

HEACE: Simulation von Schall und Vibrationen im Kabinensimulator

Reinhard Weber³, Ingo Baumann³, Michael Bellmann², Sandra Buss³, Peter Faulhaber⁵, Nils Freese³, Elisabeth Groll-Knapp⁴, Sylke Hallmann³, Christian König³, Roland Kruse³, Thilo Leitmann¹, Volker Mellert³, Hermann Remmers², Arno Röder⁵, Brigitte Schulte-Fortkamp¹, Michael Trimmel⁴

¹TU Berlin ²itap GmbH, ³Universität Oldenburg, ⁴Universität Wien, ⁵EADS-CRC München;
Email: reiweb@aku.physik.uni-oldenburg.de

Einleitung

Die Umgebungsbedingungen in der Flugzeugkabine haben einen starken Einfluss auf den Komfort der reisenden Passagiere und auf die Leistungsfähigkeit der arbeitenden Crew-Mitglieder. Daher wurde im Programm „Growth“ des 5. EU-Rahmenprogrammes auch ein Aufruf zur Untersuchung der „Freundlichkeit“ der Flugzeugkabine gestartet. Das von der EU geförderte Projekt HEACE (Health effects of Aircraft Cabin Environment) untersucht die Wirkung von Umwelt-Faktoren (Schall, Vibrationen, Luftklima – Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Strömung) und Luftqualität) auf die Leistung der Cockpit- und Kabinenbesatzung. Details zu dem Projekt und die Zusammensetzung des Projekt-Konsortiums sind auf der Webseite <http://www.heace.org> zu finden.

Für die Untersuchung der Wirkung verschiedener Umgebungsbedingungen (Schall, Vibration, Luftklima und –qualität) auf die Crew und Passagiere ist ein normaler Flug schlecht geeignet. Denn während eines Fluges mit Passagieren können die Umgebungsbedingungen nicht oder nur in sehr engen Grenzen geändert werden.

Die Durchführung derartiger Untersuchungen in einem Kabinensimulator, in denen reale Umgebungsbedingungen auf Flügen simuliert und bewertet werden sollen, ist in Hinblick auf die mögliche Variationsbreite der Umgebungsbedingungen wesentlich günstiger. Allerdings erfordert die Herstellung realitätsnaher Bedingungen im Kabinensimulator einen erheblichen Aufwand.

In diesem Beitrag wird über Ergebnisse von Schallfeldmessungen während realer Flüge und den Konsequenzen für die Simulation berichtet, sowie über die Herstellung des Schallfeldes in einem Kabinensimulator und die Einleitung von Vibrationen, die den Passagieren und den Crewmitgliedern einen realitätsnahen Eindruck vermitteln sollen.

Geräuschaufnahmen während regulärer Flüge

Weil es so gut wie keine allgemein zugänglichen Quellen von Geräuschaufnahmen in Flugzeugen gibt, werden eigene Aufnahmen notwendig.

Schallpegelverläufe beim Reiseflug

Um eine allgemeine Übersicht über Schallpegelverläufe zu erhalten, wird ein Schalldosimeter (BK 4443) von „normalen“ Passagieren während mehrerer Flüge getragen. Abbildung 1 zeigt den dBA-Pegel (Maximalpegel und Kurzzeit-Leq) als Funktion der Zeit in 2 Airbus-Maschinen des gleichen Typs (A320-200) auf zwei Kurzstreckenflügen. Ein Pegelvergleich nach etwa 20 Minuten zeigt, dass in beiden Flugzeugen während des Reisefluges deutlich unterschiedliche Pegel herrschen (ca. 73 dBA und 80 dBA). Der Gesamtpegel hängt stark von dem jeweiligen Flugzustand ab.

Abweichungen zwischen dem Maximal-Pegel und dem Leq treten insbesondere bei kurzfristigen Pegelerhöhungen auf, die von Durchsagen der Piloten oder der Kabinenbesatzung erzeugt werden.

Während langer Zeitintervalle, wenn der Flugzustand (z.B. Geschwindigkeit) des Flugzeugs sich nicht ändert, kann das in der Kabine gemessene Grundgeräusch als konstant angesehen werden. Da in diesem Projekt Starts und Landungen nicht untersucht werden sollen, lässt sich im Simulator ein länger dauernder Flugzustand gut durch quasi stationäres akustisches Signal reproduzieren.

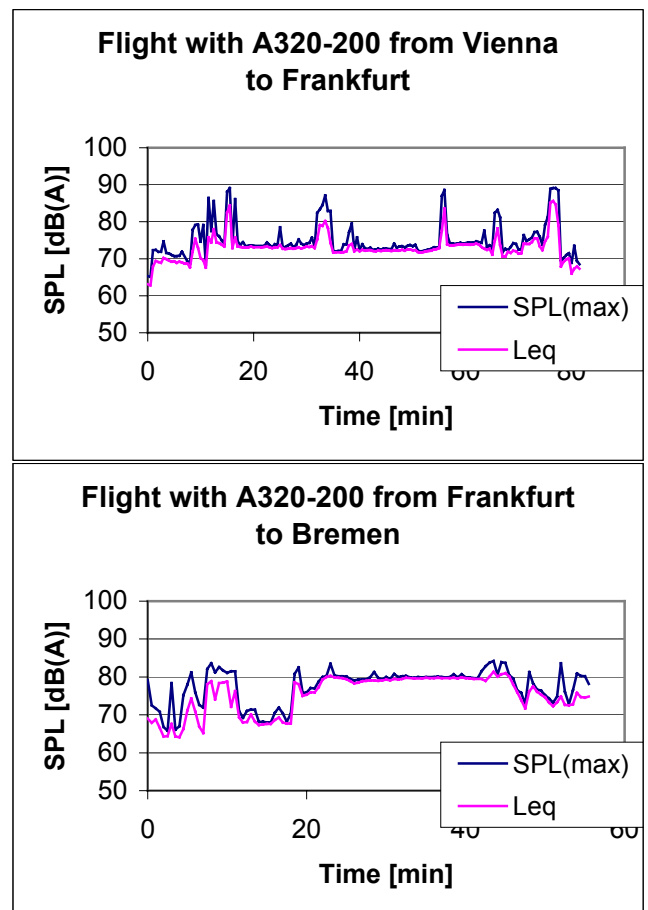


Abbildung 1: Schallpegelverläufe (Maximal-Pegel und Leq) während zweier Linienflüge in 2 Airbus A320-200 über der Zeit, aufgenommen mit einem Schalldosimeter an einem Passagierplatz in der Economy-Klasse

Kopfbezogene Aufnahmen

Diese Aufnahmen werden mit modifizierten Ohrhörern - etwa von einem Walkman® - gemacht, die mit kleinen Elektret-Mikrofonen (Sennheiser KE4) versehen sind.

Die Stereo-Mikrofonensignale werden mit tragbaren Digital-Audio-Tape (DAT) - oder Mini-Disc (MD) - Rekordern (DAT Sony TCD

D7, MD Sony R900, MD Sharp MT99). aufgenommen. Während die Mini.Disc (MD)-Rekorder zu tiefen Frequenzen hin eine mehr oder minder scharfe Begrenzung haben, zeigt der DAT-Rekorder ein flaches Spektrum oberhalb von 3 Hz. In Vorversuchen wurde sichergestellt, dass die Audiokompression der MD-Rekorder nicht die Form des Breitbandspektrums der Kabinengeräusche ändert.

Die Kalibrierung der Aufnahmesysteme erfolgt im reflexionsarmen Raum mit Rosa Rauschen, das im hochfrequenten Bereich einem mittleren Kabinengeräuschktrum ähnelt.

Die Aufnahmegeräte können unbemerkt von den anderen Passagieren verwendet werden ohne Irritationen auszulösen. Die Privatsphäre der Passagiere wird insofern gewahrt, als nur Passagen ohne störende Sprachlaute weiterverwendet werden.

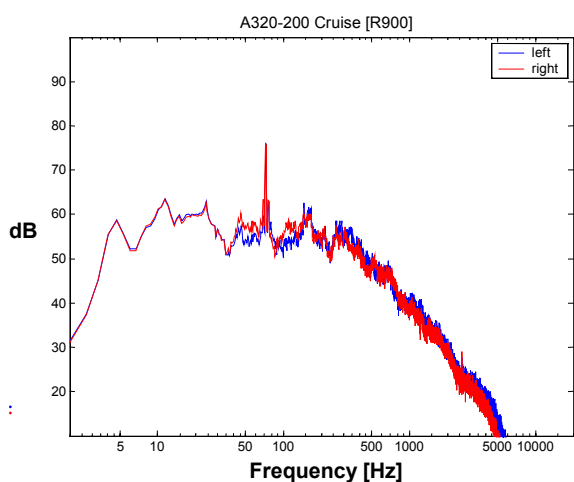


Abbildung 2: Typisches Geräuschktrum in einer Flugzeugkabine während eines Reisefluges an einem Passagierplatz in der Economy-Klasse (Flugzeugtyp: Airbus A320-200). Das Spektrum ist über 2 Min gemittelt.

Ein typisches Spektrum während einer quasi stationären Flugphase ist in Abbildung 2 zu sehen. Ähnliche Spektren werden auch in anderen ähnlich großen Passagierflugzeugen beobachtet.

Folgende Charakteristika sind typisch: aufgrund der Modenstruktur in der langgestreckten Kabine (Kabinenlänge etwa 27,5 m, max. Kabinenbreite etwa 2,70 m, max Kabinenhöhe etwa 2,22 m) gibt es einen hohen Energieanteil bei tiefen Frequenzen (Grundmode etwas oberhalb von 5 Hz). Oberhalb von 400 Hz fällt das Spektrum mit etwas mehr als 6 dB/Oktave ab. Ausgeprägte Peaks unterhalb von 200 Hz werden durch Schaufelräder und Verdichter der Strahltriebwerke erzeugt [1]. Teilweise tragen noch mehr oder minder stark ausgeprägte hochfrequente (tonale) Peaks zur Erhöhung der Lästigkeit des Kabinengeräuschs bei [2,3].

Optimierung der vibroakustischen Anregung in einem Mock-up

In einem A320 Mock-up wird die vibroakustische Anregung nach einer Status-quo-Vermessung, durch zusätzlichen Einbau von 8 elektrodynamischen Aktuatoren (Inertial-Shaker) und 6 Lautsprechern verbessert.

Ein wesentliches Ziel bei der akustischen Simulation im Mock-up bestand darin, die Diffusität des Schallfeldes durch eine geeignete Ortswahl für die Lautsprecher und eine geeignete Anbringung zu

erhöhen. Abbildung 3 skizziert die Lautsprecheranordnung im A320-Mock-up.

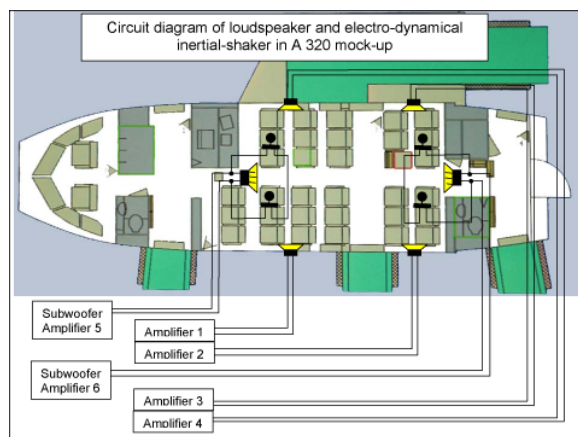


Abbildung 3: Skizze des A320-Mock-ups mit allen installierten Lautsprechern

Das resultierende Spektrum, gemessen in der zweiten Reihe im Gang in Kopfhöhe (165 cm über dem Boden nach der ISO 5129), ist in Abbildung 4 dargestellt. Der Vergleich mit Abbildung 2 zeigt, dass es gelungen ist eine sehr gute Annäherung an die Verhältnisse in einem realen Flugzeug zu erhalten.

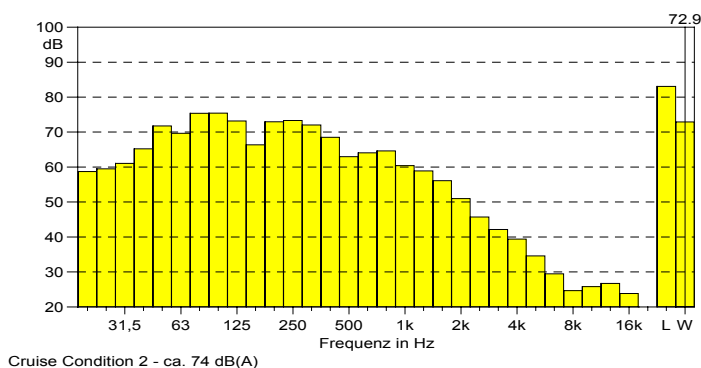


Abbildung 4: Terzpegelspektrum in einem A320-Mock-up gemessen in Kopfhöhe des Kabinenpersonals etwa in der Kabinenmitte

Förderung

HEACE - Health Effects in Aircraft Cabin Environment

EC-Program GROWTH

Contract n°

G4RD-CT-YYYY-00NNN

Project n°

GRD1-2001-40118

Project Co-Ordinator [Carl von Ossietzky Universität Oldenburg](#)

1 J. . F. Wilby, Aircraft interior noise, Journal of Sound and vibration 190, pp 545-564 (1996).

2 Vormann, M., Verhey, J.L., Mellert, V., Schick, A., Subjective Rating of Tonal Components with an Adaptive Procedure. In: Schick, A., Meis, M. and Reckhardt, C. (Eds.), Contributions to Psychological Acoustics: Results of the Eighth Symposium on Psychological Acoustics, pp 145-153. BIS, Oldenburg (2000)

3 E. Zwicker, H. Fastl, Psychoacoustics, Springer, Berlin etc, 1999.