

Interaktionseffekte von Schall und Vibration auf die Komfortbeurteilung von Flugsituationen

J. Quehl¹, A. Schick¹, V. Meller², H. Remmers³

¹Universität Oldenburg, Fachbereich Psychologie, Institut zur Erforschung von Mensch-Umwelt-Beziehungen, Postfach 2503, D-26111 Oldenburg

²Universität Oldenburg, Fachbereich Physik/Akustik, Postfach 2503, D-26111 Oldenburg

³Institut für technische und angewandte Physik (ITAP) GmbH, D-26111 Oldenburg

I. Einleitung

Komfort ist ein Qualitätsmerkmal, das die Zufriedenheit eines Passagiers in einem Flugzeug maßgeblich beeinflusst (Osborne, 1978; Raymon, 1997). Das subjektive Komforterleben wird neben Persönlichkeitsmerkmalen und situativen Umständen durch die Wahrnehmung von Eigenschaften aus der physikalischen Umwelt bestimmt, wobei Schall und Vibration wichtige Einflußgrößen sind. In den 70er Jahren wurden zahlreiche Flugkomfortstudien durchgeführt (z.B. Richards et al., 1975, 1977), die sich primär mit der Einzelwirkung von Geräuschen oder Vibrationen, nicht aber mit ihrer spezifischen Kombinationswirkung befaßt haben.

II. Fragestellung

Das Ziel der Untersuchung ist die Bestimmung des relativen „Anteils“ von Schall und Vibration am erlebten Flugkomfort von Passagieren, der beim vibro-akustischen Design von Flugzeugen durch eine entsprechende Optimierung zur Verbesserung des Flugkomforts beitragen kann. Gegenstand der Analyse sind danach Wechselbeziehungen zwischen physikalischen Umweltbedingungen (Schall und Vibration) und der Komfortbeurteilung von Flugsituationen. Die aus der Umwelt auf den Menschen einwirkenden physikalischen Reize werden dabei als verschiedene Formen von umgebungsbedingte Stressoren oder Umweltstressoren („ambient stressors“) angesehen, die auf den menschlichen Organismus einwirken und denen er sich anpassen muß (z.B. Baum et al., 1982; Campbell, 1983; Evans & Cohen, 1987). Lepore und Evans (1994) unterscheiden die zwischen (Umwelt-) Stressoren potentiell möglichen Interaktionseffekte der Additivität (kumulatives Zusammenwirken), Abschwächung (kompensatorisches Zusammenwirken) und Potenzierung (multiplikatives Zusammenwirken) (Abbildung 1).

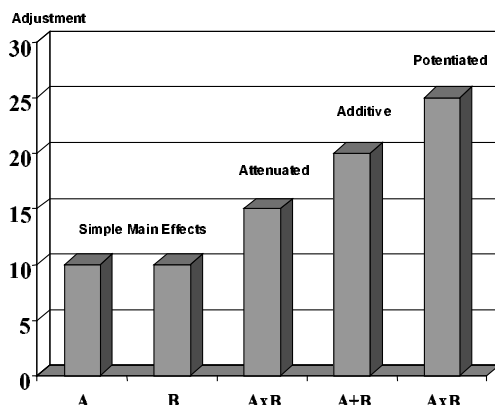


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Interaktionseffekte zwischen Stressoren (Quelle: Lepore & Evans, 1994)

III. Die Untersuchung

In einer laborexperimentellen Studie wurden Schallpegel (SPL) und Vibrationspegel (Beschleunigungspegel in dB re 10^{-6} ms^{-2}) (VL) der Cruisingsituation eines Jets (Original SPL 76 dB(A); Original VL 99.8 dB) und eines Propellers (Original SPL 81 dB(A); Original VL 112.3 dB) mit Hilfe eines Vibrationpad (Remmers & Bellmann, 2000) in einem 3×3 Design systematisch variiert. Im Rahmen einer Voruntersuchung wurden die Abstufungen des SPL mit ± 3 dB und die des VL mit ± 4 dB jeweils ausgehend vom Originalpegel festgelegt, was einem Sensitivitätsindex $d' > 2.0$ entspricht (Macmillan & Creelman, 1991). Die neun Schall- und Vibrationskombinationen pro Flugzeugtyp wurden in randomisierter Reihenfolge von 30 Versuchspersonen anhand von 15 Merkmalen eines konzept-spezifischen, semantischen Differentials für Flugzeuge (Quehl et al., 2000a) beurteilt.

IV. Ergebnisse

4.1 Faktorenanalyse

Es wurden varimaxrotierte Hauptkomponentenanalysen nach dem Kaiserkriterium für die Reizkonfigurationen beider Flugzeugtypen durchgeführt. Dabei wurden nur Faktoren mit wenigstens 10% Varianzaufklärung interpretiert. Für die Interpretation jedes Faktors wurden nur Merkmale mit Ladungen $> .50$ berücksichtigt.

Es wurde die dreifaktorielle Struktur eines vorangegangenen Feldexperiments bestätigt, das in einem sogenannten Flugzeug Mock-up durchgeführt wurde (Quehl et al., 2000b). Der Hauptfaktor ist eine Komfortdimension, die auf bestimmte Geräuscheigenschaften wie die wahrgenommene Lautstärke oder Schärfe sowie Vibrationsmerkmale bezogen ist und 43.9 % der Urteilsvarianz erfaßt. Alltagssprachliche Merkmale wie „komfortabel“, „erträglich“ und „akzeptabel“ weisen hohe Interkorrelationen auf und beschreiben demnach eine ähnliche semantische Qualität, über die Komfort im Wahrnehmungsraum abgebildet wird. Vibro-akustischer Komfort stimmt danach mit der alltagssprachlichen (Metzger, 1994) als auch psychologischen (Pineau, 1982) Operationalisierung des Begriffs überein.

4.2 Inferenzstatistik

Um Interaktionseffekte zwischen Schall und Vibration bezüglich der Komfortbeurteilung zu analysieren, wurden „Dimensionswerte“ gebildet, indem für alle Reizkonfigurationen über die auf der Komfortdimension ladenden, zuvor „gleichsinnig“ rotierten Merkmale gemittelt wurde. Die Ergebnisse der varianzanalytischen Auswertung (zweifaktorielle Varianzanalysen mit Meßwiederholung, alle Statistiken nach Greenhouse Geisser) zeigen für beide Flugzeugtypen statistisch signifikante Effekte der Hauptfaktoren Schall- und Vibrationspegel sowie deren Interaktion (Tabelle 1). Für beide Flugzeugtypen erklären

der Schallpegel ca. 70% und der Vibrationspegel ca. 30% der Urteilsvarianz.

t-Tests für abhängige Stichproben belegen statistisch signifikante Beurteilungsunterschiede ($p < .02$) für den Propeller zwischen allen VL bei den variierten SPL (± 3 dB) sowie zwischen allen SPL bei allen VL. Für den Jet (Abbildung 2) ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen den variierten VL (± 4 dB) bei allen SPL, zwischen dem Original VL und -4 dB bei -3 dB SPL und zwischen dem Original VL und $+4$ dB VL bei Original SPL. Außerdem unterscheiden sich alle SPL des Jets signifikant bei allen VL.

Tabelle 1: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVAs mit Meßwiederholung

Quelle (Propeller)	QS	DF	MS	F	Sig von F
Faktor A (SPL)	83.386	1.758	47.419	82.576	.000
Fehlervarianz	29.284	50.996	.574		
Faktor B (VL)	31.218	1.883	16.579	18.400	.000
Fehlervarianz	49.202	54.607	.901		
Interaktion A x B	8.101	2.887	2.806	3.848	.013
Fehlervarianz	61.051	83.723	.729		

Quelle (Jet)	QS	DF	MS	F	Sig von F
Faktor A (SPL)	85.396	1.229	69.508	75.747	.000
Fehlervarianz	32.694	35.629	.918		
Faktor B (VL)	18.582	1.526	12.178	10.665	.001
Fehlervarianz	50.529	44.252	1.142		
Interaktion A x B	7.102	5.386	1.319	2.269	.046
Fehlervarianz	90.785	156.206	.581		

Zusammengefaßt belegen die Ergebnisse, daß die Komfortbeurteilung der Cruisingsituationen beider Flugzeugtypen durch die Interaktion von Schall- und Vibration bestimmt wird (Abbildung 2). Es liegt eine „additive“ Interaktion zwischen den variierten physikalischen Parametern nahe (vgl. Howarth & Griffin, 1990), da die Vibration die Komfortbeurteilung der Schalls beeinflusst.

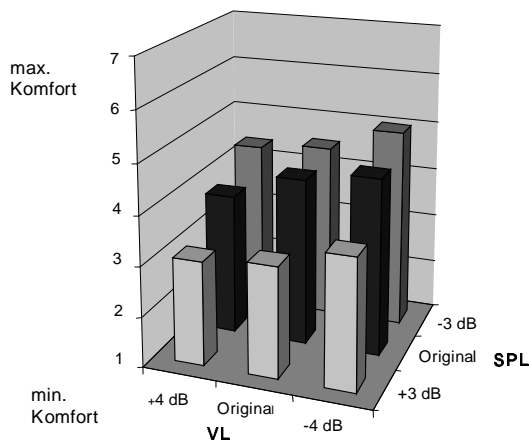


Abbildung 2: Interaktion von Schall und Vibration auf die Komfortbeurteilung der Reizkombinationen des Jets

Mit ansteigendem Vibrationspegel nimmt die Komfortbewertung des Schalls ab. Umgekehrt bestimmt aber auch der Schall die Komfortbeurteilung der Vibration. Mit der Höhe des Schallpegels verringert sich ihre Komfortbewertung. Es ist zu beachten, daß sich die „additive“ Interaktion auf logarithmische Reizgrößen bezieht. In linearer Darstellung müßte von einer „multiplikativen“ Interaktion (im untersuchten Reizintervall) gesprochen werden.

V. Zusammenfassung

Um den relativen „Anteil“ von Schall und Vibration an der Komfortbeurteilung von Flugsituationen zu bestimmen und entsprechende Kriterien zur vibro-akustischen Optimierung von Flugzeugen abzuleiten, wurden in einer laborexperimentellen Studie der Schall- und Vibrationspegel zweier Cruisingsituationen systematisch variiert (3 x 3 Design) und anhand eines konzept-spezifischen, semantischen Differentials beurteilt. Im Hinblick auf die mit Hilfe von Hauptkomponentenanalysen extrahierte Komfortdimension des Wahrnehmungsraumes wird eine additive Interaktion zwischen den variierten physikalischen Parametern (in logarithmischer Skalierung) nachgewiesen, wobei der Schall zu etwa 70% und die Vibration zu etwa 30% an der Komfortbeurteilung beteiligt sind.

Danksagung:

Die Arbeit wurde vom Graduiertenkolleg „Psychoakustik“ (DFG) unterstützt.

Literatur

- Baum, A., Singer, J.E. & Baum, C.S. (1982). „Stress and the environment,” in *Environmental stress*, edited by Evans, G.W. (University Press, Cambridge).
- Campbell, J. (1983). „Ambient stressors,” *Environment and Behaviour*, 15, 355-380.
- Evans, G.W. & Cohen, S. (1987). „Environmental stress,” in *Handbook of environmental psychology, Vol. 1*, edited by Stokols, D. & Altman, I. (John Wiley & Sons, New York).
- Howarth, H.V.C. & Griffin, M.J. (1990). „Subjective response to combined noise and vibration: summation and interaction effects,” *Journal of Sound and Vibration*, 143(3), 443-454.
- Lepore, S.J. & Evans, G.W. (1994). „Coping with multiple stressors in the environment,” in *Handbook of Coping: Theory, Research and Applications*, edited by Zeidner, M. & Endler, N. (John Wiley, New York).
- Macmillan, N. A. & Creelman, C. D. (1991). *Detection theory: a user's guide* (University Press, Cambridge).
- Metzger, P. (1994). *Komfortverständnis bei Kraftfahrern* (unveröffentlichte Diplomarbeit, Berlin).
- Oborne, D.J. (1978). „Passenger comfort – an overview,” *Applied Ergonomics*, 9(3), 131-136.
- Pineau, C. (1982). „The psychological meaning of comfort,” *International Review of Applied Psychology*, 31, 271-283.
- Quehl, J., Schick, A., Mellert, V., Schulte-Fortkamp, B., Remmers, H. (2000a). „Evaluation of combined aircraft interior sound and vibration effects on passengers' well-being and comfort sensation: the elaboration of a concept-specific methodological instrument,” in *Results of the 8th Oldenburg symposium on psychological acoustics* edited by Meis, M. & Reckhardt, C. (bis, Oldenburg, 2000), 201-208.
- Quehl, J., Schick, A., Mellert, V., Schulte-Fortkamp, B., Remmers, H. (2000b). „Hauptdimensionen einer kombinierten Geräusch- und Vibrationswahrnehmung in Flugsituationen: Auswertungen zum semantischen Differential,” in *Fortschritte der Akustik (DAGA, Oldenburg, 2000)*, 198-199.
- Raymon, R.B. (1997). „Passenger safety, health and comfort: a review,” *Aviation, Space, Environment Medicine*, 68(5), 432-440.
- Remmers, H. & Bellmann, M. (2000). „System zur realistischen Wiedergabe von Schall und Vibration,” in *Fortschritte der Akustik (DAGA, Oldenburg, 2000)*, 168-169.
- Richards, L.G. & Jacobson, I.D. (1975). „Ride quality evaluation I. Questionnaire studies of airline passenger comfort,” *Ergonomics*, 18(2), 129-150.
- Richards, L.G. & Jacobson, I.D. (1977). „Ride quality assessment III. Questionnaire results of a second flight programme,” *Ergonomics*, 20(5), 499-519.