

# Psychophysikalische Untersuchungen zum Gesamtkomfort in Flugzeugkabinen (1/2) - Versuchs- und Rahmenbedingungen -

Michael A. Bellmann, Julia Bastian und Reinhard Weber

<sup>1</sup> Akustik, Institut für Physik, Universität Oldenburg, 26129 Oldenburg, Deutschland, Email: bellmann@itap.de

## 1. Einleitung

Ziel der Studie ist die Untersuchung des Einflusses physikalisch erfassbarer Umgebungsfaktoren, die bei dem Entwurf von Flugzeugkabinen planbar sind, auf das Komfortempfinden eines Passagiers. Dazu werden neben der physikalischen Erfassung von Umgebungsfaktoren mit psychologischen Methoden (Fragebögen und Beobachtung) die Wirkungen auf den Passagier untersucht. Zu komfortrelevanten Umgebungsfaktoren zählen u. a. Schall und Vibrationen, die Sitzumgebung, das Umgebungsklima, die Beleuchtung, sowie die Luftqualität. In diesem und dem folgenden Vortrag wird von einer Messkampagne berichtet, die während zweier innereuropäischen Linienflüge durchgeführt wurde. Diese Untersuchung wird ebenfalls zur Erprobung des entwickelten psychologischen und psycho-physikalischen Messkonzepts verwendet.

## 2. Versuchs- und Rahmenbedingung

### 2.1 Allgemeine Beschreibung

Während des jeweils 1½ stündigen Hin- und Rückfluges sind für die Charakterisierung des Schallfeldes in der Kabine sowohl Spektren in unterschiedlichen Flugphasen, als auch an unterschiedlichen Orten in der Flugzeugkabine aufgezeichnet worden. Darüber hinaus ist der Pegelverlauf mit einem Schalldosimeters erfasst worden zusammen mit dem  $L_{A,eq}$  und dem lin. Peak SPL jeweils im 10s Takt. Zusätzlich zu den akustischen Parametern ist das Umgebungsklima, die Luftqualität und die Beleuchtung, sowie die Geometrie der Sitzumgebung registriert worden. Bis auf die Akustik sind alle weiteren physikalischen Parameter vorwiegend in Sitzreihe 21 (direkt hinter den Tragflächen) gemessen worden. Das Flugzeug besaß 33 Sitzreihen, die alle als Economy-Class ausgezeichnet waren und fasste maximal 189 Passagiere. Beim Hinflug war die Maschine zu ca. 80% besetzt und beim Rückflug zu ca. 70%. An den Flügen nahmen 15 Komfort-UnterschiedstesterInnen (KUT) aus Oldenburg teil, die jeweils einen Fragebogen vor den Flügen und jeweils zwei während der Flüge ausfüllten. Die KUT wurden durch ein spezielles Auswahl- und Schulungsverfahren aus einer Bewerberzahl von 69 Personen ausgewählt. Sie werden hier als individuelles Komfortmessinstrument verwendet und zeichnen sich durch hohe Reliabilität bei Messwiederholungen aus. Somit können Unterschiede von z.B. verschiedenen Kabinenkonfigurationen sicher erkannt und bewertet werden.

### 2.2 Psycho-physikalische Messungen

Alle eingesetzten Messinstrumente besitzen ein Zertifikat bzgl. ihrer Elektro-Magnetischen-Verträglichkeit (EMV) nach bestehenden Richtlinien [z.B. 1] oder wurden von Ingenieuren einer Airline bzgl. ihrer EMV an Bord von unterschiedlichen Flugzeugtypen überprüft und als flugtauglich eingestuft.

Folgende physikalischen Parameter wurden während des Fluges kontinuierlich oder als Spotmessungen erhoben:

- **Akustik:** A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel  $L_{A,eq}$  und lin. Peak SPL, sowie die Schalldosis [2], Schmalbandspektren und (binaurale) Zeitsignale
- **Umgebungsklima:** Lufttemperatur, rel. Luftfeuchtigkeit und Luftdruck
- **Luftqualität:** CO und CO<sub>2</sub> Gehalt der Kabinenluft, sowie VOC- und TVOC-Gehalt (leichtflüchtige Lösungsmittel)
- **Sitzumgebung:** Geometrie des Sitzes, Sitzabstand, Beinfreiheit

## 3. Ergebnisse

### 3.1 Schallpegel und –spektren in der Kabine

Die Akustik in der Flugzeugkabine ist typischerweise abhängig von dem jeweiligen Flugzustand. Normalerweise ist es beim Starten (Take-off) deutlich lauter als z.B. während des Reisefluges (Cruise-Kondition) bei einer Flughöhe von 11000 m. In Abbildung 2 ist der  $L_{A,eq}$ -Verlauf eines gesamten Fluges dargestellt (Hinflug). Es zeigt sich, dass auch während des Fluges der  $L_{A,eq}$  starken Schwankungen unterliegt ( $\pm 5$  dB). Bei dem Start- und Landevorgang werden Dauerschallpegel von fast 90 dBA kurzzeitig erreicht. Während der Cruise-Kondition werden durchschnittlich Dauerschallpegel von 82.7 bzw. 83.4 dBA für den Hin- bzw. Rückflug erreicht (Peak SPL von 108.0 bzw. 109.1 dB). Bei der weiteren Auswertung haben wir uns lediglich auf die Cruise-Kondition beschränkt, da ca. 30 min nach dem Start und ca. 70 min nach dem Start die KUTs ihre Fragebögen bzgl. der Umgebungsfaktoren ausgefüllt haben. In Abbildung 1 sind zwei repräsentative Schmalbandspektren (2048 FFT) aus der Sitzreihe 1 und 21 aus der Cruise Kondition (ca. 30 min nach dem Start) dargestellt. Beide Spektren weisen die typischen Turbinenordnungen zwischen 70 und 90 Hz auf, zeigen aber deutliche Unterschiede im Frequenzbereich von 100 Hz bis 5 kHz. In Sitzreihe 1 sind hauptsäch-

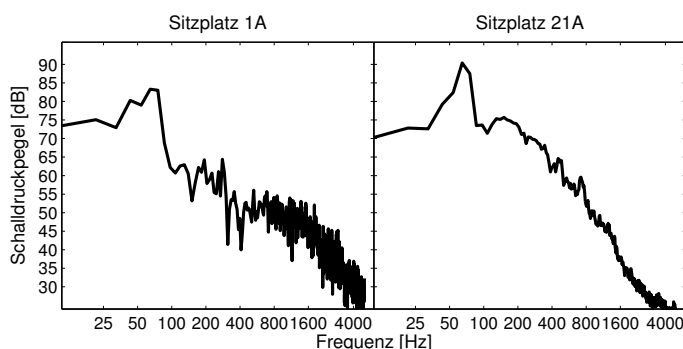
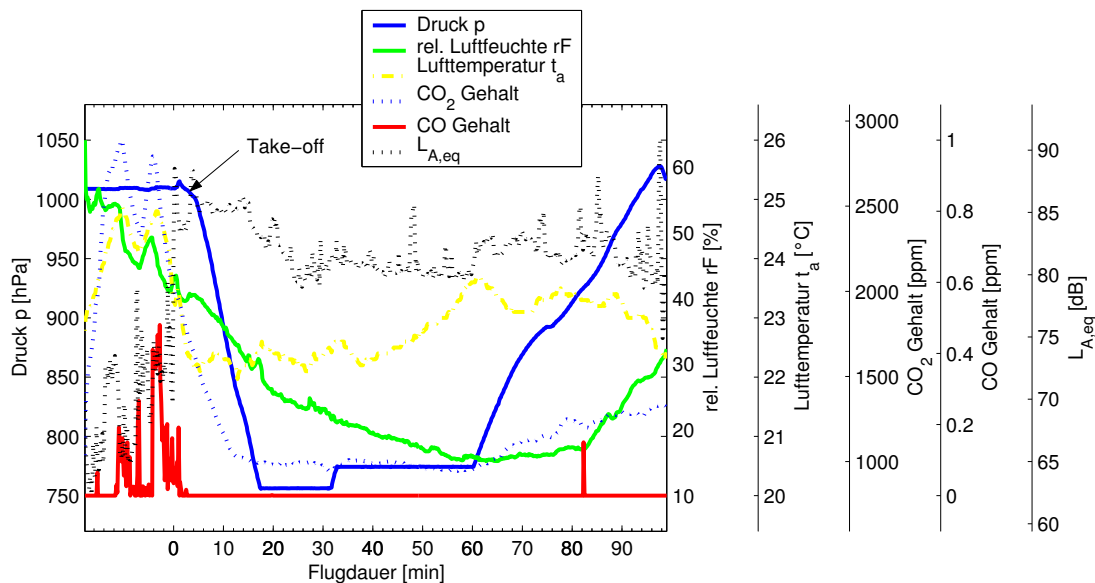


Abbildung 1: Schmalbandspektren aus Sitzreihe 1 (Platz A) und Sitzreihe 21 (Platz A)



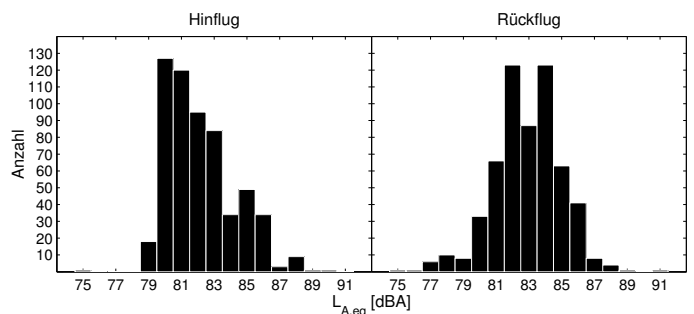
**Abbildung 2:** Überblick über alle kontinuierlich gemessenen Parameter während des gesamten Hinfluges.

lich die aerodynamischen Geräusche im Bereich ab 1 kHz vorhanden, hingegen in Reihe 21 sind vorwiegend die Antriebsgeräusche der Turbine und Abrissgeräusche von den Tragflächen hörbar (Frequenzbereich 100 Hz bis 1 kHz). Der Pegel in Reihe 1 beträgt 88.5 dB (72.4 dBA) und in Reihe 21 94.8 dB (79.6 dBA). Dies entspricht einem rechnerisch linearen Anstieg des A-Pegels von ca. 1/3 dBA pro Sitzreihe. Von Reihe 21 zur letzten Sitzreihe nimmt der Pegel wiederum ab auf 90.6 dB bzw. 75.6 dBA. Im hinteren Teil sind die Antriebsgeräusche der Turbinen dominant. Der hier beobachtete Pegelabfall entspricht ebenfalls einer Minderung von ca. -1/3 dBA pro Sitzreihe. Es zeigt sich also, dass das Schallfeld innerhalb einer Flugzeugkabine sich nicht nur in seiner spektralen Zusammensetzung verändert, sondern auch im Pegel. Der Hin- und Rückflug weisen einen Unterschied im  $L_{A,eq}$  von ca. 1 dBA auf. In Abbildung 3 sind die Histogramme des  $L_{A,eq}$  vom Hin- und Rückflug dargestellt. Mit einem B&K 4443 Schalldosimeter wurde die Schalldosis für den Hin- und Rückflug vom Einsteigen (Boarding) bis zum Verlassen (Deboarding) des Flugzeugs berechnet. Die Beurteilungsgrundlage für die Belastung durch die Geräusche in der Kabine ist die OSHA [2] (100% Dosis entspricht 8 h bei 90 dBA). Es ergeben sich Schalldosen von 11.15% für den Hin- und 16.3% für den Rückflug. Umgerechnet auf eine Schalldosis von 100% = 8 h bei 85 dBA ergeben sich Werte von 35.1% bzw. 51.7%.

**3.2 Überblick**

Ein allgemeiner Überblick über alle kontinuierlich gemessenen Parameter während eines gesamten Fluges ist in Abbildung 3 dargestellt. Auf der linken y-Achse ist der Druck und auf den fünf rechten y-Achsen sind die anderen Parameter dargestellt. Die x-Achse kennzeichnet die Flugdauer, wobei bei 0 min der Start ist. Der Kabinendruck verringert sich, wie zu erwarten, nach dem Start sehr schnell von ca. 1010 hPa am Boden auf minimal 760 hPa (Cruise-Kondition mit max. Flughöhe 11000 m, entspricht Kabinendruck von 2300 m Höhe). Anhand des Kabinendrucks lassen sich sehr gut die einzelnen Flugzustände (z.B. Take-off, Cruise) feststellen. Ein Teil der Schwankungen des  $L_{A,eq}$  lässt sich auf die unterschiedlichen Flugphasen zurückführen. Es zeigt sich ebenfalls in Abbildung 3, dass der CO<sub>2</sub>- und CO-Gehalt

der Luft, sowie die Kabinentemperatur nach dem Schließen der Flugzeugtüren, aber vor dem Start, fast synchron ansteigen. Diese liegt daran, dass die Kabinenluft als Zapfluft über die Turbinen genommen wird und die Turbinen vor dem Start nicht mit voller Leistung arbeiten und die Außenluft relativ warm und feucht ist. Der Abfall der relativen Luftfeuchtigkeit ist zu erwarten, da die Zapfluft bei 11000 m Höhe eine Außentemperatur von -60°C und kaum Luftfeuchte besitzt, und die Kabinenluft in etwa 100-mal pro Stunde ausgetauscht wird.



**Abbildung 3:**  $L_{A,eq}$  Histogramm vom Hin- und Rückflug gemessen am Sitzplatz 21 A (Mittlungszeit 10 s).

**Zusammenfassung**

- Starke Schwankungen im Pegelverlauf während unterschiedlicher Flugphasen (ca. 10 dBA).
- Pegelschwankungen in der Kabine bei konstanter Flugphase ca. 7 dBA.
- Abweichung zwischen dem gemitteltee  $L_{A,eq}$  für Hin- und Rückflug sehr gering (1 dBA).
- Teile der Schwankungen der Parameter Druck, CO und CO<sub>2</sub> Gehalt, Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit sind auf jeweilige Flugsituation zurückzuführen.

**Literatur**

[1] RTCA DO-160 D sect. 21 „Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment“, URL: www.rtca.org  
 [2] OSHA 1910.95 *Occupational noise exposure*, Occupational Safety and Health Standards - Occupational Health and Environment Control, US regulation, 1983