

Die „Sprechende Sitzschiene“ für In-flight-Entertainment-Systeme in Passagierflugzeugen

Prof. Dr.-Ing. Lothar Schüssele

Fakultät Elektrotechnik
und Informationstechnik (E+I)
Studiendekan Communication
and Media Engineering (CME)

Badstraße 24, D-77652 Offenburg

Tel.: 0781 205 - 296

E-Mail: l.schuessele@hs-offenburg.de

1950: geboren in Freiburg i. Br.

1971–1978: Studium der Elektrotechnik an der Universität Karlsruhe mit den Schwerpunkten Hochfrequenztechnik und Quantenelektronik

1978–1984: Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Theoretische Elektrotechnik und optische Nachrichtentechnik der Universität Kaiserslautern

1984: Promotion auf dem Gebiet der optischen Nachrichtentechnik

1984–1986: Industrietätigkeit bei der Firma Inovan, Pforzheim; Entwicklung von Verfahren zur Materialbearbeitung mit Lasern

1986–1989: Firma Dornier GmbH, Friedrichshafen; Projektmanagement im Bereich Raumfahrt-Großprojekte

01.04.1989: Berufung an die Fachhochschule Offenburg für die Lehrgebiete Hochfrequenztechnik, Mikrowellentechnik und optische Nachrichtentechnik

seit 1997: Leiter des internationalen Master-Studiengangs „Communication and Media Engineering“ (CME)

seit 2000: Wissenschaftlicher Leiter der Graduate School der Hochschule Offenburg und Mitglied des Hochschulrats



Forschungsgebiete: Hochfrequenztechnik, Elektromagnetische Verträglichkeit

2.3 Die „Sprechende Sitzschiene“ für In-flight-Entertainment-Systeme in Passagierflugzeugen

Prof. Dr.-Ing. Lothar Schüssele

Prof. Dr.-Ing. Tobias Felhauer

Prof. Dr.-Ing. Andreas Christ

Dipl.-Ing. (FH) Tobias Klausmann

Abstract

The „Speaking Seat Rail“ is a research project about a novel communication system for aircraft in-flight entertainment. The key innovation is to use structures that are essential parts of the airframe for data transfer such as seat rails. Those rails can easily be formed to fulfill the function of a hollow waveguide that transports microwaves signals without any wire. A waveguide as part of the seat rail would provide enormous benefits for aircrafts, such as a large bandwidth and consequently high data rates, no problems with electromagnetic compatibility, unlimited flexibility of seat configuration, mechanical robustness with associated increase of reliability and additional advantages related to aircrafts such as reduction of weight and costs. A demonstrator was developed and exposed at the trade fair Aircraft Interiors Expo 2010 in Hamburg.

Zusammenfassung

Das In-flight Entertainment (IFE) in Flugzeugen, also die mediale Unterhaltung

der Passagiere mit Musik, Filmen oder Videospielen während des Flugs, wird für die Fluggesellschaften immer wichtiger. Somit steigen auch die Anforderungen an das IFE-System hinsichtlich Datenraten, Zuverlässigkeit und Flexibilität.

Im Forschungsprojekt „Sprechende Sitzschiene“ an der Hochschule Offenburg wird ein neuartiges Kommunikationssystem für das In-flight Entertainment in Passagierflugzeugen entwickelt. Das Besondere und Innovative daran ist die Verwendung von Strukturelementen des Flugzeugs wie Sitzschienen als Übertragungsmedium. Diese Schienen können einfach zu einem sogenannten Hohlleiter geformt

werden. Dadurch können Hunderte von Metern Kabel eingespart werden. Hinzu kommen im Vergleich zu bisherigen Systemen Vorteile wie mechanische Robustheit, unbegrenzte Flexibilität in der Sitzkonfiguration, keine Probleme mit elektromagnetischer Verträglichkeit und eine Gewichtseinsparung.

Das Projektteam untersuchte die Übertragungseigenschaften realer Sitzschienen und entwickelte den Demonstrator für die Übertragung von 400 Videokanälen. Der Demonstrator wurde u. a. auf der Fachmesse Aircraft Interiors Expo 2010 in Hamburg vorgestellt und fand großes Interesse beim Fachpublikum.



Abb. 2.3-1: Projektteam „Sprechende Sitzschiene“ der Hochschule Offenburg, v. l. Alexander Kurtschenko, Tobias Klausmann, Prof. Lothar Schüssele, Christian Weber, Prof. Andreas Christ und Prof. Tobias Felhauer mit Demonstrator zur drahtlosen und breitbandigen Videoübertragung für das In-flight Entertainment über die Sitzschiene eines Flugzeugs

„Sprechende Sitzschiene“

Die aktuellen IFE-Systeme bestehen aus Hunderten von Metern Kabel und vielen Steckverbindungen, die aufwendig montiert werden müssen und ein Problem für die Ausfallsicherheit ist. Auch den Wunsch der Fluggesellschaften und Leasingfirmen nach einem einfachen, schnellen und flexiblen Umbau der Passagiersitze können kabelgebundene Systeme nicht erfüllen. Drahtlose Technologien wie WLAN oder Mobilfunk sind für diese Anwendungen im Flugzeug auch wegen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) ungeeignet.

Unter dem Projektnamen „Sprechende Sitzschiene“ wird eine zukunftsweisende drahtlose Übertragungstechnik für IFE-Applikationen entwickelt und untersucht. Auftraggeber für dieses Drittmittelprojekt ist die Firma PFW Aerospace AG in Speyer. PFW stellt Rohrleitungssysteme und Strukturkomponenten, u. a. Sitzschienen, für Flugzeuge her. Ein Team der Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik aus Professoren, Studenten und Mitarbeitern hat umfangreiche Analysen, Simulationen und Messungen durchgeführt, um zu ermitteln, wie die Sitzschiene für die Datenübertragung innerhalb eines IFE-Systems in optimaler Weise genutzt werden kann, und hat ein für das Medium optimales Übertragungskonzept entwickelt und realisiert.

Abbildung 2.3-1 zeigt die Projektgruppe mit dem im Verlauf des Projekts entwickelten Demonstrator für die „Sprechende Sitzschiene“, an dem alle Übertragungseigenschaften getestet werden können. Das im Internet unter [1] verfügbare Video verdeutlicht die Grundidee des Projekts.

Revolutionäre Idee

Die Innovation ist die Nutzung von vorhandenen Strukturelementen im Flugzeugrumpf auch zur Signalübertragung. In diesem Projekt werden die Signale von einer zentralen Sendeeinheit zu den IFE-Monitoren in den Passagiersitzen übertragen. Die Sitzschiene ist zur Befestigung der Sitze notwendig und bietet sich durch ihre Einbauposition für diese Aufgabe an. Mit einer einfachen Modifikation kann eine Sitzschiene zu einem sogenannten Hohlleiter werden, in dem sich elektromagnetischen Wellen im Mikrowellenbereich ausbreiten können. Dieser Wellenleiter kann somit eine



Abb. 2.3-2: System mit typischer Sitzschiene und Sitzreihe eines Flugzeugs

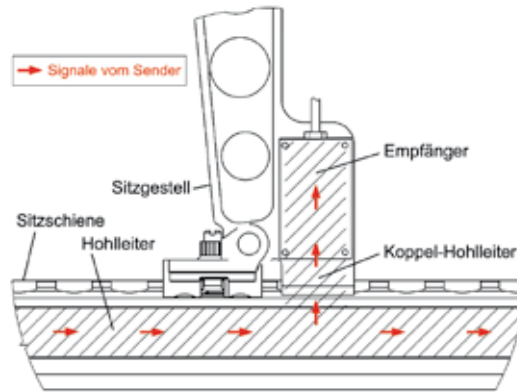


Abb. 2.3-3: Signalübertragung vom Sitzschienen-Hohlleiter zum Empfänger im Sitzgestell

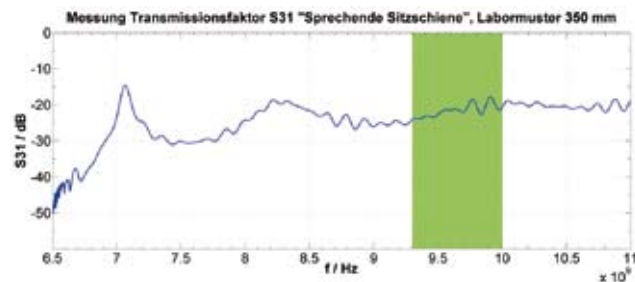


Abb. 2.3-4: Messung der Transmission S_{31} vom Eingang Sitzschienen-Hohlleiter zum Ausgang Koppel-Hohlleiter am Koaxial-Übergang

drahtlose Übertragungsstrecke für hochfrequente Signale bilden. Die Vorteile von Hohlleitern sind ihre hohe Bandbreite und die niedrige Dämpfung.

Abbildung 2.3-2 zeigt das Systemkonzept in typischer Kabinenumgebung. Eine Zentraleinheit verteilt Videodaten in Rundsendetechnik (broadcast) über den in der Sitzschiene integrierten Hohlleiter. Die Koppereinheit im Sitzgestell empfängt die Signale und leitet sie zu einem Empfänger, an den ausgangsseitig der Sitzmonitor angeschlossen ist. Eine Skizze der Koppereinheit und der drahtlose Übergang von Sitzschienen-Hohlleiter zum Empfänger sind in Abbildung 2.3-3 dargestellt. Die Hochfrequenzsignale werden kontaktlos und berührungsfrei auf einen Koppel-Hohlleiter übertragen und dem Empfänger-Frontend zugeführt. In Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber PFW Aerospace AG wurden bereits

mehrere Patente für die Nutzung der Sitzschiene im Flugzeug zur Signalübertragung in verschiedenen Ausführungsformen angemeldet.

Die Untersuchung der Hohlleiter-Struktur

Bedingt durch die Abmessungen der Sitzschiene konnte für den Demonstrator ein Hohlleiter mit dem Normquerschnitt von 22,9 mm x 10,2 mm verwendet werden. Sein Übertragungsfrequenzbereich liegt im X-Band von 8,2 GHz bis 12,4 GHz. Das Projektteam der Hochschule Offenburg führte ausgiebige Versuche und Tests durch, in denen die Verwendbarkeit der Sitzschiene für die Signalübertragung untersucht wurde.

Die Sitzschienen bestehen aus speziellen Legierungen, die eine hohe mechanische Festigkeit bei gleichzeitig geringem Gewicht und hoher Korrosionsbeständigkeit

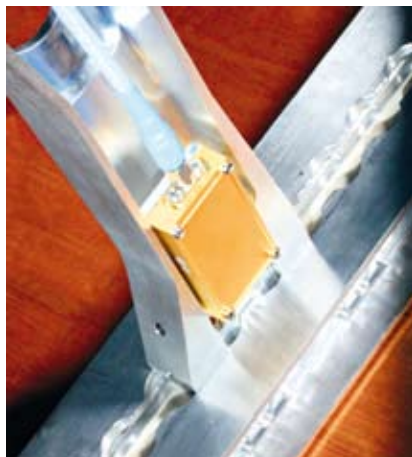


Abb. 2.3-5: Prototyp der „Sprechenden Sitzschiene“ mit flexibler und robuster Koppereinheit im Sitzgestell

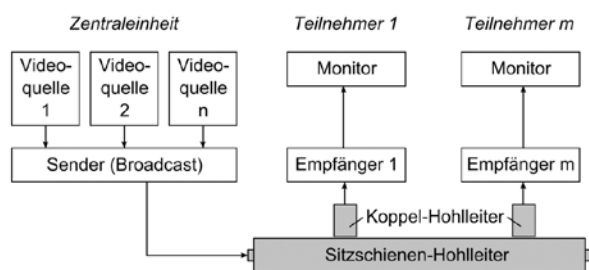


Abb. 2.3-6: Vereinfachte Systemstruktur mit Sender, Sitzschienen-Hohlleiter, Koppel-Hohlleiter und Empfängern

Technische Daten	
Frequenzbereich	9,3 GHz ... 10 GHz
Sendeleistung	1 mW
Modulationsverfahren	COFDM
Kanalbandbreite	8 MHz
Garantierte Datenrate pro Teilnehmer	32 Mbit/s
Videokanäle (PAL)	400

Tabelle 1: Übertragungstechnische Parameter des Demonstrators

haben. Daher war am Anfang die spannende Frage nach der Signaldämpfung des Sitzschienen-Hohlleiters zu beantworten. Denn an einer zu großen Dämpfung könnte das ganze Projekt scheitern. Die Messungen und Analysen haben allerdings ergeben, dass selbst unter den ungünstigsten Bedingungen die Dämpfung kleiner als 1,5 dB/m beträgt. Auch ein horizontaler, vertikaler oder axialer Versatz am Übergang von einer Sitzschiene zur anderen von einigen Millimetern führt zwar zu erhöhter Dämpfung, ist aber im Rahmen des Powerbudgets unkritisch.

Eine Herausforderung war der Koppelmechanismus dar, mit dem die Signale berührungslos von der Sitzschiene angekoppelt werden. Dieser Mechanismus ist besonders kritisch, da er mechanisch robust sein muss, keine HF-Leistung abstrahlen darf und vor allem im gesamten Frequenzbereich eine nahezu konstante

Signalauskopplung von -25 dB liefern soll. Die Lösung des Problems gelingt mithilfe der Maxwellgleichungen unter Berücksichtigung der recht komplexen Randbedingungen. Mithilfe von Feldsimulationen, u. a. mit CST-Microwave-Studio, konnte das Problem wie gewünscht doch gelöst werden. Die Simulationen zeigen auch den Einfluss von Fertigungs- und Aufbautoleranzen.

Das Übertragungsverhalten des so entwickelten und realisierten Koppellements zeigt Abbildung 2.3-4, wo der gemessene Betrag des S-Parameters S_{31} dargestellt ist. S_{31} ist die Transmission vom Sitzschienen-Hohlleiter zum 50 Ohm-Koaxialausgang, an den das Empfänger-Frontend angeschlossen wird. Wie man sieht, ist die Kurve über den großen Frequenzbereich von 4 GHz und insbesondere im markierten, für die Signalübertragung verwendeten Nutzfrequenzbereich flach. Der Rippel ist wegen des digitalen Übertragungsverfahrens problemlos tolerierbar.

quenzbereich flach. Der Rippel ist wegen des digitalen Übertragungsverfahrens problemlos tolerierbar.

Einen Prototyp der Koppereinheit als Schnittstelle zum Teilnehmer zeigt Abbildung 2.3-5. Die Koppereinheit ist mechanisch stabil und hermetisch dicht, sodass keine Flüssigkeiten wie Getränke eindringen können. Die Koppereinheit kann als Teil der Struktur des Sitzgestells ausgeführt sein. Durch die kontaktlose Signalübertragung ist im Gegensatz zu bisherigen Systemen keine zusätzliche Montagezeit für die Datenverbindung mehr nötig. Dabei ist die Signalverbindung an jedem Rasterpunkt der Sitzschiene verfügbar.

Broadcast-System

Das Blockschnittbild des Broadcast-Systems zur Übertragung von Videodaten über die „Sprechende Sitzschiene“ ist in Abbildung 2.3-6 dargestellt. Zusammenfassend besteht das System aus mehreren Videoquellen (1 ... n), einem Sender, dem Übertragungskanal aus Sitzschienen-Hohlleiter und mehreren Koppereinheiten (1 ... m) sowie aus vielen Empfängern und Monitoren.

Um gegenüber Störungen ebenso wie gegen Reflexionen der HF-Signale möglichst unempfindlich zu sein, wurde die digitale Mehrträger-Modulation COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) gewählt. Die COFDM-Parameter des Broadcast-Systems wie Anzahl der Unterträger, Symbolalphabet in den Unterkanälen, Länge der Schutzzeit (Guard Period) und Codierate der Fehlerschutzcodierung (FEC) wurden dabei im Hinblick auf das Übertragungsmedium Hohlleiter als auch im Hinblick auf die Anforderungen des IFE-Systems optimiert. Aufgrund der hohen spektralen Effizienz des COFDM-Verfahrens konnte beim Demonstrator mit einer Kanalbandbreite von 8 MHz eine garantierte Datenrate von 32 Mbit/s pro Teilnehmer realisiert werden.

In Tabelle 1 sind die wichtigsten technischen Daten des Demonstrators zusammenfassend aufgelistet.

Für den Demonstrator hat man sich auf vier Videoquellen und vier Koppereinheiten beschränkt. Das realisierte Broadcast-System ist aber so ausgelegt, dass die Übertragung über jeden der 400 Kanäle erfolgen kann.

Aus Kostengründen werden für den Demonstrator verfügbare MPEG2-Encoder Module für analoge Composite-Videosignale verwendet. Der COFDM-Modulator überträgt auf einem 8 MHz breiten Kanal zwei MPEG2-Datenströme im Zeitmultiplex (Programm A und Programm B). Die Videokanäle werden zusammengeführt und zur Übertragung in das X-Band hoch gemischt. Die Mittenfrequenzen der Kanäle sowie die Modulationsparameter und damit die Datenrate können über eine Bedieneinheit eingestellt werden.

Die Koppereinheit, bestehend aus dem Koppel-Hohlleiter und einem rauscharmen Vorverstärker (LNA), empfängt die Signale. Das hochfrequente Signal wird im Empfänger wieder abwärts in den Frequenzbereich des COFDM-Modulators gemischt. Die Empfangsfrequenz kann über eine Bedieneinheit am Empfänger eingestellt werden. Mit einem Schalter kann zwischen den beiden im Zeitmultiplex übertragenen Programmen A und B innerhalb eines Frequenzkanals umgeschaltet werden. Der MPEG2-Decoder setzt die digitalen Videodaten wieder in ein analoges Composite-Videosignal für den Anschluss eines Monitors um.

Die Hochfrequenz-Elektronik wurde in Zusammenarbeit mit der Firma HBH Microwave GmbH entwickelt und aufgebaut.

Mit den beschriebenen Komponenten wurde der Demonstrator aufgebaut und getestet. Die verwendete Sitzschiene hat eine Länge von 4 m. Der Hohlleiter ist hermetisch dicht abgeschlossen. Die Auskopplung des Hochfrequenzsignals kann an beliebiger Stelle im Zollraster erfolgen. Bei Verwendung einer hochfrequenten Sendeleistung von 1 mW ergab sich eine Systemreserve von 40 dB. Die gesamte in die Kabine abgestrahlte Leistung beträgt 10 % der Eingangsleistung, in diesem Fall also 0,1 mW. Diese geringe Abstrahlung erfüllt mit großer Reserve die Anforderungen für Flugzeuge. Darüber hinaus ist das System robust gegenüber mechanischen Toleranzen in der Fertigung, im Aufbau und im Betrieb.

Vergleich mit dem Stand der Technik

Die „Sprechende Sitzschiene“ vereint die Vorteile der Übertragungsmedien

	„Sprechende Sitzschiene“	WLAN	Mobilfunk	Kabel (Ethernet)	Glasfaser
Sendeleistung	++	-	--	NA	NA
Datenrate	++	+	-	+	++
Anzahl der Teilnehmer	++	-	-	+	+
Abstrahlung in die Kabine	+	-	--	+	++
elektromagnetische Störfestigkeit	+	-	-	+	+
Montage	+	0	0	--	--
schnelle Rekonfiguration der Sitze	++	++	++	--	--
Reparatur, Wartung, Reinigung	+	+	+	-	-
mechanische Robustheit und Zuverlässigkeit	++	NA	NA	-	--

Tabelle 2: Die „Sprechende Sitzschiene“ im Vergleich zu bisherigen IFE-Übertragungstechnologien

Kupferkabel und Glasfaser sowie von Funktechnologien und meidet deren Nachteile für die Anwendung in der Flugzeugkabine. Ein Vergleich der Systeme zeigt Tabelle 2.

Funkbasierte Systeme haben Probleme mit der Datenrate bei vielen Teilnehmern sowie mit der elektromagnetischen Verträglichkeit. Auf der anderen Seite sind kabelgebundene Systeme aufwendig bei der Montage, durch die feste Verdrahtung unflexibel, teuer in der Wartung, und die Steckverbindungen sind störanfällig.

Die „Sprechende Sitzschiene“ zeichnet sich durch eine hohe garantierte Datenrate und eine große Anzahl von Teilnehmern bei gleichzeitig flexibler und zuverlässiger Handhabung aus. Die Montagezeit bei den Flugzeugherstellern kann deutlich verkürzt werden, und Fluggesellschaften sowie Leasingfirmen können schnell und einfach die Sitze neu anordnen.

Ausblick

Neuere IFE-Applikationen können nicht nur Videos übertragen, sondern auch den Passagieren Internet, E-Mail oder

Computerspiele anbieten. Auch kann es dem Passagier erlaubt sein, eigene netzwerkfähige Geräte anzuschließen. Daher arbeitet das Projektteam gegenwärtig zusammen mit der Firma PFW Aerospace AG an einem Demonstrator mit bidirektionaler Netzwerkfunktion mit Ethernet-basierter Datenübertragung.

In Kombination mit einer flexiblen oder drahtlosen Energieversorgung der Sitze, an der andernorts gearbeitet wird, ist die „Sprechende Sitzschiene“ die ideale Lösung für die nächste Flugzeuggeneration. Mit einer Datenrate von mehr als 10 Gbit/s auf dem Sitzschienen-Hohlleiter ist die „Sprechende Sitzschiene“ für zukünftige IFE-Applikationen wie hoch auflösende 3D-Videoübertragung bestens geeignet.

Referenzen

- [1] Video „Sprechende Sitzschiene“, Hochschule Offenburg, <http://tklab.et-it.fh-offenburg.de/sitzschiene.htm>, 2010