

Auf unsichtbaren Pfaden

Unterwegs auf technischem Neuland, im Interview mit Professor Christoph Günther

Kein Technikgebiet entwickelt sich so rasant wie die Kommunikationstechnik. Was gestern noch Science-fiction war, begegnet uns schon heute im Alltag. Grundlagenforschung und Anwendung liegen dicht beieinander, jeder Schritt ist ein Schritt auf technischem Neuland. Ein Jahr Entwicklungszeit ist wie eine Fahrt im Hochgeschwindigkeitszug – noch während der Forschungsreise Ideen generiert, zeigt sich beim nächsten Etappenstopp die Fachwelt verändert. Erneuerung als Tagesaufgabe. Ein Jahrzehnt, ein neues Zeitalter, 40 Jahre – ein Weltenwandel. Ein Institut, das in seiner 40-jährigen Geschichte Satellitenelektronik und Nachrichtentechnik im Namen führte, schwelgt auch zum Jubiläum nicht lange in der Vergangenheit. Das DLR-Institut für Kommunikation und Navigation forscht für die Zukunft. Sein Direktor, Professor Dr. Christoph Günther, bewertet im Gespräch mit dem DLR-Magazin aktuelle Entwicklungen.



DLR-Magazin: Ihr Institut hat eine langjährige Tradition im Bereich der Übertragungstechnik, mit einem besonderen Schwerpunkt in der Satellitenkommunikation. Erdgebundene Systeme haben inzwischen aber auch eine hohe Leistungsfähigkeit erreicht. Werden Satelliten durch hoch qualifizierte terrestrische Systeme ersetzbar?

Christoph Günther: Das trifft auf einzelne Anwendungen zu. Im Bereich der Interkontinental-Telefonie wurde zum Beispiel der Satellit durch die Glasfaser ersetzt. Es entstehen jedoch immer neue Anwendungsfelder. Heute spielt stationäres Satellitenfernsehen eine zentrale Rolle. SES Astra und Eutelsat haben zusammen circa 200 Millionen Kunden, andere Betreiber

sind dabei nicht eingerechnet. Satelliten können mit demselben Signal große Flächen versorgen. Außerdem lassen sich neue Entwicklungen leicht einführen, da neben den Endgeräten nur wenige Infrastrukturkomponenten ausgetauscht werden müssen. Dies führte beispielsweise zu einer frühen Verfügbarkeit des digitalen Fernsehens und in diesen Tagen zum Start des hochauflösenden Fernsehens HDTV über Satellit. Unser Institut trägt sowohl zur Weiterentwicklung der Technologien, als auch zum Entstehen neuer Anwendungen bei.

Welche weiteren Anwendungen sehen Sie?

Geostationäre Satelliten können große Bereiche der Erdoberfläche erfassen. Sie benötigen keine Bodeninfrastruktur in der Umgebung des Benutzers. Letzterer kann sich gleichermaßen in dicht besiedeltem Gebiet, in der Wüste, auf See oder in der Luft befinden. Daraus ergeben sich viele Anwendungen. Eine davon ist die Versorgung von Flugzeugkabinen mit terrestrischen Funksystemen, d. h. GSM, UMTS, WLAN, Das DLR-Institut für Kommunikation und Navigation spielt bei diesen Entwicklungen eine zentrale Rolle. Ich möchte auf den entsprechenden Artikel in diesem Heft verweisen. Das Beispiel lässt sich beliebig auf andere Transportmittel übertragen oder auch auf die schnelle Wiederherstellung einer Kommunikationsinfrastruktur in Katastrophengebieten.

Ziel ist es also, fernab terrestrischer Infrastrukturen problemlos zu kommunizieren ...

Genau. Wir wollen die Verwendung von Satelliten für Kommunikationszwecke erleichtern. So arbeiten wir an der Definition eines Messaging Standards, der sich mit minimalem Aufwand in Mobilfunk-Endgeräten realisieren lässt. Ein Satellitentelefon, mit dem man sprechen und auch Daten mit einigen Kilobits pro Sekunde übertragen kann, ist vergleichsweise teuer und groß. Unser Ansatz ist es, jedem überall zu ermöglichen, eine SMS abzusenden.

Geht der Trend nicht auch in Richtung höherer Datenraten?

Das ist im Prinzip richtig. Er geht aber ebenso in Richtung allumfassender Verfügbarkeit, Letzteres streben wir mit dem Messaging Standard an. An hohen Datenraten arbeiten wir am Institut ebenfalls. Die optische Übertragung erreicht hier auf Grund der extremen Bündelung eine etwa 100.000 bis 1.000.000 Mal bessere Effizienz. Im Herbst 2005 führten wir ein Experiment mit einem Stratosphärenballon in 20 Kilometern Höhe durch, bei dem eine Datenrate von 1,25 Gbps über eine Distanz von 60 Kilometern mit nur 100 mW Sendeleistung erreicht wurde. Das von TESAT gebaute kohärente Übertragungssystem auf dem Satelliten TerraSAR wird 5,5 Gbit/s zum Boden sowie zu

anderen Satelliten mit 1 W Sendeleistung übertragen. Zur kohärenten Übertragung hält das Institut nach wie vor den Empfindlichkeitsweltrekord mit 20 Photonen pro bit bei einer Fehlerrate von 10^{-9} .

Bedeutet das auch, dass damit Wolken und Bodennebel durchdrungen werden?

Vermutlich wird man irgendwann auch durch dichten Dunst kommen. Es gibt jedoch Erdregionen, die überwiegend gering bewölkt sind, dazu zählt zum Beispiel Nordafrika. Entsprechend lässt sich eine zuverlässige Verbindung zur Erde mit einem Satellitennetzwerk über einige ausgesuchte Stationen erreichen (Übertragungsdiversität). Im Übrigen sehen wir die optische Übertragung vor allem über den Wolken. Die Verteilung zum Endnutzer erfolgt dann z. B. im Ka-Band (20/30 GHz) über niedrig fliegende Satelliten. Unser Institut hat zusammen mit Partnern einen elektronisch steuerbaren Antennen-Demonstrator mit hohem Gewinn entwickelt. Das ermöglicht ein Konzept, bei dem große Distanzen effizient optisch überbrückt werden und die kurze Distanz durch die Wolken hindurch im Ka-Band. Dem einzelnen Benutzer könnte bis zu etwa 1 Gbit/s zur Verfügung stehen. Wir denken hier an die direkte Anbindung von Firmen, Basisstationen und dergleichen mehr.

Ein A380 fliegt auch über den Wolken ...

... und er könnte im Prinzip direkt optisch versorgt werden. Das ist für militärische Flugzeuge bereits angedacht, da die optische Übertragung im Gegensatz zu Radiowellen das Flugzeug nicht verrät.

Das klingt alles noch recht futuristisch. Die gängige Spielfilmeinstellung, in der der Lotse den Piloten anweist, an seinem Flugfunkgerät eine neue Frequenz einzustellen, und ihn auffordert, sich beim nächsten Lotsen zu melden, ist also antiquiert. Die Kabine wird wohl sehr bald über modernere Kommunikationsmittel verfügen als das Cockpit ... Könnte für das Cockpit nicht auch Nutzen daraus gezogen werden?

Das ist richtig und schwierig zugleich. Die Sicherheit der Luftfahrt beruht auf sehr genau eingespielten Verfahren. Diese stützen sich heute auf gesprochenen Protokollen zwischen Piloten und Lotsen. Die Kommunikation ist überwiegend analog – sehr einfach und recht ausfallsicher. Das funktioniert alles erstaunlich gut, weshalb niemand gewillt war, Experimente einzugehen. Mit zunehmender Dichte des Verkehrs braucht es jedoch neue Ansätze, sowohl bei der Führung der Flugzeuge als auch bei der Kommunikation. Letztere ist eine Aufgabe für unser Institut.

Historie

- 1964 Philipp Hartl gründet im DLR Oberpfaffenhofen die Arbeitsgruppe Raumfahrtssysteme
- 1966 aus der Arbeitsgruppe geht das Institut für Satellitenelektronik hervor
- 1976 Umbenennung in Institut für Nachrichtentechnik
- 2000 das Institut für Kommunikation und Navigation erhält seine heutige Bezeichnung

Institutsleiter

- Philipp Hartl 1966-1973
- Horst Kaltschmidt 1976-1980
- Friedrich Kühne 1982-2003
- Joachim Hagenauer 1990 bis 1993 gemeinsam mit Friedrich Kühne
- Christoph Günther seit 2003

Unser Ansatz setzt auf konsequente Vernetzung. Daten sollen sowohl direkt zwischen Flugzeug und Boden, wie auch über Satellit oder zwischen Flugzeugen direkt ausgetauscht werden. Diese Datenrouten werden je nach Verfügbarkeit automatisch mit gewissen Prioritäten gewählt. Zum Beispiel wird über Ozeanen via Satellit oder allenfalls von Flugzeug zu Flugzeug kommuniziert. Kursänderungen werden dabei mit hoher Priorität übertragen. Wenn eine Verbindung ausfällt, stehen Alternativen zur Verfügung. Der Pilot muss sich nicht mehr mit übertragungstechnischen Belangen befassen. Die Zuverlässigkeit der Sys-

teme spielt eine zentrale Rolle und macht die Verfolgung neuer Ansätze notwendig. Die 1:1-Übernahme von UMTS für die Flugführung ist nicht möglich.

Kann man sich denn nicht wenigstens bei der Definition des Übertragungsverfahrens von UMTS inspirieren lassen?

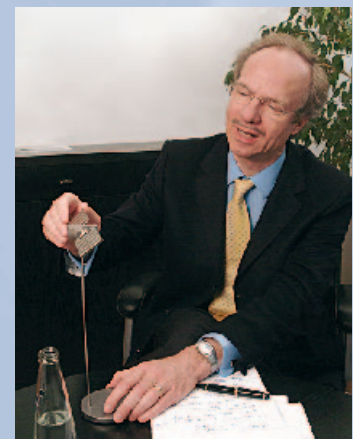
Für die Strecke zwischen Boden und Flugzeug geht es in diese Richtung. Am Institut wurde ein neues Übertragungsverfahren, namens Multi-Carrier CDMA, konzipiert und entwickelt. Es ist in einem separaten Artikel im vorliegenden Heft im

Kontext der Nachfolge von UMTS beschrieben. Dieses Verfahren haben wir ebenfalls in Richtung Flugfunk entwickelt. Es bietet ein sehr interessantes Übergangsszenario an. Es kann nämlich in den bestehenden Frequenzbändern parallel zu den alten Systemen betrieben werden. Lediglich die Übertragungskapazität des neuen Systems wird durch den Betrieb der bestehenden Systeme eingeschränkt.

Wir möchten noch ein ganz anderes Thema aufgreifen. Im Jahr 2000 bekam das Institut Zuwachs durch die Abteilung Navigation mit Gruppen in Oberpfaffenhofen und Neustrelitz. Erhielt dadurch die Navigation eine neue Rolle in der DLR-Forschung?

Die Themen Kommunikation und Navigation ergänzen sich hervorragend, sowohl in technologischer Hinsicht als auch in Bezug auf Anwendungen. Die Kombination beider Themen in einem Institut ist in dieser Ausprägung nur an ganz wenigen Orten vertreten. Das verschafft dem Thema ein stärkeres Gewicht. Eine neue Rolle bekommt die Navigation aber auch dadurch, dass die DLR-Einrichtung „German

- 1982-1988 Wissenschaftliche Grundlagen zur satellitengestützten digitalen Kommunikation für See-, Luft- und Landanwendungen (ESA-Projekt PROSAT). Die Ergebnisse beeinflussen die Definition von INMARSAT-C.
- 1982 Erstmalige Demonstration von codierter Achtphasenmodulation auf INTELSAT (zusammen mit der Industrie).
- 1986 Erste digitale Sprachübertragung vom Flugzeug zum Boden.
- 1989 Veröffentlichung und Patentierung des Soft-Output-Viterbi-Algorithmus durch Hagenauer und Höher. Dies wird zu einem der wichtigsten Meilensteine in der Entwicklung der digitalen Übertragungstechnik.
- 1994 Das im Institut konzipierte Satellitenmodem für variable Bitraten bis 8 Mbit/s wird von der Industrie umgesetzt und in der Bodenstation von INTELSAT eingesetzt.
- ab 1990 Untersuchungen zur Nutzung von Frequenzen oberhalb von 20 GHz (Ka-Band).
- 1996 Patentierung des Multi-Carrier-CDMA Verfahrens, das eine grundlegende Bedeutung für den Mobilfunk der 4. Generation und für den terrestrischen Flugfunk hat.
- 1991 Weltbeste Empfindlichkeit mit einem experimentellen optischen Freiraumübertragungssystem. Bei einem phasenmodulierten optischen Infrarotsignal konnte mit 20 Photonen pro Bit eine Fehlerrate von 10^{-9} erreicht werden. Die Übertragungsrate lag bei 565 Mbit/s.
- ca. 1997 Das im Institut entwickelte hierarchische Codier- und Modulationsverfahren wird für das terrestrische digitale Fernsehen DVB-T standardisiert.
- 2001 Weltweit erste Demonstration einer Übertragung nach dem MC-CDMA-Verfahren.
- 1997, 2000 Verabschiedung der Standards DVB-S zum digitalen Satellitenrundfunk und DVB-RCS zur Schaffung eines Rückkanals. Zu beiden Standards hat das Institut wichtige Beiträge geleistet.
- seit 2004 Das Institut leitet das europäische Exzellenznetzwerk SatNEx (Satellite Communications Network of Excellence) mit 23 Forschungspartnern. SatNEx hat zur Aufgabe, die europäische Forschung auf dem Gebiet der Satellitenkommunikation zu koordinieren und auf die vielversprechendsten Themen auszurichten.



Space Operation Center (GSOC)“, eines der beiden Galileo-Kontrollzentren in Oberpfaffenhofen aufbaut.

Was bedeutet der Galileo-Betrieb für Ihr Institut?

Das GSOC hat eine hervorragende Expertise im Satellitenbetrieb, dazu gehört zum Beispiel der Einschuss eines Satelliten in die gewünschte Bahn mit minimalem Kraftstoffverbrauch. Die Fachexpertise des DLR in der Satellitennavigation liegt jedoch fast ausschließlich in unserem Institut. Obwohl der Systemlieferant dem GSOC ein voll funktionsfähiges Kontrollzentrum übergeben wird, kommt der eigenen Expertise eine große Bedeutung zu. Systeme wie das amerikanische WAAS oder das europäische EGNOS gehen auf einen Vorschlag des Instituts zurück. Im Institut wurden zahlreiche Studien für das heutige Galileo-System gemacht, dabei wurde ein umfassender Simulator aufgebaut, mit dem sich fast alle Aspekte eines Satellitennavigationssystems untersuchen lassen. Weiter besitzt das Institut ein kleines Beobachtungsnetz, das zurzeit für Galileo ausgebaut wird. Der Vergleich gemessener Daten mit simulierten Ergebnissen erlaubt es uns, Erfahrung über das Systemver-

halten zu gewinnen. Dies ist die Basis, um das System zu verstehen, zu optimieren und letztlich auch weiterzuentwickeln. Im Januar wurden auch bereits erste Galileo Signale unter Verwendung der 30-Meter-Antenne gemeinsam mit dem GSOC in Weilheim empfangen und ausgewertet.

Man hört, dass sich die ESA bereits Gedanken über die Weiterentwicklung von Galileo macht!

Man beginnt, sich damit zu befassen. Einige Themen sind das Zeitsystem, die Verwendung optischer Uhren, die Vermessung der Satelliten untereinander, höhere Trägerfrequenzen, um kleinere adaptive Antennen bauen zu können und einiges mehr. Zeiterzeugung und adaptive Antennen sind Bereiche besonderer Kompetenz des Instituts. Hier wollen wir uns auf jeden Fall auch einbringen.

Wo sehen Sie dabei die Synergien zwischen Kommunikation und Navigation?

Im Bereich der Anwendungen würde ich eher von Ergänzung sprechen. Die Kombination von Kommunikation und Ortung ermöglicht höhere

Formen der Automatisierung sowie kontextabhängiges Verhalten. Die Ortung erlaubt es Maschinen und Geräten, sich frei von jeglicher weiteren Infrastruktur zu orientieren. Die Verbindung zu einem rapide wachsenden Internet (insbesondere mit Ausprägung des Semantic Web) und die Kommunikation zwischen Maschinen und Geräten wird es ermöglichen, autonom zu steuern oder zumindest Handlungsempfehlungen zu geben. Damit lassen sich Prozesse in Verkehr, Straßenbau und Straßenunterhalt, Land- und Forstwirtschaft und in vielen anderen Gebieten weiter automatisieren. Im Institut liegt der Schwerpunkt darin, Kommunikations- und Navigationsverfahren zu entwickeln, um höhere Verkehrsdichten zu ermöglichen, ohne die Sicherheit zu kompromittieren.

Können Sie ein Beispiel nennen?

Ein gutes Beispiel sind Systeme, die Kollisionen in der Luftfahrt, in der Schifffahrt, bei Bahnen, oder auf der Straße vermeiden helfen. Solche Systeme müssen die eigene Position zuverlässig bestimmen können, diese Information an alle denkbaren Kollisionspartner zeitnah und zuverlässig verteilen, über zuverlässiges Kartenmaterial verfügen und alle



- 1982 Erster deutscher GPS-Empfänger
- 1984 Konzept und Patent zur weiträumigen Augmentierung durch geostationäre Satelliten und damit Schaffung der Grundlage für WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS und weiterer Systeme
- 1985 Zeitexperimente auf der D1-Mission (Spacelab auf Shuttle), Einweg- und Zweiweg-Zeitübertragung, Verifikation der relativistischen Korrekturen, Experimente zur Positionsbestimmung von Spacelab und Bodenstationen
- 1995 bis 2000 Vorstudien zu einem Europäischen Navigations system – PROPNASS, ENSS
- seit 1995 Regulärer Betrieb eines TEC-Dienstes (Elektronendichte im Ionosphärenplasma)
- 2000 Abschluss der Entwicklung des Ionosphärenprozessors für das „EGNOS System Testbed“
- 2002 Messkampagnen zur hochgenauen Erfassung und Modellierung der Mehrwegausbreitung von Navigationssignalen für aeronautische und terrestrische Umgebungen
- 2003 Definition der Galileo Systemzeit
- Jan. 2006 Bewertung der Signale des ersten Galileo Experimentalsatelliten
GLOVE-A unter Verwendung der 30-Meter-Antenne in Weilheim

Regeln kennen, um adäquate Ausweichmanöver empfehlen zu können. Jede dieser Forderungen muss wiederum in Einzelschritte heruntergebrochen werden. So befassen wir uns im Institut mit der zuverlässigen Positionsbestimmung. Hierzu müssen alle denkbaren Fehlerquellen erfasst werden: bei Kenntnis der Satellitenbahnen, der Uhrenstabilität, der Qualität des Sendesignals, der Signalausbreitung durch Ionosphäre und Troposphäre, Reflektionen an Hindernissen, Empfängerrauschen sowie auch Ausfällen einzelner Komponenten. Die Ionosphäre ist dabei ein großer Unsicherheitsfaktor, mit dem wir uns besonders eingehend befasst haben. Ähnlich sieht es bei der Kommunikation aus: Die Nachricht muss innerhalb kürzester Zeit bei allen möglichen Kollisionspartnern zuverlässig eingetroffen sein. Klassische Kommunikationssysteme können das nicht leisten.

Sie sprachen von kontextabhängigem Verhalten ...

... im vorliegenden Beispiel bedeutet dies, dass das System seine Empfehlung in Abhängigkeit der umliegenden Geographie und der Anzahl, Position und Geschwindigkeit der

Kollisionspartner ausspricht. Dieser Teil der Aufgabe wird jedoch überwiegend von Partnerinstituten behandelt. Wir konzipieren und demonstrieren kontextabhängige Dienste für das Handy. Hier liefert die Verknüpfung von Position, Zeit, Datum und persönlichem Kalender wertvolle Kontextinformation. Beispielsweise lässt sich aus diesen Informationen mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit schließen, dass jemand in einem Meeting ist. Aus dem bestätigten Flug lässt sich ein Alarm auslösen, der den Benutzer auffordert, sich zu dem automatisch herbeigerufenen Taxi zu begeben und anderes mehr.

Birgt das nicht die Gefahr der Bevormundung?

Der Besitzer legt die Spielregeln fest. Er entscheidet, was sein Gerät für ihn tun darf und wie weit die Unterstützung gehen soll.

Ihr Institut ist eine der erfahrensten Forschungseinrichtungen, die sich mit Satellitennavigation befassen, doch bei weitem nicht die einzige in Europa. Ihre Zahl wächst rapide, ist kaum mehr überschaubar.



Sichere Signale

Was macht das Thema so schwierig, dass es scheint, als befasse sich halb Europa damit?

Das hat politische und wirtschaftliche Gründe. Die Fähigkeit, die eigene Position zu bestimmen, ist der Schlüssel für einen Schub in der Automatisierung und der technischen Entwicklung im Allgemeinen. Allerdings muss dafür die Position auch in und zwischen Gebäuden bestimmt werden können. Was die Satellitennavigation schwierig macht, wird klar, wenn man sich Folgendes vor Augen führt: Die Position wird durch die Messung der Signallaufzeiten zu mindestens vier Satelliten bestimmt. Dabei entspricht eine Laufzeit von einer Milliardstel Sekunde (1 ns) 30 Zentimetern! Um die Anforderungen von Galileo – Fehler von weniger als 8 Metern auf dem freien Feld in mindestens 95 Prozent aller Fälle – zu erfüllen, muss der Bahnfehler der Satelliten weniger als 45 Zentimeter betragen. Dabei fliegen die Satelliten mit circa 14.000 Kilometern pro Stunde um die Erde! Außerdem darf die Abweichung der Uhr nach 100 Minuten nicht größer als 1,5 Milliardstel Sekunden sein. In Abhängigkeit von der Sonnenaktivität entspricht die zusätzliche Verzögerung in der Ionosphäre, wenn der Satellit am Zenit steht, zwischen 2 und 36 Metern. Bei niedrig stehenden Satelliten kann dieser bis zu dreimal größer sein. Reflexionen an Gebäuden verursachen ein breites Spektrum an zusätzlicher Verzögerung. Die meisten dieser Schwierigkeiten werden ganz gut beherrscht, die Mehrwegeausbreitung bleibt eines der schwierigsten Probleme.

Bei dessen Lösung wir dem Institut für Kommunikation und Navigation viel Erfolg wünschen! Vielen Dank für das Gespräch.

Die Notwendigkeit eines guten Kanalmodells für das Galileo-Navigationssystem

Von Bertram Arbesser-Rastburg,
Europäische Weltraumagentur ESA

Am 26. Dezember 2005 wurde vom Kosmodrom Baikonur in Kasachstan aus der erste Testsatellit des europäischen Satellitennavigationssystems Galileo gestartet. Dieses Galileo In-Orbit Validation Element – kurz GIOVE-A – gibt den Technikern der am Projekt beteiligten Industrie-Unternehmen die Möglichkeit, die Navigationssignale zu testen. Die auf Basis der Testergebnisse entstehende Konstellation von 30 Satelliten wird den Anwendern modernste Ortungs- und Zeitbestimmungsdienste mit hervorragenden Leistungsgarantien in Bezug auf Genauigkeit, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit bieten.

Um dieses hohe Maß an Genauigkeit zu erreichen, müssen die Empfänger in der Lage sein, Störungen und Messfehler selbst zu detektieren und soweit wie möglich zu minimieren. Eine Fehlerquelle ist die Mehrwegeausbreitung des Navigationssignals. Reflexionen des Signals erreichen die Antenne mit einer leichten Verzögerung und da Satellitennavigation auf Laufzeitmessung beruht, ergibt dies Messfehler. Um eine optimale Dimensionierung des von den Satelliten abgestrahlten Signals sowie eine gute Empfängerauslegung erzielen zu können, müssen die charakteristischen Empfängerhältnisse so gut wie möglich bekannt sein.

Dazu muss ein Kanalmodell erstellt und empirisch, also durch ein Experiment, verifiziert werden. Natürlich ist die Mehrwegeausbreitung abhängig von der jeweiligen Umgebung. So gibt es in urbanen Straßenzügen viele Reflexionen von den umliegenden Häusern und es kommt regelmäßig vor, dass das direkte Signal vorübergehend blockiert ist. Hingegen kommt bei einer auf einem Flugzeug montierten Empfangsantenne die Mehrfachausbreitung, die während des Fluges wahrgenommen wird, nur vom Flugzeugrumpf selbst. Das direkte Signal vom Satelliten ist also so gut wie immer zu beobachten. Es ist deshalb notwendig, spezielle Kanalmodelle für die verschiedenen Anwendungsbereiche und Umgebungen zu erstellen, um ein möglichst realistisches Bild des zu erwartenden Mehrwegempfangs zu erhalten. Die Messkampagnen des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt haben wesentlich dazu beigetragen, das Galileo-System, das eine Initiative der Europäischen Kommission und der ESA ist, auf die Herausforderungen der vielfältigen Anwendungen vorzubereiten.

