Dynamische Klangindividualisierung im Fahrzeug unter Berücksichtigung von Geräuschen in unterschiedlichen Fahrsituationen

Sina Buchholz[1], Jens-E. Appell[1], Jörn Hübelt[2], Jan Rennies[1], Andreas Volgenandt[1]
[1]*Fraunhofer IDMT, 26129 Oldenburg, E-Mail: sina.buchholz@idmt.fraunhofer.de*
[2]*Hochschule Mittweida, 09648 Mittweida*

Einleitung

Die individuell als optimal empfundene Verarbeitung von Musik und Sprache hängt von den Geräuschen in der Umgebung ab. Besonders während Autofahrten ändert sich die Geräuschkulisse sowohl hinsichtlich des Gesamtschalldruckpegels als auch in der Frequenzverteilungen häufig. In einer früheren Veröffentlichung haben wir gezeigt, dass sich Klangpräferenzen individuell sehr stark unterscheiden können, intraindividuell jedoch häufig sehr konsistent sind [1]. Diese individuellen Unterschiede treten selbst bei Personen mit nach audiologischen Maßstäben gleichem Gehör auf. Weitere Studien zeigten, dass Störgeräusche einen Einfluss auf die individuellen Klangpräferenzen ausüben [2], [3]. Dieser zeigte sich zum einen in einer für die meisten Probanden ähnlichen (und erwartbaren) Erhöhung der Lautstärke im Vergleich zu präferierten Einstellungen in Ruhe, zum anderen aber auch in einer spektralen Veränderung der gewünschten Einstellungen, die häufig keinem erkennbaren Schema folgte und sich erneut interindividuell stark unterschied.

Auf Basis dieser Kenntnisse wurde in dieser Studie untersucht, welchen Einfluss speziell das Störgeräusch „Fahrgeräusch“ im Fahrzeuginnenraum auf die individuellen Klangpräferenzen ausübt. Dabei wurde insbesondere untersucht, welche Stabilität die intraindividuellen Ergebnisse besitzen (Test vs. Retest), wie der Einfluss der Fahrgeräusche auf den präferierten Musikpegel im Allgemeinen sowie auf die individuell bevorzugte Lautstärke und Klangbalance zwischen hohen und tiefen Frequenzen ist.

Methodik

An der Studie nahmen 18 nach eigener Aussage normalhörende Probanden im Alter von 23 bis 51 Jahren teil. Darunter befanden sich 11 Männer und 7 Frauen. Die Experimente wurden unter Kopfhörerdarbietung (Sennheiser HD 650) in einer Hörkabine durchgeführt.

Als Stimuli dienten neun verschiedene Fahrgeräusche, die im Voraus mit einem Kunstkopf auf dem Beifahrersitz eines VW T5 bei verschiedenen Fahrkonditionen aufgenommen wurden. Diese befanden sich im Bereich zwischen „Leerlauf“ und „170 km/h mit eingeschaltetem Gebläse“ und unterschieden sich demnach deutlich im Gesamtpegel wie auch in spektraler Zusammensetzung. Zusätzlich diente „Ruhe“ als Referenzsituation, um einen Vergleich zwischen den Klangpräferenzen in Ruhe und den Präferenzen bei Vorliegen von Fahrgeräuschen ziehen zu können. Die verschiedenen Stimuli wurden den Probanden an zwei Messterminen dargeboten, wobei fünf der Situationen an beiden Messterminen vorkamen.

Während der Darbietung der einzelnen Geräuschsituationen durchliefen die Probanden dasselbe System zur Klangpersonalisierung von Musik. Dabei stellten sie für die vorgespielte Musik zunächst die präferierte Lautstärke für hohe Frequenzen (repräsentiert durch Geige) und anschließend für tiefe Frequenzen (repräsentiert durch Cello) ein und passten im Anschluss daran deren Klangbalance an (siehe Abbildung 1). Dies erfolgte sowohl für eine mittlere als auch für eine geringe Abhörlautstärke der Musik, um etwaige verschiedene Klangpräferenzen beim Hören der Musik in mittlerer sowie geringer Lautstärke abbilden zu können. Das Klangpersonalisierungssystem repräsentiert dabei ein Verfahren, in dem in zwei Frequenzbändern (Höhen und Tiefen) die individuell bevorzugten Pegel jeweils für leise Musik und Musik bei mittlerer Lautstärke ermittelt werden.

Abbildung 1: Einstellung der Klangbalance im Klangpersonalisierungssystem.

Ergebnisse

Test/Retest-Stabilität

Für die Analyse der Test/Retest-Stabilität wurden die Pegeleinstellungen der Situationen betrachtet, die an beiden Messterminen vorkamen. Abbildung 2 stellt die Ergebnisse aller Probanden des ersten Messtermins (Test) denen des zweiten Messtermins (Retest) gegenüber. Es zeigte sich mit Punkten nahe der Winkelhalbierenden (perfekte Korrelation) und im Bereich von ± 3 dB (gestrichelte Linien) eine sehr hohe und signifikante Korrelation (R^2=0,91) der Ergebnisse beider Messtermine mit nur wenigen Ausreißern. Signifikante und hohe Korrelationen wurden nicht nur beim Pooling aller Daten, sondern ebenfalls für jedes einzelne Fahrgeräusch (betrachtet über alle Probanden) ($R^2 \geq 0{,}63$) sowie für jeden einzelnen Probanden (betrachtet über alle Fahrgeräusche) ($R^2 \geq 0{,}83$) beobachtet.

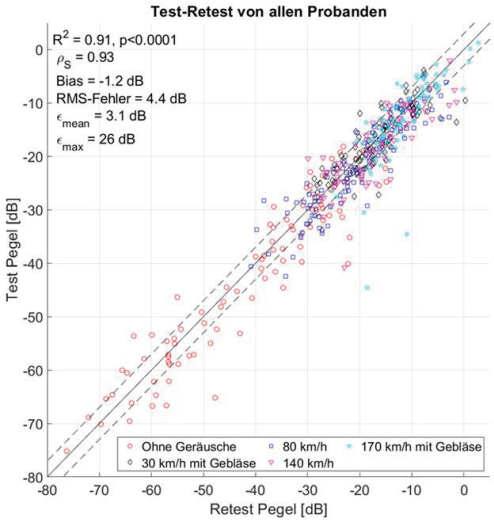

Abbildung 2: Test-Retest-Analyse aller Probanden und Situationen; Gestrichelte Linie: ± 3 dB Abweichung.

Einfluss von Fahrgeräuschen auf den präferierten Pegel

Um den generellen Einfluss der Fahrgeräusche auf die präferierten Pegel zu analysieren, wurden zunächst die eingestellten Pegel aller Probanden je Fahrsituation in Boxplots, sortiert nach aufsteigender Fahrgeschwindigkeit und ggf. Zuschaltung des Gebläses, dargestellt. Abbildung 3 zeigt dies beispielhaft für tiefe Frequenzen bei geringer Lautstärke. Deutlich zu erkennen ist eine Zunahme der präferierten Lautstärke durch das Hinzukommen von Fahrgeräuschen, wobei bereits beim Wechsel von der Kondition in Ruhe in die Kondition Leerlauf ein erheblich höherer Pegel eingestellt wurde. Die Erhöhung des Pegels bei ansteigender Geschwindigkeit fiel im Vergleich dazu eher gering aus. Auffällig war zudem eine Erhöhung des präferierten Pegels um ca. 10 dB im Median durch das Einschalten des Gebläses.

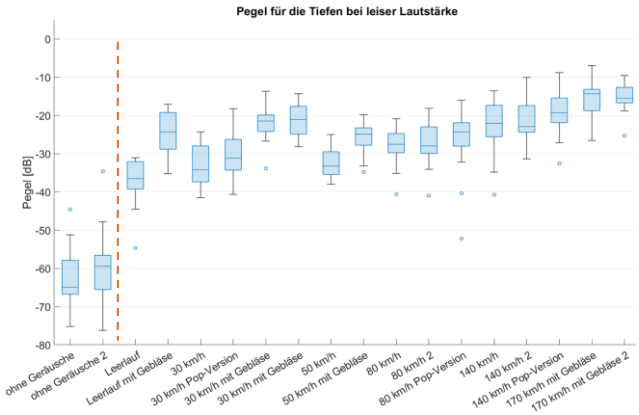

Abbildung 3 Verteilung der eingestellten Pegel aller Probanden je Fahrsituation

Einfluss von Fahrgeräuschen auf die individuell bevorzugte Klangbalance

Für die Betrachtung der individuell bevorzugten Klangbalance wurde die Differenz aus dem eingestellten Pegel für die Höhen und die Tiefen bei entsprechender Lautstärke gebildet. Bei mittlerer Lautstärke (oberes Panel in Abbildung 4) zeigte sich in Ruhe (rote Punkte) in der Regel eine Höhenbetonung (Differenz > 0 dB) oder ein relativ ausgeglichenes Klangverhältnis. Durch Hinzukommen von Fahrgeräuschen (schwarze Sternchen) verschob sich dieses in der Regel in Richtung einer Tiefenbetonung. Intraindividuell führten verschiedene Fahrgeräusche häufig zu einer ähnlichen präferierten Klangbalance (z.B. bei Proband 4 und 9). Aus dem Median der präferierten Klangbalance im Störgeräusch (rote Dreiecke) und der Klangbalance in Ruhe ließ sich die Änderung der individuell bevorzugten Balance (Kreuze) durch das Hinzukommen der Fahrgeräusche bestimmen (unteres Panel). Einige Probanden wünschten sich im Fahrgeräusch wie in Ruhe eine ähnliche Klangbalance (wie z.B. Proband 1 und 12). Andere hingegen wiesen eine deutliche Tiefenbetonung bei Anwesenheit von Fahrgeräuschen mit bis zu 15 dB Unterschied im Vergleich zur Ruhe auf (z.B. Proband 11). Die anderen Probanden wiesen eine Änderung im Bereich dazwischen auf. Für die geringe Abhörlautstärke zeigte sich ein ähnliches Verhalten (hier nicht gezeigt).

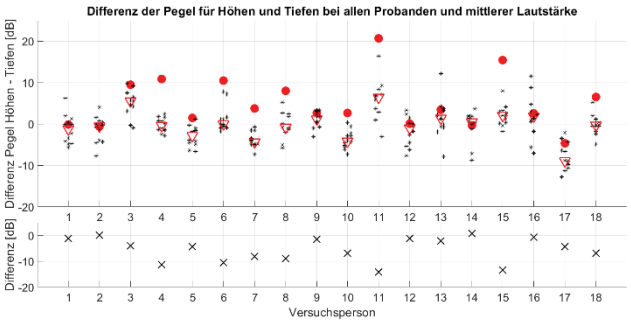

Abbildung 4: Oben: Individuell präferierte Klangbalance (Differenz Höhen-Tiefen) in Ruhe (Kreis), im Störgeräusch (Sternchen) sowie im Median der Störgeräusche (Dreieck). Unten: Individuelle Änderung der präferierten Klangbalance durch Störgeräusche im Median im Vergleich zur Ruhe

Einfluss auf die individuell bevorzugte Lautstärke

Die dritte Forschungsfrage befasst sich mit der individuell bevorzugten Lautstärkeänderung, die sich durch das Hinzukommen eines Fahrgeräuschs im Vergleich zur Situation in Ruhe ergibt. In Abbildung 5 ist dies für die bei den Höhen eingestellten Pegel dargestellt. Der Unterschied zwischen den bevorzugten Pegeln zwischen „leiser“ und „mittellauter“ Musik ist als roter Kreis dargestellt und nahm Werte zwischen -5 und -40 dB an. Das Hinzukommen der Fahrgeräusche (schwarze Sternchen) führte bei allen Probanden zu einer Verringerung des gewünschten Pegelunterschieds zwischen geringer und mittlerer Abhörlautstärke. In diesem Fall zeigte sich ebenfalls für einige Probanden intraindividuell eine ähnliche Einstellung der Präferenz über verschiedene Fahrsituationen. Das individuelle Maß der Änderung der Klangpräferenz durch das Hinzukommen von Störgeräuschen (unteres Panel) wurde durch die Differenz aus der Präferenz in Ruhe sowie der Präferenz bei Fahrgeräuschen im Median (rote Dreiecke) berechnet. Hierbei zeigte sich, dass manche Probanden sowohl in Ruhe als auch im Störgeräusch einen ähnlichen

Abstand zwischen geringer und mittlerer Lautstärke bevorzugten (wie z.B. Proband 12), andere sich jedoch einen um bis zu 30 dB geringeren Dynamikbereich zwischen den beiden Lautstärken wünschten (wie Proband 6). Hierbei handelte es sich ebenfalls nicht um einen Ausreißer, da die individuellen Änderungen der anderen Probanden den kompletten Bereich dazwischen abdeckten. Für die tiefen Frequenzen zeichnete sich ein ähnliches Bild ab (hier nicht gezeigt).

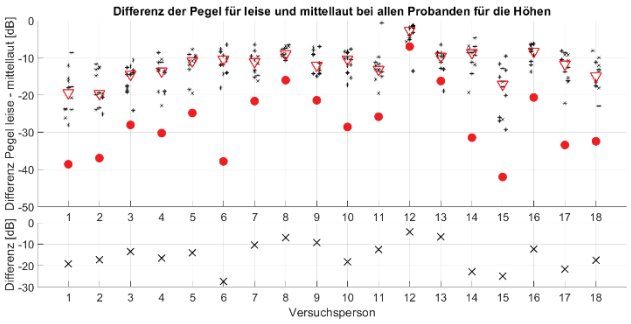

Abbildung 5 Oben: Individuell präferierte Lautstärkeerhöhung (Differenz leise-mittel) in Ruhe (Kreis), im Störgeräusch (Sternchen) sowie im Median der Störgeräusche (Dreieck). Unten: Individuelle Änderung der präferierten Lautstärkeerhöhung durch Störgeräusche im Median im Vergleich zur Ruhe

Zusammenfassung & Diskussion

Diese Studie untersuchte ein bei Fraunhofer entwickeltes Verfahren zur Ermittlung von individuell bevorzugten Pegeln für höhere und tiefere Frequenzen, das bisher zur Einstellung von Wiedergabeparametern in Ruhe eingesetzt wurde. Das generelle Ziel war es zu untersuchen, inwieweit sich die Klangpräferenzen durch Anwesenheit von typischen Fahrgeräuschen im Vergleich zur Anpassung in Ruhe unterscheiden. Für die hier untersuchten normalhörenden Probanden zeigte sich in Übereinstimmung mit früheren Studien eine große interindividuelle Varianz der bevorzugten Parameter, was als generelle Bestätigung dafür gewertet werden kann, dass Klangpersonalisierung ein vielversprechender Ansatz ist, um individuelle Bedürfnisse und Präferenzen zu adressieren. Zugleich zeigte sich eine hohe intraindividuelle Stabilität bezüglich der individuellen Klangpräferenzen im Fahrgeräusch sowie in Ruhe (Test vs. Retest). Dies bestätigt, dass die durch eine Person einmal eingestellten Wiedergabeparameter auch in nachfolgenden ähnlichen Hörsituationen verwendet werden können, um die individuellen Klangpräferenzen zu erfüllen.

Ein ferner wichtiges Ergebnis der Studie ist, dass intraindividuell für verschiedene Fahrgeräusche häufig sehr ähnliche Klangpräferenzen gefunden wurden. Dies lässt darauf schließen, dass es für die in dieser Studie verwendeten Fahrgeräusche eine eher untergeordnete Rolle spielt, welches Fahrgeräusch für die Einstellung der Wiedergabeparameter verwendet wird, oder dass – in anderen Worten – bereits die Parameterermittlung mit einem Fahrgeräusch repräsentative Ergebnisse über die individuellen Präferenzen liefert.

Im Allgemeinen zeigten sich für alle Probanden durch die Anwesenheit von Fahrgeräuschen höher eingestellte Pegel sowie im Median eine Präferenz für mehr Tiefenbetonung im Vergleich zur Ruhe. Dies ist mit Blick auf die in modernen Fahrzeugen bereits etablierte dynamische Klanganpassung plausibel, wo bereits eine generische Tiefenbetonung sowie eine Anhebung der Lautstärke im Fahrzeug bei Erhöhung der Drehzahl im Fahrzeug durchgeführt wird. Die aktuellen Daten legen jedoch nahe, dass diese generische Anpassung an das Fahrgeräusch nicht ausreicht, um die hohe interindividuelle Variabilität hinsichtlich des Einflusses von Fahrgeräuschen auf die bevorzugte EQ-Balance sowie auf die gewünschte Pegelerhöhung zu bedienen. Aus diesen Gründen ist es sinnvoll, individuelle Klangpräferenzen im Fahrzeug auch in Abhängigkeit von Fahrgeräuschen zu berücksichtigen.

Literatur

[1] Saft, M., Hansen, M. und Rennies, J..: Evaluation des Zusammenhangs zwischen individuellen Klangpräferenzen und einer psychoakustischen Messgröße. Fortschritte der Akustik – DAGA 2014 (2014), 152-153

[2] Bruns, T., Oetting, D., Meis, M. und Rennies, J.: Method for analyzing personalized telephone speech in quiet and noisy environments in normal hearing and hearing impaired listeners. Speaach Communication 12. ITG Symposium (2016), 1-5

[3] Kubiak, A., Saft, M., Rennies, J. und Kollmeier, B.: Listener's preferences with respect to frequency shaping and loudness adjustments for music and speech reproduction. Fortschritte der Akustik – DAGA 2014 (2014), 495-496