



EINER FÜR ALLE, ALLE FÜR EINEN

Mission horizons: die Möglichmacher

KRAFTSTOFFE VON MORGEN
MEHR WISSEN ÜBER WASSER



Mit hochpräzisen Messinstrumenten in der Luft: der Channel Sounder vor dem Einbau in das DLR-Forschungsflugzeug Falcon im Hangar des DLR in Oberpfaffenhofen

DEN FUNKWELLEN AUF DER SPUR



Wenn Informationen per Funk übertragen werden, sei es zur Kommunikation, Positionsbestimmung oder Authentifizierung, so müssen sie ihr Ziel zuverlässig erreichen und vom Empfänger korrekt empfangen werden können. Auch hinsichtlich der zunehmenden Automatisierung sind zuverlässige Kommunikationsverbindungen zwischen verschiedenen Objekten von großer Bedeutung. Um neue Frequenzbänder zu erschließen oder vorhandene besser zu nutzen, vermessen DLR-Wissenschaftler die Funkkanäle mit einem Spezialgerät – über alle Forschungsbereiche hinweg: dem Channel Sounder. Vor 15 Jahren begannen die Arbeiten mit und an diesem unverzichtbaren Messinstrument.

Der Channel Sounder analysiert die Ausbreitung von Funksignalen für einen ausgezeichneten Empfang

Von Uwe-Carsten Fiebig und Thomas Jost

Jeder hat schon erlebt, wie die eigene Stimme von einer nahen Bergwand reflektiert wird und welch langen Nachhall sie in leeren Räumen hat. Woher kommt das? Die Antwort liefert die Natur: Diese Schallwellen werden an Wänden reflektiert. Solche Reflexionen hängen stark von den Eigenschaften dieser Wände ab, also davon, welche Ausmaße sie haben, aus welchem Material sie bestehen und wie rau ihre Oberfläche ist. Treten starke Echos auf, wird es für den Zuhörer schwierig, das gesprochene Wort zu verstehen.

Bei der Übertragung von Funkwellen treten vergleichbare Effekte auf: Die elektromagnetischen Wellen erreichen den Empfänger meist nicht nur über den direkten Ausbreitungspfad, also die Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger. Sie erreichen ihn auch über Reflexionen, über die Echos. Am Empfänger überlagert sich das direkt empfangene Signal mit allen Reflexionen. Das führt zu Störungen des Empfangs. Die Empfangsqualität wird durch den Übertragungskanal, der die Ausbreitungseigenschaften zwischen Sender und Empfänger beschreibt, bestimmt.

Wenn neue Funksysteme entwickelt werden, ist die genaue Kenntnis des Übertragungskanals – also der Ausbreitungsverhältnisse – wichtig. Diese sind von vielen Parametern abhängig: von der Frequenz und der Bandbreite des Sendesignals, von der physikalischen Umgebung, in der das Funksystem eingesetzt wird, sowie von der Geschwindigkeit und gegenseitigen Entfernung zwischen Sender und Empfänger.

Die Eigenschaften des Übertragungskanals werden von den Wissenschaftlern mit einem sogenannten „Channel Sounder“ untersucht. Dieses Messgerät besteht aus einem Sender, der ein bekanntes Testsignal aussendet, und einem Empfänger, der das Empfangssignal hochgenau aufzeichnet. Die Auswertung der Messdaten erlaubt eine genaue, mathematische Beschreibung des Übertragungskanals: Die Wissenschaftler konstruieren ein Modell der Ausbreitungseigenschaften, das sogenannte Kanalmodell. Mit Hilfe solcher Modelle können Funksysteme konzipiert, optimiert und deren Qualität im Computer simuliert werden.



Der Channel Sounder im Einsatz: links die Sendeeinheit und rechts die Empfangseinheit



Bei der ersten Messkampagne des Channel Sounders zur Satellitennavigation bewegte sich die Empfangseinheit in einem Messbus durch die Münchener Innenstadt



Während der ersten Messkampagne befand sich die Sendeeinheit auf einem Zeppelin



Der Channel Sounder in der Luft, unterwegs im DLR-Forschungsflugzeug Dornier Do 228

Unterwegs zu Land, Luft und See

Ob Satellitennavigation, Flugfunk, maritime Kommunikation, Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation oder Zugfunk – die Einsatzorte für einen Channel Sounder sind äußerst vielfältig. Die Forscher des DLR-Instituts für Kommunikation und Navigation haben bereits eine Vielzahl von Messkampagnen durchgeführt, um die Ausbreitungseigenschaften verschiedenster Übertragungskanäle zu erfassen. Um neue Frequenzen zu erschließen, mussten Modifikationen an der Apparatur vorgenommen werden: Ursprünglich war der Channel Sounder nur dazu konzipiert, Übertragungskanäle bei einer Trägerfrequenz von 1,51 Gigahertz (L-Band) mit 100 Megahertz Bandbreite zu messen. Im Laufe der Zeit wurde sein Einsatzbereich um mehrere Trägerfrequenzen im VHF-Band, S-Band und C-Band erweitert. Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Sicherheit sind Forschungsgebiete, in denen die Kommunikationswissenschaftler in ihren Kampagnen regelmäßig Pionierleistungen bei der Funkübertragung erbringen.

In seinem ersten praktischen Einsatz 2002 vermaßen die DLR-Wissenschaftler mit dem Channel Sounder die Ausbreitungsbedingungen in der Satellitennavigation. Die Genauigkeit von GPS-Empfängern hängt sehr stark vom Übertragungskanal ab. Das Signal legt einen weiten Weg zurück und wird beispielsweise in Städten von den Gebäuden stark reflektiert. Anstelle eines Satelliten strahlte die Sendeeinheit die Testsignale von einem Zeppelin ab, der in mehreren hundert Metern Höhe recht ruhig an einer Stelle stand, während der Messbus mit der Empfangseinheit durch die Straßen Münchens fuhr und das Signal aufzeichnete. Aufgrund der Messungen konnten die Forscher die Ausbreitungsphänomene, denen Satellitennavigationssignale unterliegen, mit bis dahin unerreichter Detailfülle beschreiben. Sie beobachteten, dass in Straßenzügen mit hoher Bebauung starke Signalechos mit erstaunlich langer Lebensdauer auftreten. In solchen Fällen kann die Position, die der Navigationsempfänger angibt, um mehr als 50 Meter von der tatsächlichen Position abweichen. Am Institut wurden daraufhin neue Verfahren entwickelt, mit denen ein Navigationsempfänger die Auswirkungen der Mehrwegeausbreitung stark reduzieren kann und damit deutlich präzisere Positionsangaben liefert. Das entwickelte Kanalmodell wurde im Radiocommunication Sector der International Telecommunication Union, einer Sonderorganisation der Vereinten Nationen, die sich mit den technischen Aspekten der Telekommunikation beschäftigt (ITU-R), standardisiert.

In verschiedenen Messkampagnen untersuchten die DLR-Wissenschaftler zwischen 2008 und 2010 mit dem Channel Sounder auch die Ausbreitungsbedingungen für Signale, die entweder von einem

Satelliten oder von einer Mobilfunkbasisstation in ein Gebäude zu einem mobilen Empfänger gelangen. Die Messungen bestätigten, dass Signale durch Fenster (sofern sie nicht metallisiert sind), Wände und auch durch Betondecken in das Gebäudeinnere eindringen. Allerdings werden sie stark gedämpft und im Inneren des Gebäudes von Wänden, Türen und Einrichtungsgegenständen reflektiert. In einer solchen Mehrwegeumgebung ist die Navigation äußerst schwierig. Tiefer im Gebäudeinneren sind die Empfangssignale derart schwach, dass eine brauchbare Positionierung mit Satellitensignalen nicht mehr gelingt.

In einer anschließenden Messkampagne zeigten die Wissenschaftler, dass Signale im C-Band beim Eindringen in Gebäude deutlich stärker gedämpft werden als im L-Band. So lassen sich die Vorteile von potenziell breitbandigen Navigationssignalen im C-Band nur außerhalb, nicht aber innerhalb von Gebäuden nutzen. Dort sollten eher Signale bei niedrigeren Frequenzen in Betracht gezogen werden. Der Vergleich zwischen Übertragungskanälen im L- und C-Band ist die Grundlage, um entscheiden zu können, ob die Satellitensignale der nächsten Generation von Galileo auch in anderen Frequenzbereichen abgestrahlt werden sollen.

In der Luftfahrt wurde mit Hilfe des Channel Sounders 2003 der Übertragungskanal innerhalb der Flugzeugkabine vermessen. Dieser Übertragungskanal ist für Flugzeughersteller wichtig, um kabelgebundene Kommunikation durch geeignete Funkverbindungen zu ersetzen. Es konnte gezeigt werden, welche Sektoren der Kabine gut mit Funk zu versorgen sind und dass es zahlreiche Stellen (beispielsweise von Metall umgebene) gibt, die vom Funksignal nur stark gedämpft oder fast gar nicht erreicht werden. 2007 untersuchten die Wissenschaftler den Übertragungskanal zwischen Vorfelddtower und Flugzeug auf dem Franz-Josef-Strauß-Flughafen in München. Statt des Flugzeugs verwendeten sie einen Messbus, mit dem sie Tag und Nacht verschiedene Szenarien auf dem Rollfeld abfuhrten. Die Flughafenarchitektur mit weiten, offenen Flächen und großen Gebäuden führt zu einem nicht-stationären Verhalten des Übertragungskanals mit zum Teil sehr langlebigen und starken Echos sowie Signalabschattungen in der Nähe der Parkpositionen der Flugzeuge. Das entwickelte Kanalmodell berücksichtigt dieses Verhalten, sodass das DLR den neuen Funkstandard AeroMACS zur Übertragung zwischen Tower und Flugzeugen oder Fahrzeugen auf dem Flugvorfeld genauestens an diese Bedingungen anpassen konnte.

Auch in der Luft war der Channel Sounder unterwegs: in einer Messkampagne 2009 zur Untersuchung des Funkkanals zwischen zwei

Flugzeugen bei einer Trägerfrequenz von 250 Megahertz. Diese flogen über verschiedene Untergründe wie Wasser, Wiesen, Wald und bebautes Gebiet. Das vom Boden reflektierte Signal erwies sich als außerordentlich leistungsstark und erreichte die Empfangsleistung des direkten Signals. Bei einigen Rollmanövern des Flugzeugs war das reflektierte Signal aufgrund der Richtwirkung der Antenne sogar deutlich stärker als das direkte Signal. Ein Entzerrer kann die Störwirkung deutlich mindern.

Der Schienenverkehr war ein weiterer Einsatzort des Messgeräts. Neben einer Messkampagne in zwei Zügen (das DLR-Magazin 151 berichtete in einer Reportage darüber) erfasste das Messteam des DLR den Übertragungskanal zwischen zwei Fahrzeugen, wobei sowohl die Sende- als auch die Empfangseinheit des Channel Sounders in Bewegung waren. Mit den Ergebnissen entwickelten die Wissenschaftler ein Modell, das die sich in der Bewegung ständig ändernden Übertragungseigenschaften mit einbezieht. Dies kann nun zur Optimierung von Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikationsverfahren eingesetzt werden.

Die Zukunft des guten Empfangs

Auch in Zukunft werden die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts für Kommunikation und Navigation immer wieder mit neuen Fragestellungen konfrontiert werden: sei es, dass größere Bandbreiten und andere Frequenzbereiche betrachtet werden sollen oder Eigenschaften untersucht werden müssen, die früher nicht relevant oder noch nicht messbar waren. Mit einem neuen Channel Sounder, der noch 2018 in Betrieb gehen wird, wird es möglich sein, ultrabreitbandige Signale von bis zu einem Gigahertz Bandbreite zu verwenden, sodass es möglich ist, die empfangenen Echos besser aufzulösen. Ferner können die Wissenschaftler die Messrate erhöhen, um höhere Dopplerfrequenzen zu erfassen. Der neue Channel Sounder unterstützt auch Antennenverbunde auf Sende- und Empfangsseite. Damit werden die Grundlagen für einen guten Empfang und für eine sichere Übertragungstechnik geschaffen.

Prof. Dr.-Ing. Uwe-Carsten Fiebig leitet die Abteilung Nachrichtensysteme. Eine der Kernkompetenzen der Abteilung ist die Analyse und Modellierung der Ausbreitungseigenschaften von Funksignalen für Anwendungen in Raumfahrt, Luftfahrt, Verkehr und maritimer Sicherheit. **Dr. Thomas Jost** ist seit Jahren führender Wissenschaftler auf dem Gebiet der Wellenausbreitung und betreute den Channel Sounder bei fast allen Messkampagnen.



Während einer Messkampagne im Jahr 2014, bei der die Wissenschaftler die Funkverbindung zwischen einem Schiff und dem Festland untersuchten, wurde die Empfangsantenne auf dem Leuchtturm von Warnemünde installiert. 2016 erfasste ein Team den Übertragungskanal zwischen zwei Schiffen (das DLR-Magazin 149 berichtete in einer Reportage darüber).



In zwei fahrenden Hochgeschwindigkeitszügen untersuchten die DLR-Experten in Italien die Ausbreitung der Funkwellen für die Kommunikation von Zug zu Zug

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 8.000 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: Prof. Dr. Pascale Ehrenfreund (ViSdP), Cordula Tegen (Redaktionsleitung) An dieser Ausgabe haben mitgewirkt: Manuela Braun, Julia Heil, Fiona Lenz, Denise Nüssle, Miriam Poetter, Michel Winand sowie Peter Zarth

DLR-Politikbeziehungen und Kommunikation
Linder Höhe, 51147 Köln
Telefon 02203 601-2116
E-Mail kommunikation@dlr.de
Web DLR.de
Twitter @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.

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



Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier.

Titelbild

6. Juni 2018: Eine Sojus-MS-09-Rakete bringt Alexander Gerst und sein Team zur Internationalen Raumstation. Die Mission horizons beginnt. Am Boden sorgt ein weitaus größeres Team dafür, dass sie auch gelingen kann.

Bild: ESA/S, Corvaja

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages