

VOM FERNMEDESATELLITEN ZUR SCHWARMINTELLIGENZ

INTERVIEW: Wie die Erneuerbaren aus der Nische kamen

REPORTAGE: Schiffstanz um Helgoland für die Datenübertragung bei rauer See

BERICHT: Vulkanasche in der Luft – Suche nach dem sicheren Pfad





50 JAHRE DLR-INSTITUT FÜR KOMMUNIKATION UND NAVIGATION

VOM ERSTEN FERNMEDESATELLITEN BIS ZUR SCHWARMINTELLIGENZ

Gewachsene Kompetenzen für neue Informationskanäle,
Exploration, Sicherheit und Navigation der Zukunft
Von Bernadette Jung und Susanne Haas

In der Gründerzeit der deutschen Raumfahrt plant die Bundesrepublik den Start eines eigenen ersten Forschungssatelliten: AZUR. Ab 1964 arbeitet eine Gruppe unter Philipp Hartl mit Nachdruck an dem Großprojekt. Daraus geht 1966 das Institut für Satellitenelektronik als Vorgänger des heutigen Instituts für Kommunikation und Navigation hervor. 50 Jahre danach sind die Technologien andere. Die Begeisterung, bessere Kommunikations- und Navigationsmöglichkeiten zu ergründen und gänzlich Neues zu schaffen, ist aber unverändert geblieben.

Seit seiner Gründung 1966 war das Institut für Kommunikation und Navigation an zahlreichen bahnbrechenden Entwicklungen und Projekten der Luft- und Raumfahrt beteiligt. Ein Höhepunkt war 1974 der Start von SYMPHONIE, dem ersten europäischen Fernmeldesatelliten. Das damalige Institut für Satellitenelektronik hat maßgeblich an der Entwicklung und Demonstration des Satelliten mitgewirkt. 1974 erfolgte die Informationsübermittlung zwischen Satellit und Boden noch ausschließlich mit Funksignalen. Heute arbeitet das Institut an Verfahren, die stattdessen optische Signale verwenden. Sprache und Bilder wurden anfänglich analog übermittelt. Die spätere Digitalisierung wurde von den Wissenschaftlern aus dem Oberpfaffenhofener DLR-Institut über Jahrzehnte vorangetrieben: von den ersten Versuchen mit codierter Signalmodulation bis zur Gestaltung des zukünftigen digitalen Flugfunks.

Auch im Bereich der Satellitennavigation nimmt das Institut – damals wie heute – eine führende Rolle ein. 1982 wurde einer der allerersten europäischen GPS-Empfänger gebaut. Heute konzipiert das Institut für Kommunikation und Navigation des DLR die robustesten Empfänger weltweit. Noch weiter reichen die ersten Arbeiten in der Ionosphärenforschung zurück: Bereits vor über 100 Jahren waren Wissenschaftler und Ingenieure am heutigen DLR-Standort Neustrelitz auf diesem Gebiet aktiv. Vor Kurzem wurden dort die ersten Algorithmen zur Bestimmung der Elektronendichte in der Ionosphäre vorgestellt.

Vorreiter für neue Technologien zu sein, ist für Prof. Dr. Christoph Günther, der das Institut seit über zehn Jahren führt, Ziel und Anspruch zugleich. Es geht ihm darum, Neues auszuloten und die Grenzen des Möglichen zu verschieben. Sein Credo: Ergebnisse erzielen, die sowohl von hoher Relevanz sind als auch erstmals erreicht werden.

Satellitensysteme stehen weiterhin im Mittelpunkt der zahlreichen Forschungsarbeiten. Die 177 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts widmen sich aber auch Themen aus den Bereichen Luftfahrt, Verkehr und Sicherheit. Das Spektrum der Arbeiten reicht dabei von Grundlagenfragen bis hin zur Technologie-Demonstration. Die Projekte sind auf fünf Missionen ausgerichtet, die in den nachfolgenden Abschnitten angesprochen werden. Dabei liegt im Zusammenspiel von Theorie und Experiment eine besondere Stärke des Instituts. Die Theorie liefert das Fundament für Algorithmen und definiert das Maß für das Erreichbare, beispielsweise in Bezug auf Datenraten oder Positionsgenauigkeit. Prototypen dienen dann dazu, die Praktikabilität der neuen Ansätze nachzuweisen, Hürden bei der Umsetzung zu erkennen und zu beheben. Darüber hinaus dienen die Versuche dazu, Modelle zu erarbeiten und so die Theorie weiterzuentwickeln. Besonderes Augenmerk wird im Institut darauf gelegt, Ergebnisse in die industrielle Umsetzung zu überführen. Dazu beteiligt es sich an der Entwicklung von Standards, kooperiert mit Firmen und unterstützt Ausgründungen.

Mission 1: Globale Vernetzung von Mensch und Maschine

In unserem Alltag hat die Vernetzung drastisch zugenommen. Viele Systeme sind vom Internetzugang abhängig und die meisten Bürger wollen auf einen Breitbandanschluss nicht mehr verzichten. Flächendeckend lassen sich Kommunikationsnetze am kostengünstigsten über Satellitensysteme realisieren. Dabei gibt es zwei Optionen: Konstellationen von mehreren hundert bis mehreren tausend Satelliten in circa 1.000 Kilometer Höhe oder einige wenige äußerst leistungsfähige geostationäre Satelliten in rund 36.000 Kilometer Höhe. Die niedrigfliegenden Satelliten ermöglichen über Land kurze Übertragungszeiten. Doch ihre Entsorgung nach etwa fünf Betriebsjahren ist zurzeit ungeklärt. Die geostationären Satelliten benötigen Kapazitäten im Bereich von Terabits pro Sekunde. Hier ist die Anbindung an das Internet die größte Herausforderung. Ihr will sich das Institut mit optischer Kommunikation stellen, denn dort sind die verfügbaren Bandbreiten um einen Faktor 1.000 größer. Allerdings erschweren sowohl Wolken als auch der schwankende Brechungsindex



Wissenschaftler der Abteilung Satellitennetze vor der optischen Bodenstation auf dem Dach des Institutsgebäudes in Oberpfaffenhofen. Links im Vordergrund sieht man die Transportable Optische Bodenstation TOGS.

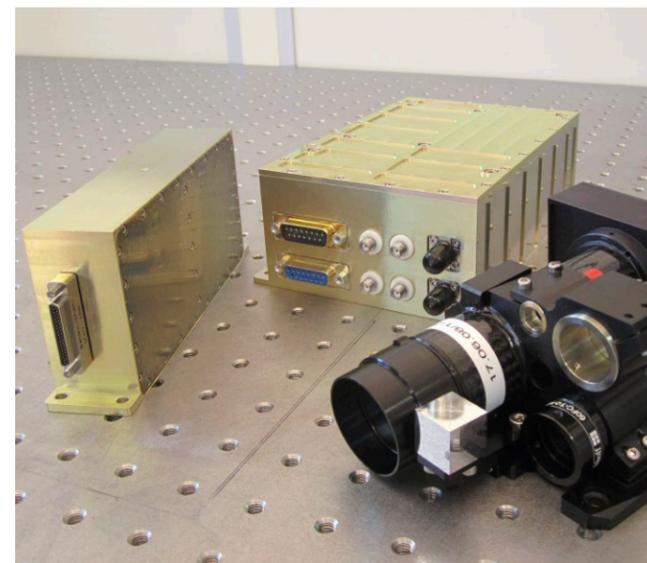
der Atmosphäre die Übertragung. Eine geschickte Platzierung von Bodenstationen ermöglicht es, bei Bewölkung auf eine alternative Station auszuweichen. Um weitere atmosphärische Störungen unter Kontrolle zu bekommen, werden neue Ansätze verfolgt. Erste Übertragungstests finden im ersten Quartal 2016 statt. Bei Erfolg werden für Welt- und Luftraum erstmals Übertragungsraten möglich, die vergleichbar sind mit denen von Glasfasernetzen.

Zwischen Nutzern auf der Erde und Satelliten bleibt aufgrund möglicher Wolkenbedeckung des Himmels die klassische Funkübertragung das Verfahren der Wahl. Auch in diesem Bereich hat das Institut Pionierarbeit geleistet: Es entwickelte neue verlustarme Verfahren, um unkoordiniert Frequenzen nutzen zu können. Und es entwickelte die leistungsfähigsten Fehlerschutzcodes überhaupt. Auf der experimentellen Seite wurde erstmals die Netzkodierung über Satellit demonstriert, mit einer potenziellen Halbierung der benötigten Bandbreite und Satellitenleistung. Jeder eingesparte Fernmeldesatellit spart Kosten von mehreren hundert Millionen Euro.

Nach dem schweren Seebeben im Pazifik im Jahr 2004 und verschiedenen weiteren Naturkatastrophen wurde die globale Alarmierung als Spezialfall globaler Kommunikation ein wichtiges Thema. Den Wissenschaftlern im Institut für Kommunikation und Navigation gelang es, mit Alert4All ein System zu konzipieren, zu implementieren und dessen Funktionsfähigkeit zu demonstrieren, das die Bürger über eine Vielzahl von Kanälen informiert: über Satellit gesteuerte Sirenen, terrestrische Satelliten und digitales Fernsehen, Satelliten-Navigationsempfänger, Gebäudesicherheitssysteme, Internet und Apps auf dem Smartphone oder Tablet.

Mission 2: Kommunikationslösungen für Wissenschaft, Exploration und Aufklärung

Jeder Fotograf freut sich über eine höhere Auflösung seiner Kamera. Das gilt auch für Wissenschaftler, die mit Hilfe von Kameras die Erde oder ferne Planeten beobachten. Auch beim Katastrophenmanagement oder bei Friedensmissionen ist gutes Bildmaterial von großem Wert. Allerdings sind in diesen Fällen die Kameras auf Flugzeugen und Satelliten installiert. Es werden also Übertragungssysteme benötigt, mit denen möglichst große Datenmengen in kurzer Zeit übertragen werden können. Hier bietet die optische Übertragung außergewöhnliche Möglichkeiten: Sie erlaubt höhere Übertragungsraten bei gleichzeitiger Verkleinerung



Einzelelemente des OSIRIS-Systems. Mit dem miniaturisierten Laser-Sendeterminal, das 2016 auf dem DLR-Satelliten BIROS erstmals fliegen wird, werden Daten per Laser zur Erde geschickt.



Erste Fahrt mit einem Antikollisionssystem für Züge. Die öffentliche Demonstration des Railway Collision Avoidance System, kurz RCAS, in einem realen Zug auf einer Teststrecke der Bayerischen Oberlandbahn im Jahr 2010 verlief erfolgreich. Inzwischen wird das im DLR konzipierte System industriell umgesetzt.

der Ausrüstungen. Im Jahr 2008 demonstrierte das Institut erstmals eine optische Verbindung zwischen einem Flugzeug und dem Boden und 2013 erstmals mit einem Aufklärungsflugzeug der Luftwaffe. Diese Entwicklungen werden von der ViaLight Communications GmbH industriell umgesetzt, einer Ausgründung aus dem DLR.

Ende April 2016 soll der DLR-Satellit BIROS starten. Er ist mit einem 1,65 Kilogramm leichten Terminal ausgerüstet, das ein Gigabit pro Sekunde aus dem erdnahen Orbit übertragen wird. Diese Technologie ist auch für die Anbindung kleiner Kommunikationssatelliten an das Internet geeignet.

Mission 3: Sicherer und effizienter – Verkehr in der Luft, zur See und an Land

In Nebel und Wolken fehlen im Luft- und Seeverkehr die optischen Orientierungsmöglichkeiten. Deshalb wurden im 20. Jahrhundert neben Radar Funknavigationssysteme entwickelt. Mit GPS entstand erstmals ein System, das global verfügbar ist und fast überall für fast alle Zwecke eingesetzt werden kann. Mit der zunehmenden Zahl der Satelliten und Systeme wird es möglich, noch bestehende Einschränkungen immer weiter abzubauen. Dies ist eines der Ziele, das sich das Institut gesetzt hat. So soll es möglich werden, mit marginaler Unterstützung Flugzeuge zuverlässig zu landen oder Schiffe anzulegen. Hierfür müssen alle natürlichen Fehlerursachen untersucht und eliminiert werden, doch auch die Aufgabe, mutwillige Störungen durch Menschen zu unterdrücken, nimmt an Bedeutung zu. Dafür entwickelt das Institut die robustesten Empfänger überhaupt. (Der diesem Überblicksartikel folgende Beitrag „Antennen mit Charakter“ informiert über diese Entwicklung.)

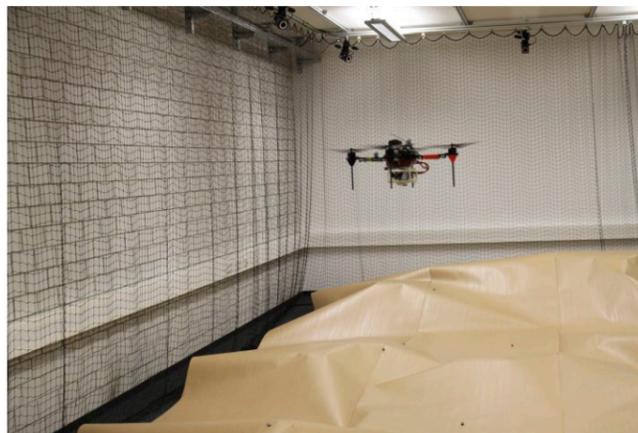
Mit robuster und zuverlässiger Satellitennavigation werden völlig neue Verfahren für den Luft- und Schiffsverkehr möglich, die zu einer deutlich höheren Effizienz bei mindestens gleichbleibender Sicherheit führen. Dafür müssen sich die Verkehrsteilnehmer allerdings absprechen können.

Da die Funksysteme in Luft- und Schifffahrt weitgehend sprachbasiert und analog sind, werden neue robuste digitale Funksysteme benötigt. Für die Luftfahrt hat das Institut erfolgreich ein System konzipiert, das ohne neue Frequenzen auskommt. (In einem Interview unter dem Titel „Flugfunk in neuer Dimension“ ab Seite 18 wird dieses vorgestellt.) Inzwischen hat die International Civil Aeronautical Organisation ein Standardisierungsverfahren hierzu eingeleitet. Von zusätzlichem Interesse ist, dass die Kommunikationssignale dieses Systems auch für die Navigation eingesetzt werden können. Dadurch entsteht ein Notfallsystem, das bei Störung der Satellitennavigation verwendbar ist. Hierzu dienen auch Inertialsensoren und Radar, bei Schiffen auch Sonar.

Mit Kollisionsvermeidungssystemen werden in der Luftfahrt Zusammenstöße heute bereits wirkungsvoll vermieden. Wissenschaftler des Instituts für Kommunikation und Navigation streben eine noch frühere Koordinierung der Antikollisionssysteme an und wollen sie auch auf andere Verkehrsträger anwenden. Besonders erwähnenswert ist das „Railway Collision Avoidance System“, das am Institut konzipiert wurde und inzwischen durch das Start-up Intelligence on Wheels industriell umgesetzt wird. Mit ihm soll vor Zugkollisionen auf Nebenstrecken und in Rangiersituationen gewarnt werden.

Mission 4: Navigationssysteme

Galileo steht kurz vor der Einführung erster Dienste – die Gesellschaft für Raumfahrtanwendungen (GfR) des DLR spielt dabei eine zentrale Rolle. Das Institut für Kommunikation und Navigation unterstützt den Aufbau des Systems mit der Vermessung von Signalen. Hierbei kommt die 30-Meter-Antenne im DLR Weilheim zum Einsatz. Eine genaue Kenntnis der Signalverzerrungen ist besonders für die sicherheitskritische Navigation von Bedeutung, da die Verfahren Messungen auf dem Flugzeug und am Boden verwenden und Verzerrungen diese Empfänger typischerweise unterschiedlich beeinflussen. Auch die Untersuchung des Einflusses der Ionosphäre auf die Signale und insbesondere die



Dieser autonom agierende Multikopter ist Teil eines Schwarms. Jeder kartiert mit Hilfe eines Ultraschallsensors selbstständig die Umgebung. Im Versuch werden Bodenprofile mit einer Plane simuliert. Die einzelnen Messungen werden an die anderen Schwarmmitglieder kommuniziert, sodass ein Gesamtbild der Umgebung entsteht.

Vorhersage des Ionisationszustands spielen für viele Dienste eine wichtige Rolle – diese Fähigkeit wird im Auftrag der ESA zurzeit weiterentwickelt, sodass Warnungen ausgesprochen werden können und selbst in Phasen von Sonnenstürmen zuverlässige Vorhersagen gelingen. Die Charakterisierung der Ionosphäre war darüber hinaus entscheidend für die Zulassung GPS-basierter Flugzeug-Landeverfahren in Deutschland.

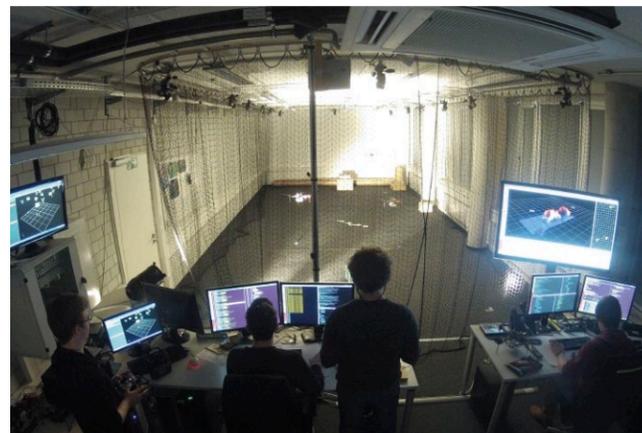
Ein besonderer Fokus der Arbeiten des Instituts im Bereich von Navigationssystemen liegt auf Entwicklungen für die nächsten Generationen des Galileo-Systems. Hierzu zählen ein neues Zeitsystem, neue Signale, deren Vermessung auf dem Satelliten und am Boden sowie die Kommunikation mit dem Satelliten und dem Nutzer. Eine wichtige Rolle spielen dabei Algorithmen, die die Verfügbarkeit hoher Genauigkeit und Sicherheit weiter erhöhen.

Mission 5: Autonome Navigation und Exploration

Nicht überall stehen GPS und das Galileo-System zur Verfügung. Auch in Gebäuden und U-Bahnanlagen sind Positionsdaten von großem Interesse. Hierfür entwickelten die DLR-Forscher SLAM-Verfahren (SLAM – Simultaneous Localization and Mapping), die eine Lokalisierung in Gebäuden mit kostengünstigen Sensoren ermöglichen. Trägt man einen dieser Sensoren beim Durchlaufen eines Gebäudes mit sich, so registriert er Daten wie Beschleunigung und Drehrate, Magnetfelder oder auch Radiosignale. Das Besondere: Der Sensor selbst hat keine Möglichkeit, die Umgebung bildlich zu erfassen. Am Ende lässt sich aber aus den gewonnenen Daten der abgelaufene Weg



Gewaltige Antennen halten die Kommunikationsverbindung von der Erde zum Satelliten und umgekehrt. Für das Galileo-System ist es notwendig, Signalverzerrungen genauestens zu kennen. Dazu vermisst das Institut für Kommunikation und Navigation die Signale. Hierbei kommt die 30-Meter-Antenne des DLR in Weilheim zum Einsatz.



Die Wissenschaftler der Gruppe „Schwarmexploration“ überprüfen ihre Algorithmen auf dem sogenannten Holodeck, einem Speziallabor des Instituts

schätzen und eine Karte erstellen, deren Genauigkeit im Dezimeterbereich liegt. Ein Team von Forschern, das an diesem Thema arbeitet, ist 2014 zu Google gewechselt.

Ein hohes Maß an Autonomie ist nicht nur auf der Erde von Interesse, sondern auch in der Exploration, beispielsweise von fremden Planeten. Hier kommt ein weiteres Element hinzu, nämlich die Entscheidung über den nächsten Schritt. Heute erfolgt diese Entscheidung überwiegend ferngesteuert von der Erde aus. Das ist langsam und anfällig gegen Ausfälle. Deshalb entwickelt das Institut für Kommunikation und Navigation Systeme mit Schwarmintelligenz, wie sie etwa bei Ameisen vorliegen. Jeder arbeitet für sich, aber in Absprache mit seinen Nachbarn. Wenn ein System ausfällt, geht es weiter, nur ein wenig langsamer. Am Institut gelang es auf diese Weise, mit einem Schwarm von Quadroptern ein Höhenprofil sehr effizient zu bestimmen.

Zukunftsweisende Technologien mit hohem gesellschaftlichen Nutzen sind auch zukünftig vom DLR-Institut für Kommunikation und Navigation zu erwarten. Für Institutsdirektor Christoph Günther sind dabei Neil Armstrongs Worte zu den ersten Schritten auf dem Mond Programm: Der Erste ist derjenige, der wahrgenommen wird. – Das galt vor 50 Jahren wie heute.

Susanne Haas ist im DLR-Institut für Kommunikation und Navigation unter anderem für Öffentlichkeitsarbeit zuständig.

Bernadette Jung ist Standortkommunikatorin im DLR Oberpfaffenhofen.

ANTENNEN MIT CHARAKTER

GALANT – robuster Empfänger für die Satellitennavigation

Von Achim Dreher und Achim Hornbostel

Signale von GPS und Galileo sind sehr störanfällig, da sie mit äußerst geringer Leistung empfangen werden. Genau genommen liegt diese Leistung bei einem Zehntel Femtowatt, eine Zahl, die 15 Nullen nach dem Komma hat! Dennoch sind Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit in vielen Anwendungen von zentraler Bedeutung. In der Luftfahrt, der Seefahrt oder beim autonomen Fahren müssen sich Menschen und Steuersysteme voll auf die geschätzte Position und Lage verlassen können. Das DLR-Institut für Kommunikation und Navigation hat mit dem GALANT-Empfänger ein System entwickelt, das höchste Maßstäbe erfüllt.

Die Entwicklung begann vor rund zehn Jahren, mit Blick auf den Aufbau des europäischen Satellitennavigationssystems Galileo: So leitet sich der Name GALANT von „Galileo-Antenne“ ab. Heute umfasst das System mehrere Frequenzbereiche und ist für Galileo- und für GPS-Signale geeignet. Grundidee ist, die Antennencharakteristik so zu formen, dass sie Störsignale räumlich ausblendet und gleichzeitig einen verbesserten Empfang der erwünschten Signale bewirkt. Damit kann die Satellitennavigation in Zukunft noch umfassender für sicherheitskritische Anwendungen genutzt werden.

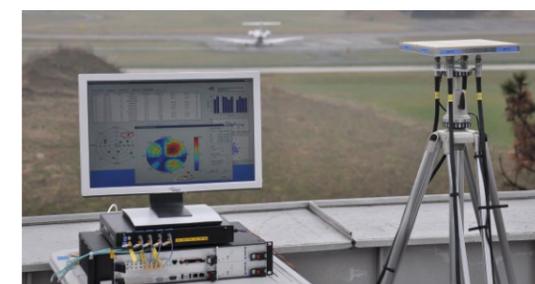
Vorgetäuschte Signale sicher enttarnt

In kommerziellen Navigationsgeräten werden heute Empfänger verwendet, die mit einzelnen Antennenelementen arbeiten. Für sicherheitskritische Anwendungen sind diese Empfänger weniger geeignet. Besitzt ein Empfänger dagegen mehrere Antennenelemente, hat dies den Vorteil, dass die Empfangscharakteristik der Array-Antenne mittels digitaler Strahlformung flexibel gestaltet werden kann. Die empfangenen Signale können gezielt überlagert und in einem Mikroprozessor verarbeitet werden, sodass das Antennendiagramm die gewünschten Eigenschaften aufweist, und zwar getrennt für jeden Satelliten. So kann sich GALANT an verschiedene Empfangssituationen anpassen. Über die Array-Antenne lassen sich mit Hilfe von geeigneten Algorithmen auch die Richtungen der einfallenden Satellitensignale schätzen. Durch den Vergleich mit der tatsächlichen Position der Satelliten enttarnt das System auch vorgeschützte und irreführende Satellitensignale, wie sie durch sogenannte „Spoofers“ oder durch Wiederabstrahlen von empfangenen Signalen mit einem Repeater (Meaconing) erzeugt werden.



Einzelne Antennenelemente zum Array zusammengefügt machen die Navigation zuverlässiger

GALANT wird in Oberpfaffenhofen am DLR-Institut für Kommunikation und Navigation laufend erweitert und mit zusätzlichen Funktionen ausgestattet. Ein Ziel ist die konforme Integration des Arrays in die Oberfläche von Flugzeugen, Fahrzeugen oder Schiffen. Unerlässlich ist auch ein kompakter Aufbau, etwa für künftige Anwendungen im Automobil-Bereich. In weiteren Projekten wird im Verbund mit anderen Partnern an der Miniaturisierung der Antenne gearbeitet.



Versuche zeigten, dass sich Störsignale mit der GALANT-Technologie unterdrücken lassen

Erfolgreiche Einsätze im Feld

Die Leistungsfähigkeit des Antennensystems wurde mehrfach demonstriert. Experimente in der Galileo-Testumgebung GATE bei Berchtesgaden haben gezeigt, dass Störsignale mit Hilfe der GALANT-Technologie erfolgreich unterdrückt werden können. Insbesondere konnte eine Interferenzsituation, die am Flughafen Newark in New Jersey ein GPS-basiertes Landesystem außer Betrieb gesetzt hatte, nachgestellt werden. Während Vergleichsempfänger keine Position lieferten (Empfänger wie sie werden in Fahrzeugen und Mobiltelefonen verbaut) und teilweise große Fehler verursachten, war die Ortsbestimmung mit dem GALANT-Empfänger zuverlässig und genau. Auch Störungen durch einen Repeater, wie sie zur Wartung in Flughangars eingesetzt werden, lassen sich von dem System zuverlässig detektieren. Weitere Testkampagnen haben zur See, in der Luft und auf der Straße stattgefunden. Als mittelfristiges Ziel soll diese Technologie einen weiten Kreis von sicherheitskritischen Diensten schützen, die Flugzeuge beim Landen führen, Schiffe beim Anlegen unterstützen und Fahrzeuge auf der Straße halten. Darüber hinaus ist es sinnvoll, diese Verfahren auch zum Betrieb der Systeme Galileo und EGNOS selbst heranzuziehen.

Dr. Achim Dreher ist Leiter der Antennengruppe im Institut für Kommunikation und Navigation, **Dr. Achim Hornbostel** leitet die Gruppe Algorithmen und Endgeräte.

FLUGFUNK IN NEUER DIMENSION

Magazin-Interview mit Dr.-Ing. Michael Schnell



Zur Person

Dr.-Ing. Michael Schnell arbeitet seit 1990 am Institut für Kommunikation und Navigation des DLR in Oberpfaffenhofen. Er leitet die Forschungsgruppe Aeronautische Kommunikation und ist Themenverantwortlicher des Instituts für den Bereich Luftfahrt. Arbeitsschwerpunkte in seiner Forschungsgruppe sind die Modernisierung der Kommunikations- und Überwachungstechnologie in der zivilen Luftfahrt sowie die Integration unbemannter Flugsysteme (Drohnen) in den zivilen Luftraum. Darüber hinaus berät er die Deutsche Flugsicherung (DFS) in verschiedenen Gremien bei Eurocontrol und in der ICAO. Er ist designierter Vorsitzender der ICAO-Arbeitsgruppe zur LDACS-Standardisierung. Von 2003 bis 2014 war er zudem Dozent am Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Er ist Autor/Co-Autor von über 100 Veröffentlichungen, darunter 20 Zeitschriftenbeiträge.

Der Luftverkehr wächst unaufhörlich. Fluglotsen bilden sein Rückgrat. Eine effiziente und sichere Kommunikation ist für sie – und damit für den gesamten Luftverkehr – von essenzieller Bedeutung. Über ein neues Kommunikationssystem für die Luftfahrt von morgen sprach für das DLR-Magazin Susanne Haas mit Dr.-Ing. Michael Schnell, dem Leiter der Forschungsgruppe Aeronautische Kommunikation des DLR-Instituts für Kommunikation und Navigation.

Wie kontrollieren und führen Fluglotsen eigentlich heute den Luftverkehr?

Die Lotsen stehen im ständigen Funkkontakt mit den Piloten. Zusätzlich erhalten sie Informationen über die aktuellen Positionen der Flugzeuge in dem Kontrollbereich, den sie verantworten. Die Flugzeugpositionen werden dabei sowohl passiv, mittels Radar, als auch aktiv, mittels automatisierter Abfrage der Flugzeuge, ermittelt. Damit haben die Fluglotsen ein komplettes Lagebild und können so den Luftverkehr steuern. Eventuelle Konflikte werden frühzeitig erkannt und entsprechende Kursänderungen rechtzeitig eingeleitet. Die Anweisungen an die Piloten, beispielsweise Richtung oder Flughöhe zu ändern, erfolgen heute überwiegend mittels analogem Sprechfunk, also wie bei einem Walkie-Talkie.

Warum ist dies nicht mehr ausreichend?

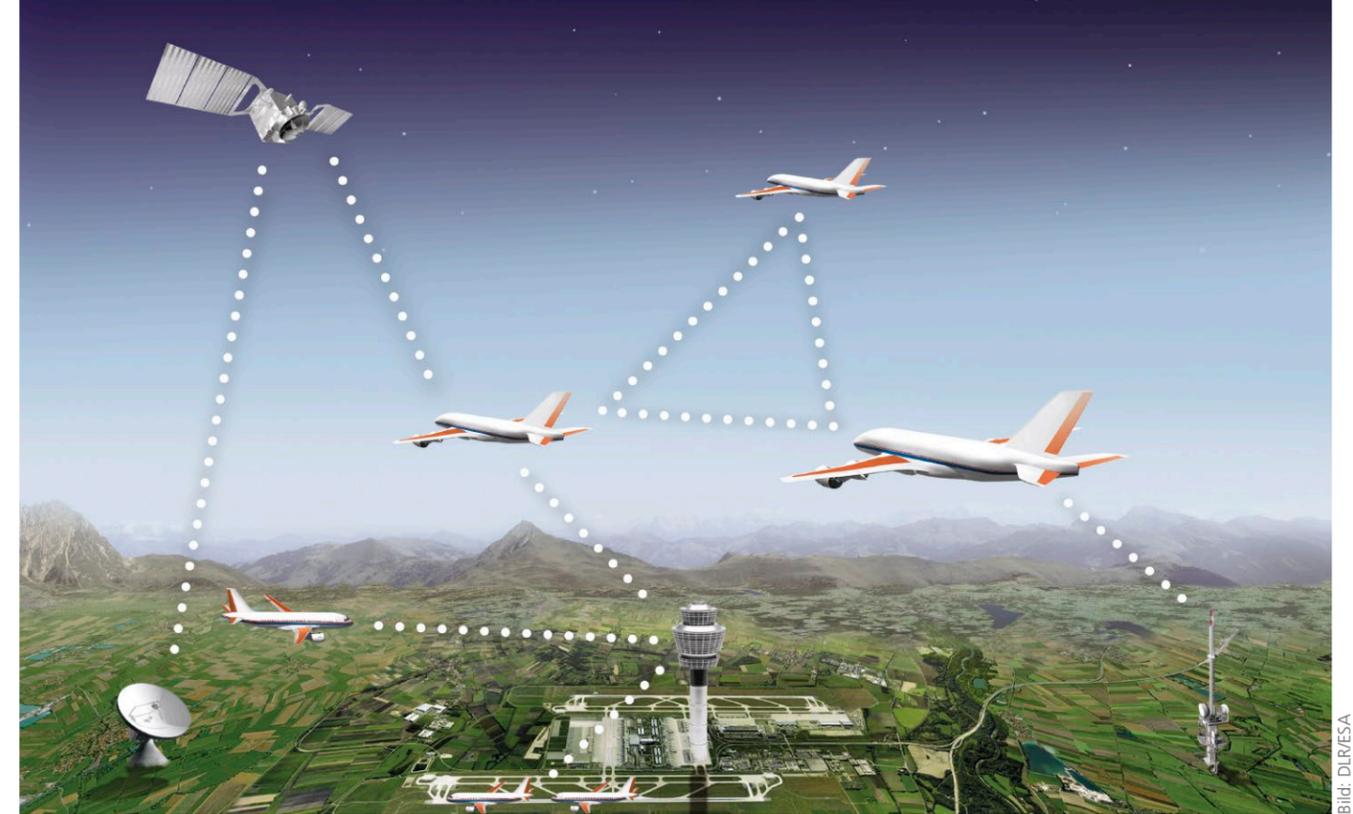
Die dem heutigen Sprechfunk zugrunde liegende analoge Technik wurde bereits Ende der Dreißigerjahre eingeführt, sie ist sicher und robust, aber veraltet und umständlich in der Handhabung. Die Piloten müssen sich mündlich an- und abmelden und die Funkfrequenzen von Hand eingeben. Außerdem belegt der analoge Sprechfunk aufgrund seiner Ineffizienz ein breites Frequenzspektrum und bindet damit Frequenzressourcen. Diese aber sind begrenzt und begehrt, was spätestens die Versteigerung der Mobilfunklizenzen deutlich machte. Da die Anzahl der Flugbewegungen aber weiter anwachsen wird, steigt auch der Kommunikationsbedarf. Um diesen abdecken zu können, werden neue Kommunikationstechniken benötigt, die zur Verfügung stehende Frequenzen wesentlich effizienter nutzen als die heute verwendete analoge Sprechfunktechnik. Das digitale Kommunikationsverfahren LDACS gewährleistet die notwendige Spektrumseffizienz. Ein weiterer Grund für die Einführung von LDACS ist die aktuell stattfindende Modernisierung des gesamten Luftverkehrsmanagementsystems. Damit der zunehmende Luftverkehr auch künftig sicher abgewickelt werden kann, werden neue Kontroll- und Managementverfahren entwickelt und eingeführt. Diese sind deutlich effizienter, aber auch komplizierter zu handhaben als bisherige, und benötigen daher die Unterstützung durch eine schnelle und sichere digitale Datenübertragung. So werden beispielsweise Flugzeugen in Zukunft vierdimensionale Trajektorien vorgegeben, also Flugpfade mit Zeitstempel. Diese Trajektorien können vom Fluglotsen aufgrund ihrer Komplexität nicht mehr per Sprechfunk kommuniziert werden. Hier ist die digitale Datenübertragung gefordert.

Was wird sich durch LDACS ändern, was wird besser werden?

Mit LDACS können mehr Informationen schneller und effizienter zwischen Piloten und Fluglotsen ausgetauscht werden. Zudem unterstützt LDACS die Einführung neuer Verfahren im Luftverkehrsmanagement. LDACS ist damit eine Schlüsseltechnologie für die Integration des Flugzeugs in das zukünftige Informationsnetzwerk des Luftverkehrsmanagementsystems.

Wie funktioniert das neue Kommunikationssystem?

Im Prinzip funktioniert es ähnlich wie der Mobilfunk. Die LDACS-Bodenstation entspricht der Mobilfunkbasisstation und das Funkgerät im Flugzeug dem Smartphone. Der Funktechnologie von LDACS wurden die modernen Kommunikationsverfahren von Mobilfunk und WLAN-Übertragung zugrunde gelegt. Allerdings mussten diese Verfahren speziell an die Anforderungen der Luftfahrtkommunikation und die Gegebenheiten des verwendeten Frequenzbereichs, dem L-Band, angepasst werden. Das L-Band wird bereits von Funkdiensten für die Luftfahrt verwendet, insbesondere von radargestützten Navigationsdiensten. Deshalb mussten die LDACS-Signale so ausgelegt werden, dass sie die bestehenden Funkdienste im L-Band nicht stören und auch selbst von diesen nicht gestört werden.



Vernetzte Kommunikationsinfrastruktur mit LDACS als wesentlicher Komponente unterstützt durch Satellitenkommunikation: Das Flugzeug wird dabei vollständig in das Informationsnetzwerk für das Luftverkehrsmanagement integriert.

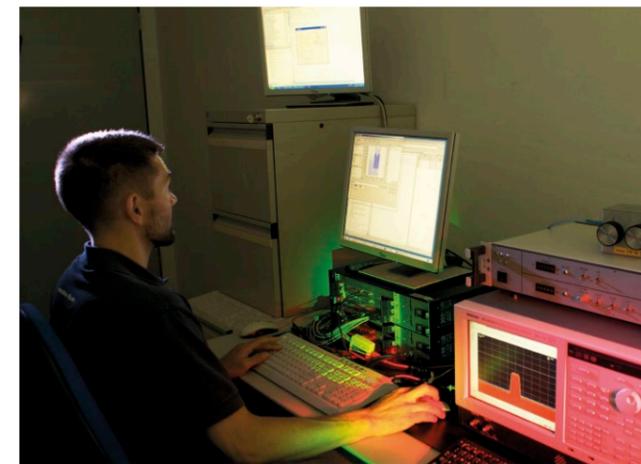
Welche Rolle spielt das DLR bei der Entwicklung von LDACS?

Das DLR hat seit Beginn der Arbeiten im Jahre 2007 eine führende Rolle inne. Die LDACS-Entwicklung wurde zunächst gemeinsam mit den beiden österreichischen Partnern Frequentis AG und Universität Salzburg, seit 2012 zusätzlich mit der Firma Rohde & Schwarz vorangetrieben. Auf die DLR-Wissenschaftler gehen die ersten theoretischen Überlegungen zurück, auch das Systemdesign und die anschließenden Simulationen gestaltete das DLR federführend. Die entwickelte LDACS-Technologie wurde vom DLR in Hardware umgesetzt und so der weltweit erste LDACS-Demonstrator aufgebaut, mit dem die Technologie unter Laborbedingungen getestet werden konnte. Flugversuche mit einem von Rohde & Schwarz realisierten Prototypen sind in Planung. Zudem unterstützen wir die Standardisierung und Umsetzung von LDACS in allen relevanten Gremien aktiv. Dies sind vor allem die Europäische Organisation zur Sicherung der Luftfahrt, Eurocontrol, die europäische Organisation für Zivilluftfahrt EUROCAE, die sich speziell mit der Standardisierung der Elektronik beschäftigt, und die

Internationale Zivilluftfahrtorganisation ICAO. Die gewonnenen wissenschaftlichen Ergebnisse haben wir auf verschiedenen internationalen Konferenzen sowie in Zeitschriften veröffentlicht.

Wie geht es weiter, wann wird LDACS eingeführt?

Das Communications Panel der ICAO hat beschlossen, 2016 eine Arbeitsgruppe für die Standardisierung einzusetzen. Aufgrund unserer Expertise ist das DLR für den Vorsitz dieser Arbeitsgruppe vorgesehen. 2018 soll ein erster Standardentwurf verfügbar sein. Ein finaler Standard ist für 2020 angestrebt. Danach sind Industrie, Flugzeughersteller und Fluggesellschaften in der Pflicht, den Standard aufzunehmen und zu implementieren. Moderne, effiziente Kommunikation für das zivile Luftverkehrsmanagement mit all ihren Vorteilen kann bereits ab 2020 Wirklichkeit werden. LDACS wird sicherlich mehrere Jahrzehnte im Einsatz bleiben. Denn die LDACS zugrunde liegende Funktechnologie ist sehr flexibel und skalierbar und kann gut an zukünftige Anforderungen angepasst werden.



Umsetzung des LDACS-Designs in einen Demonstrator: Die Eigenschaften des LDACS-Systems werden darin in realistischer Umgebung getestet und vermessen.

LDACS – LUFTFAHRTKOMMUNIKATION DER ZUKUNFT

LDACS (englisch: L-band Digital Aeronautical Communications System) steht für die künftige Kommunikation zwischen Fluglotsen und Piloten. Es handelt sich um ein digitales Übertragungsverfahren von Informationen zur Luftverkehrskontrolle und zum Luftverkehrsmanagement. Ähnlich wie der Mobilfunk ermöglicht es sowohl Sprachkommunikation in CD-Qualität als auch schnellen Datenaustausch. Das digitale Luftfahrtkommunikationssystem im L-Band integriert das Flugzeug in das Informationsnetzwerk des Luftverkehrsmanagementsystems.

MIT DEM LICHT AUF EINER WELLENLÄNGE

Christian Fuchs hegt eine Leidenschaft für optische Freiraumkommunikation

Von Elisabeth Schreier

Das optische Freiraumkommunikation für Außenstehende wie ein Buch mit sieben Siegeln scheint, ist Christian Fuchs durchaus bewusst. Mit einem leichten Schmunzeln gesteht der Wissenschaftler ein, dass Freunde und Bekannte an seiner Arbeit zwar durchaus sehr interessiert sind, aber die meisten diese Thematik nicht mit ihrem Alltag verbinden. Dabei wird die Übertragung von Daten per Laserstrahlen in unserem täglichen Leben bald schon eine wichtige Rolle spielen – davon ist Christian Fuchs überzeugt. Seit fast zehn Jahren forscht der 34-jährige Nachrichtentechniker im DLR an der Weiterentwicklung dieser Technologie.

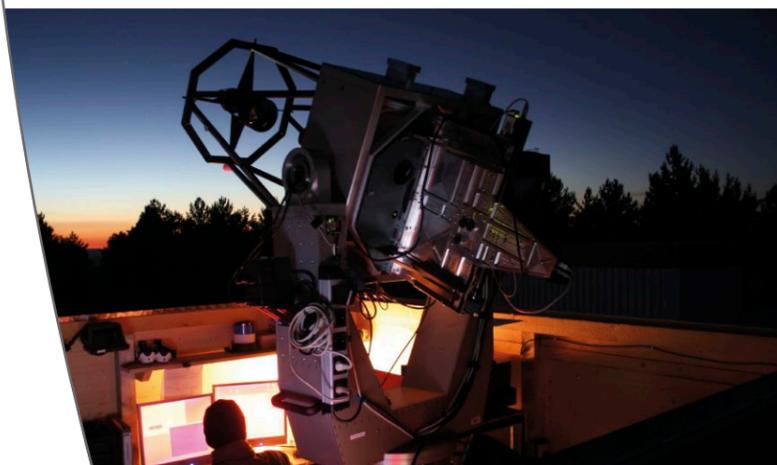
Seit seinem ersten Jahr ist Christian Fuchs „DLRler“ mit Herz und Seele. Angefangen hat alles mit der Suche nach einem Projekt für seine Masterarbeit. Nach einigen Praktika und Uni-Projekten war ihm klar: Forschung ist seine Leidenschaft und sollte ihn auch in Zukunft begleiten. „Am liebsten wollte ich in der Raumfahrt arbeiten“, erinnert sich Christian Fuchs an seine Berufsfindungsphase. „Dass ich nun das Thema optische Freiraumkommunikation bearbeite, ist mehr oder weniger Zufall. Ich habe es aber bis jetzt noch keinen Tag bereut.“ Diese Leidenschaft für ein erst mal eher sperrig klingendes Thema zeigte er bereits bei seiner Masterarbeit 2005/2006 – und überzeugte. Gleich nach seiner Abschlussarbeit bekam er eine Stelle im DLR-Institut für Kommunikation und Navigation.

Seit 2011 ist er Leiter der Gruppe Optische Kommunikationssysteme am Institut für Kommunikation und Navigation. Zusammen mit seinem gut zehnköpfigen Team arbeitet er daran, die Übertragungsraten von Flugzeugen und Satelliten zum Boden in Zukunft deutlich zu erhöhen. „Der Nutzen der Laserkommunikation ergibt sich aus der hohen Bündelung des Lichtstrahls, wie man sie auch bei einem Laserpointer beobachten kann. Dadurch erreicht ein viel größerer Teil der Leistung den Empfänger als bei der Funkkommunikation“, erklärt Christian Fuchs. Die Laserkommunikation erlaubt es, große Datenmengen von hochauflösenden optischen, Infrarot- und Radar-satelliten zum Boden zu übertragen. Im Vergleich zum bisher üblichen Senden und Empfangen von Funksignalen ist diese Art der Übertragung mittels Licht deutlich effizienter. Dies ermöglicht Datenraten von einem Gigabit pro Sekunde und mehr. Für größere Satelliten sind Datenraten von über einem Terabit pro Sekunde angedacht.

Einsatz rund um die Welt

Durch seine Projekte hat Christian Fuchs auch die Möglichkeit, viel mit anderen Kollegen in Instituten zusammenzuarbeiten. Besonders spannend ist für ihn das Projekt OSIRIS. Dafür entwickelte sein Team ein experimentelles Laserkommunikationssystem, das für kleine Satelliten optimiert ist. Die aktuelle Generation ist in den BIROS-Satelliten des DLR-Instituts für Optische Sensorsysteme integriert worden und soll nach dem Start 2016 auf Herz und Nieren getestet werden. Das System des Instituts soll ein Gigabit pro Sekunde schaffen, mit einem Satellitenterminal, das lediglich 1,65 Kilogramm wiegt. „Das ist um Größenordnungen besser als alles, was bisher geflogen worden ist“, schwärmt Fuchs.

Die Gruppe von Fuchs ist auch für den Empfang der Daten zuständig. Dafür haben die Wissenschaftler zwei Empfangsstationen gebaut: die optische Bodenstation in Oberpfaffenhofen, die fest auf dem Dach des Institutsgebäudes installiert ist, und die Transportable Optische Bodenstation TOGS (Transportable Optical Ground Station), die weltweit eingesetzt werden kann.



Bei einer Kampagne in Südspanien bereitet Christian Fuchs die optische Bodenstation vor

Bei der Datenübertragung per Lasertechnik muss einiges beachtet werden. Witterungseinflüsse und atmosphärische Effekte erschweren den Datenempfang. Damit Versuche wie OSIRIS davon nicht negativ beeinflusst werden, wurden die Bodenstationen und Messgeräte von Christian Fuchs und seinem Team für diesen Anwendungsfall optimiert. Bei der Kommunikation mit BIROS soll unbedingt alles funktionieren. „Es wird sehr spannend sein, nach monatelanger Arbeit erste Live-Daten von unserem Terminal auf BIROS zu empfangen und zu sehen, ob alles so funktioniert wie geplant. Die im Vorfeld durchgeführten ersten Tests mit einem System der NASA, das derzeit auf der ISS installiert ist, waren vielversprechend. Mit den geplanten Experimenten werden wir Daten zum Übertragungsverhalten der Atmosphäre bei einer



wichtigen Frequenz gewinnen. Für die Auslegung künftiger Systeme und zur Standardisierung der Technologie wird das entscheidend sein. Bei einem so weitreichenden Projekt zum Erfolg beizutragen, ist schon ein sehr gutes Gefühl“, sagt Fuchs nicht ohne Stolz.

Christian Fuchs' Projekte schweben aber nicht nur in den Sternen. Um schneller Ergebnisse erzielen und somit wertvolle Erfahrungen sammeln zu können, kommen bei zahlreichen seiner Projekte auch Flugzeuge zum Einsatz. Nach anfänglichen Erfolgen auf einer DLR-Propellermaschine war auch die Übertragung von einem Bundeswehr-Tornado mit einer Spezialentwicklung erfolgreich, die zusammen mit der Ausgründung ViaLight im Auftrag von Cassidian (heute Airbus) durchgeführt wurde. Im Projekt DoDfast (Demonstration of Optical Data link fast) wurde hierfür ein Micro Laser Terminal (MLT) in eine Plattform auf dem Tornado integriert. Neben den starken Vibrationen an Bord war die Optimierung der mobilen Empfangsstation TOGS eine weitere Herausforderung. Es galt, das Flugzeug mit sehr hoher Geschwindigkeit und extrem hoher Genauigkeit zu verfolgen, um das empfangene Laserlicht auf einer winzigen Fotodiode fokussiert zu halten. Dies erforderte eine Optimierung der Systeme und der eingesetzten Software, welche das Team während zahlreicher Bodentests im Vorfeld der Versuche rund um Oberpfaffenhofen

durchgeführt hat. Dass er bei seiner Arbeit eben nicht nur am Schreibtisch sitzt, sondern es auch mal in den Feldversuch geht, und dann noch mit so aufregenden Flugobjekten, schätzt Christian Fuchs sehr.

Wenn es um den Einsatz von optischer Freiraumkommunikation geht, kann Fuchs spontan gleich eine Handvoll Möglichkeiten nennen. So unterstützt seine Abteilung das Projekt VABENE++. Es soll im Rahmen der Katastrophenhilfe Einsatzkräfte dabei unterstützen, beispielsweise mit Hilfe von Luftbildern das Verkehrssystem wieder funktionsfähig zu machen. Die bei Überflügen entstandenen Bilder können mit der Lasertechnologie leicht und schnell übertragen werden. Von besonderer Bedeutung ist die Laserkommunikation weiterhin für den globalen Internetzugang. Hierbei wird die Verbindung zwischen Satelliten und Internet über Laser realisiert. Bodenstationen an verschiedenen Orten stellen dabei sicher, dass mindestens bei einer Verbindung höchstwahrscheinlich Wolkenfreiheit herrscht. Die Anzahl der benötigten Bodenstationen ist dabei sehr viel geringer als bei Funksystemen. Letztere benötigen diese Stationen, um die Kapazität bereitzustellen. „Im Funkbereich messen wir die verfügbare Bandbreite in Gigahertz, in der Laserkommunikation in Terahertz. Das ist tausendmal mehr!“, erläutert Christian Fuchs voller Begeisterung.



Letzte Einstellungen an der Bodenstation für einen Satelliten-Downlink

Dass bei der weltweiten Forschung zur optischen Freiraumkommunikation das DLR eine entscheidende Rolle spielt, treibt Christian Fuchs an. Deswegen will er in den nächsten zehn Jahren unbedingt die internationale Sichtbarkeit seines Instituts fördern, neue Kontakte knüpfen und so spannende Projekte mit unterschiedlichen Partnern realisieren. Ganz will er die Forscherrolle jedoch nicht aufgeben: „Natürlich wächst man immer stärker in die Position des Projektleiters rein und ist mehr und mehr mit Koordinierungsaufgaben beschäftigt, aber ich würde mir auch in Zukunft eine Mischung zwischen Forschen und Managen wünschen. Den Freiraum, selbst auch noch technisch zu arbeiten, möchte ich mir nicht nehmen lassen.“

Von den Projekten, die 2016 auf der Agenda von Fuchs stehen, ist der Start des BIROS-Satelliten am aufregendsten. Dieser wird, sobald er in seiner Umlaufbahn angelangt ist, wertvolle Fernerkundungsdaten per Laser zur Erde senden. Sollte dies funktionieren, wäre das ein riesiger Erfolg für den Wissenschaftler und sein Team. Ein Erfolg, den man jemandem wie Christian Fuchs mehr als gönnt. Jemandem, der so voller Leidenschaft und Freude für seinen Job und sein Themengebiet ist.

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.

Impressum

DLR-Magazin – Das Magazin des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt

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

Redaktion: Sabine Hoffmann (ViSdP), Cordula Tegen (Redaktionsleitung)
An dieser Ausgabe haben mitgewirkt: Manuela Braun, Dorothee Bürkle, Philipp Burtscheidt, Falk Dambowsky, Tom Georgi, Julia Heil, Fabian Locher, Bernadette Jung, Caroline Mahlow, Denise Nüssle, Elisabeth Schreier, Sarah Werner und Jens Wucherpennig

DLR-Kommunikation
Linder Höhe, 51147 Köln
Telefon: 02203 601-2116
Telefax: 02203 601-3249
E-Mail: kommunikation@dlr.de

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten
Gestaltung: CD Werbeagentur GmbH, 53842 Troisdorf, www.cdonline.de

ISSN 2190-0094

Online:
DLR.de/dlr-magazin

Onlinebestellung:
DLR.de/magazin-abo

Die in den Texten verwendeten weiblichen oder männlichen Bezeichnungen für Personengruppen gelten für alle Geschlechter.

Nachdruck nur mit Zustimmung des Herausgebers und Quellenangabe. Die fachliche Richtigkeit der Namensbeiträge verantworten die Autoren. Hinweis gemäß § 33 Bundesdatenschutzgesetz: Die Anschriften der Postbezieher des DLR-Magazins sind in einer Adressdatei gespeichert, die mit Hilfe der automatischen Datenverarbeitung geführt wird.

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

ClimatePartner[®]
klimateutral
Druck | IO53106-1602-1001



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.

Titelbild

30-Meter-Antenne im DLR Weilheim. Von ihr empfangene Navigationssignale werden von Wissenschaftlern des Instituts für Kommunikation und Navigation genauestens analysiert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages