



# Satellitenbodenstation Weilheim





# Aufgaben der Bodenstation

Um mit Raumfahrzeugen kommunizieren zu können, benötigt man Antennenanlagen. Die 1969 am Standort Weilheim, 60 km südwestlich von München, in Betrieb genommene (Baubeginn November 1967) Bodenstation des DLR ist das Verbindungsglied zwischen Erde und Satellit. Mit ihrer Hilfe werden während eines Satellitenüberflugs Kommunikationsverbindungen zu diesem hergestellt, die einen gleichzeitigen Datenverkehr in beide Richtungen ermöglichen. Der Datenaustausch mit den Raumfahrzeugen findet über eine Vielzahl von unterschiedlichen Antennen statt (von 4,5 bis 30 m Durchmesser). Die Satellitenbodenstation wird vom Deutschen Raumfahrtkontrollzentrum (GSOC) des DLR betrieben.

Daten, die vom Satelliten kommen, werden Telemetrie genannt und können in zwei Kategorien eingeteilt werden: „House-Keeping“-Daten, die den Zustand und die Lage des Satelliten übermitteln sowie Nutz-Daten, die von wissenschaftlichen Geräten stammen.

Diese Telemetrie-Daten werden von der Bodenstation empfangen, aufbereitet und in digitaler Form an das Kontrollzentrum des GSOC in Oberpfaffenhofen weitergeleitet. Daten in der Gegenrichtung – also vom Boden zum Satelliten – werden Telekommandos genannt. Diese enthalten Steuerbefehle an den Satelliten – Beispiele sind das Ein-/Ausschalten von wissenschaftlichen Geräten oder eine Lagekorrektur des Satelliten. Sie werden im Kontrollraum im GSOC generiert und direkt nach Weilheim weitergeleitet.

Eine weitere Funktion der Bodenstation ist die laufende Bestimmung der Flugbahn des Satelliten. Die Satellitenbahnen sind Störungen unterworfen, zum Beispiel durch die Restatmosphäre, Mikrometeoriten und Sonnenstrahlung. Deshalb werden während der Satellitenüberflüge Richtung, Entfernung und Geschwindigkeit des Satelliten, sogenannte Tracking-Daten gemessen. Aus diesen Messwerten werden im Kontrollzentrum Bahnvorhersagen für die nächsten Tage berechnet.

# Multimissionsbetrieb rund um die Uhr

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

Die einzelnen Antennenkomplexe können unabhängig voneinander betrieben und jeweils schnell von einer Mission zu einer anderen umkonfiguriert werden. Das heißt, Weilheim kann mehrere Missionen gleichzeitig unterstützen (Multimissionsbetrieb). Dazu werden alle Antennen und Stationseinrichtungen 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 Missionen, Frequenzbändern und Orbittypen vereinheitlicht werden konnten, was den Betrieb erheblich vereinfacht.

Die Bodenstation Weilheim wird im 24 Stunden-Schichtdienst an sieben Tagen pro Woche betrieben. Insgesamt sind hier 44 Mitarbeiter beschäftigt.

Zur Sicherstellung einer hohen Verfügbarkeit sind die Antennenanlagen mit redundanten Geräten ausgestattet. Alle für den Satellitenbetrieb wichtigen Systeme der Bodenstation Weilheim werden von einer unterbrechungsfreien Stromversorgungsanlage (USV) gespeist, die ihre Energie bei kurzzeitigen Ausfällen der öffentlichen Stromversorgung aus einer Batterie, bei langzeitigen Ausfällen aus einem 720 kW-Dieselmotor bezieht.

CCSDS = Consultative Committee for Space Data Systems

Kontrollraum für den Multimissionsbetrieb  
in der Satellitenbodenstation Weilheim



# Weilheim und Oberpfaffenhofen im weltweiten Netzwerk

Die Bodenstation Weilheim ist über eine redundante Kommunikationsverbindung mit dem GSOC in Oberpfaffenhofen verbunden, welches den Betrieb der Antennen koordiniert. Das Kontrollzentrum generiert die Steuerbefehle für die Satelliten und empfängt von Weilheim die Daten der Raumfahrzeuge (Telemetrie- und Tracking-Daten) zur weiteren Verarbeitung und Verteilung.

Auch andere Raumfahrtagenturen oder kommerzielle Kunden mieten regelmäßig „Antennenzeit“ für ihre Missionen an. Weilheim ist daher über das GSOC in ein weltweites Kommunikationsnetzwerk eingebettet. Das GSOC stellt dabei sicher, dass die zum Betrieb jeweils notwendigen Datenverbindungen zwischen Weilheim sowie anderen eingebundenen Bodenstationen und dem jeweiligen Satelliten-Kontrollraum bereitstehen und korrekt konfiguriert sind. Verschiedene Schnittstellen und Protokolle müssen dafür implementiert werden, außerdem die Antennen, Anlagen und Systeme sowie die Netzwerkinfrastruktur geplant, konfiguriert und gewartet werden.



# Großanlagen für das Wissen für Morgen

Immer mehr Anwendungsfelder nutzen elektromagnetische Wellen zur Übertragung immer größerer Datenmengen. Neben der Kommunikation mit Satelliten ist hier vor allem der Bereich Mobilfunk zu nennen. Mit der voranschreitenden Vernetzung und dem sich entwickelnden „Internet der Dinge“ wird die endliche Ressource „Frequenz“ mehr und mehr zu einem limitierenden Faktor. Auch die Raumfahrt trägt mit einer stark ansteigenden Anzahl von Satelliten zu dieser Verknappung bei. Außerdem produzieren die auf Satelliten eingesetzten Messinstrumente immer höher aufgelöste Bilder und Messwerte und generieren dadurch einen stetig wachsenden Bedarf an Datenübertragung. Beim Datenaustausch zwischen Satelliten und Erde kommt erschwerend hinzu, dass sich Funksignale nicht beliebig genau fokussieren lassen. Daher blockiert die Datenübertragung schon eines einzigen Satelliten die benutzte Frequenz großflächig, oft sogar über eine gesamte Erdhalbkugel.

In internationaler Zusammenarbeit regelt die ITU weltweit, welche Frequenzen wo und wann von welchen Anwendungen genutzt werden dürfen. Bei der ITU werden die Interessen der Bundesrepublik Deutschland durch die Bundesnetzagentur vertreten, welche wiederum unter anderem durch das DLR – auch Mitarbeiter der Bodenstation Weilheim – beraten wird.

Um dem stetig wachsenden Bedarf an Funkübertragungen gerecht zu werden, wird versucht, die verwendeten Frequenzen immer effizienter zu nutzen, also mehr Information auf demselben Übertragungskanal zu transportieren, zum anderen auch bisher nicht zugängliche höhere Frequenzbereiche zu nutzen. Beiden Forschungsfeldern bietet die Bodenstation Weilheim mit ihren Mitarbeitern und Anlagen optimale Möglichkeiten. Insbesondere das 2012 in Betrieb genommene Ka-Band-Messsystem dient vor allem dem Zweck zu untersuchen, wie die höheren Frequenzen im Ka-Band bei ca. 18-31 GHz auch für niedrig fliegende Erdbeobachtungssatelliten genutzt werden können.

Erforscht werden dabei vielfältige Aspekte: Wie schnell und gleichzeitig präzise kann eine solche Antenne ausgerichtet und nachgeführt werden? Bis zu welchen Grenzen können die benötigten Komponenten der Signalverarbeitung die Einflüsse der Geschwindigkeit des Satelliten (Doppler-Effekt) kompensieren? Wie ist eine sichere Datenübertragung in diesem Frequenzbereich möglich, der wesentlich stärkeren Störungen durch die Erdatmosphäre – und damit dem Wetter – ausgesetzt ist? Wie kann man unter diesen sehr variablen Bedingungen die Datenübertragung durch neuartige und adaptive Modulationsverfahren optimieren?

Über das Ka-Band hinaus wird heute schon an Möglichkeiten zur Satellitenkommunikation im optischen Bereich geforscht, also bei Frequenzen die noch einmal 10.000-fach höher sind. Diese Arbeiten anderer DLR-Institute unterstützt die Bodenstation Weilheim mit ihrer vorhandenen Infrastruktur. So finden die Forschungsgruppen an der Bodenstation neben gesicherter Stromversorgung und Anbindung an die DLR-Datennetze auch das rund um die Uhr verfügbare Betriebspersonal zur Unterstützung der Experimente vor.

ITU = International Telecommunication Union



Ihren ersten Einsatz hatte die Ka-Band-Antenne bereits einige Tage nach ihrer Einweihung im Juli 2012. Die Bodenstation Weilheim unterstützte hierbei als Backup den Start des Satelliten EchoStar 17 (Intelsat) so erfolgreich, dass sie bei dem darauffolgenden Überflug als Prime ausgewählt wurde.

# Routine TT & C-Betrieb für LEO-Satelliten

Satelliten zur Erdbeobachtung fliegen in niedrigen Orbits von etwa 400–500 km Höhe – im Low Earth Orbit (LEO). Dabei überfliegen sie ständig andere Gegenden der Erde und können so die gesamte Erdoberfläche scannen. Für einen Umlauf der Erde benötigen sie ca. 90 Minuten.

Beim Datenaustausch zwischen Erde und Satelliten unterscheidet man zwischen zwei verschiedenen Datentypen: den (wissenschaftlichen) Nutzdaten – Payload – und dem Austausch der Daten, die notwendig sind, um den Satelliten an sich zu betreiben – House-Keeping genannt. Im Vergleich zu den Payload-Daten fallen für das House-Keeping nur relativ geringe Datenmengen an. Da diese Daten aber absolut notwendig sind, damit der Satellit seine Aufgaben überhaupt kennt und dann erfüllen kann, ist bei diesen Datenübertragungen eine extrem hohe Zuverlässigkeit notwendig. Außerdem müssen diese Betriebsdaten in beide Richtungen ausgetauscht werden, während Payload nur vom Satelliten zur Erde gesendet wird.

Die Bodenstation Weilheim ist auf den Austausch dieser Betriebsdaten spezialisiert. Entsprechend sind alle Antennen in Weilheim darauf ausgelegt, sowohl empfangen als auch senden zu können. Alle Sende- und Empfangszweige sind dabei redundant ausgelegt, so dass der Betrieb quasi störungsfrei aufrecht erhalten werden kann, auch wenn einzelne Komponenten ausfallen.

Daneben sind die Antennen mit hochpräzisem Messequipment versehen, um während der Kontaktzeiten die Position des Raumfahrzeuges genau vermessen zu können. Diese drei Aufgaben werden unter dem Begriff TT & C für Telemetrie, Tracking und Command zusammengefasst. Zur Positionsbestimmung des Satelliten werden drei verschiedene Verfahren angewandt. Anhand der Ausrichtung der Antenne in Azimut und Elevation wird zunächst die Sichtlinie zum Satelliten gemessen. Die Entfernung auf dieser Sichtlinie kann aus der Signallaufzeit zwischen Antenne und Satellit bestimmt werden (Ranging) und die Relativgeschwindigkeit des Satelliten zur Antenne kann aus der gemessenen Frequenz der empfangenen Signale (Doppler-Messung) extrahiert werden.

**TT & C** = Telemetrie, Tracking & Command

**LEO** = Erdnahe Umlaufbahn – Low Earth Orbit

**Azimut** = In der Antennentechnik (Satellitenfunk) bezeichnet der Azimutwinkel die horizontale Ausrichtung einer Antenne

**Elevation** = Vertikale Ausrichtung der Antenne (Winkel über dem Horizont)





Die LEO-Satelliten TerraSAR-X und TanDEM-X im Formationsflug. Die Kommandos zu ihrer Steuerung werden im GSOC generiert und von dort an die Satellitenbodenstationen verteilt – u.a. an Weilheim.

Gemeinsam erstellen die Satelliten mittels bistatischer Radiointerferometrie hochaufgelöste dreidimensionale Bilder der Erdoberfläche. Dieses spezielle Konzept ist bis heute ein Alleinstellungsmerkmal und wurde am DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme entwickelt.

# Station-Keeping für GEO-Satelliten

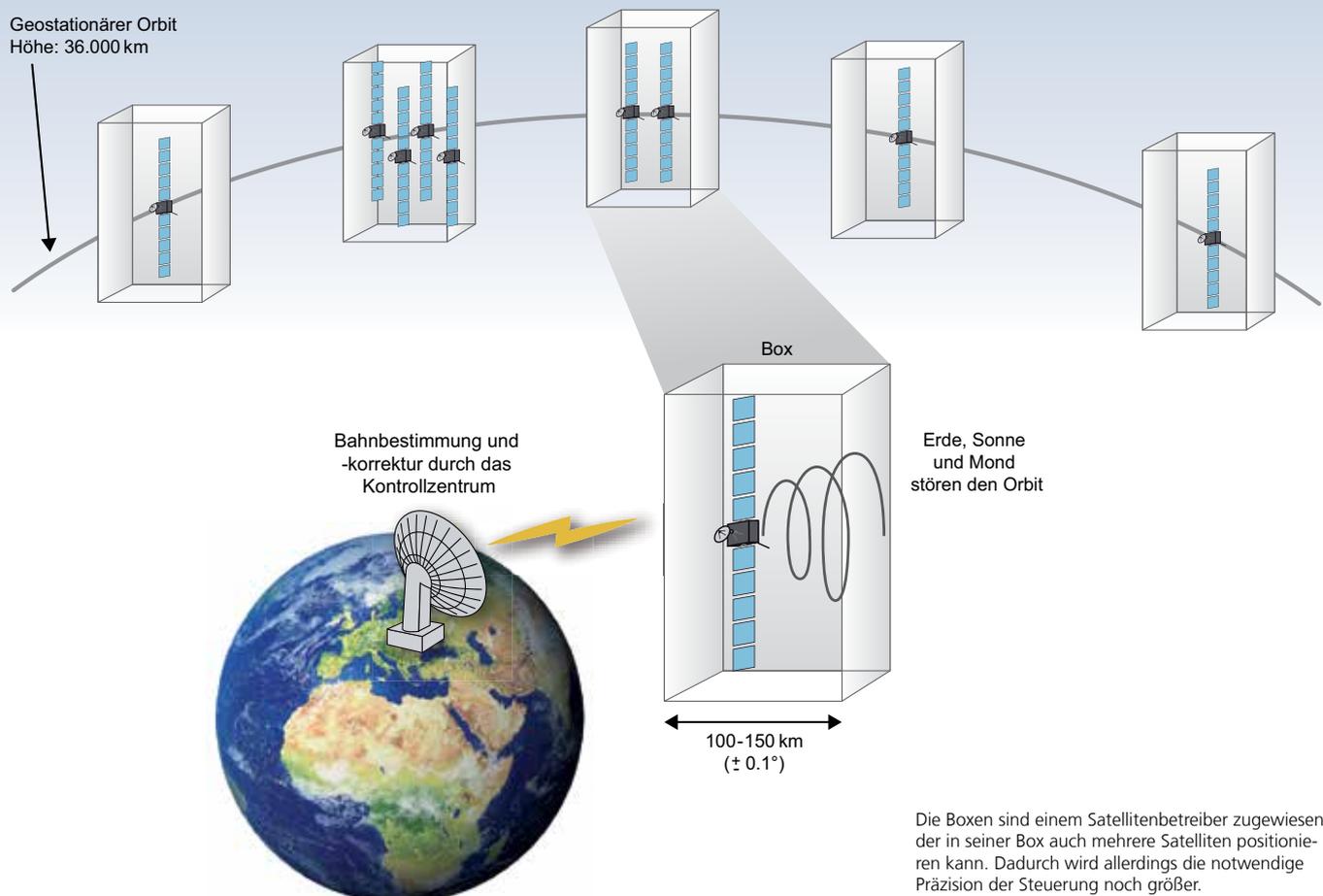
Der geostationäre Orbit (GEO) zeichnet sich dadurch aus, dass in ihm Satelliten genau so schnell über dem Äquator die Erde umkreisen, dass sich ihre Bewegung mit der Drehung der Erde um die Erdachse exakt ausgleicht. Dadurch befinden sich GEO-Satelliten von der Erdoberfläche aus gesehen immer an derselben Stelle im Himmel, was diesen Orbit vor allem für Kommunikations- und Fernsehsatelliten außerordentlich interessant macht. Entsprechend hoch ist der Bedarf, weitere Satelliten in diesem Orbit zu positionieren. Satellitenbetreiber bekommen daher eine sogenannte Box zugewiesen, innerhalb derer sich ihr Satellit befinden muss, um benachbarte Raumflugkörper nicht zu gefährden. Um den GEO möglichst effizient zu nutzen, werden diese Boxen möglichst klein gehalten (typischerweise rund 100km), was aber auch bedeutet, dass die darin befindlichen Satelliten trotz aller Störungen sehr präzise in diesem Bereich gehalten werden müssen. Dazu wird die Position der Satelliten quasi permanent vermessen, um sofort auf kleinste Abweichungen von der geplanten Bewegung reagieren zu können.

Die Ortsbestimmung der Satelliten erfolgt im Wesentlichen über das Ranging. Dazu sendet man eine bestimmte Signalfolge vom Boden zum Satelliten, die dieser sofort wieder zum Boden zurück schickt. Aus der Signallaufzeit kann man sehr genau die Distanz bestimmen.

Wendet man dieses Verfahren dann von verschiedenen Bodenstationen aus an („Triangulation“), so lässt sich daraus die exakte Position des Satelliten äußerst präzise vermessen.

Alle Satellitenbetreiber stellen sicher, dass sie jederzeit die Möglichkeit haben, notwendige Korrekturbefehle senden zu können, sollte der Satellit von seinem nominellen Verhalten abweichen. Da man in solchen Notfallsituationen davon ausgehen muss, dass der Satellit auch nicht mehr wie geplant reagiert, wird in solchen Ausnahmefällen häufig Spezialequipment verwendet. Zum Beispiel werden die Signale in einer solchen Lage mit wesentlich höherer Leistung zum Satelliten gesendet als im Routinebetrieb.

Institutionellen und auch kommerziellen Satellitenbetreibern bietet die Bodenstation Weilheim mit ihren leistungsstarken Antennen und ihrem Präzisionsequipment ein zuverlässiges Bodensystem auch für derart außergewöhnliche Umstände. Entsprechend sichert das DLR vielen anderen Satellitenbetreibern weltweit vertraglich zu, die Bodenstation in Weilheim als Emergency-Backup für die jeweiligen Missionen bereit zu halten.



# LEOP- und GTO- Unterstützung

Wenn ein Satellit gestartet wird, beginnt für ihn, sobald die Separation von der Rakete erfolgt ist, die „Launch and Early Orbit Phase“ (LEOP). Die allererste betriebliche Herausforderung dabei ist es, den Satelliten nach Trennung von der Rakete zu finden. Denn da es beim Abbrennen der Rakete immer gewisse kleine Unregelmäßigkeiten gibt, kann die Flugbahn der Rakete nicht perfekt vorab berechnet werden. Dazu kommt, dass sich der Satellit nach der Separation in einem relativ niedrigen und meist sehr elliptischen Orbit befindet und sich dadurch relativ zum Boden sehr schnell bewegt.

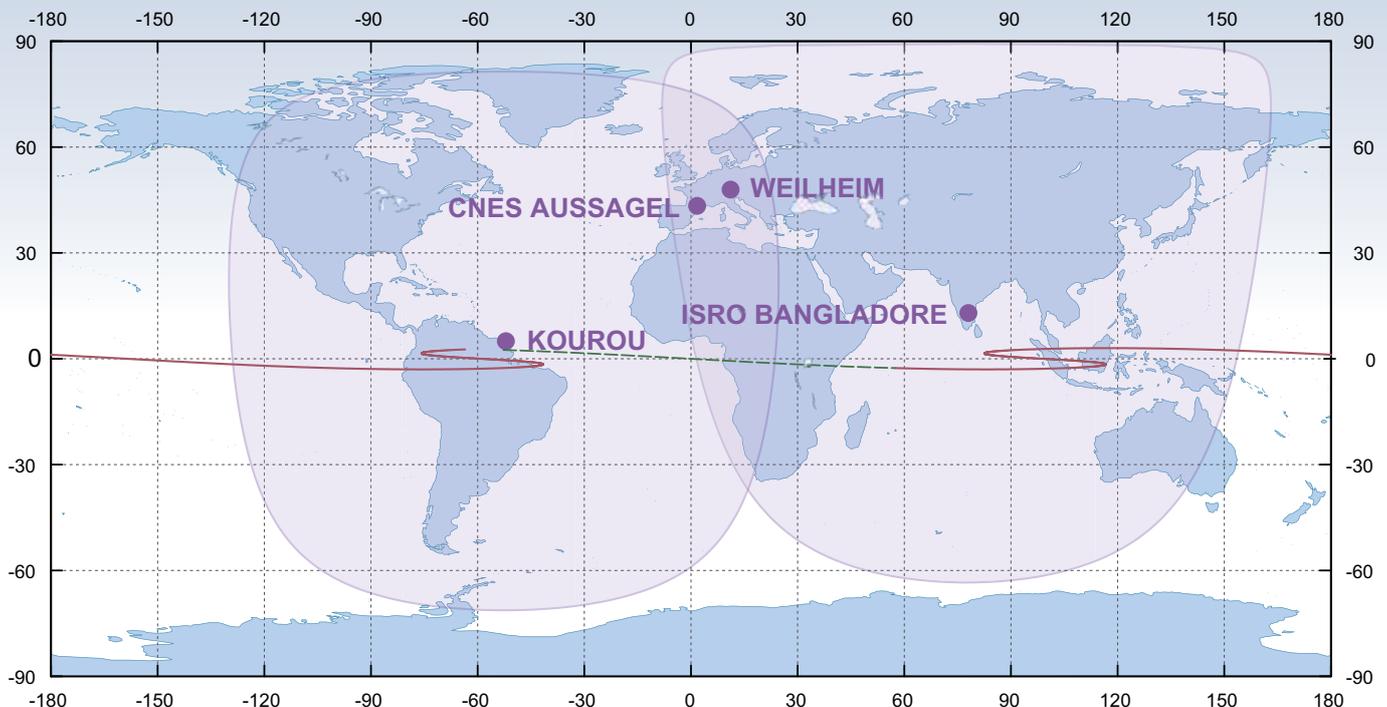
Für eine Bodenstation bedeutet dies, sie muss ein sich schnell bewegendes Objekt innerhalb sehr kurzer Zeit erfassen. Da in dieser kritischen Phase gegebenenfalls mit hoher Leistung gesendet werden muss, bzw. sehr schwache Signale empfangen werden müssen, verwendet man in der LEOP größere Antennen als im Regelbetrieb notwendig. Da größere Antennendurchmesser allerdings die Signale stärker fokussieren, wird so die Aufgabe, den Satelliten zu erfassen, weiter erschwert. Gleiches gilt für die Überführung eines Kommuni-

kationssatelliten. Diese beginnt in seinem initialen Orbit und endet an seiner endgültigen Position in der ihm zugewiesenen Box im GEO.

Es ist eine Kernkompetenz der Bodenstation in Weilheim, Missionen in dieser kritischen Phase zu unterstützen. Entsprechend sind die Antennenanlagen in Weilheim darauf ausgelegt, sich schnell bewegendes Objekte zu erfassen und ihnen folgen zu können. Zum Beispiel lassen sich die beiden S-Band-Antennen mit 15 Metern Durchmesser mit einer Geschwindigkeit von bis zu 15 Grad pro Sekunde bewegen und halten dabei eine Präzision von 0,03 Grad in ihrer Ausrichtung ein.

**GTO** = Geotransferorbit ist eine Erdumlaufbahn, auf der Satelliten von ihrer Trägerrakete ausgesetzt werden.

**GEO** = Geostationäre Umlaufbahn. Nachdem der Satellit von der Trägerrakete auf dem GTO ausgesetzt wurde, wird er endgültig auf einer geostationären Umlaufbahn positioniert.



Typisches LEOP Bodenstationsnetzwerk:

Die schraffierten Flächen kennzeichnen die Sichtbarkeit der jeweiligen Bodenstationen. Die Raketenbahn wird durch die grün gestrichelte Linie dargestellt, der initiale Orbit des Satelliten als rote Linie.

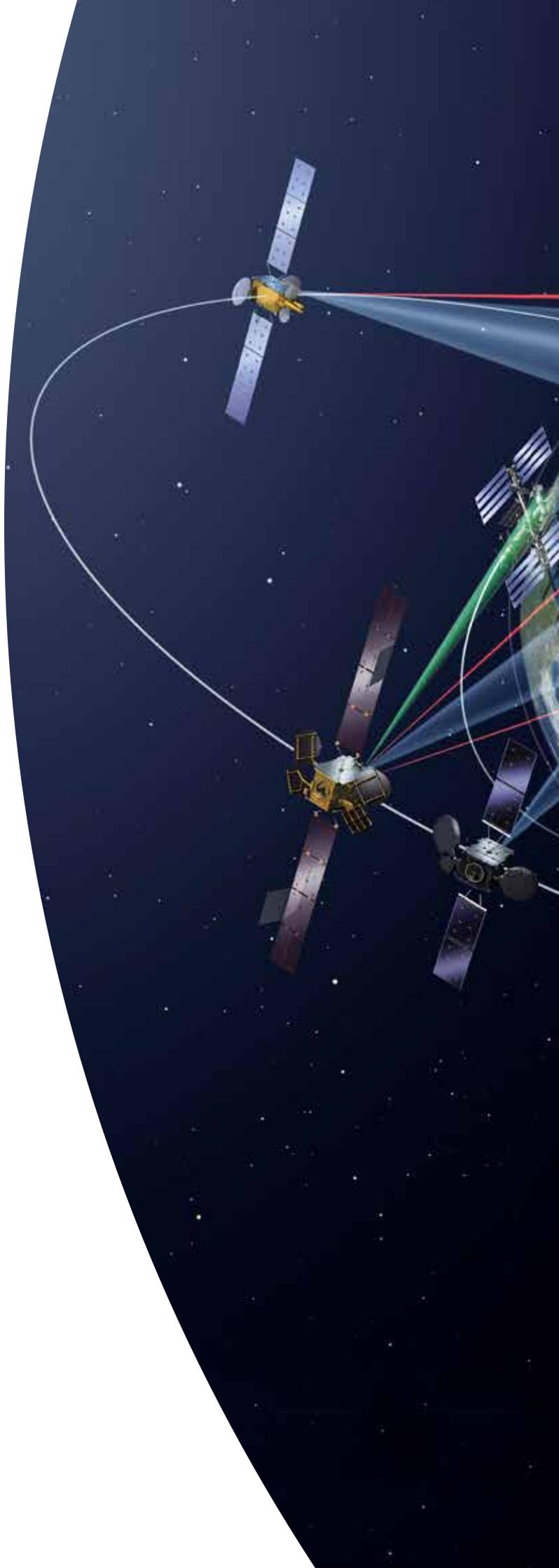
# Weilheim als „Antenna Management Center“ (AMC) von EDRS

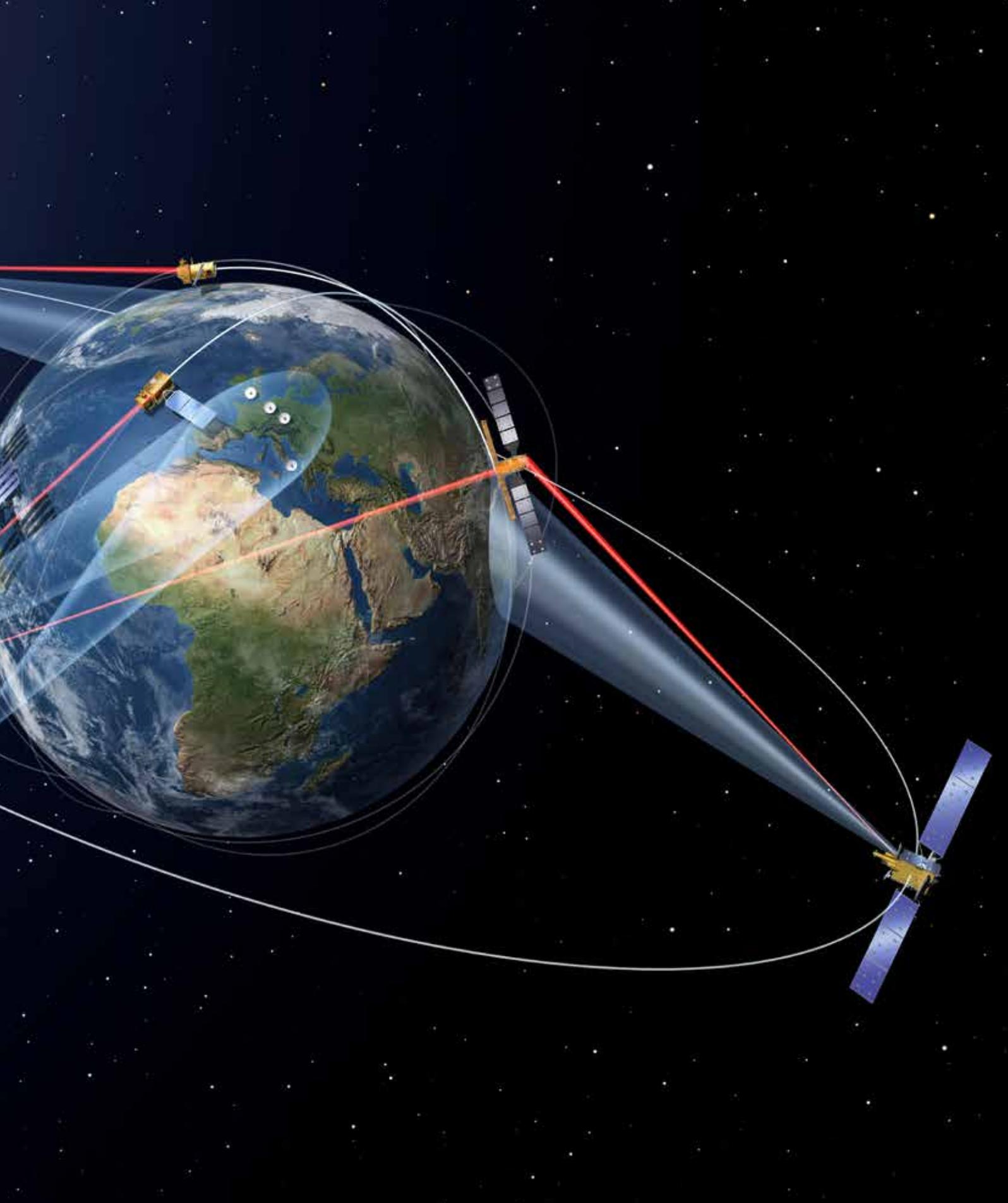
Im Gegensatz zu Kommunikationssatelliten, die in ihrem geostationären Orbit von der Erde aus gesehen immer an derselben Stelle stehen, fliegen Satelliten zur Erdbeobachtung in niedrigeren Orbits von etwa 400–500 km Höhe. Diese nennt man LEO-Satelliten (Low Earth Orbit). Dabei überfliegen sie ständig andere Gegenden der Erde und können so die gesamte Erdoberfläche scannen. Für einen Umlauf der Erde benötigen sie ca. 90 Minuten. So vorteilhaft dies für die Beobachtung der Erde durch die Instrumente des Satelliten ist, so nachteilig ist es für die Kommunikation mit den Bodenstationen, um die gewonnenen Daten zur Erde zu senden. So sind typische Erdbeobachtungssatelliten von der Bodenstation in Weilheim nur viermal am Tag für etwa 10 Minuten sichtbar.

Das europäische Satellitensystem EDRS (European Data-Relay System) soll für künftige LEO-Missionen diesen Nachteil ausgleichen. Durch mehrere Satelliten auf geostationärem Orbit wird die Möglichkeit geschaffen, dass LEO-Satelliten ihre Daten statt direkt zur Erde zu diesen EDRS-Satelliten senden, welche die Daten wiederum zu einer permanent sichtbaren Bodenstation weiterleiten. Derzeit ist der erste Satellit EDRS-A im Orbit. Der zweite, EDRS-C, soll in 2018 folgen und mindestens ein weiterer, EDRS-D, ist in Planung. In der jetzigen Konfiguration mit nur einem Satelliten kann die Kontaktzeit von wenigen Minuten auf etwa die Hälfte eines jeden Orbits (ca. 45 Minuten) ausgedehnt werden. In der finalen Ausbaustufe werden die LEO-Satelliten permanent zu mindestens einem EDRS-Satelliten – und damit auch zum Kontrollzentrum – Kontakt halten können.

Um mit diesem System für die enormen Datenmengen künftiger Erdbeobachtungsmissionen gerüstet zu sein, findet die Datenübertragung zwischen den Satelliten durch eine Laser-Verbindung statt. Die Verbindung zwischen den EDRS-Satelliten und dem Boden erfolgt im Ka-Band, welches die Übertragung hoher Datenraten ermöglicht, aber stärker durch das Wetter in der durchquerten Atmosphäre beeinträchtigt wird. Um trotzdem jederzeit einen stabilen Datentransfer gewährleisten zu können, sind für die beiden Satelliten EDRS-A und -C insgesamt vier Antennen über drei Bodenstationen europaweit verteilt: zwei Antennen befinden sich in Weilheim und je eine in Redu (Belgien) und Harwell (England).

Alle vier Antennen werden permanent zentral von Weilheim aus überwacht und die Verfügbarkeit des gesamten Empfangssystems wird an das EDRS-Missionskontrollzentrum (MOC) in Ottobrunn gemeldet. Ebenso werden alle notwendigen Umschaltungen an den Antennen durch das Stationspersonal in Weilheim remote vorgenommen. Dabei kommt dieselbe Steuerungssoftware zum Einsatz, mit der auch die übrigen Multimissionsantennen in Weilheim betrieben werden. Diese Software, komplett am GSOC entwickelt, ist aufgrund ihres modularen Designs perfekt für ein solch verteiltes System geeignet.





Bei EDRS handelt es sich um ein Netzwerk geostationärer Satelliten. Das geplante europäische Datenrelais-System wird die Grundlage für einen Übertragungsdienst legen, dessen Ziel die optimierte Datenanbindung niedrig fliegender Satelliten ist.

Grafik: ESA



Eine der Deep-Space-Antennen:  
Der Durchmesser des Spiegels beträgt 30 m.

# Weilheim in internationalen Deep-Space-Netzwerken

Raumflugkörper, welche von der Erde weiter entfernt sind als 2.000.000 km, werden als Deep-Space-Missionen bezeichnet. Verglichen mit erdnahen Satelliten stellt die Kommunikation für Deep-Space-Missionen komplementäre Anforderungen. Je weiter der Satellit von der Erde entfernt ist, desto langsamer bewegt er sich im Verhältnis zu dieser. Im Vergleich zur Unterstützung der erdnahen Missionen müssen die Antennen hier also nicht so schnell bewegt werden. Dafür müssen sie jedoch einen möglichst großen Spiegeldurchmesser haben, um mit einem möglichst stark gebündelten Signal den weit entfernten Satelliten noch zu erreichen. Trotz dieser Fokussierung überstrahlt ein Radiosignal, ganz gleich von wo auf der Erde es gesendet wird, zum Beispiel den gesamten Mond (Entfernung zur Erde 348.000 km) sowie alle ihn umkreisenden Satelliten. Während also bei erdnahen Missionen die exakte Ausrichtung der Antenne wichtig ist, um den gewünschten Satelliten zu treffen, ist es bei Deep-Space-Missionen dagegen die Kunst, alle anderen Satelliten nicht zu stören. Damit sich die einzelnen Kommunikationsverbindungen zwischen verschiedenen Deep-Space-Satelliten und unterschiedlichen Bodenstationen nicht gegenseitig beeinträchtigen, müssen solche Bodenstationen speziell für Deep-Space lizenziert sein. Die Bodenstation in Weilheim ist eine solche Deep-Space-Station.

Vor allem mit der 30 m-Antenne hat Weilheim als Teil eines internationalen Bodensegments zahlreiche Deep-Space-Missionen unterstützt. Gebaut wurde sie 1974 für die deutsch-amerikanische Sonnensonden-Mission HELIOS und war dabei im Netzwerk der NASA eingebunden. Auch die Voyager-Sonden (Start 1977) „begleitete“ sie bis zum Jupiter. Eine aktuelle Deep-Space-Mission ist die Hayabusa 2-Mission der japanischen Raumfahrtagentur JAXA, welche einen Asteroiden vermessen und Materialproben von ihm zur Erde bringen soll.

# IOT – der DLR Satelliten-TÜV

Nach wie vor ist ein Raketenstart ein dramatischer Vorgang, bei dem enorme Kräfte wirken. Dass ein Satellit dabei unbeschadet bleibt, ist nicht selbstverständlich. Daher ist es vor Inbetriebnahme eines jeden Satelliten notwendig, seine Funktionsfähigkeit nach dem Start noch einmal im Detail zu überprüfen. Im Bereich kommerzieller Satelliten ist es heute sogar üblich, dass der eigentliche Betreiber den Satelliten erst dann vom Hersteller erwirbt, wenn dieser den Start, die Positionierung und die Tests im All erfolgreich durchgeführt hat. Dieses Verfahren nennt man „in orbit delivery“.

Um einen bereits im Orbit befindlichen Satelliten zu testen (IOT = in orbit test), benötigt man am Boden Antennenanlagen, deren Charakteristika äußerst präzise bekannt sind, damit bei jeder Abweichung zwischen erwarteten und gemessenen Werten eindeutig ausgeschlossen werden kann, dass diese Abweichung durch das Equipment am Boden verursacht wird. Das Ka-Band-Messsystem, das 2012 an der Bodenstation Weilheim in Betrieb genommen wurde, erfüllt diese hohen Ansprüche. Neben der reinen Funktionalität des Satelliten kann damit auch die geforderte Qualität der vom Satelliten gelieferten Services überprüft werden. Typische Fragestellungen – vor allem für Kommunikationssatelliten – sind, mit welcher Leistung der Satellit zu senden vermag, wie präzise diese Leistung auf das Empfangsgebiet fokussiert wird oder wie genau die Sendefrequenz des Satelliten geeicht ist. Daneben gibt es Messungen zur Stabilität der gesendeten Signale sowohl hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs als auch hinsichtlich Temperatur- oder Frequenzänderungen und vieles mehr.

Da jeder Betreiber seinen neuen Satelliten so bald wie möglich in Betrieb nehmen möchte, erfolgen die IOT-Messungen üblicherweise unter einem enormen zeitlichen Druck. Daher werden sie in Messkampagnen im Schichtbetrieb durchgeführt – und auf dem Personal lastet eine große Verantwortung, die anspruchsvollen Messungen trotz dieses Zeitdrucks korrekt auszuführen. Die DLR Mitarbeiter der Bodenstation Weilheim haben seit 2015 IOT-Messungen im Ka-Band für mehrere verschiedene Satelliten vorbereitet und erfolgreich durchgeführt.

Eine Besonderheit der Ka-Band-Antenne ist, dass sie sich schnell und präzise ausrichten lässt.





## Bodenstation Weilheim als Labor für Weltraumforscher

Ein zur Zeit sehr interessantes Forschungsprojekt an der Bodenstation Weilheim nennt sich IoSiS (Imaging of Satellites in Space). Dahinter verbirgt sich ein RADAR-System, mit dem man Satellitensysteme im All abbilden kann. Satelliten im Weltall sind der ständigen Bedrohung ausgesetzt, entweder mit einem anderen Satelliten oder mit sogenanntem Weltraumschrott zu kollidieren.

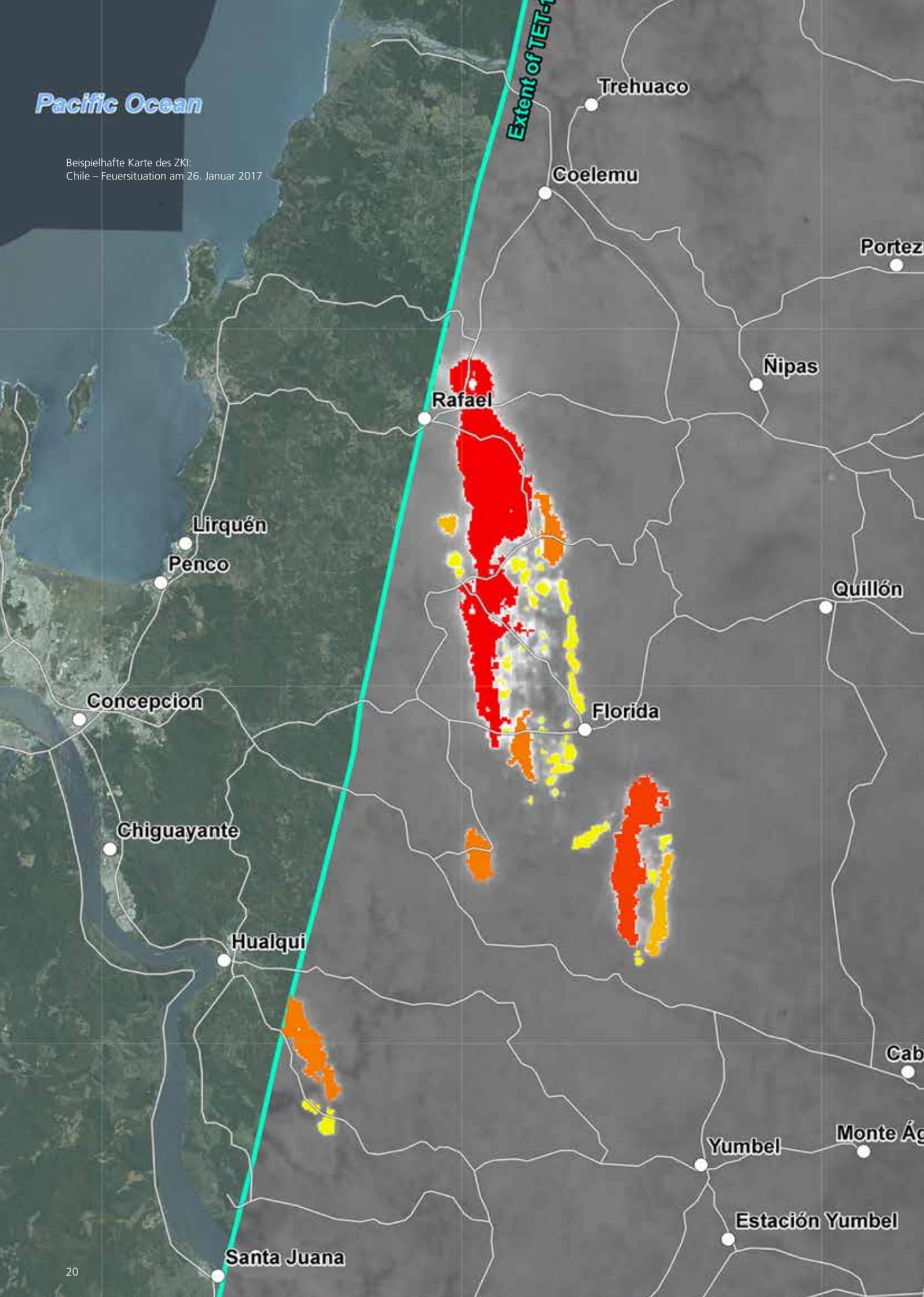
Ein erster Schritt, die Situation zu verbessern, wäre, dass alle Objekte und Vorgänge im erdnahen Weltraum erfasst werden. Dafür ist es unabdingbar, dass Bahnen und Eigenschaften von Objekten im Orbit bekannt sind und regelmäßig aktualisiert werden. Dies ermöglicht es unter anderem, aktive Satelliten durch Ausweichmanöver vor Kollisionen zu schützen.

Im Rahmen des Vorhabens IoSiS (Imaging of Satellites in Space) baute das DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme am DLR-Standort Weilheim in den vergangenen Jahren ein Radarsystem auf. Das System erreicht theoretisch eine räumliche Auflösung von bis zu drei Zentimetern und ist damit in der Lage, präzise Information über den Zustand von Satelliten sowie über mögliche Bedrohungen derselben zu liefern. Von April 2017 bis Ende Juni 2017 wurde im Rahmen einer IoSiS-Messkampagne untersucht, wie die bisher erreichte Qualität der Daten sichergestellt und in Zukunft optimiert werden kann.



# Pacific Ocean

Beispielhafte Karte des ZKI:  
Chile – Feuersituation am 26. Januar 2017





### Legend

Fire Radiative Power (FRP) in MW	Infrastructure
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: yellow; border: 1px solid black;"></span> 0.1 - 105	<span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; border-radius: 50%;"></span> City
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: orange; border: 1px solid black;"></span> > 105 - 390	<span style="display: inline-block; width: 15px; border-bottom: 2px solid black;"></span> Road
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red-orange; border: 1px solid black;"></span> > 390 - 800	
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; border: 1px solid black;"></span> > 800 - 1715	
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: darkred; border: 1px solid black;"></span> > 1715 - 10635	

### Interpretation

The map shows fire hot spots around the city of Concepcion, Chile, derived from FireBIRD/TET-1 data which were acquired on January 26 and 31, 2017.

The coloured regions represent the fire areas whereas the colour shades indicate fire intensity. A commonly used measure of fire intensity is the fire radiative power (FRP). The FRP is a useful parameter for characterizing the amount of burnt vegetation and, the corresponding amount of gas and aerosol emissions. FRP relates to the rate of fuel combustion, and if available in near real time, may be useful for fire fighting, since the FRP per fire front unit – the front radiative intensity - can inform on the frontal fire intensity similar to the often quoted fire line intensity parameter.

FRP can be estimated from FireBird data using a number of methods. In difference to MODIS which uses only the MWIR band, FireBird uses the MWIR and the LWIR band getting with this more detail information compared to MODIS.

### Cartographic Information

Local projection: UTM Zone 18 S, Datum: WGS 1984  
 Geographic projection: Lat/Lon (DMS), Datum: WGS 84  
 Scale: 1:200,000 for A1 prints.

### Data Sources

FireBIRD/TET-1 (150 m) © DLR 2017  
 Cities, Roads © OpenStreetMap Contributors 2017

### Framework

The products elaborated for this mapping activity are realised to the best of our ability, optimising the material available. All geographic information has limitations due to the scale, resolution, date and interpretation of the original source materials. No liability concerning the content or the use thereof is assumed by the producer.

Map produced January 31, 2017 by ZKI  
 © DLR/ZKI 2017

zki@dlr.de  
<http://www.zki.dlr.de>



# Bodenstation Weilheim unterstützt das ZKI

Das Zentrum für Satellitengestützte Kriseninformation (ZKI) ist ein Service des Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums (DFD) im DLR. In Krisenfällen muss schnell gehandelt werden, um Menschen in Not zu helfen. Das ZKI ist weltweit eines der wichtigsten Zentren für die Aufbereitung von Informationen aus Satellitendaten zur Anwendung in Krisenfällen. Es unterstützt mit bedarfsgerechten thematischen Kartierungen und Visualisierungen die Einsatzkräfte bei Naturkatastrophen und humanitären Notfällen.

Hierfür hat das ZKI einen 24/7 Betrieb organisiert. Die Produkte werden nach den spezifischen Bedürfnissen für nationale und internationale politische Entscheidungsträger, Lagezentren sowie Hilfsorganisationen erstellt und zugänglich gemacht.

Die hierfür notwendige Satellitenkapazität kann jederzeit genutzt werden. Auch die Bodenstation Weilheim hat einen 24/7 Service, so dass der Zugriff für das ZKI auf Satellitendaten jederzeit möglich ist.

### Krisenraum des ZKI





Luftbildaufnahme der Satellitenbodenstation  
Weilheim aus dem Jahr 2016



# Die Antennen im Überblick

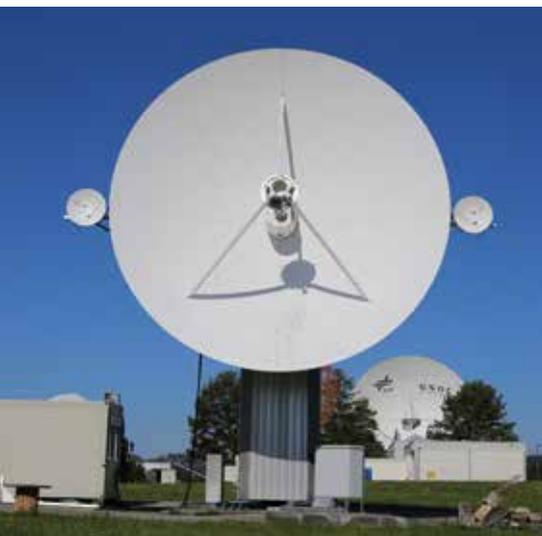


## 6,8 m Antennen Ka-Band

Die beiden 6,8m Antennen wurden 2015 speziell für das Projekt EDRS erbaut und werden nun exklusiv für EDRS genutzt. Beide sind mit einem Cassegrain-Reflektorsystem für Frequenzen im Ka-Band (ca. 26 GHz) ausgelegt. Eine der Antennen ist mit einem Sende- und Empfangssystem ausgestattet, die andere wird ausschließlich zum Datenempfang genutzt.

Beide Antennen können über einen elektrischen Antrieb wahlweise auf einen der beiden EDRS-Satelliten ausgerichtet werden. Die Antennen sind in der Lage, die Position des Satelliten präzise zu bestimmen und ihm zu folgen. Für beide Antennen stehen genaue Winkel- und Geschwindigkeitsmesssysteme zur Verfügung, die sendefähige Antenne verfügt zusätzlich über ein System zur Entfernungsbestimmung.

Weiterhin wurde jeweils eine baugleiche Antenne in Redu (Belgien) und Harwell (England) errichtet. Diese werden ebenfalls von der Bodenstation Weilheim aus betrieben und bilden zu den Weilheimer Antennen ein redundantes Alternativsystem.



## 9 m Antenne S-Band

Diese Antenne mit Primärfokusspeisung wird für den Datenempfang, die Kommandosendung und Bahnvermessung von geostationären und umlaufenden Satelliten benutzt. Der Empfang (2.200–2.300 MHz) und das Senden (2.025–2.110 MHz) erfolgen im S-Band. Die Antenne wird über ein computergesteuertes Elevation/Azimuth-System ausgerichtet, das mit einem automatischen Zielverfolgungssystem ausgestattet ist. Für die Bahnvermessung stehen Winkel-, Entfernungs- und Geschwindigkeitsmesssysteme zur Verfügung.

Zur Zeit ist diese Antenne umgebaut und dient in Zusammenarbeit mit dem DLR-Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme Experimenten, die neuartige Möglichkeiten für bildgebende Radarverfahren erforschen. Dazu wurden neben den 9m-Parabolspiegel zwei kleinere Radarantennen montiert. Die vorhandene Antennensteuerung – sowohl die eigentliche Mechanik als auch die Fernbedienung aus dem Kontrollraum heraus – können weiter verwendet werden.



## 11 m Antenne Ku-Band

Mit der Antenne, welche als Cassegrain-Reflektorsystem ausgelegt ist, werden erdnahe und geostationäre Satellitendaten im Ku-Band empfangen (10,70–12,75 GHz) und Kommandos gesendet (13,75–14,50 GHz). Zusätzlich wird diese Antenne in den Anfangsphasen von Raumfahrtmissionen eingesetzt, speziell als Unterstützung für den Geo-Transferorbit von Nachrichtensatelliten. Weitere Anwendungen sind Orbit-Manöver und Notfalldienste in der geostationären Umlaufbahn.

Die Ausrichtung erfolgt mit einem elektrischen Elevation/Azimuth-System, welches zusätzlich in der Lage ist, die Ausrichtung der Polarisationsachse der Antenne dem Bahnverlauf des Raumfahrzeuges anzupassen. Das kann automatisch durch einen Computer erfolgen oder aber manuell.

Die Antenne ist zusätzlich mit einem hochgenauen Bahnverfolgungssystem ausgestattet. Für die Bahnvermessung stehen Winkel-, Entfernungs- und Geschwindigkeitsmesssysteme zur Verfügung.

### 13 m Antenne Ka-Band

Das Ka-Band-Messsystem ist speziell für erdnahe Satelliten und die Unterstützung der Launch- and Early Orbit Phase (LEOP) ausgelegt. Daher lässt sich diese Antenne mit hohen Winkelgeschwindigkeiten von bis zu 15°/s bewegen, behält dabei allerdings eine Präzision von 0,001° in der Ausrichtung bei. Die Antenne verfügt über ein Cassegrain-Reflektorsystem für einen Frequenzbereich von 18–31 GHz. Um bei diesen Frequenzen optimal zu funktionieren, muss die Oberfläche des 13 m großen Hauptreflektors so präzise gearbeitet sein, dass seine mittlere Rauigkeit weniger als 0,12 mm beträgt.

Die Antenne verfügt über einen Sende- und einen Empfangszweig. Zur Bestimmung der Satellitenposition können Winkel, Geschwindigkeit sowie Entfernung des Raumfahrzeugs genauestens bestimmt werden.

Neben dem Sende- und Empfangszweig für Kommandos und Telemetrie verfügt diese Antenne über zusätzliches Messequipment, um die Eigenschaften eines im Orbit befindlichen Satelliten vermessen zu können (IOT). Neben der mechanischen Präzision der Antenne sind dazu auch die Radiofrequenzbauteile, insbesondere die Sendeverstärker, an der Grenze des derzeit technisch Möglichen ausgelegt.



### 15 m Antennen S-Band

Die zwei 15 m Antennen werden für die Kommunikation mit geostationären und erdnahen Raumfahrzeugen eingesetzt. Die Funktionsweise der beiden Antennen ist identisch, allerdings unterscheiden sie sich geringfügig in der technischen Ausstattung. Die Antennen sind im Cassegrain-System ausgeführt und können über ein elektrisches Elevation/Azimuth-System ausgerichtet werden, das mit einem automatischen Zielverfolgungssystem ausgestattet ist. Wegen der überwiegenden Verwendung der Antennen für Satelliten im erdnahen Bereich ist das Antriebssystem für hohe Drehgeschwindigkeiten von bis zu 15°/s ausgelegt.

Die Daten der Raumfahrzeuge können im S-Band (2.200–2.300 MHz) empfangen und weiterverarbeitet werden, eine der beiden Antennen ist empfangsseitig zusätzlich für das X-Band (8.400–8.500 MHz) ausgerüstet. Das Senden von Kommandos zum Raumfahrzeug erfolgt ebenfalls im S-Band (2.025–2.110 MHz). Zusätzlich können die Antennen zur Bahnbestimmung von Raumfahrzeugen eingesetzt werden.

Mit diesen Antennen wurden bereits zahlreiche Positionierungen von Nachrichtensatelliten und wissenschaftliche Raumflugmissionen erfolgreich durchgeführt.

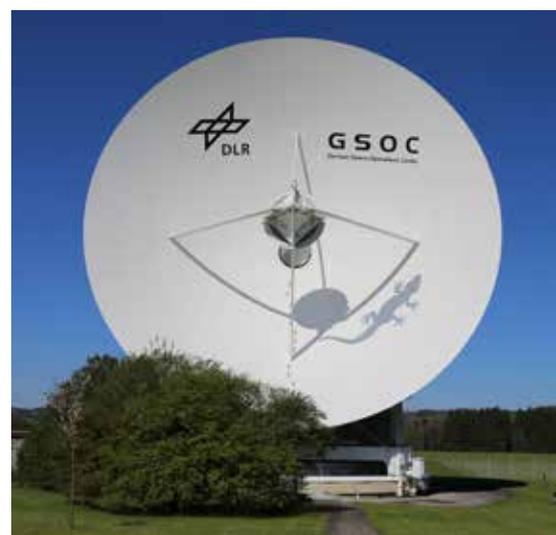


### 30 m Antenne Multi-Band

Diese Antenne ist als Cassegrain-System ausgelegt und verfügt über ein Elevation/Azimuth-System für die Ausrichtung zum Raumfahrzeug. Sie wurde für den Betrieb der beiden Sonnensonden HELIOS 1 und 2 gebaut und später für die Unterstützung der wissenschaftlichen Missionen Giotto, AMPTE und Equator-S sowie zur Durchführung wissenschaftlicher Experimente benutzt. Heute werden mit ihr neben der Unterstützung von Deep-Space-Missionen wie Hayabusa 2 vor allem Präzisionsmessungen an den Satelliten des europäischen Navigationssystems GALILEO durchgeführt.

Ursprünglich als Sendesystem für HELIOS gebaut wird die Antenne heute ausschließlich zum Datenempfang verwendet. Dies geschieht im L-, S-, C- und X-Band, also über einen großen Frequenzbereich von 1.000–8.440 MHz.

Eine Besonderheit dieser Antenne ist, dass sie direkt am Empfangsteil, dem sogenannten „Feed“, in der Elevationskabine einfachen und direkten Zugriff auf die Radiosignale erlaubt. Dadurch ist die Nutzung über einen derart großen Frequenzbereich hinweg möglich, da jeweils auf die Frequenz abgestimmte Geräte verbaut werden können. Außerdem kann nahezu beliebiges Testequipment in dieser Antenne eingebaut werden, wodurch die Nutzung der Antenne sehr flexibel ist.



# 50 Jahre Verbindung ins All

Nachdem die Bundesrepublik Deutschland in den 1960er Jahren beschlossen hatte, aktiv in der Raumfahrtforschung mitzuwirken und auch ein nationales Raumfahrtprogramm auflegte, sollte eine eigene zentrale Bodenstation in Deutschland gebaut werden. Das Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung beauftragte mit Schreiben vom 28. Oktober 1966 die DVL – die Deutsche Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt – mit der Projektierung, dem Aufbau und dem Betrieb der Z-DBS, der Zentralstation des Deutschen Bodenstationssystems. Außerdem sollte die DVL an der Planung und Errichtung von drei Echtzeit-Telemetrie-Stationen in polaren Regionen mitwirken. Für diese Aufgaben gab es eine feste Terminvorgabe – nämlich den Start des ersten deutschen Forschungssatelliten AZUR, der den Strahlungsgürtel der Erde vermessen sollte. Dieser war für den Herbst 1968 geplant, verschob sich allerdings später um ein Jahr.

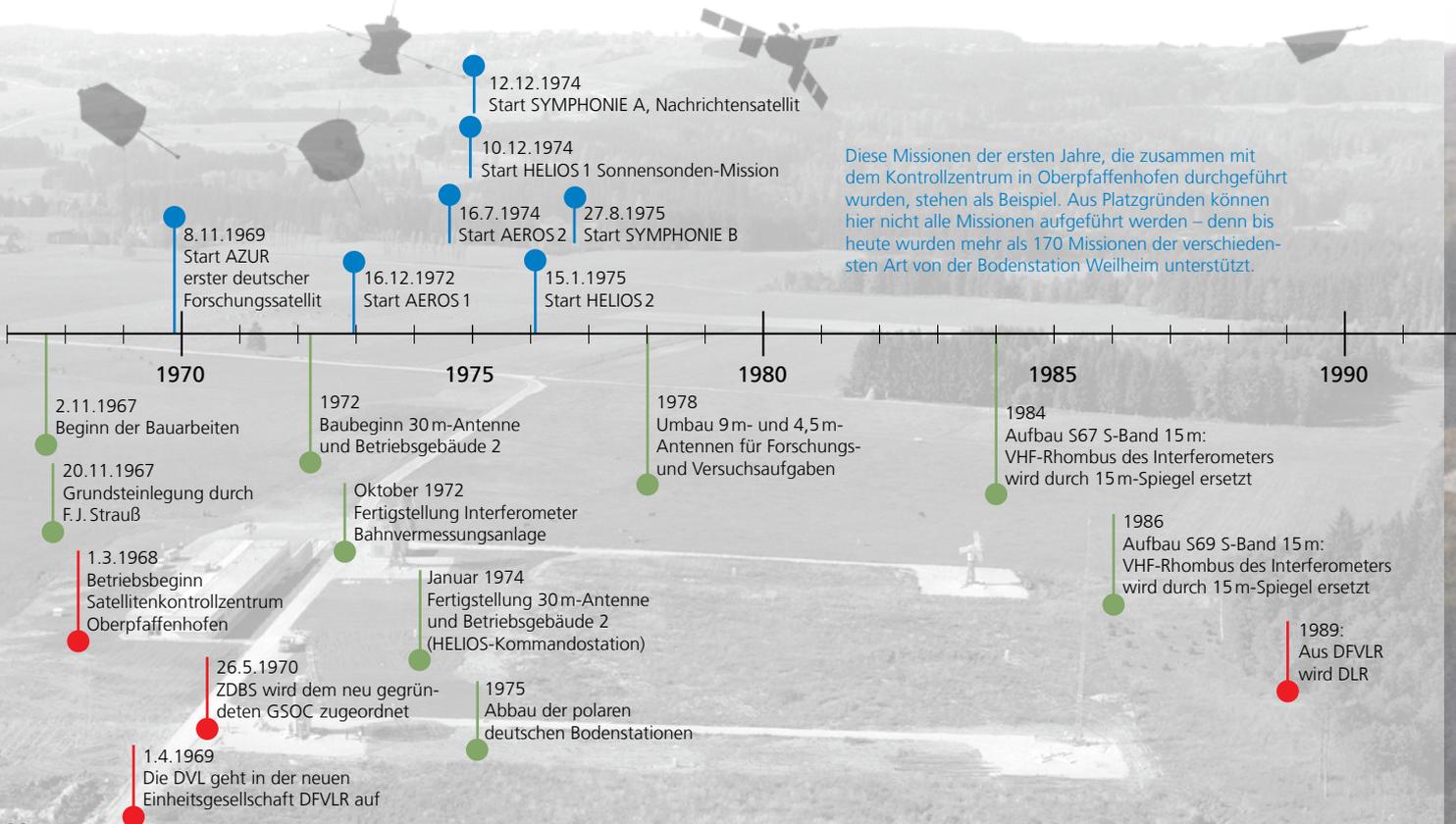
In der DVL gab es zu diesem Zeitpunkt in Oberpfaffenhofen am Institut für Flugfunk und Mikrowellen bereits eine Projektgruppe unter Leitung von Dr. Werner Fogy, die sich mit Aufgaben der Elektronik in der Luft- und Raumfahrt beschäftigte und bereits Erfahrungen mit Nachrichten- und Signalübertragung im Hochfrequenzbereich, Bahnvermessung von Flugkörpern sowie Antennenbau hatte. Daher wurde sie mit dem „Projekt Z-DBS“ beauftragt. Gestützt auf bereits vorliegende eigene Studien sowie auf NASA- und ESRO-Unterlagen wurden unter Hochdruck drei Ausbaustufen spezifiziert, die von Anfang an auch weitere Satelliten-Missionen berücksichtigten. Die erste Stufe deckte die für den Start von AZUR nötigen Bereiche Telemetrie, Telekommando und Datenüberwachung ab: In Weilheim mit Antennen für Realtime-Telemetrie, Telekommando und einem Betriebsgebäude mit Datenzentrum – an den polaren deutschen Bodenstationen (P-DBS) in Kevo/Finnland, Ft. Churchill/Kanada und Reykjavik/Island je eine Realtime-Empfangsantenne.

Die Standortwahl fiel auf die Lichtenau - ein abgelegenes Hochplateau etwa 5 km nordwestlich von Weilheim. Dieses Gelände erwies

sich für das Vorhaben als besonders geeignet, da es nur dünn besiedelt war und in seiner näheren Umgebung größere Industriebetriebe weder vorhanden noch geplant waren. Auch hatte der Boden mit einer bis zu 15 m dicken Steinlehmschicht den Vorteil einer enorm hohen Belastbarkeit. Für den Erwerb der ausgewählten Fläche mussten – teilweise sehr schwierige und langwierige – Verhandlungen mit 15 Grundeigentümern geführt werden. Letztlich gelang es dem Ingenieur Ludwig Walk, dem Sonderbeauftragten der DVL, 17 Waldparzellen und eine Wiese als geschlossene Fläche zu erwerben. Dank der Unterstützung von diversen Ministerien, Ämtern und Verbänden konnte der sehr enge Terminplan eingehalten werden und die Bauarbeiten an der Satellitenbodenstation begannen am 2.11.1967. Bereits am 20.11. konnte der Grundstein von dem Bundesfinanzminister Franz-Josef Strauß im Beisein vieler Gäste gelegt werden. Für Strauß war dieses das Symbol für den Eintritt der Bundesrepublik in das Zeitalter der Weltraumfahrt und -forschung.

Ursprünglich war vorgesehen, dass die Echtzeit-Satellitenkontrolle sowie Koordination und Integration des Bodenstationssystems komplett von der Z-DBS durchgeführt werden sollten. Im Fortgang der Projektarbeiten stellte sich aber heraus, dass dafür die Ressourcen absolut unzureichend waren. So wurde beschlossen, zusätzlich das Deutsche Satellitenkontrollzentrum (GCC) in Oberpfaffenhofen zu errichten. Alle nötigen Arbeiten und Tests konnten bis zum Start von AZUR zwei Jahre später am 8.11.1969 erfolgreich abgeschlossen werden. In den ersten acht Tagen lag die Missionsführung beim Goddard Space Flight Center der NASA. Hier waren Mitarbeiter des GCC aus Oberpfaffenhofen gemeinsam mit den Experten der NASA tätig. Am 15.11. übernahm das GCC die volle Betriebsverantwortung. Die Bodenstation in Weilheim nahm bereits mit dem Start von AZUR den Betrieb auf. Im Verlauf der Mission konnte das deutsche Bodenbetriebssystem seine Leistungsfähigkeit unter Beweis stellen, wofür es im In- und Ausland große Anerkennung fand.

Diese Missionen der ersten Jahre, die zusammen mit dem Kontrollzentrum in Oberpfaffenhofen durchgeführt wurden, stehen als Beispiel. Aus Platzgründen können hier nicht alle Missionen aufgeführt werden – denn bis heute wurden mehr als 170 Missionen der verschiedensten Art von der Bodenstation Weilheim unterstützt.



Im Sinne eines modernen Managements wurden 1970 mit einer Umstrukturierung alle zum Betrieb von Satelliten und Sonden erforderlichen Bodenanlagen organisatorisch in der neu gegründeten Zentralabteilung Satellitenbetrieb (GSOC) zusammengefasst. Dazu gehörten neben der Station in Weilheim das GCC in Oberpfaffenhofen und die bis dahin von der GfW betreuten polaren deutschen Bodenstationen. Die Projektgruppe aus dem Institut für Flugfunk und Mikrowellen wurde diesem Institut wieder eingegliedert und erhielt in Folge die Aufträge für den weiteren Ausbau der Z-DBS vom GSOC.

Nach dem erfolgreichen Abschluss von AZUR ging es unter starkem Termindruck und mit hohem Einsatz aller Beteiligten weiter, um die Station für die nächsten Missionen auszubauen – unter dem Aspekt, sie möglichst projektunabhängig und vielseitig einsetzen zu können. Dabei wurde der automatisierte Betrieb weiter vervollkommen. Neben Erweiterungen und Modifikationen der Ausbaustufe I wurden auch die polaren Stationen ausgebaut und weitgehend automatisiert. Sie erhielten mobile Container mit Telekommando-Anlagen. In der Ausbaustufe II wurde ein hochpräzises 136/138-MHz-Interferometer mit drei schwenkbaren Antennen zur Bahnvermessung von Satelliten gebaut – eine bis dahin weltweit einmalige Konzeption in diesem Frequenzbereich. Diese Anlage kam 1974 erstmals zum Einsatz für den deutsch-französischen Nachrichtensatelliten SYMPHONIE A. Für die Ausbaustufe III stand die Sonnensonden-Mission HELIOS – eine Kooperation mit der NASA – im Fokus. Dafür wurde eine 30m-Antenne mit einem eigenen Betriebsgebäude errichtet.

Mit diesen Missionen hatte das GSOC nach fünf Jahren Betrieb die ganze Bandbreite von Raumfahrtprojekten in schneller Folge erfolgreich durchgeführt: Forschungssatelliten im erdnahen Orbit, Nachrichtensatelliten im geostationären Orbit und Raumsonden in den Tiefen des Alls. In der Folge wurde kontinuierlich erweitert, umgebaut und modernisiert und so konnte die Bodenstation bis heute mehr als 170 Missionen erfolgreich unterstützen.



Z-DBS 1968: Betriebsgebäude und Antennen für Telekommando und Telemetrie

#### Namen im Wandel der Zeiten

Der ursprüngliche Name „Zentralstation des Deutschen Bodenstationensystems“ legt nahe, dass man vorwiegend und gerne die Abkürzung Z-DBS benutzte. Ab 1970 sparte man in offiziellen Berichten den Bindestrich ein und schrieb ZDBS – dies galt analog für die Polaren Deutschen Bodenstationen PDBS. Mit dem Abbau der polaren Antennen Mitte der 70er Jahre war eigentlich der Name „Zentralstation“ hinfällig, wird aber auch heute noch verwendet. Anfang des neuen Jahrtausends einigte man sich intern auf „Satellitenbodenstation Weilheim“.

**DFVLR** = Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt, 1969 gegründet als Zusammenschluss von DVL (Deutsche Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt), DFL (Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt), AVA (Aerodynamische Versuchsanstalt)

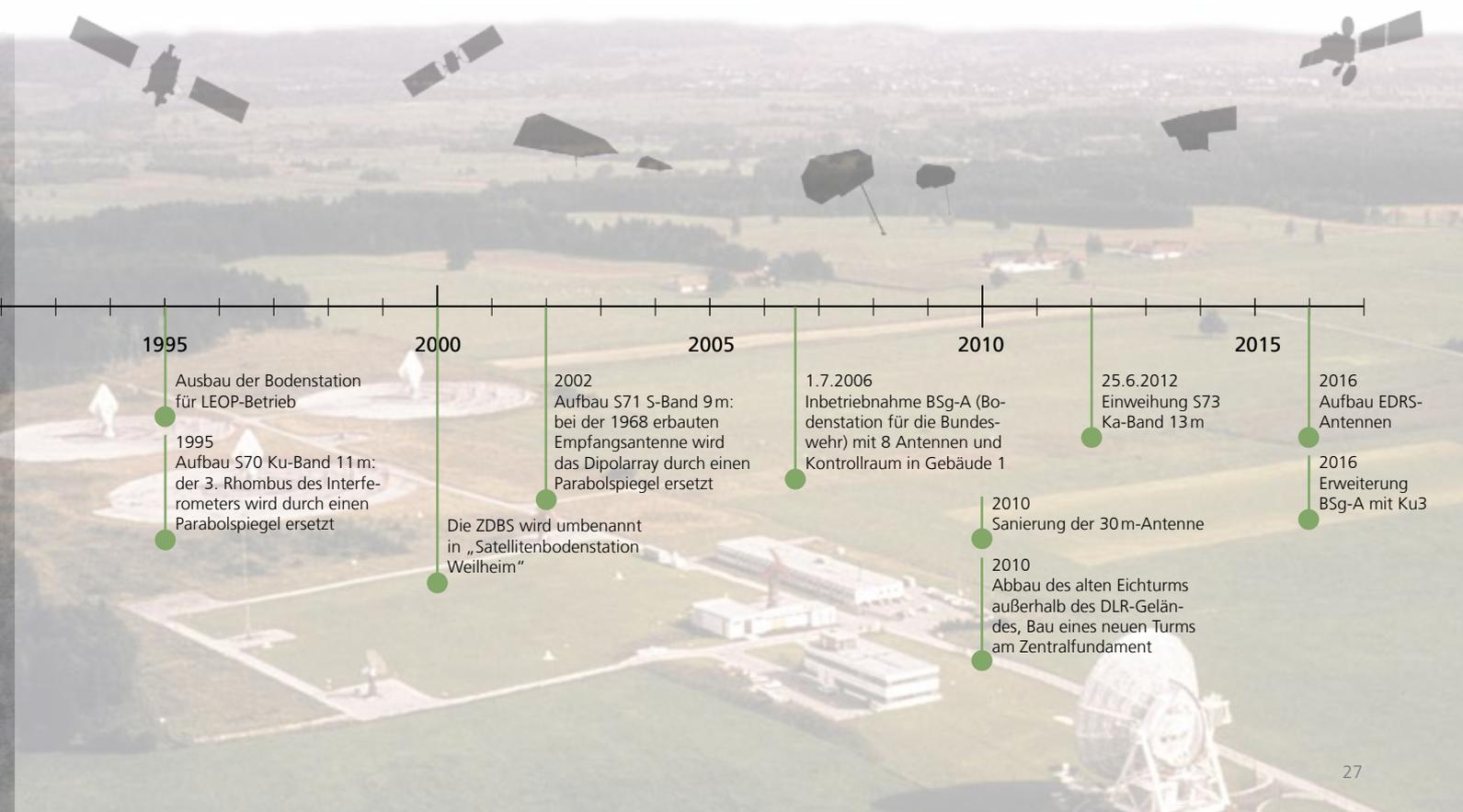
**DVL** = Vorgängerorganisation des heutigen DLR (s.o.)

**ESRO** = „European Space Research Organisation“, 1962 gegründet, 1975 Fusion mit ELDO (European Launcher Development Organisation) zur heutigen ESA (European Space Organisation)

**GCC** = German Control Center, Deutsches Satellitenkontrollzentrum

**GfW** = Gesellschaft für Weltraumforschung, 1975 in DFVLR integriert

**GSOC** = German Space Operations Center, Bezeichnung für die 1970 gegründeten Zentralabteilung Satellitenbetrieb im internationalen Sprachgebrauch



## 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 20 Standorten Köln (Sitz des Vorstands), Augsburg, Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Bremerhaven, Dresden, Göttingen, Hamburg, Jena, Jülich, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Oldenburg, 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.

## Impressum

Herausgeber:  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)  
Raumflugbetrieb und Astronautentraining

Anschrift:  
Münchener Str. 20, 82234 Weßling  
Telefon + 49 8153 28-2701

## DRL.de/RB

Bilder DLR (CC-BY 3.0),  
soweit nicht anders angegeben