

# DLR magazin

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt · Nr. 161 · Juli 2019

## LUFTIG-LEICHT UND WANDELBAR

BARBARA MILOW UND DER SUPERWERKSTOFF

DER VIRTUELLE WEG ZUR ZULASSUNG  
WENN DER BUS KOMMT WIE GERUFEN

# DIGITAL VOM TOWER ZUM COCKPIT

**27** März 2019, 10.11 Uhr: Das DLR-Forschungsflugzeug Falcon hebt vom Flughafen Oberpfaffenhofen zu einer Weltpremiere ab. An Bord befindet sich ein Demonstrator für den neuen digitalen Flugfunkstandard LDACS (L-band Digital Aeronautical Communications System). Dieser soll zukünftig einen kryptografisch abgesicherten und effizienten Datenaustausch zwischen Flugsicherung und Cockpit ermöglichen. Zudem testen die Forscher ein alternatives Navigationssystem, das Flugzeuge auch dann sicher ans Ziel bringt, wenn Satellitennavigationssysteme ausfallen. Als die Falcon nach etwa anderthalb Stunden wieder in Oberpfaffenhofen landet, ist das Team auf dem Weg zur Standardisierung von LDACS einen großen Schritt vorangekommen.

## Digitaler Flugfunk LDACS: sichere Übertragung von Daten und Sprache

Ein Beitrag aus dem DLR-Institut für Kommunikation und Navigation

Was sich hinter dem etwas kryptisch wirkenden Kürzel LDACS verbirgt, lässt sich mit unserem Mobilfunknetz am Boden vergleichen, gilt aber speziell für die Luftfahrt. Die Bodenstation ist analog zu der erdgebundenen Mobilfunk-Basisstation und das Funkgerät im Flugzeug entspricht unserem Smartphone. Mit dem neuen System können Anweisungen und Informationen zwischen Lotsen und Piloten besser ausgetauscht werden, da nicht nur Sprache, sondern zugleich auch Daten übertragen werden können. Seit 2007 arbeitet ein Forscherteam des DLR zusammen mit externen Partnern an LDACS. Neben der Frequentis AG und der Universität Salzburg sind sowohl die europäische Luftfahrtbehörde EUROCONTROL als auch die Deutsche Flugsicherung GmbH bei der Entwicklung von Beginn an mit an Bord. Seit etwa sechs Jahren sind mit der Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, der BPS GmbH und der iAd GmbH weitere Partner aus der deutschen Industrie dabei.

### Ein neues Luftverkehrsmanagement verlangt einen modernen Flugfunk

Hintergrund für die Neuentwicklung ist die Modernisierung des Luftverkehrsmanagementsystems. Um den stetig wachsenden Luftverkehr auch in Zukunft sicher und effizient bewältigen zu können, ist fortschrittliche und leistungsfähige Kommunikation eine wesentliche Voraussetzung. „Heutzutage wird immer noch Analogtechnologie aus den Dreißigerjahren im Flugfunk eingesetzt. Diese Technik gilt als äußerst ineffizient und ist umständlich zu handhaben. Sie bedarf dringend einer Modernisierung“, sagt Dr. Michael Schnell, der Projektleiter aus dem DLR-Institut für Kommunikation und Navigation. Beispielsweise müssen sich Piloten jedes Mal, wenn sie den Flugsektor wechseln, mündlich beim Lotsen an- und abmelden und die neue Funkfrequenz per Hand eingeben. Kursänderungen gibt der Lotse dem Piloten mündlich per Sprechfunk durch. Dieser liest sie zurück, um Verständigungsfehler auszuschließen. Danach gibt der Pilot die Änderungen manuell ins Flugmanagementsystem an Bord des Flugzeugs ein. In Zukunft werden die Daten automatisch übertragen und nach Bestätigung durch den Piloten aktiviert.

Der bisherige analoge Sprechfunk nutzt zudem das Frequenzspektrum nur sehr ineffizient. „Für den Flugfunk sind nur begrenzt Frequenzen verfügbar. Gleichzeitig steigt die Anzahl der Flugbewegungen von Jahr zu Jahr“, bemerkt Michael Schnell und ergänzt: „Höchste Zeit also, ins digitale Zeitalter zu starten!“ Mit LDACS sollen Piloten und Fluglotsen künftig nicht nur effizienter kommunizieren können, sondern auch komplexe Informationen austauschen, die mit dem analogen Sprechfunk von heute nicht übermittelbar sind. Beispielsweise sollen mit Zeitinformationen versehene Wegstrecken übertragen



Das DLR-Forschungsflugzeug Falcon hebt zum Jungfernflug mit LDACS ab

## ERSTE KRYPTOGRAFISCH ABGESICHERTE ÜBERTRAGUNG VON PRÄZISIONSLANDEDATEN

Während der Flugversuche ist dem Team um Dr. Michael Schnell noch eine besondere Demonstration gelungen: Weltweit erstmalig wurde für das Präzisionslandesystem GBAS (Ground-Based Augmentation System) eine kryptografisch abgesicherte Datenübertragung zum Flugzeug durchgeführt. GBAS stellt Korrekturdaten zur Satellitennavigation zur Verfügung und ermöglicht neue, leisere und spritsparende Anflugverfahren, die zudem eine engere Staffelnung der Flugzeuge erlauben.

Aktuell werden bei Landungen mit GBAS die Korrekturdaten für GPS über den digitalen Datenlink VDB (VHF Data Broadcast) gesendet. Aufgrund der begrenzten Bandbreite dieses Services bleiben Satellitennavigationsysteme wie Galileo, GLONASS oder Beidou bislang unberücksichtigt. Der neue digitale Flugfunkstandard LDACS kann GBAS-Korrekturdaten für mehrere Satellitennavigationsysteme senden und erreicht damit eine höhere Verfügbarkeit des Systems. Die GBAS-Korrekturdaten werden bei LDACS zudem kryptografisch abgesichert übertragen. So ist der Informationsaustausch vor möglichen Cyber-Angriffen geschützt und ein automatischer Landeanflug kann nicht manipuliert werden.

werden. Weg und Zeit kombiniert ergibt die 4D-Flugroute. Diese gibt sowohl an, welchen Weg das Flugzeug fliegt, als auch, wann es an welchem Punkt der Route ankommen wird. Situationen, in denen sich zwei Flugzeuge auf ihrem Weg annähern, können damit schon vor dem Start der Flüge erkannt und vermieden werden.

### Cyber-sicher fliegen und funken

Dank seiner hohen Kapazität kann der digitale Flugfunk LDACS alle aktuellen und absehbaren Kommunikationsdienste, die für die moderne Luftverkehrskontrolle notwendig sind, unterstützen. Die Struktur des Systems erlaubt es, auch neue Anwendungen zu integrieren, beispielsweise für sektorloses Fliegen. Dabei betrachten die Fluglotsen den Luftraum als Ganzes und nicht wie heute, in kleine abgegrenzte Bereiche unterteilt, für die jeweils ein anderer Lotse verantwortlich ist. Außerdem stellt LDACS Kommunikationsdienste für Luftfahrtgesellschaften zur Verfügung. Diese können damit ihre Flotte besser managen. Eine ganz wesentliche Errungenschaft von LDACS gegenüber herkömmlichen Systemen ist der Datenaustausch über eine kryptografisch abgesicherte Verbindung. „Cyber-Security ist angesichts der zunehmenden Automatisierung im Luftverkehrsmanagement unverzichtbar, da der Mensch immer stärker aus dem Loop genommen wird“, so Michael Schnell.

Was die besondere Herausforderung bei der Entwicklung von LDACS ist, erklärt Prof. Christoph Günther, Leiter des DLR-Instituts für Kommunikation und Navigation: „Für diesen digitalen Dienst konnten keine neuen Frequenzen zur Verfügung gestellt werden. Deshalb

musste es das neue Verfahren erlauben, den Dienst parallel zu anderen Diensten im selben Frequenzband zu betreiben.“ Die Wissenschaftler konnten also keine kommerziell verfügbare Technologie einsetzen. Mit Hilfe einer Spezialentwicklung gelang es ihnen, für LDACS einen Frequenzbereich zwischen bereits existierenden Luftfahrtnavigationsystemen zu nutzen.

### Ein System – viele Funktionalitäten

Obwohl LDACS primär als Kommunikationssystem entwickelt wurde, kann es auch zur zuverlässigen und genauen Bestimmung der Position des Flugzeugs genutzt werden. Diese wird aus den LDACS-Signalen unterschiedlicher Bodenstationen ermittelt, unterstützt durch Messungen der Trägheitssensoren und des barometrischen Höhenmessers. Deshalb lässt sich LDACS auch als Back-up für die Satellitennavigation einsetzen, sodass bestehende, kostspielige Navigationsinfrastruktur am Boden zurückgebaut werden kann.

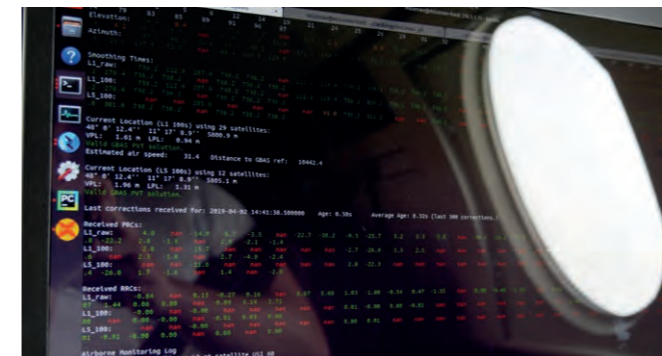
Seit Anfang 2019 arbeitet das Team an einer weiteren Neuerung: LDACS soll in Zukunft auch Flugzeuge direkt miteinander vernetzen können. Diese sollen dann während des Fluges Informationen über Position, Ziel und Geschwindigkeit, aber auch über Luftströmungen und Wetterbedingungen austauschen können.

### Von der Theorie in die Praxis

„Doch grau ist jede Theorie“, sagt Schnell. „Man muss der Welt zeigen, dass es funktioniert. Dies ist insbesondere in der Luftfahrt

## WIE FUNKTIONIERT DER KRYPTOGRAFISCHE SCHUTZ DER GBAS-DATEN?

Zur Sicherung der GBAS-Übertragung verwendet LDACS das Broadcast-Authentifizierungsprotokoll TESLA (Timed Efficient Stream Loss-Tolerant Authentication). Bei TESLA wird die Zeit in Intervalle gleicher Länge aufgeteilt und jedem Intervall ein Schlüssel zugeordnet, der die Nachricht kryptografisch absichert. Zur Erstellung dieser Schlüssel können wiederum Verfahren der Post-Quantum-Kryptografie eingesetzt werden. Nach einer vordefinierten Anzahl von Zeitintervallen gibt der Sender die Schlüssel an alle Empfänger frei. Diese können damit die Authentizität und den Ursprung der Nachricht überprüfen. So wird verhindert, dass GBAS-Nachrichten verfälscht werden oder Daten von nicht-autorisierten Personen oder Systemen in den Kreislauf gelangen.



Die Premiere für die kryptografisch abgesicherte GBAS-Übertragung läuft und das Flugzeug empfängt erstmals GBAS-Korrekturdaten vollständig digital



Der Versuchsaufbau, eingebaut im Forschungsflieger

wichtig, wo Sicherheit allererstes Gebot ist.“ Im Projekt ICONAV entwickelte das Team die Navigationsfunktionalität von LDACS und einen ersten Labordemonstrator. Im Projekt MICONAV wurde ein voll funktionsfähiger und flugtauglicher Demonstrator aufgebaut und in Labor- und Flugversuchen getestet.

Darüber hinaus installierten die Forscher vier Bodenstationen im Südwesten von München. Zwei dieser Stationen sind voll funktionsfähige LDACS-Bodenstationen, zwei sind Navigationsstationen. Letztere senden lediglich LDACS-Signale aus, die am Flugzeug zur Positionsbestimmung benötigt werden. Die Kommunikation erfolgt mit den beiden LDACS-Bodenstationen, die senden und empfangen können. Insgesamt sechs Messflüge führten die Forscher mit dem Versuchsdemonstrator des LDACS-Systems im DLR-Forschungsflugzeug Falcon durch. „Unsere Messkampagne war ein voller Erfolg“, resümiert Michael Schnell. „Wir konnten alle wesentlichen Kommunikations- und Navigationsfunktionalitäten im Flug testen und bestätigen.“ Das An- und Abmelden an den LDACS-Bodenstationen verlief schnell und fehlerfrei, ebenso wie die Übergabe von einer Bodenstation zur anderen. Während des Fluges kommunizierten Flugzeug

und LDACS-Bodenstation in verschiedenen Situationen, wie Überflug in großer Höhe, An- und Abflug oder Rollen am Flughafen, zuverlässig miteinander. Für den Datenaustausch verwendeten die Wissenschaftler typische Applikationen der Luftfahrt wie Controller-Pilot Data Link Communications (kurz: CPDLC) oder Automatic Dependent Surveillance-Contract (kurz: ADS-C). Um sicher zu kommunizieren, hatten die Forscher zudem einen modernen Post-Quantum-Kryptografie-Algorithmus implementiert, mit dem die LDACS-Kommunikation auch für die Zukunft gegen Cyber-Angriffe modernster Art gewappnet ist.

### Wie geht es weiter?

Bis zur tatsächlichen Premiere in der Flugführung weltweit dürften noch einige Jahre vergehen. Für die Standardisierung gibt es seit 2016 eine DLR-geleitete Arbeitsgruppe bei der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation ICAO (International Civil Aviation Organization). „Sobald der Standard endgültig festgeschrieben ist, sind Hersteller und Fluggesellschaften aufgefordert, ihn zu übernehmen“, erklärt Schnell. 2022 könnte es nach seiner Einschätzung so weit sein.

Während des ersten Tests überflog die Falcon vier Bodenstationen. Zwei von ihnen sind reine Navigationsstationen (LDACS-NAV), die für die Positionsbestimmung LDACS-Signale zum Flugzeug senden. Zwei von ihnen sind LDACS-Stationen, die digitale Flugfunkdaten senden und empfangen.



## POST-QUANTUM-KRYPTOGRAPHIE

Post-Quantum-Kryptografie steht für Verschlüsselungsverfahren, die im Gegensatz zu den heute eingesetzten Methoden selbst durch sogenannte Quantencomputer nicht geknackt werden können. Quantencomputer sind zurzeit Gegenstand der Forschung und erlauben es, mehrere Hypothesen parallel zu überprüfen, wodurch diese neue Computerart besonders effizient und schnell ist.

## DIE PROJEKTE ICONAV UND MICONAV

ICONAV (Integrated Communications and Navigation) und MICONAV (Migration towards Integrated COM/NAV Avionics) setzte das DLR gemeinsam mit den Partnern Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, BPS GmbH und iAd GmbH um. Beide Projekte waren Teil des Luftfahrtforschungsprogramms (LuFo) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi).

## 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, Digitalisierung 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 sind im DLR zwei Projektträger zur Forschungsförderung angesiedelt.

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 8.200 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: Nils Birschmann (ViSdP), Cordula Tegen (Redaktionsleitung), Julia Heil  
An dieser Ausgabe haben mitgewirkt: Daniel Beckmann, Florian Kammermeier, Denise Nüssle, Doris Pfaff sowie Michel Winand

DLR-Politikbeziehungen und Kommunikation  
Linder Höhe, 51147 Köln  
Telefon 02203 601-2116  
E-Mail [info-dlr@dlr.de](mailto:info-dlr@dlr.de)  
Web [DLR.de](http://DLR.de)  
Twitter [@DLR\\_de](https://twitter.com/DLR_de)

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten  
Gestaltung: CD Werbeagentur GmbH, 53842 Troisdorf, [www.cdonline.de](http://www.cdonline.de)

ISSN 2190-0094

Online:  
[DLR.de/dlr-magazin](http://DLR.de/dlr-magazin)

Onlinebestellung:  
[DLR.de/magazin-abo](http://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.

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



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.

## Titelbild

Die kugelförmige Struktur gehört einem neuartigen Biopolymer-Aerogel, das DLR-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler im Laborexperiment entwickelten. Sie entsteht, indem Chitosan eine Verbindung mit einem Duroplast eingeht. Mehr über die vielseitigen Aerogele und über Professorin Barbara Milow, die mit ihrem Team nach neuen Rezepturen sucht, lesen Sie ab Seite 30 in diesem Magazin.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages