

# Eine Vorhersagemethode für die Akzeptanz des akustischen Feedbacks von Drehstellern

Alexander Treiber<sup>1</sup>, Gerhard Gruhler<sup>1</sup>, Gregor Rozinaj<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Kraftfahrzeugtechnik und Mechatronik, 74081 Heilbronn, Deutschland, Email: treiber@hs-heilbronn.de*

<sup>2</sup> *Slovak University of Technology, 81219 Bratislava, Slowakei*

## Einleitung

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Komplexität von Assistenz- und Unterhaltungssystemen im Kraftfahrzeug haben sich menügeführte Benutzerschnittstellen als Standard etabliert. Diese Schnittstellen ermöglichen den Zugriff auf eine Reihe von Funktionen mit nur einigen wenigen Bedienelementen, die jedoch relativ häufig bedient werden müssen. Zur Vermittlung eines hohen Qualitätseindrucks spielen die haptische und akustische Qualität der Bedienelemente daher eine große Rolle. Diese Arbeit stellt eine Methode vor, wie mit Hilfe eines Bedienelements, dessen akustisches Feedback über einen Synthesealgorithmus beliebig einstellbar ist, ein mittels relativ weniger Parameter beschreibbares Zielgeräusch zu definieren. Ferner wird dargestellt, wie das so erhaltene Zielgeräusch als Basis bzw. als Referenz für die Qualitätssicherung des akustischen Feedbacks von Bedienelementen genutzt werden kann.

## Vorarbeiten

Im Laufe des Projekts wurde eine umfassende Datenbank bestehend aus (gegenwärtig ca. 17000) Aufnahmen realer elektromechanischer Bedienelemente erstellt. Diese wurden in einem hierfür entwickelten Prüfstand, bestehend aus reflexionsarmer Messkammer [1] und automatischer Betätigungseinheit, aufgenommen. Die so gewonnenen Aufnahmen können auf einer interaktiven Wiedergabeeinheit, dem sogenannten akustischen Simulator [2], dargeboten werden.

Dieser Simulator ist ein hochauflösendes rotatorisches Bedienelement ohne haptisch erkennbare Rastungen, minimaler Reibung und keinem akustischen Feedback. Mit Hilfe eines Mikrocontrollers werden nach frei definierbaren Drehwinkeln des Bedienelements Triggersignale an den angeschlossene PC übermittelt. Auf diesem PC ist die Synthese und Wiedergabe der Schaltgeräusche sowie die Versuchssteuerung implementiert. Die Konfiguration des Systems ermöglicht die Wiedergabe des akustischen Feedbacks innerhalb von 15 ms nach der mechanischen Auslösung und erfüllt damit die u.a. von Altinsoy [3] beschriebenen Anforderungen zur Haptisch-Auditiven Synchronität. Dies ist relevant, wenn der akustische Simulator für multimodale Versuche mit dem ebenfalls am Institut vorhandenen haptischen Simulator [4] gekoppelt wird. Die Wiedergabe erfolgt über einen vertikal über der Achse des Bedienelements montierten Hochtonlautsprecher, um die räumliche Korrelation sicher zu stellen.

In einer ersten Probandenversuchsreihe wurden acht reale Geräusche in einem vollständigen Paarvergleich unverändert dargeboten. Die Geräusche wurden von Experten ausgesucht und wiesen für verschiedene Bauarten von Drehstellern typische akustische Merkmale auf. Die Herangehensweise ist an [5] angelehnt. Dieser Versuch wies einen starken Zusammenhang zwischen der Amplitude des Signals und der Präferenz durch die Probanden auf. Eventuelle spektrale Einflüsse wurden hierdurch maskiert. In einer Folgestudie wurden den Probanden verschiedene auf Rauschen sowie periodischen Signalen basierende Geräusche präsentiert. Die Stimuli waren lautheitsnormiert und in ihrer Dauer und im Amplitudenverlauf realen Schaltgeräuschen ähnlich. Schmalbandige Stimuli wurden von der Mehrheit der Probanden abgelehnt.

Um für weitere Probandenversuche beschreibbare Stimuli synthetisieren zu können wurde ein Synthesizer für Schaltgeräusche implementiert, der auf dem von Gaver [6] vorgestellten Algorithmus basiert. Im Gegensatz zu Gavers Modell wird allerdings kein Sinus-Oszillator sondern ein Wavetable-Oszillator mit Terzbandrauschen eingesetzt und die Hüllkurve um eine logarithmische Anstiegsphase erweitert. Ferner verfügt jeder Oszillator über eine individuell einstellbare Hüllkurve, um Resonanzeffekte modellieren zu können. Da die Frequenz eines jeden Oszillators durch die Verwendung von Terzbändern festgelegt ist, sind daher pro Oszillator drei Parameter erforderlich:

- Anstiegszeit
- Abfallzeit bzw. Dämpfung
- Spitzenamplitude

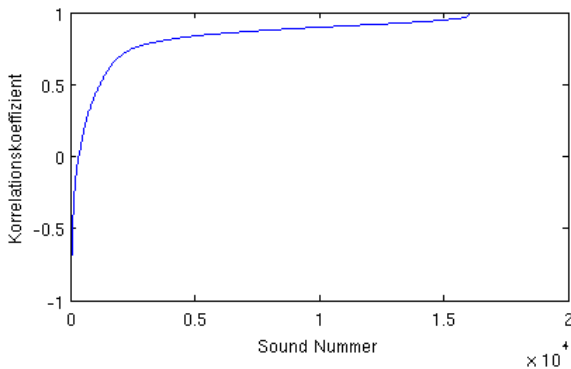
Da die in der Geräuschdatenbank vorkommenden Bedienelemente keine signifikanten Signalanteile unter 1 kHz enthalten, wurde das Synthesemodell ebenso wie die Wiedergabehardware auf Signale oberhalb von 800 Hz ausgelegt, demnach sind 15 Terzbänder erforderlich. Für eine vollständige Beschreibung des Signals werden entsprechend 45 Parameter benötigt. Da diese Zahl von Parametern nicht direkt durch Probanden sinnvoll kontrolliert werden kann, wurden in einem nächsten Schritt Parametervariationen innerhalb der in der Geräuschdatenbank vorkommenden realistischen Grenzen durchgeführt. Dies zeigte einen sehr geringen Einfluss der Anstiegszeit, womit diese für folgende Versuche fixiert wurde. Die verbleibenden Parameter wurden weitestgehend durch übergeordnete Parameter zusam-

men gefasst:

- Spektrum: Betonung hin zu tiefen oder hohen Frequenzen
- Frequenzabhängige Verlängerung oder Verkürzung der Dämpfung
- Gesamtamplitude

## Versuchsbeschreibung

Diese relativ geringe Anzahl von Parametern kann innerhalb eines Probandenversuchs adaptiv eingestellt und hierdurch das individuelle Zielgeräusch eines Probanden ermittelt werden. Die Parameter des so ermittelten Zielgeräuschs dienen als Referenz für den zweiten Teil des Probandenversuchs. Diese Parameter wurden für alle Geräusche in der Datenbank ebenfalls ermittelt. Unmittelbar nachdem das Zielgeräusch eingestellt wurde, werden die Parameter in der Datenbank mit denen der Zielgeräuschs korreliert. Es werden im An-

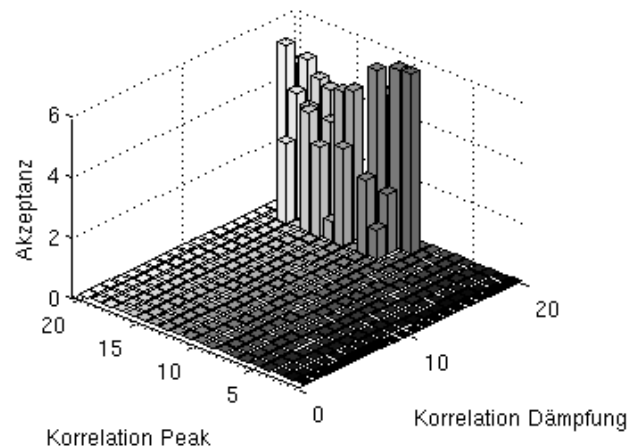


**Abbildung 1:** Beispielhafte Verteilung der Korrelationskoeffizienten

schluss 29 Geräusche ausgewählt, die dem Probanden zur Bewertung dargeboten werden. 20 Stimuli weisen zunehmend höhere Korrelation der Parameter Spektrum bzw. frequenzabhängige Dämpfung. Diese 20 Geräusche werden auf die vom Probanden gewünschte Amplitude normiert wiedergegeben. Die restlichen neun Stimuli wurden nur anhand ihrer Spitzenamplitude ausgewählt. Drei entsprechen möglichst genau den eingestellten Werten des Probanden, jeweils drei weisen eine um 10 dB höhere bzw. geringere Amplitude auf. Die Darbietung der 29 Stimuli erfolgt randomisiert, die Bewertung findet mittels einer Sieben-Punkt-Skala statt, auf der der akustische Gesamteindruck durch den Probanden bewertet wird. Aus der ersten Versuchsreihe war zu erwarten, dass die Probanden die zu lauten Geräusche signifikant schlechter bewerten.

## Ergebnisse

Tatsächlich erfolgte eine um 1,4 Punkte auf der normierten Skala schlechtere Bewertung, wogegen sich die Bewertung der zu leisen Geräusche nicht signifikant von der gewünschten Amplitude unterschied. Das Ergebnis hinsichtlich der Korrelation ist 2 zu entnehmen: schon



**Abbildung 2:** Akzeptanz in Anhängigkeit der Korrelation von Dämpfung und Spitzenamplitude

eine relativ geringe Abweichung der höchstmöglichen Korrelation des Dämpfungsparameters führt zu einem Rückgang der Akzeptanz, während beim Spektrum auch mittlere Werte vergleichsweise hohe Bewertungen zur Folge haben. Wie allerdings in Bild 1 zu sehen ist, weist der überwiegende Teil der Datenbank relativ hohe Korrelationswerte auf, für mittlere und niedrig korrelierte Werte ist für den beschriebenen Versuchsablauf demnach nur eine relativ niedrige Anzahl Stimuli verfügbar. Für die teilweise relativ hohen Bewertungen relativ schwach korrelierter Spitzenamplituden können demnach auch statistische Effekte verantwortlich sein.

## Literatur

- [1] Treiber, A.S., Gruhler, G.: Vorstellung eines mobilen Prüfstandes zur Messung der Akustik von Bedienelementen, DAGA 2007
- [2] Treiber, A.S., Häuptle, P., Rozinaj, G.: An Approach for a Simulator of the Acoustic Feedback of Control Elements, HAID'09 - 4th international workshop for Haptic-Audio Interaction Design
- [3] Altinsoy, E.: Perceptual Aspects of Audio-Tactile Asynchrony, 10th International Congress on Sound and Vibration 2003
- [4] Reisinger, J. et al: Haptical Feeling of Rotary Switches, EuroHaptics 2006
- [5] Patsouras, C., Biber, J., Ruth, W.: Gestaltung des subjektiven V8-Sounds, DAGA 2006
- [6] Gaver, W.W.: Synthesizing auditory icons, INTERACT'93