

# Frequenzgang-Individualisierung von virtuellen Lautsprechersystemen

Michael Schöffler<sup>1</sup>, Wolfgang Heß<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.Schöffler IT-Entwicklungen, 76229 Karlsruhe, Deutschland, Email: michael.schoeffler@mschoeffler.de

<sup>2</sup> Harman/Becker Automotive Systems GmbH, 76307 Karlsbad, Deutschland, Email: wolfgang.hess@harman.com

## Einleitung

Der Klang eines Lautsprechersystems kann am einfachsten über Kopfhörer, über die ein reales Lautsprechersystem virtuell nachgebildet wird, bewertet werden. Direktes Umschalten zwischen verschiedenen Einstellungen und der dadurch mögliche Vorher-Nachher-Vergleich innerhalb von Millisekunden ermöglicht auch Laien ohne Gehörbildung eine intuitive und konsistente Klangbewertung.

Für dieses Verfahren werden Raumimpulsantworten, die das Lautsprecher-(Raum) System vollständig charakterisieren, durch einen Kunstkopf unter Einbeziehung der Kopfdrehung gemessen. Zur Wiedergabe des virtuellen Lautsprechersystems über Kopfhörer wird eine Faltungsmaschine benutzt, in die die gemessenen Filterdatensätze geladen werden, siehe [?].

Die in den Filtern enthaltenen Außenohr-Übertragungsfunktionen des Kunstkopfes entsprechen jedoch nicht exakt denen des (Zu-)Hörers, der anschließend über Kopfhörer hört. Zum Abgleich des Lautsprechersystems an einen gewünschten Ziel-Frequenzgang ist deshalb zuerst die Anpassung an den individuellen Hörer erforderlich.

Es wurde eine Software entwickelt, mit der ein individueller Hörer die Anpassung des Frequenzgangs vornehmen kann. Durch eine statistische Auswertung mehrerer individueller Frequenzgänge wurden Rückschlüsse auf signifikante Parameter gezogen. Die Ergebnisse der Auswertung bilden die Grundlage für eine Prognosefunktion, die eine Annäherung des optimalen Frequenzgangs für einen individuellen Hörer während eines Hörtestdurchlaufs berechnet.

## Hörtest

Durch den Hörtest sollen sowohl Muster, die Lautheitsabgleiche der Impulsantworten eines Raumes an einen Nicht-Raum bezüglich des Frequenzgangs beschreiben, entdeckt als auch die Prognosefunktion auf Plausibilität validiert werden.

Dem Proband wird während des Versuchs ein Abgleichsignal in Form von Weißem Rauschen vorgespielt. Der Proband gleicht dieses Signal ausgehend von einem Raum an einen Nicht-Raum hinsichtlich der Lautheit an. Das Signal wird für eine unterschiedliche Belegung von vier Eingangsparametern, d.h. Kanal, Kopfstellung, aktives Ohr und auditorisches Band, abgeglichen.

Es werden beide Kopfhörerkanäle abgeglichen, die zwei Schallquellen in einer Entfernung von 2 m zum Hörer, in einer Position von jeweils  $-30^\circ$  bzw.  $+30^\circ$  entsprechen. Es werden insgesamt 13 unterschiedliche Kopfpositionen im Bereich  $-45^\circ$ - $45^\circ$  abgedeckt. Der Abgleich wird für jedes Ohr separat vorgenommen. Das Eingangssignal wird für insgesamt 24 Frequenzbänder vom Proband abgeglichen. Diese entsprechen den auditorischen Bändern (ERB)[3]. Insgesamt werden somit 1248 Abgleiche (2 Ohren, 13 Kopfstellungen, 2 Ohren, 24 Frequenzbänder) vom Probanden vorgenommen.

Der Proband kann selbstständig zwischen dem Klang aus dem Raum und Nicht-Raum wechseln, und passt die Lautstärke immer ausgehend vom Raum an.

Jeder Proband kann den Hörtest nach einer kurzen Einführungsphase über das entwickelte VST-Plugin AuditPrediction selbstständig durchführen. Über eine Benutzeroberfläche kann der Proband ein beliebiges Frequenzband auswählen und abgleichen. Der virtuelle Raumklang wird über eine Faltungsmaschine erzeugt, die implizit über das VST-Plugin gesteuert wird.

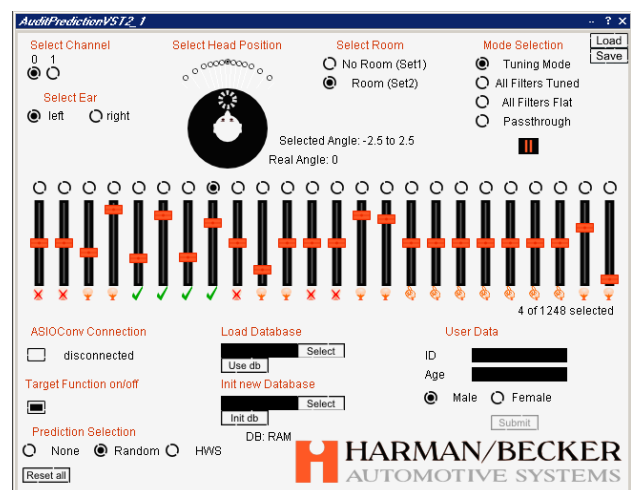


Abbildung 1: Die für den Hörtest entwickelte Software AuditPrediction.

## Prognosefunktion

In einer vorausgegangenen Arbeit[1] wurden bereits erste Muster der Abgleichseinstellungen verschiedener Probanden erkannt. Auf Basis dieser Muster wurde eine Prognosefunktion entwickelt, die den Proband bei der Frequenzgang-Individualisierung unterstützt.

Da mehrere Ansätze zum Zustandekommen der Diffe-

renzwerte gefunden wurden, beinhaltet die Prognosefunktion vier unterschiedliche Verfahren zur Vorhersage der Einstellungswerte von Reglern, die die Verstärkung bzw. Absenkung der einzelnen Frequenzbänder steuern.

**Clusteranalyse** Eine Clusteranalyse wird auf einen Datenbestand angewendet, um in Bezug auf Differenzwerte, ähnliche Schallquellen- und Hörpositionen zu gruppieren. Die noch abzugleichenden Differenzwerte werden anhand bereits eingestellter Differenzwerte der gleichen Gruppe vorhergesagt. Sind mehrere Differenzwerte einer Gruppe eingestellt, wird der Durchschnittswert genutzt.

**Spiegel-Tupel** Die Annahme, dass die Spiegelung einer Kombination aus Schallquelle und Kopfstellung eine hohe Ähnlichkeit der Differenzwerte aufweist, konnte durch die statistische Auswertung gezeigt werden. Ist eine Spiegelung einer Kombination aus Schallquelle und Kopfstellung bereits abgeglichen, wird der Differenzwert als Vorhersage für das gespiegelte Element genutzt.

**Interpolation über Kopfdrehung** Die Differenzwerte eines Frequenzbandes werden über die Kopfdrehung interpoliert.

**Interpolation über Distanz** Die Differenzwerte eines Frequenzbandes werden über die Distanz zwischen Lautsprecher und Ohr interpoliert.

Liefern mehrere Verfahren verschiedene Vorhersagen für einen Differenzwert, wird durch eine Gewichtung ermittelt, welcher Wert letztendlich vorhergesagt wird. Die Gewichtung basiert auf bereits durchgeführten Versuchsdurchgängen. Für jeden vorhergesagten Wert eines Verfahrens wird berechnet, in wie weit er von den Differenzwerten anderer Versuchsteilnehmer abweicht. Das Verfahren, das die Vorhersage mit der niedrigsten durchschnittlichen Abweichung getroffen hat, wird am stärksten gewichtet. Wurde für den Raum noch kein Hörtest durchgeführt, wird der Durchschnittswert der Teilprognosen verwendet.

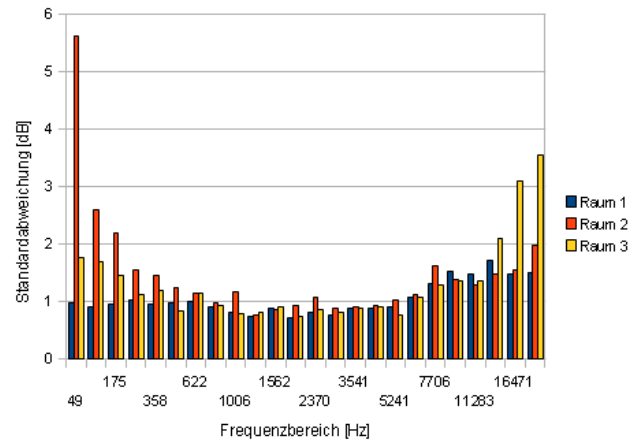
## Validierung

Der Proband kann jeden Differenzwert in 0.5 dB Schritten angleichen. Bei einem Vergleich zweier Versuchsdurchgängen einmal mit Prognosefunktion und einmal ohne Prognosefunktion zeigte sich, dass ohne Prognosefunktion 8918 Einstellungsschritte und mit Prognosefunktion 3674 Einstellungsschritte getätigt wurden. Das entspricht einer Minimierung auf 41,2% der ursprünglich erforderlichen Abgleiche. Die Prognose verkürzt somit den Zeitaufwand der Frequenzgang-Individualisierung deutlich. Insbesondere die Teilprognose Spiegel-Tupel führte zu sehr zuverlässigen Vorhersagen.

## Ergebnisse

Der Hörtest wurde von drei verschiedenen Personen im Alter von 25 bis 40 Jahren durchgeführt. Jeder Teilnehmer glich dabei drei Räume an einen neutralen Frequenzgang an.

In Abbildung 2 wird die Standardabweichung der Diffe-



**Abbildung 2:** Die Standardabweichung der einzelnen Versuchsteilnehmer in den unterschiedlichen Frequenzbändern.

renzwerte der Probanden visualisiert. Abgesehen von einigen Ausreißern in den unteren und oberen Frequenzbereichen, liegt die Standardabweichung deutlich unter 1,5 dB. Die Ausreißer in den entsprechenden Frequenzbereichen lassen sich durch sehr unterschiedliche Klangfarben erklären, die von den Versuchsteilnehmern individuell abgeglichen wurden.

Das Ergebnis zeigt auch, dass nur geringe Unterschiede zwischen den Teilnehmern bestehen.

## Ausblick

Die neu gewonnenen Ergebnisse der Hörtests bilden eine Basis für eine weitere Verfeinerung der Prognosefunktion. Durch verbesserte Gewichtung der Teilprognosen verschiedener Parameter kann die Frequenzgang-Individualisierung noch weiter beschleunigt werden.

Des Weiteren bestehen keine außergewöhnlichen Unterschiede zwischen den Teilnehmern. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass eine Frequenzgang-Individualisierung von einem bestehenden Datensatz einer anderen Person erfolgen kann und nur durch wenige Korrekturen optimiert werden muss.

## Literatur

- [1] Schöffler, M.: Frequenzgang-Individualisierung von virtuellen Lautsprechersystemen. Bachelor-Thesis, Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft, 2009
- [2] Heß, W.: Time-variant binaural-activity characteristics as indicator of auditory spatial attributes. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 2006
- [3] Patterson, R. D., M. H. Allerhand, and C. Giguère (1995): "Time-domain modeling of peripheral auditory processing: A modular architecture and a software platform", J. Acoust. Soc. Am., Vol. 98 (4), 1890-1894