (ITU) a box at a specific longitude. To position the satellite exactly in this box without endangering other satellites during the launch and early orbit phase (LEOP) after it is undocked from the rocket is very demanding. For this reason in addition to its long term experience gained in missions such as Symphonie, TV-Sat and DFS Kopernikus, GSOC was contracted by the commercial satellite services provider EUTELSAT to maneuver twelve communication satellites into the GEO and hand them over to EUTELSAT ready for use.

During LEOP the orbit of the satellite needs to be boosted step-by-step with maneuvers of its propulsion system. The orbits are calculated optimally to consume a minimal amount of fuel. As a precondition the distance between satellite and Earth is measured at regular intervals (called ranging) to determine its exact trajectory. In addition, the satellite attitude is calibrated. When the satellite reaches its position after approx. one week, its nom-

inal configuration is established (e.g. solar panels deployed, momentum wheel run up) and all systems are tested. Afterwards, the payload is activated which needs to be measured and tested as well before the satellite can be used for its actual tasks.

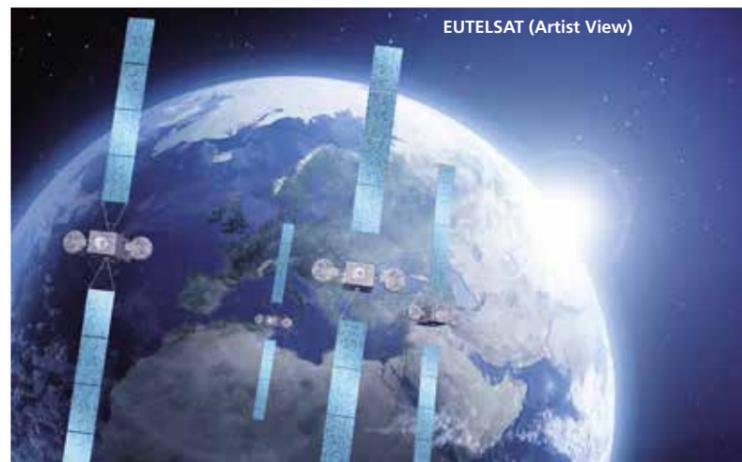
Currently, GSOC is assigned with the operations of the security-relevant mission SATCOMBw. It consists of two geostationary communication satellites, which are operated by GSOC from its control center in Oberpfaffenhofen as well as the antenna ground station in Weilheim. Operations will continue for its projected lifetime of a minimum 15 years after the positioning and the subsequent satellite platform tests.

In preparation are flights of new communication satellites (SmallGEO), which are smaller than the conventional heavy-weight spacecraft and are equipped with new electric propulsion systems. A new application area are relay services for data transmission from satellites in the low-earth orbit, e.g. the new European Data Relay System EDRS. Currently this system consists of the satellite projects EDRS-A (in orbit since January 2016) and EDRS-C.

SATCOMBw (Artist View)



EUTELSAT (Artist View)

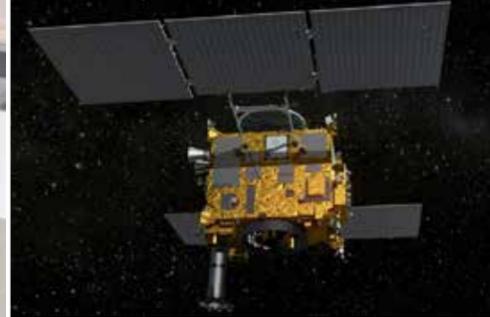
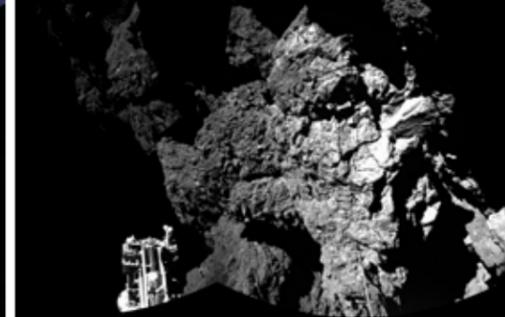
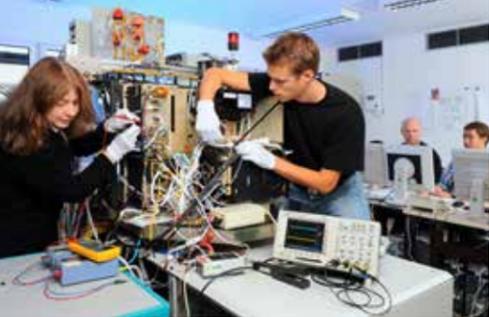


EDRS (Artist View)



SmallGEO (Artist View)





Softwaretests am originalgetreuen Modell von Philae
Testing software with an engineering model of Philae

Raumsonde Rosetta mit Philae-Lander (Grafik, ESA)
Rosetta orbiter with Philae lander (Artist View, ESA)

Philae auf der Oberfläche des Kometen – vom CIVA-Kamerasystem an Bord des Landers aufgenommen. Links im Bild ist eines der drei Landerbeine zu erkennen. Bild: ESA/Rosetta/Philae/CIVA
Philae on the surface of the comet – image taken by the CIVA camera system of the lander. On the left one can see one of the three legs of the lander. Image: ESA/Rosetta/Philae/CIVA

Flugmodell von MASCOT
Engineering model of MASCOT

Künstlerische Darstellung der Hayabusa-Sonde
Artist view of the Hayabusa orbiter

Lander-Kontrollzentrum (LCC) in Köln
Lander Control Center (LCC) in Cologne

Interplanetare Robotik

Mit dem Lander Control Center (LCC) in Köln besitzt das DLR ein Kompetenzzentrum für die Erforschung „kleiner Körper“ im Sonnensystem. Der Betrieb des Kometenlanders Philae als Teil der europäischen Rosetta Mission wurde von hier durchgeführt (2003 bis Missionsende 2016).

Rosetta hatte nach einer Reise von 10 Jahren Dauer den Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko im August 2014 erreicht und setzte im November 2014 die Landesonde dort ab. Während der gesamten Missionszeit war das Lander Control Center verantwortlich für die Steuerung und die Überwachung von Philae. In der Cruise-Phase bis zur Ankunft am Kometen

wurden Tests und Kalibrationen der Nutzlast durchgeführt, um die Einsatzbereitschaft des Moduls sicherzustellen. Nach der Landung führte Philae ein umfangreiches Messprogramm auf der Kometenoberfläche durch.

Seit 2014 wird der Asteroidenlander MASCOT hier betrieben. Er fliegt an Bord der japanischen Hayabusa-2 Mission zum Asteroiden 1999JU3, jetzt Ryugu und wird 2018/19 die Oberfläche dieses Kleinplaneten erkunden. Weitere Lander-Missionen sind in Vorbereitung.

Robotic Exploration

DLR's Lander Control Center (LCC) is a center of expertise for exploration of so called "small bodies" in the solar system. Operations of the comet lander Philae as part of the European mission Rosetta probe were performed from here (2003 until the end of the mission in 2016).

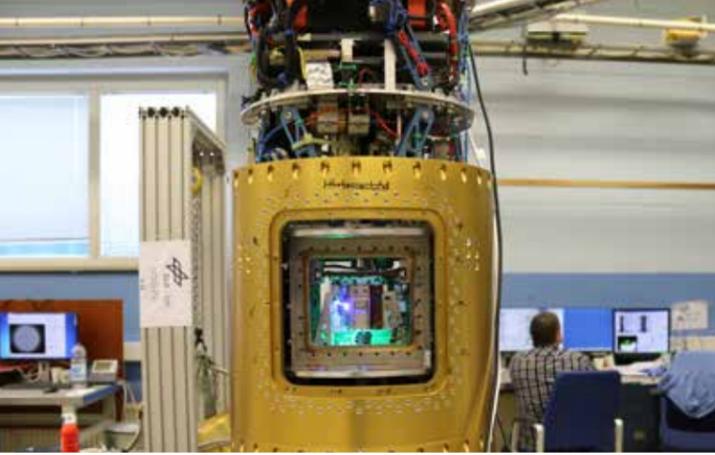
After a 10 year journey Rosetta had reached the comet 67P/Churyumov-Gerasimenko in August 2014 and set down the lander probe there in November 2014. During the complete mission phase, the control center was in charge of monitoring and controlling Philae. In the cruise phase before the arrival at the comet, tests and calibrations of the payload were executed to

ensure the operational readiness of the module. After landing, Philae performed an extensive measurement program on the comet's surface.

Since 2014 the asteroid lander MASCOT is operated from LCC. The lander flies onboard of the Japanese sample-return mission Hayabusa-2 to the asteroid 1999JU3, now Ryugu, and will explore the surface of this body in 2018/19. Further lander missions are in preparation.

Landung von Philae auf dem Kometen P67/Churyumov-Gerasimenko (Grafik, ESA)
Landing of Philae on the comet P67/Churyumov-Gerasimenko (Artist View, ESA)





Mobile Raketenbasis

Die Mobile Raketenbasis MORABA des DLR ist Teil des Raumflugbetriebs. Ihre Kernaufgaben sind die Planung, Vorbereitung und Durchführung von Kampagnen mit Forschungsraketen und -ballonen für wissenschaftliche Experimente in den Bereichen Aeronomie, Astronomie, Geophysik, Atmosphärenphysik, Hyperschall sowie unter Schwerelosigkeit über Zeiträume von 3 bis 15 Minuten. Einige Experimente werden so für ihren Einsatz in Satelliten oder auf der Internationalen Raumstation getestet.

Seit der Gründung 1967 wurden nahezu 500 Kampagnen der weltweit einsetzbaren Raketen und Stratosphärenballone erfolgreich durchgeführt, u. a. in Skandinavien, Brasilien, Australien, Japan und der Antarktis. Mechanische und elektrische Subsysteme der Raketen und Ballone, die nicht auf dem

kommerziellen Markt erhältlich sind, werden von der MORABA selbst entwickelt, qualifiziert und hergestellt.

Weiterhin unterstützt die MORABA Satellitenmissionen mit ihren mobilen Radarstationen zum Verfolgen und Bestimmen der Flugbahn, sowie mit Bodenstationen zum Empfang von Telemetrie und Senden von Kommandos.

Mobile Rocket Base

The Mobile Rocket Base MORABA is part of DLR space operations. Its core tasks are planning, preparation and execution of campaigns with sounding rockets and balloons to perform scientific experiments in the fields of aeronomy, astronomy, geophysics, atmosphere physics, hyper sonic research and microgravity (3 to 15 minutes). Some experiments are being tested this way for their application on satellites or in the International Space Station.

Since its foundation in 1967, nearly 500 campaigns of the worldwide usable rockets and stratosphere balloons were successfully performed, amongst others in Scandinavia, Brazil, Australia, Japan and the Antarctic. The mechani-

cal and electrical subsystems of the rockets and balloons which are not available on the commercial market are being developed, qualified and manufactured by MORABA.

Furthermore, MORABA supports satellite missions with mobile radar stations to track and determine the trajectory and also with ground stations to receive telemetry and send commands.



Start von SHEFEX II von der norwegischen Raketenstation Andoya im Juni 2012
Launch of SHEFEX II from the norwegian launch Site Andoya in June 2012

Echtzeitbewertung von Nutzlastdaten an Bord

Dieses Forschungsgebiet hat das Ziel, Satellitensysteme zur Erdbeobachtung autonomer und deren Betrieb effizienter zu machen. Aufgenommene Bilder sollen in Echtzeit unmittelbar an Bord des Satelliten verarbeitet und bewertet werden, um ohne Interaktion mit dem Boden entscheiden zu können, ob die Aufnahme etwas Nützliches zeigt.

Möchte man nach einer Naturkatastrophe, z. B. einer Überflutung, einen Überblick über die Schäden gewinnen, kann man nicht von vornherein wissen, wo genau diese entstanden sind. Hat der Satellit eine Abweichung vom Normalzustand entdeckt, soll er automatisch weitere und detailliertere Aufnahmen des Ortes machen. Auf diese Weise können wesentliche Informationen schneller und zielorientiert gewonnen werden.

Auch im Fall von sicherheitsrelevanten Ereignissen ist Information umso wertvoller je aktueller sie ist. Großes Interesse hat in jüngerer Zeit beispielsweise die Detektion von Schiffen geweckt.

Gegen Piraterie, illegale Fischerei oder Umweltverschmutzung durch Öltanker kann nur durch eine zeitnahe Reaktion vorgegangen werden. Hierfür kann die Bildanalyse an Bord entscheidende Hilfestellung leisten.

Ein weiterer Vorteil ist, dass unbrauchbare Bilder, etwa weil sie zu viele Wolken zeigen, entweder sofort wieder gelöscht oder mit niedriger Priorität behandelt werden können. So haben wichtigere Bilder beim Datendownload zur Erde Vorrang und die Nutzung des Speicherplatzes auf dem Satelliten kann optimiert werden.

Am GSOC werden zur Bildanalyse an Bord von Satelliten Algorithmen umgesetzt und FPGA (Integrierter Schaltkreis) Konfigurationen entwickelt, die den Satelliten mit zusätzlicher Intelligenz ausstatten. Die erste Anwendung auf einem realen Satelliten soll 2015 in Betrieb genommen werden.

Realtime Evaluation of Payload Data on Board

This field of research aims to increase the autonomy of satellite systems for Earth observation and the efficiency of their operations. Images will be processed in real-time directly on board of the spacecraft in order to decide independently of ground interaction, whether the acquisition shows something useful.

The exact circumstances and location of damages caused by a natural disaster, e. g. a flooding, are a priori unknown. If the satellite discovers a deviation from the normal state, it should be able to automatically acquire further and more detailed images. By this means, substantial information can be gained quicker and aim-oriented.

Whenever events on the Earth's surface are safety-related and time-critical, the value of information strongly depends on being up to date. In this regard, the detection of ships lately met with

great interest. An immediate reaction is required when proceeding against piracy, illegal fishery or environmental pollution by oil tankers. For that, the prompt evaluation of optical data on board can provide important assistance.

Furthermore, on board image analysis allows acquisitions of minor interest, e. g. cloud-contaminated scenes, to be discarded instantly or treated with lower priority, which leads to an optimized usage of storage and downlink capacity.

For the purpose of onboard image evaluation GSOC realizes algorithms and develops FPGA (Field Programmable Gate Array) configurations, providing the satellite with additional intelligence. The first application on a satellite is expected to be launched in 2015.

Steuerungs- und Planungssoftware-Entwicklung

Mission Control System (MCS)

Satelliten sind hochkomplexe und teure technische Systeme, die in ihrer Umlaufbahn dem direkten Zugriff entzogen sind. Aus abstrakten, per Funk übertragenen Daten, müssen sich die Bediener am Boden ein Bild über den Zustand des Systems machen, um den Satelliten zu überwachen und zu steuern bzw. Experimente durchführen zu können. Das MCS unterstützt die Ingenieure im Kontrollzentrum, indem es die Satellitendaten aufbereitet und bedarfsgemäß darstellt. Darüber hinaus werden die Einzelbefehle (Kommandos), die am Satelliten ausgeführt werden sollen, generiert und in die für den jeweiligen Satelliten verständliche Form umgewandelt. Jede empfangene und gesendete Information wird in einem Langzeit-Archiv für spätere Analysen gespeichert.

Mission Planning System (MPS)

Effiziente Planung ist für den Erfolg von Raumflugmissionen von entscheidender Bedeutung. Das GSOC-Planungssystem ist ein etabliertes und bewährtes Werkzeug, das wahlweise komplett oder in einzelnen Teilen eingesetzt werden kann. Ein breites Spektrum von Zeit-Planungsproblemen kann mit diversen Konfigurationen gelöst werden.

Kern der Planungssoftware ist die Komponente PLATO (PLanningTOol), die aus allen Anforderungen gemäß den Randbedingungen und den verfügbaren Ressourcen einen ausführbaren und konfliktfreien Ablaufplan (Timeline) erstellt. Bei der TanDEM-X Mission sind z. B. für einen Drei-Tages-Plan ca. 3.000 Anforderungen, ca. 200 Randbedingungen und mehr als 100 Ressourcen unterschiedlichsten Typs zu berücksichtigen. Ein erstellter Ablaufplan kann jeder Zeit grafisch aufbereitet und interaktiv geändert werden. Hierzu dient die Komponente PINTA (Program for INteractive Timeline Analysis). Dieses Werkzeug unterstützt nicht nur den laufenden Satellitenbetrieb, sondern wird auch in der Vorbereitung bei aufwendigen Missions-Analysen sowie Simulationen eingesetzt.

Beide Softwarepakete (MCS wie auch MPS) müssen ständig den Anforderungen neuer und komplexerer Satellitenmissionen angepasst werden. Beispiele sind die neuen Missionstypen „Formationen“ und „Konstellationen“ (Multisatellitensysteme).

Control and Planning Software Development

Mission Control System (MCS)

Satellites are highly complex and expensive technical systems, which are detracted of a direct access in their orbit. The operators on the ground need to know the condition of the system based on abstract data transmitted by radio waves in order to monitor and control the satellite or to execute experiments. The control center engineers are supported by the MCS as it processes and displays the satellite data. Furthermore, the commandos which are to be executed on the satellite are generated and converted to a form which can be processed by the particular satellite. All received and transmitted information is saved in a long-term archive for later analysis.

Mission Planning System (MPS)

Efficient planning is essential for the success of space flight missions. GSOC's planning system consists of an established and proven tool suite, which can be used completely or in parts. A wide spectrum of time-planning problems can be solved using many different configurations.

PLATO (PLanning Tool) is the core module of the planning software, generating an executable timeline free of conflicts and based on all requirements corresponding to the basic conditions and available resources. For example, approx. 3,000 requirements, approx. 200 basic conditions and over 100 resources of different kinds must be considered for a 3-day-plan at the TanDEM-X mission. A generated timeline can be processed graphically and changed interactively at any time. The component PINTA (Program for INteractive Timeline Analysis) serves this purpose. This tool suite is not only used for the ongoing satellite operations but also for extensive mission analysis and simulations during mission preparation.

Both software packages (MCS and MPS) are regularly adapted to the requirements of new and more complex satellite missions. Examples are new mission types "formations" and "constellations" (multiple satellite systems).

USA, Überflutung von Indiana 2008

USA, Indiana Flooding 2008

Falschfarbenbild der Referenzaufnahme
Juni 2007, Landsat 5 TM

False colour composite of reference image
June 2007, Landsat 5 TM

Falschfarbenbild der Überflutung
Juni 2008, Landsat 5 TM

False colour composite of flooding event
June 2008, Landsat 5 TM

Überflutungs-/ Veränderungskarte
Bereiche sind nach Schweregrad der Überflutung gefärbt

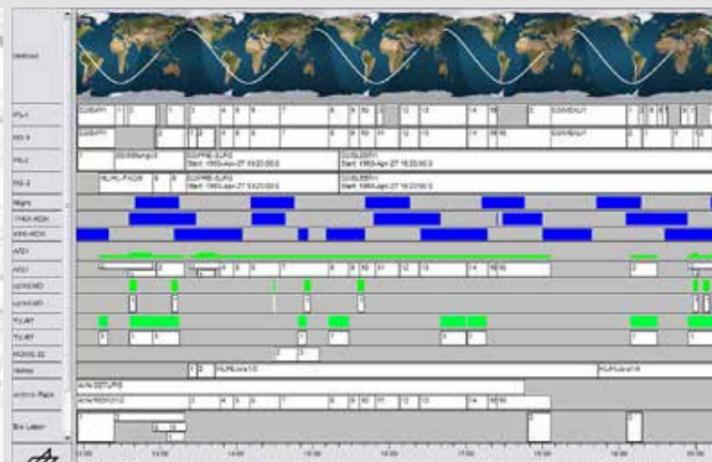
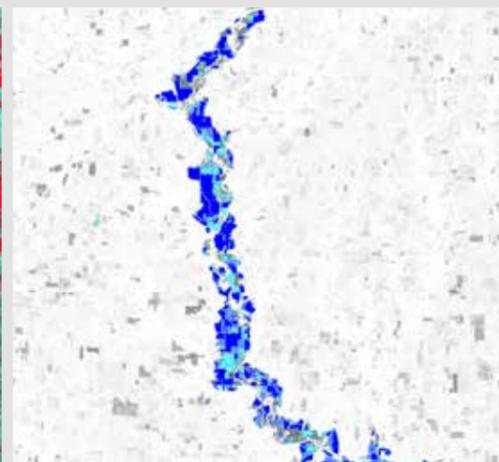
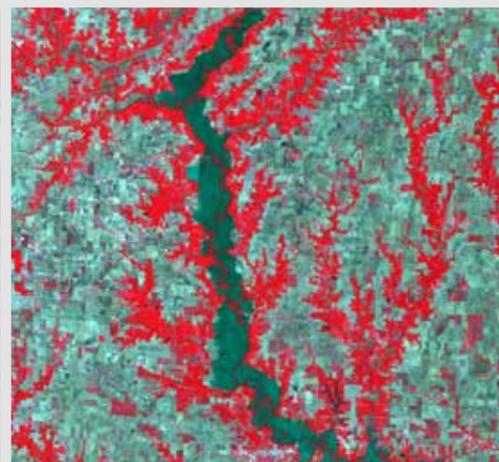
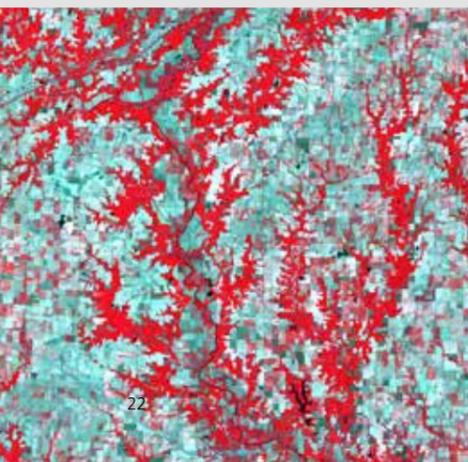
Flooding / change detection map
areas are coloured with respect to severity degree

Missionsplanung - Erzeugung eines Ablaufplans für alle Bordaktivitäten
mit maximaler Ressourcenauslastung und minimalen Konflikten

Mission Planning - Developing a timeline for all on-board activities,
with maximum resource utilization and minimum conflicts

Missionskontrollsysteme in Kontrollräumen

Mission control systems in control rooms



Navigation von Raumfahrzeugen

Das GSOC betreibt führende Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der autonomen Navigation von Raumfahrzeugen. Schwerpunkte sind dabei Empfängertechnologien für Globale Navigations Satellitensysteme (GNSS), der Formationsflug von Satelliten sowie die hochgenaue Navigation mittels GNSS.

Neben der Entwicklung eines miniaturisierten GPS-Empfängers (Phönix) mit hoher Genauigkeit und geringem Leistungsverbrauch wird u. a. an der Nutzung neuer Signale (wie GPS L2C, Galileo), der robusten Signalakquisition unter hoher Dynamik sowie Mehrantennenkonfigurationen gearbeitet. Auf dem TET-1 Satellit demonstriert die GSOC-Forscherguppe den Einsatz kostengünstiger GPS-Empfänger für wissenschaftliche Anwendungen. Auch Navigationssysteme für ballistische Körper wie Höhenforschungsraketen werden entwickelt. Alle entwickelten Systeme und Technologien werden ausführlich getestet, sowohl am Boden als auch im Weltraum.

Angesichts der steigenden Bedeutung von Multisatellitensystemen für wissenschaftliche und kommerzielle Anwendungen bildet der autonome Formationsflug einen wesentlichen Schwer-

punkt der Forschungsarbeiten. Im Rahmen der PRISMA Mission kooperierte das GSOC mit der Swedish Space Cooperation (SSC) und war wesentlich an der Mission beteiligt. Erstmals in Europa wurden dabei innovative Sensoren, Aktuatoren sowie Navigations- und Kontrollkonzepte für Rendezvous- und Formationsflüge von Satelliten erprobt. Auch bei der TanDEM-X Mission ist das GSOC maßgeblich für den sicheren Formationsflug, die genaue Abstandsbestimmung und autonome Formationsflugexperimente zuständig.

Ein weiteres Forschungsziel im Bereich GNSS ist die Erhöhung der Genauigkeit von Navigationsanwendungen auf Satelliten. Hierzu gehört u. a. die Echtzeitbestimmung von GPS-Uhrenkorrekturen, um die Satelliten ohne Zeitverzögerung zentimetergenau orten zu können, sowie die (Weiter-)Entwicklung von Softwarepaketen zur Orbitbestimmung von niedrig fliegenden Satelliten per GPS.

Spacecraft Navigation

GSOC performs leading research and development for autonomous navigation of spacecrafts. Focal points are space borne Global Navigation Satellite System (GNSS) receiver technologies, satellite formation flying and high precision navigation using GNSS.

In addition to the design of a miniaturized GPS receiver (Phoenix) with high precision and low power consume, GSOC is working on using new signals (e. g. GPS L2C, Galileo), fast signal acquisition under high dynamics and multi-antenna configurations. The scientist group validates the use of commercial-off-the-shelf (COTS) GPS receiver technology for science missions on the TET-1 satellite. GPS navigation systems for ballistic vehicles like sounding rockets are being developed as well. All systems and technologies are being tested extensively both on ground and in space.

As an increasing demand in scientific and commercial applications will boost the use of multi-satellite systems, auto-

nomous formation flying forms another key area of research. GSOC participated substantially in the PRISMA mission in cooperation with the Swedish Space Cooperation (SSC). Within the scope of this mission, innovative sensors and actuators as well as guidance/ navigation strategies for spacecraft formation flying and rendezvous were validated for the first time in Europe. GSOC is also responsible for the safe formation flying of the TanDEM-X mission, its exact distant determination and autonomous formation flying experiments.

Another research objective in the GNSS area is to increase the precision of navigation applications on satellites. Means are real-time determination of clock offsets, which allows locating satellite positions down to centimeter level, as well as the (onward) development of software packets for orbit determination of LEO satellites using GPS.

Weltraumlage

Für den Betrieb von Satelliten wird die Kenntnis der Weltraumlage immer wichtiger. Speziell Raumfahrtrückstände stellen eine immer größere Gefahr dar. Hierzu zählen ausgediente Satelliten, Raketenfragmente und Trümmerteilchen. So kommt es für die vom GSOC betriebenen Satelliten ca. alle zwei Wochen zu kritischen Annäherungen. Um die Satelliten vor einer Kollision in erdnahen Orbits zu schützen, wurde das Kollisionsvermeidungssystem COLA entwickelt, welches seit 2009 erfolgreich eingesetzt wird: Für jeden Satelliten, den das GSOC betreibt, wird zweimal täglich das Kollisionsrisiko basierend auf Warnungen des Joint Space Operations Center (JSpOC, USA) berechnet. Überschreitet das Kollisionsrisiko eine bestimmte Schwelle, wird das Ereignis näher analysiert. Um die teilweise unzureichend bekannten Bahnen der Kollisionsobjekte genauer zu vermessen, kann die Radarantenne TIRA der Fraunhofer Gesellschaft eingesetzt werden. Bestätigen die TIRA-Messungen die Kritikalität, werden für den betroffenen Satelliten Bahnmanöver zur Kollisionsvermeidung berechnet und durchgeführt.

Zusätzlich zum erdnahen Raum wird ein weltweites optisches Stationsnetzwerk zur Überwachung des geostationären Rings in enger Zusammenarbeit mit dem Astronomischen Institut der Universität Bern aufgebaut. Die zugehörigen Teleskope werden vom GSOC aus telerobotisch kommandiert. Die so gewonnenen Daten erlauben die Verfolgung und Bahnvorhersage für geostationäre Objekte ab einer Größe von ca. 50 cm. Das erste Teleskop wird 2016 in Sutherland, Südafrika, aufgebaut werden.

Die notwendige Hard- und Software zur Erstellung und Erhaltung einer Bahndatenbank wird gemeinsam mit dem DLR Institut für Simulations- und Softwaretechnik entwickelt. Dieses System, BACARDI (Backbone Catalogue of Relational Debris Information) genannt, nutzt zur Bahnbestimmung von Objekten die Beobachtungen aller verfügbaren Sensoren und kann die vorhandenen Bahninformationen anderer Organisationen mit einbinden und verwerten. Die Prozessierung wird auf ein Rechnernetzwerk verteilt und mittels GPGPU Rechenkarten parallel durchgeführt. Eine weitere Funktionalität ist die optimierte Beobachtungsplanung für Sensor-Netzwerke.

Space Situational Awareness (SSA)

Exact knowledge of the actual situation in Space plays an ever increasing role in the operation of satellites. In particular the risk of collision with space debris such as defunct satellites, rocket fragments and wreckage is growing, thus resulting in a critical situation for satellites under the supervision of GSOC about once every fortnight. To help combat this problem and protect satellites in Low-Earth orbits a collision avoidance system was developed called "COLA". "COLA" has been in successful operation since 2009. This system is used to calculate the risk for all of GSOC's satellites twice daily, based on the warnings of the Joint Space Operations Center (JSpOC, USA). If the collision risk is exceeded by a predetermined limit the incident is given further analysis. If there is insufficient information available regarding the trajectory of a possible collision candidate data from a radar antenna run by the Fraunhofer society called "TIRA" can be utilized. If "TIRA" verifies the criticality then an orbit correction is calculated for the relevant satellites and carried out.

To broaden the application to cover additional Space beyond Low-Earth a worldwide network of optical stations is being set

up to monitor the geostationary orbit ring in close cooperation with the Astronomical Institute at the University of Bern. GSOC will operate the relevant telescopes by means of a robotic interface. The data captured will enable the tracking and orbit prediction of geostationary objects larger than approx. 50 cm. Sutherland in South Africa has been chosen as the location for the first telescope to be set up in 2016.

The hardware and software required to generate and support the orbit data bank is being developed together with the DLR Institute for Simulation and Software Technic. The system goes by the name of "BACARDI", standing for Backbone Catalogue of Relational Debris Information. It will have access to data gathered from all available sensors and can incorporate and utilize orbit information from other organisations.

The processing capability required will be divided between a network of data processors performing in parallel via a GPGPU computer board. An extra resource gained from this system is planning optimum observation for sensory networks.

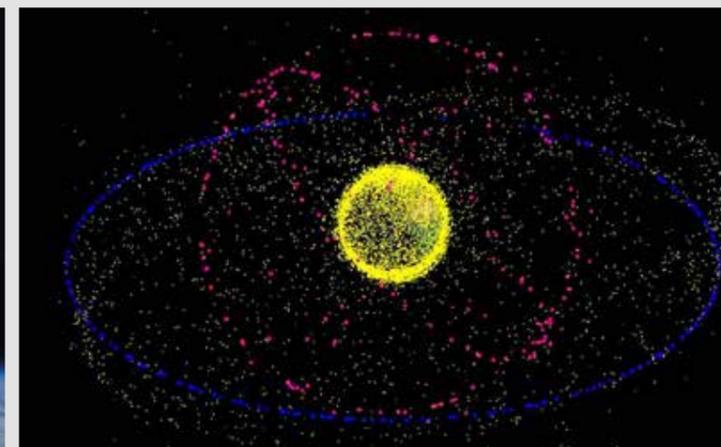
Phönix GPS-Empfänger
Phoenix GPS receiver



Hoch-präzise Navigation der TanDEM-X Formation mittels GPS
High-precision navigation of the TanDEM-X formation using GPS Formation



Diagramm Weltraumrückstände
Diagram Space Debris



Großradaranlage TIRA, Wachtberg
(Bild: FHR)
High power radar system TIRA,
Wachtberg (Image: FHR)



GSOC-Teleskop beim Test in Zimmerwald, Schweiz
GSOC's telescope during test in Zimmerwald, Switzerland



Orbitales Servicing

Nach der ersten Kollision eines operativen Satelliten in der Erdumlaufbahn im Jahr 2009 war offensichtlich, dass Raumfahrt-rückstände im erdnahen Weltraum eine echte Gefahr für Satelliten sind, die nicht länger ignoriert werden kann. Seitdem wird eine kontinuierliche Zunahme der Dichte des Weltraummülls verzeichnet – hauptsächlich durch den sogenannten Kessler-Effekt. Dieser beschreibt die kaskadierende Zunahme der Zahl kleiner Objekte des Weltraummülls durch zufällige Kollisionen. Die Sprengkraft aus der kinetischen Energie kleiner Teile kann Satelliten in eine riesige Zahl zusätzlicher kleiner Objekte fragmentieren. Es ist heute allgemein akzeptiert, dass diese Kettenreaktion nur gestoppt werden kann, wenn eine bestimmte Anzahl ausgedienter Satelliten pro Jahr aus dem Weltraum entfernt wird.

Die Entfernung alter und inaktiver Satelliten bedeutet, dass unkontrollierte und nicht-kooperative Objekte eingefangen und aus dem Orbit entfernt werden müssen. Dafür sind Schlüsseltechnologien erforderlich wie Steuerungs-, Navigations- und Kontroll-Algorithmen für die Annäherung und das Zurückweichen. Das GSOC hat in diesem Zusammenhang verschiedene Technologien entwickelt. 2012 wurde im Rahmen der schwedischen Mission PRISMA das Experiment ARGON durchgeführt, um eine Annäherung mit Hilfe von optischer Navigation zu demonstrieren. Dieses findet 2016 eine Fortsetzung mit dem AVANTI-Experiment in der DLR Mission BIROS. Ferner erforscht und entwickelt das GSOC neuartige Technologien für Rendezvous- und Kontaktdynamik-Systeme zum robotischen De-Orbiting für Raumfahrt-rückstände.

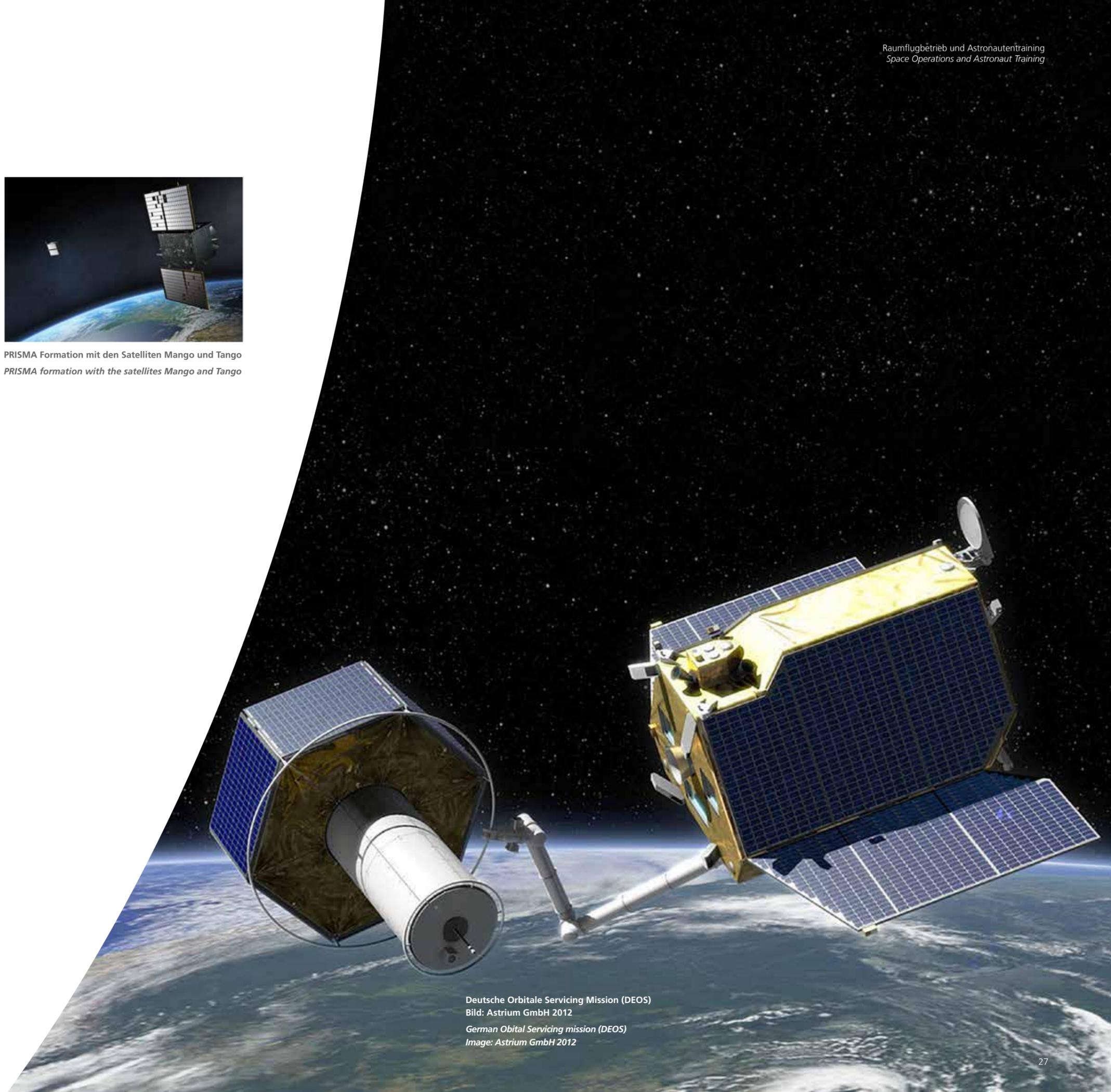


PRISMA Formation mit den Satelliten Mango und Tango
PRISMA formation with the satellites Mango and Tango

On-Orbit Servicing (OOS)

With the 2009 satellite collision it became obvious that space debris is a real danger for objects in orbit which cannot be ignored any longer. Ever since we are experiencing a continued increase in the density of space debris, generated largely by the so-called Kessler effect. This effect describes a cascade of debris particles hitting inactive satellites which burst into a huge number of additional particles. It is now generally accepted that this cascade can be stopped only when a certain number of old satellites per year is removed from orbit.

Removing old and inactive satellites means that uncontrolled and non-cooperative objects have to be approached, captured and de-orbited. This requires improving key technologies like the Guidance, Navigation & Control algorithm for the approach and the recede phases. The German Space Operation Center (GSOC) has developed several technologies in this context: 2012 the ARGON experiment was carried out using the Swedish PRISMA mission to demonstrate optical approach navigation. In 2016 this will be continued by the AVANTI experiment on DLR's BIROS mission. Additionally, GSOC develops new technologies for Rendezvous- and Contact Dynamic systems for robotic de-orbiting of space debris.



Deutsche Orbitale Servicing Mission (DEOS)
Bild: Astrium GmbH 2012
German Orbital Servicing mission (DEOS)
Image: Astrium GmbH 2012

Testanlage für Weltraumrobotik



Hochleistungs-Sonnensimulation zur Targetbeleuchtung
High power Sun simulation for target illumination

Die Missionen für orbitale Wartungs- und Abschleppdienste erfordern äußerst anspruchsvolle Rendezvous- und Docking-Manöver. Eine besondere Schwierigkeit besteht darin, autonom nicht-kooperative, passive Kundensatelliten anzufliegen, die über keine speziellen Vorrichtungen für Rendezvous und Docking verfügen. Hierfür sind neue, spezielle Navigations- und Dockingverfahren, Sensoren und Antriebssysteme nötig, die ausgiebig getestet und verifiziert werden müssen. Eine weitere Herausforderung ist der Anflug und das Andocken/Greifen von taumelnden Zielsatelliten.

Der European Proximity Operations Simulator (EPOS) 2.0 ist eine Anlage im GSOC für Konzeption, Entwicklung, Test und Verifikation von Rendezvous und Docking Sensoren und Systemen. Der Teststand besteht aus zwei Industrierobotern mit jeweils sechs Freiheitsgraden, von denen einer auf einer 25 m langen Schiene montiert ist. Hiermit werden in Echtzeit die Annäherung und das Andocken zweier Satelliten getestet, wobei ein Roboter die Bewegung des Service-Satelliten und der andere Roboter die Bewegung des Kundensatelliten simuliert. Eine Besonderheit der EPOS Anlage ist die hohe Positioniergenauigkeit im Submillimeterbereich über 25 Meter und eine hohe Kommandierungsrate von 250Hz, sodass auch die Kontaktdynamik während des Dockings simuliert werden kann. Mithilfe eines Hochleistungs-Sonnensimulators kann eine realistische Umgebungsbeleuchtung erreicht werden – eine wichtige Anforderung beim Testen von optischen Sensoren.

European Proximity Operations Simulator (EPOS)

Orbital servicing and debris removal missions require very sophisticated rendezvous and docking maneuvers. The autonomous approach to a non-cooperative, passive client satellite which is not equipped with particular rendezvous and docking tools, is a very difficult and challenging task. For this issue, special navigation and docking methods, sensors and actuators are necessary which have to be extensively tested and verified. A further challenge is rendezvous and docking/capturing involving a tumbling target satellite.

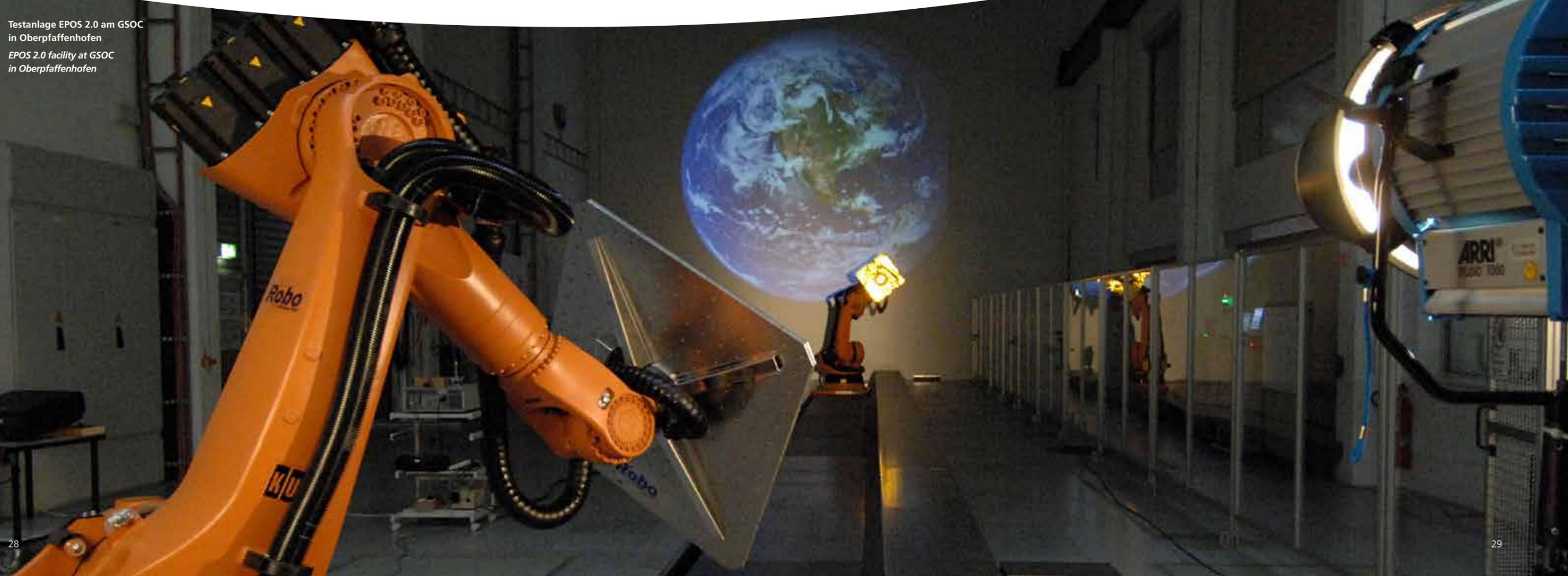
The European Proximity Operations Simulator (EPOS) 2.0 is a facility within GSOC for design, development, test and verification of rendezvous and docking sensors and systems. The facility comprises two industrial robots with each six degrees of freedom; one of them is mounted on a 25 m linear rail. In real-time, the approach and docking of two satellites are tested with one robot simulating the motion of the service satellite and one robot simulating the motion of the client satellite. A special feature of the EPOS facility is the high positioning accuracy in the sub millimeter range over 25 m and a high commanding rate of 250Hz, such that also contact dynamics during the docking can be simulated. A powerful Sun simulator creates a realistic illumination – an important requirement for tests of optical sensors.



Kamerasystem zur Anflugnavigation montiert auf einem Roboter

Camera system for rendezvous navigation mounted on a robot

Testanlage EPOS 2.0 am GSOC
in Oberpfaffenhofen
EPOS 2.0 facility at GSOC
in Oberpfaffenhofen



Ka-Band-Technologien

Seit Beginn der Funktechnik wird die zur Übertragung genutzte Frequenz immer weiter erhöht. Dies ist technologisch schwieriger, bietet aber die Vorteile einer immer größeren Bandbreite und damit auch höheren Datenrate. Aktuell wird das Ka-Band (ca. 20-35 GHz) zur Nutzung erschlossen. Es besteht ein großes Interesse (u. a. bei DLR und ESA), eigenes Know-How in Europa aufzubauen. Zu diesem Zweck müssen neue Technologien entwickelt, getestet und zur Einsatzreife gebracht werden. Dafür wurde an der GSOC Bodenstation in Weilheim eine neue 13 m Ka-Band Antenne gebaut. Das DLR entwickelt in Kooperation mit dem Steinbeis-Transferzentrum Raumfahrt ein hochratiges Ka-Band-Modem, welches anschließend mittels der neuen Antenne validiert werden soll.

Weiterhin müssen bis zu einer Nutzung dieses Frequenzbereichs verschiedene Aspekte untersucht werden, z. B. das Wetter. Ka-Band reagiert deutlich stärker auf Wettereinflüsse als niedrigere Frequenzen. Bei allen Radiowellen mit einer Frequenz über 10 GHz entstehen Wasser- und Gasmolekülresonanzen,

Ka-Band Technologies

Since the beginning of radio engineering the transmission frequency has been continually increased. These technologies are more difficult, but offer the advantage of a bigger bandwidth and thus a higher data rate. Currently, the Ka-band usage (approx. 20 to 35 GHz) is made accessible. There is a big interest (amongst others at DLR and ESA) to build up know-how in Europe. For this purpose, new technologies need to be developed, tested and brought to application. Therefore, a new 13 m Ka-band antenna was built at GSOC's ground station in Weilheim. DLR is developing a high-rate Ka-band modem in cooperation with the Steinbeis Transfer Center Space, which subsequently will be validated via the new antenna.

Different aspects need to be analyzed before this frequency range can be used, e.g. the weather. Ka-band shows significantly stronger reactions on weather impacts as lower frequencies. Resonances of water and gas molecules occur at all radio

die sie stark dämpfen. Um die Signalstärke berechnen und verlässliche Verfügbarkeitswerte bekommen zu können, müssen die empfangenen Signale der Ka-Band Antenne mit Langzeit-Messungen analysiert werden. Auf der Basis dieser Messungen werden neue Techniken zur Dämpfungsminderung untersucht und für den zukünftigen Ka-Band-Betrieb implementiert.

Auch die Genauigkeit der Antenne für den Datenaustausch mit niedrig (und damit schnell) fliegenden Satelliten wird untersucht: Welcher Drehgeschwindigkeit hält die Antenne stand? Wie schnell kann das Tracking System dem Satelliten folgen? Mehrere Komponenten der Antenne sind neu auf dem Markt und ihre Leistungsfähigkeit deshalb noch nicht genau bekannt (z. B. Vor- und Leistungsverstärker, LNAs, HPAs, Receiver). Das gilt auch für die Geschwindigkeitsmessungen mittels Dopplereffekt. Die Dopplerverschiebung ist im Ka-Band fast doppelt so groß wie im Ku-Band (± 900 KHz gegenüber ± 500 KHz) und es ist ungewiss, ob vorhandene Doppler-Empfänger damit funktionieren.

waves with a frequency over 10 GHz, attenuating them strongly. To be able to calculate the signal strength and reliable availability values, the signals received by the Ka-band antenna need to be analyzed with long-term measurements. On the basis of these measurements, new techniques of attenuation reduction are researched and implemented for the upcoming Ka-band operations.

The accuracy of the antenna for data exchange with low (thus fast) flying satellites is analyzed as well: How much rotational speed can the antenna sustain? How fast can the tracking system follow the satellite? Several components of the antenna are new on the market and hence their capability is not yet exactly known (e.g. LNAs, HPAs, receiver). This also applies to range-rate measurements via Doppler Effect. The Doppler shifting in Ka-band is nearly twice as big as in Ku-band (± 900 KHz compared to ± 500 KHz) and it is uncertain, whether existing Doppler receiver function with it.

Bodenstationen

Um mit Raumfahrzeugen kommunizieren zu können, benötigt man Antennenanlagen. Das GSOC betreibt am Standort Weilheim (35 km südwestlich von Oberpfaffenhofen) die ZDBS (Zentralstation des Deutschen Bodensystems) mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Antennen (von 4,5 bis 30 m Durchmesser). Über diese findet der Datenaustausch statt. Die Bodenstation ist über eine redundante Kommunikationsverbindung mit dem Deutschen Raumfahrtkontrollzentrum verbunden. Das Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen koordiniert den Betrieb der Antennen und leitet die im Kontrollraum generierten Kommandos direkt nach Weilheim weiter. In der Gegenrichtung werden die von den Raumfahrzeugen empfangenen Daten (Telemetrie, Ranging-, Doppler- und Winkeldaten zur Bahnbestimmung) nach Aufbereitung in digitaler Form zum Kontrollzentrum übertragen.

Die einzelnen Antennenstationen können unabhängig voneinander betrieben werden, d. h. Weilheim kann mehrere Missionen gleichzeitig unterstützen. Auch andere Raumfahrt-agenturen oder kommerzielle Kunden mieten regelmäßig „Antennenzeit“ für ihre Missionen an. Weilheim ist daher in ein weltweites Kommunikationsnetzwerk eingebettet. Verschie-

dene Schnittstellen und Protokolle müssen dafür implementiert werden, außerdem die Antennen, Anlagen und Systeme geplant, konfiguriert und gewartet werden. Alle Antennen und Stationseinrichtungen werden von einem gemeinsamen Kontrollraum aus gesteuert und überwacht. Dabei kommt eine am GSOC neu entwickelte Software zum Einsatz, mit der die notwendigen Abläufe unabhängig von den jeweiligen Frequenzbändern und Orbits vereinheitlicht werden konnten, was den Betrieb erheblich vereinfacht. Auch die Koordination eines solchen weltweiten Kommunikationsnetzwerks erfolgt am GSOC. Dabei wird permanent sichergestellt, dass die zum Betrieb jeweils notwendigen Datenverbindungen zwischen dem Satelliten-Kontrollraum und den eingebundenen Bodenstationen bereitstehen und korrekt konfiguriert sind.

Weilheim ist gemäß CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems) sowohl als Deep Space Network als auch als Non Deep Space Network (Near Earth Network) klassifiziert und kann Raumfahrtmissionen in den Frequenzbändern S-, X-, Ku- und Ka-Band unterstützen.

Ground Stations

In order to be able to communicate with a spacecraft, antenna systems are needed. GSOC operates the ZDBS located at Weilheim (35 km south west of Oberpfaffenhofen) with a variety of different antennas (ranging from 4.5 m up to 30 m diameter). The data exchange takes place via these antennas. The ground station is connected with the German Space Operations Center through a redundant communication link. The control center in Oberpfaffenhofen coordinates the antenna operations and transmits the commands which are generated in the control room directly to Weilheim. In the opposite direction the data received from the spacecraft (telemetry, ranging-, Doppler and angle-data for orbit determination) is transmitted in digital form to the control center after it has been processed.

The individual antenna stations can be operated independently, which means Weilheim supports several missions simultaneously. Also other space agencies or commercial operators regularly lease "antenna time" for their missions. Therefore Weil-

heim is embedded in a worldwide communication network. For this, several interfaces and protocols have to be implemented. In addition antennas, facilities and systems have to be planned, configured and serviced. All antennas and station facilities are monitored and controlled from one common control room. For this, a software newly developed at GSOC is used, that allows to standardize the necessary procedures independent from the particular frequencies ranges and orbit types. Also the coordination of such a worldwide communication network is done at GSOC. In 24/7 operations, all the required data-links between the satellite control center and the ground station in use at a given time are established, configured, and monitored.

Weilheim is classified as Deep Space Network as well as Non Deep Space Network (Near Earth Network) according to CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems) and is able to support space flight missions in the S-, X-, Ku and Ka frequency bands.

Missionsüberblick

Mission Overview

Kommunikation und Navigation Communication and Navigation	
1974	Symphonie A
1974	Symphonie B
1987	TV-SAT 1
1989	TV-SAT 2
1989	DFS Kopernikus 1
1990	DFS Kopernikus 2
1990	EUTELSAT II-F1
1991	EUTELSAT II-F2
1991	EUTELSAT II-F3
1992	DFS Kopernikus 3
1992	EUTELSAT II-F4
1994	EUTELSAT II-F5
1995	EUTELSAT II-F6 (HB1)
1998	EUTELSAT W2
1999	EUTELSAT W3
2000	EUTELSAT W4
2001	EUTELSAT W1R
2002	EUTELSAT HB6
2002	EUTELSAT W5
2008	Galileo GIOVE-B
2009	COMSATBw 1
2010	COMSATBw 2
2016	EDRS-A
2017	HAG-1
2017	EDRS-C
2020	Heinrich Hertz (HZSat)

Erdbeobachtung, Wissenschaft und Interplanetare Robotik Earth Observation, Science and Robotic Exploration	
1969	AZUR
1972	AEROS-A
1974	AEROS-B
1974	HELIOS-1
1976	HELIOS-2
1984	AMPTE
1989	Galileo
1990	ROSAT
1995	EXPRESS
1996	MARS 96
1997	Equator-S
1999	ABRIXAS
2000	CHAMP
2001	BIRD
2002	GRACE 1 + 2
2004	Rosetta / Philae
2006	SAR-Lupe 1*
2007	SAR-Lupe 2*
2007	SAR-Lupe 3*
2007	TerraSAR-X
2008	SAR-Lupe 4*
2008	SAR-Lupe 5*
2010	TanDEM-X
2010	PRISMA*
2012	TET-1 (FireBird)
2014	MASCOT@Hayabusa2
2016	BIROS (FireBird)
2017	Eu:CROPIS
2017	PAZ
2017	GRACE Follow-on
2018	HP³ on InSight
2019	EnMAP

Astronautische Missionen Human Spaceflight Missions	
1983	Spacelab-1
1985	Spacelab D1
1992	MIR 92
1993	Spacelab D2
1994	X-SAR 1
1995	Euro-MIR 95
1996	MOMS
1997	MIR 97
2000	X-SAR / SRTM
2005	ISS-Eneide
2006	ISS-Astrolab
2008	ISS-Columbus
2008	ISS-ATV 1 (Jules Verne)
2011	ISS-ATV 2 (Johannes Kepler)
2012	ISS-ATV 3 (Edoardo Amaldi)
2013	ISS-ATV 4 (Albert Einstein)
2014	ISS-ATV 5 (Georges Lemaître)

- abgeschlossen
finished
 - im Betrieb
in operation
 - in Vorbereitung
in preparation
- * Notfallbereithaltung
Cold backup



Impressum

Herausgeber
Deutsches Zentrum für
Luft und Raumfahrt e.V.

Raumflugbetrieb
und Astronautentraining

Redaktion
Mark Pfeiff, Petra Kuß

Englischsprachige Editoren
Simon Maslin
Virginia Newton

Autoren
Heike Benninghoff
Jens Biele
Yunir Gataullin
Hauke Fiedler
Armin Hauke
Reinhard Kiehling
Thomas Kuch
Oliver Montenbruck
Falk Mrowka
Mark Pfeiff
Florian Sellmaier
Andreas Stamminger
Thomas Uhlig
Rainer Willnecker
Martin Wickler

Gestaltung
Juliane v. Geisau
Petra Kuß

Abdruck (auch von Teilen) oder
sonstige Verwendung nur nach
vorheriger Absprache mit dem
DLR gestattet.

www.DLR.de/rb



Imprint

Publisher
Deutsches Zentrum für
Luft und Raumfahrt e.V.
German Aerospace Center

Space Operations
and Astronaut Training

Edited by
Mark Pfeiff, Petra Kuß

English Language Editors
Simon Maslin
Virginia Newton

Authors
Heike Benninghoff
Jens Biele
Yunir Gataullin
Hauke Fiedler
Armin Hauke
Reinhard Kiehling
Thomas Kuch
Oliver Montenbruck
Falk Mrowka
Mark Pfeiff
Florian Sellmaier
Andreas Stamminger
Thomas Uhlig
Rainer Willnecker
Martin Wickler

Design
Juliane v. Geisau
Petra Kuß

Reproduction (in whole or in
part) or other use is subject
to prior permission from the
German Aerospace Center (DLR)

www.DLR.de/rb

Titelseite: Blick auf das Okavango-Delta im Norden von Botswana. Durch Ausnutzung der Reflektion des Sonnenlichtes können feine Details von Wasserflächen dargestellt werden. Rechts im Bild ein Teil der Solarpanelle der ISS.

Cover page: Okavango inland delta in northern Botswana - illuminated in the sun's reflection. Using this sun glint technique, one can image fine detail of water bodies. Part of one of the station's solar arrays is visible at right.

Image: NASA, photographed by an Expedition 40 crew member

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten zuständig. Zudem fungiert das DLR als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In den 16 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR circa 8.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington D.C.

DLR at a glance

DLR is the national aeronautics and space research centre of the Federal Republic of Germany. Its extensive research and development work in aeronautics, space, energy, transport and security is integrated into national and international cooperative ventures. In addition to its own research, as Germany's space agency, DLR has been given responsibility by the federal government for the planning and implementation of the German space programme. DLR is also the umbrella organisation for the nation's largest project management agency.

DLR has approximately 8,000 employees at 16 locations in Germany: Cologne (headquarters), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Goettingen, Hamburg, Juelich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stade, Stuttgart, Trauen, and Weilheim. DLR also has offices in Brussels, Paris, Tokyo and Washington D.C.



DLR

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt**

Raumflugbetrieb und Astronautentraining
DLR Oberpfaffenhofen
82234 Weßling, Germany
Tel: 08153 28 2701

DLR.de