

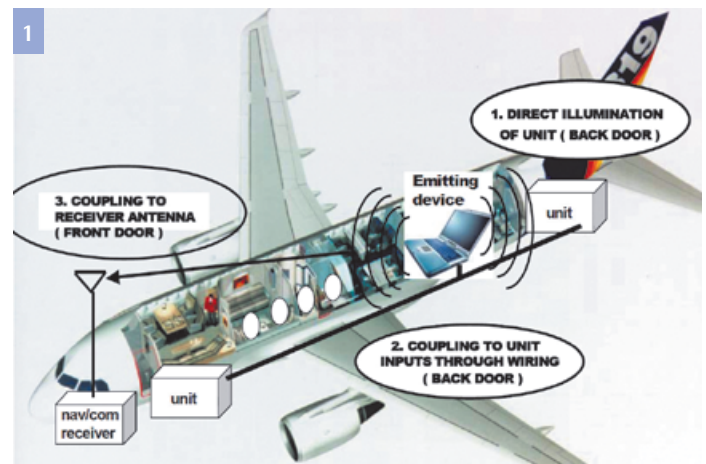
Sichere Kommunikation über den Wolken

DIE INTEGRATION VON FUNKDIENSTEN AN BORD VON VERKEHRSFLUGZEUGEN

Passagiere erwarten von modernen Flugzeugen, dass ihnen auch an Bord die gewohnten Kommunikationsmittel wie Mobilfunknetz und WLAN zur Verfügung stehen. Bei der Integration dieser Funkdienste an Bord von Verkehrsflugzeugen darf aber auf keinen Fall die technisch einwandfreie Funktionalität aller Systeme beeinträchtigt oder gar gefährdet werden. Sehr unterschiedliche Elektronikfamilien (RFID, WLAN, Avionik) müssen in enger Nachbarschaft ohne unerwünschte wechselseitige Beeinflussung sicher funktionieren und dürfen weder die Bordelektronik stören noch Fehlinformationen generieren.

Die Integration von Funkdiensten an Bord von Verkehrsflugzeugen ist unter bestimmten Gesichtspunkten und unter sehr strengen Regeln seit kurzer Zeit möglich. Jedoch müssen für jedes einzelne Flugzeug umfangreiche Testprozeduren und Messungen am Flugzeug durchgeführt werden. Die in den Flugzeugen vorhandene Elektronik muss dabei Tests bestehen, bei denen die Prüfgrößen die real vorkommenden Signalgrößen um ein Vielfaches übersteigen. Diese Überqualifikation der Elektronik steigert die Kosten, ohne die Funktionssicherheit weiter zu erhöhen. Somit stehen die strengen Prüfvorschriften einer schnellen und großflächigen Verbreitung von Funkdiensten in Flugzeugen entgegen. Ziel des Forschungsprojekts, das im Rahmen des vierten BMBF-Luftfahrtforschungsprogramms (LUFO IV) durchgeführt wurde, war es, das Verhalten von Funkquellen an Bord angemessen und wirtschaftlich vertretbar nachzubilden und eine elektromagnetisch verträgliche, also sicherheitstechnisch unbedenkliche Integration der von Passagieren mitgebrachten Geräte in das Flugzeug zu ermöglichen.

Das Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik hat in Kooperation mit der AIRBUS Deutschland GmbH und der Technischen Universität Braunschweig sowie der Technischen Uni-



versität Hamburg-Harburg wesentliche Erkenntnisse hierzu beitragen können. Am Institut wurden Methoden zur Modellierung von elektromagnetischen Quellen entwickelt, anhand derer das Störpotenzial, also das Gefährdungspotenzial, insbesondere vieler unterschiedlicher Quellen abgeschätzt werden kann. In diesem Artikel wird die Vorgehensweise zur Modellierung einer Einzelquelle am Beispiel eines Mobiltelefons dargestellt.

Was ist unter dem abstrakten Begriff »Quelle« zu verstehen? Eine Quelle elektromagnetischer Felder im weiteren Sinn kann zunächst jedes elektrische oder elektronische Gerät sein. Deshalb war und ist bei einigen Fluglinien immer noch der Betrieb zum Beispiel von tragbaren CD-Spielern oder auch elektrischen Rasierern nicht gestattet. Im engeren

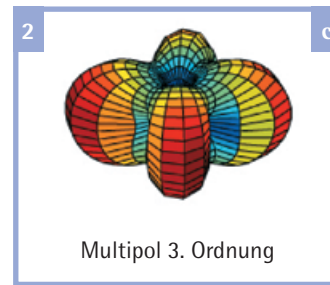
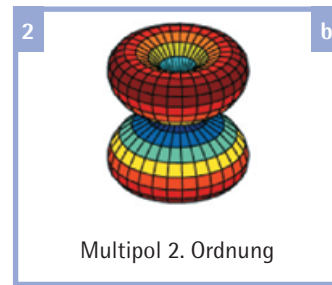
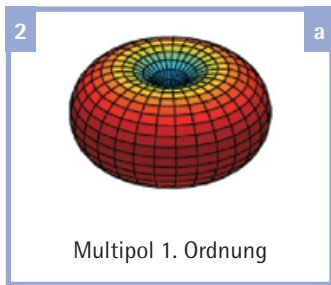
Sinn werden Geräte, die elektromagnetische Felder erzeugen, um ihre Funktion zu erfüllen, als elektromagnetische Quellen bezeichnet. Mobilfunktelefone erzeugen elektromagnetische Felder, um Daten wie Sprache, Kurzmitteilungen und für den Betrieb notwendige Statusinformationen zu übertragen. Im Gegensatz dazu stehen zum Beispiel Radio- und Fernsehgeräte, die Ton- und Bildinformationen aus elektromagnetischen Feldern gewinnen, aber eigentlich nicht selbst elektromagnetische Felder aussenden.

Das Störpotenzial eines einzelnen Gerätes (auch anderer Funktechnologien) kann durch Messungen bestimmt sowie mit Simulationen durch exakte Nachbildung des zu untersuchenden Geräts abgeschätzt werden. In einem komplexen und heterogenen Umfeld mit verschiedenen Funkdiensten

sind Messungen wegen statistischer Abhängigkeiten oft nicht ausreichend. Simulationen mit exakten Nachbildungen unterschiedlicher Systeme übersteigen heutige Rechenkapazitäten deutlich und stellen daher keine Alternative dar. Es gilt also ein Verfahren zu entwickeln, das die Vorhersage des elektromagnetischen Feldes innerhalb des Flugzeugs bei einer großen Anzahl auch unterschiedlicher Geräte ermöglicht. Einen

allein das emittierte Feld eines Gerätes darzustellen. Bei der Betrachtung der von der Multipolquelle abgegebenen Leistung stellt sich aber heraus, dass die Parameter niedriger Ordnung den größten Einfluss auf das emittierte Feld haben. So genügen je nach Komplexität des emittierten Feldes schon die ersten sechs Parameter, um das emittierte Feld hinreichend genau zu beschreiben.

verwendeten Komponenten hinterlegten physikalischen Zusammenhängen. Im Gegensatz dazu sind bei der Feldberechnung mit Multipolquellen die inneren physikalischen Zusammenhänge des untersuchten Geräts nicht von Interesse. Lediglich das emittierte elektromagnetische Feld ist für die Untersuchung des Störpotenzials relevant. Daher genügt es für die Bestimmung der Multipolparameter, das

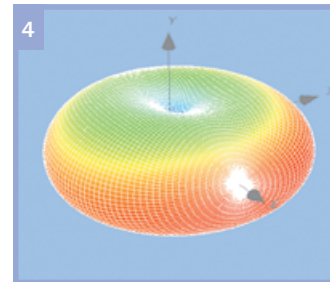


Ansatz dafür stellt die Makromodellierung der elektromagnetischen Quellen mit der Multipolnäherung dar.

Die Multipolnäherung beruht auf einer gewichteten Überlagerung von Quellen einer unendlichen Reihe. Diese Multipolquellen sind elektromagnetische Elementarquellen, die je nach Ordnung (Dipol, Quadrupol, Oktopol ...) Felder bestimmter Form und Richtung erzeugen. In Abbildung 2 sind einige Multipolquellen niedriger Ordnung dargestellt, wobei zu erkennen ist, dass die Felder der Elementarquellen mit zunehmender Ordnung komplexere Formen annehmen. Um ein bestimmtes elektromagnetisches Feld zu erzeugen, sind wenige Parameter der einzelnen Elementarquellen notwendig. Zunächst scheint sich jedoch kein Vorteil gegenüber einer exakten Nachbildung von Geräten zu ergeben: Anstatt einer aufwändigen Nachbildung mit sehr vielen Parametern und Abhängigkeiten (mehr als 10.000) werden nun unendlich viele Parameter benötigt, um

In Simulationen, bei denen Geräte möglichst exakt nachgebildet werden, berechnen sich die elektromagnetischen Felder aus dem in der Simulationsumgebung erstellten Aufbau und den für die

vom untersuchten Gerät emittierte Feld zu messen. Aus den ermittelten elektrischen Feldgrößen können mithilfe von Algorithmen aus der elektromagnetischen Feldtheorie die gesuchten Parameter berech-



net werden. Dieses Verfahren ist somit unabhängig von der Erzeugung der elektromagnetischen Felder und der Art des Gerätes oder Funkdienstes. In späteren Simulationen emittiert die Multipolquelle das bei der Messung vorhandene Feld.

Nach der Bestimmung der Multipolparameter kann auch die Anzahl der Parameter auf den minimalen Wert reduziert werden, indem die von den

Wissenschaftler des Instituts für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik zeigen, wie die Integration von Funkdiensten ohne eine Einschränkung der Sicherheit realisiert werden kann.

Abbildung 1
Mögliche elektromagnetische Interaktionen in einem Flugzeug
Quelle: RCTA-DO294, Figure 5-2

Abbildung 2
Multipole niedriger Ordnung

Abbildung 3
Herkömmliches Mobiltelefon mit Messkabel

Abbildung 4
Abstrahlcharakteristik des Handymodells



Dipl.-Ing. Oliver Döring

Jahrgang 1980, ist seit 2007 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik an der Leibniz Universität Hannover tätig. Kontakt: doering@geml.uni-hannover.de



Prof. Dr.-Ing. Heyno Garbe

Jahrgang 1955, ist seit 1992 als Universitätsprofessor am Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und Messtechnik an der Leibniz Universität Hannover tätig. Er leitet das FG Elektromagnetische Verträglichkeit und ist Sprecher der Forschungsinitiative Sicherheit. Kontakt: garbe@geml.uni-hannover.de

einzelnen Elementarquellen abgestrahlte Leistung verglichen wird. Je nach geforderter Genauigkeit kann daraufhin die Anzahl zu verwendender Elementarstrahler und somit

des am Institut entwickelten Algorithmus zur Berechnung der Multipolparameter wurde aus dem dargestellten Mobiltelefon ein abstraktes Modell erstellt. Aus dem in Abbildung 4 gezeigten elektrischen Feld wurden die Multipolparameter berechnet. Aus den Multipolparametern kann wiederum das elektrische Feld der Multipolquelle errechnet werden. Der Vergleich beider Felder zeigt sehr gute Übereinstimmungen und somit, dass der entwickelte Algorithmus anwendbar ist. Weiterhin ist aus der Abstrahlcharakteristik in Abbildung 4 die Ähnlichkeit zur Multipolquelle erster Ordnung aus Abbildung 2 zu erkennen. Die optische Ähnlichkeit gibt auch einen Anhaltspunkt für die hinreichend genaue Beschreibung mit wenigen Parametern. In weiteren Simulationen konnte gezeigt werden, dass die aufwändig berechneten Felder der Simulation durch eine Multipoldarstellung mit wenigen Parametern hinreichend exakt dargestellt werden konnte.

am Mobiltelefon angebracht worden. In Abbildung 5 ist das Nahfeldmessgerät dargestellt, mit dem die große Anzahl von benötigten Messungen automatisiert durchgeführt werden kann. Eine vollständige Messung umfasst mehrere hundert Messpunkte. Diese sind notwendig, um die elektromagnetische Quelle vollständig durch Multipole zu beschreiben und etwaige Messunsicherheiten auszugleichen. Zur Simulation des elektromagnetischen Feldes in der Flugzeugkabine werden jetzt die unterschiedlichen Mobiltelefone durch einfache Multipole dargestellt.

Im Rahmen des hannoverschen Teilprojekts wurde eine einfache Modellbildung für die mitgebrachten Geräte der Passagiere geschaffen. An der TU Braunschweig wurden die speziellen Eigenschaften der Ausbreitung elektromagnetischer Felder in Flugzeugen betrachtet und an der TU Hamburg-Harburg die Einkoppelung elektromagnetischer Felder in die Bordelektronik untersucht. Somit kann die für Flugzeuge charakteristische Übertragung von den elektromagnetischen Störquellen, wie Mobiltelefone, über die Kabine bis in die Flugzeugelektronik abgeschätzt werden. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse können nun Anforderungsprofile für das Bordequipment erstellt werden, die einen störungsfreien Betrieb in Koexistenz mit den integrierten Funkdiensten garantieren. Die Ergebnisse des Gesamtprojekts können die aufwändigen Prozesse zur Verifikation einzelner Flugzeugtypen vereinfachen und so zu einer kostengünstigeren und somit auch schnelleren Verbreitung von Funkdiensten an Bord von Verkehrsflugzeugen bei weiterhin Gewährleistung eines hohen Sicherheitsstandards im Luftfahrzeugbereich beitragen.

Bisher wurde das Multipolmodell eines Strahlers aus den Daten einer numerischen Feldsimulation gewonnen. Im realen Fall kann dies einen extrem hohen Aufwand darstellen. Einfacher wäre es, die Felddaten messtech-

nisch zu gewinnen. Hierzu wurde eine Messanlage entwickelt, mit der das elektrische Feld in der Umgebung der zu untersuchenden elektromagnetischen Quelle bestimmt werden kann. Zu diesem Zweck ist auch das in Abbildung 3 zu erkennende Kabel



5

Abbildung 5
Elektrisches Nahfeldmessgerät

die Anzahl der für Simulationen notwendigen Parameter ermittelt werden. Exemplarisch wurde ein herkömmliches Mobiltelefon simuliert, wie in Abbildung 3 dargestellt. In der Abbildung ist zusätzlich ein Kabel für Messungen zu erkennen. Zur Verifikation