

Aktive Klanggestaltungs-konzepte für eine elektrische Parkbremse

Adam Kujawski¹, Oliver Jung²

¹ Adam Opel AG, 65423 Rüsselsheim, Deutschland, Email: adam.kujawski@opel.com

² Adam Opel AG, 65423 Rüsselsheim, Deutschland, Email: oliver.jung@opel.com

Einleitung

In Fahrzeugen der aktuellen Generation wurde die konventionelle mechanische Feststellbremse von der elektrischen Parkbremse weitestgehend abgelöst. Allerdings ist deren Geräusch oftmals sowohl aus klangästhetischer Sicht als auch in seiner Funktion als Informationsträger verbesserungswürdig. Abhängig von der Quellenstärke der Komponente sowie der Körper- und Luftschallübertragung in den Fahrzeuginnenraum wirkt das Funktionsgeräusch häufig störend oder ist durch die Maskierung seitens anderer Schallquellen nicht mehr zu hören.

Da das Geräusch jedoch über das korrekte Funktionieren der Komponente Auskunft gibt und somit eine sicherheitsrelevante Information beinhaltet, ist ein akustisches Feedback grundsätzlich erwünscht. Das Ziel der Arbeit war es herauszufinden, ob eine aktive Klanggestaltung des Funktionsgeräusches (*Abbildung 1*) in Bezug auf die empfundene Klangqualität und den Informationsgehalt sinnvoll ist und wie diese adäquat umgesetzt werden kann [1].

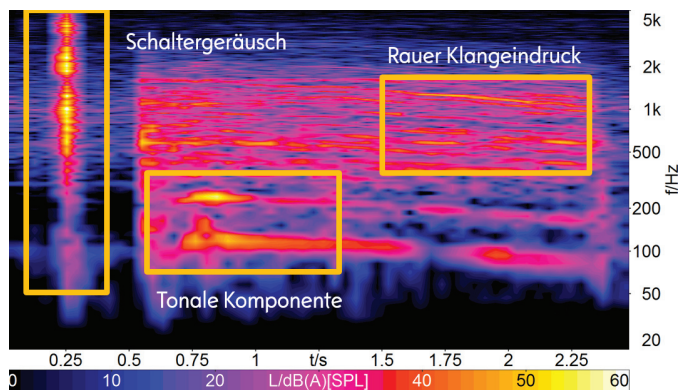


Abbildung 1: Spektrogramm der binauralen Tonaufnahme des Funktionsgeräuschs (rechtes Fahrerohr)

Methodik

Zunächst wurde eine binaurale Tonaufnahme des Funktionsgeräuschs erstellt und analysiert. Aufbauend auf den gewonnenen Informationen über die akustische Gestalt der elektrischen Parkbremse wurde dann eine große Vielfalt an Klängen mittels verschiedener Klangsyntheseverfahren (additive Synthese, subtraktive Synthese) und musikalischer Variationstechniken erstellt. Bei den beiden angewendeten Klanggestaltungsverfahren handelte es sich um die *Klanganreicherung* und die *Klanggestaltung durch Informationstöne*.

Bei der Klanganreicherung wurden schwache oder fehlende Frequenzkomponenten zum Ursprungssignal addiert

oder störende Anteile spektral verdeckt. Als Informationstöne wurden vorrangig kurze und prägnante Klänge verwendet, welche sowohl geräuschhaft als auch tonal gestaltet sein konnten. *Abbildung 1* zeigt die spektrale Ausprägung des Funktionsgeräuschs und *Abbildung 2* jeweils eine mögliche Modifizierung mit beiden Verfahren.

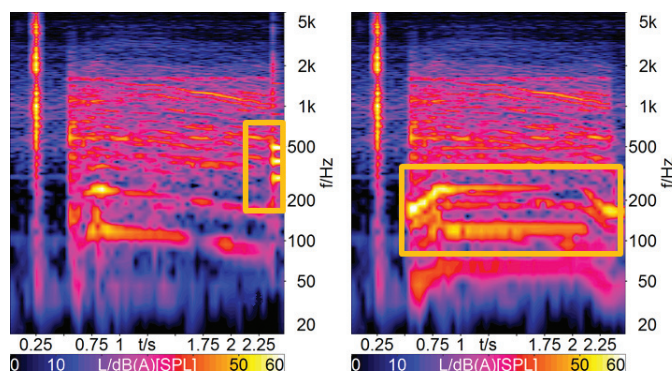


Abbildung 2: Modifizierung des Funktionsgeräuschs mit aktiven Klanggestaltungsverfahren (links: Informationston, rechts: Klanganreicherung)

Anschließend wurden die Klänge als Versuchsobjekte in einer Hörversuchsreihe mit unterschiedlicher Zielstellung eingesetzt. Der erste Hörversuch sollte unter Ausschluss von externen Einflüssen empirisch ermitteln, welches Konzept der aktiven Klanggestaltung sich für eine Verbesserung der psychoakustischen Eigenschaften *Hochwertigkeit* und *Lästigkeit* eignet. Um die Wirkung der Konzepte in Abhängigkeit des Fahrzeugs einzubeziehen, wurde die Bewertung der Eigenschaften für Funktionsgeräusche aus zwei unterschiedlichen Fahrzeugen durchgeführt.

Insgesamt beurteilten 32 Fahrzeugakustikexperten 14 unterschiedliche Stimuli, welche in einem Hörstudio binaural dargeboten wurden. Um Reihenfolgeeffekte auszuschließen, wurden die Stimuli in einer randomisierten Abfolge wiedergegeben. Zur Operationalisierung dienten bipolare Ratingskalen mit zusätzlich verbalisierten Skalschritten [2]:

- -3: wesentlich weniger hochwertig, -2: weniger hochwertig, -1: etwas weniger hochwertig, 0: neutral, 1: etwas hochwertiger, 2: hochwertiger, 3: wesentlich hochwertiger
- -3: wesentlich lästiger, -2: lästiger, -1: etwas lästiger, 0: neutral, 1: etwas weniger lästig, 2: weniger lästig, 3: wesentlich weniger lästig

Die Bewertung der Hochwertigkeit bzw. Lästigkeit erfolgte immer in Relation zum unbearbeiteten Original-

geräusch. Die Mitte der Skala (0) zeigt demnach an, dass zwischen dem Originalgeräusch und dem modifizierten Funktionsgeräusch keinerlei Verbesserung oder Verschlechterung hinsichtlich der empfundenen Hochwertigkeit bzw. Lästigkeit mit dem jeweiligen Klanggestaltungsverfahren erreicht werden konnte. Aufgrund der Ergebnisse des Hörversuchs im Labor (siehe *Hörversuch im Labor*) wurden im darauf folgenden Hörversuch im Fahrzeug ausschließlich Informationstöne hinsichtlich ihrer Eignung in Bezug auf die Funktion der elektrischen Parkbremse untersucht, nicht jedoch das Konzept der Klanganreicherung.

Um nicht nur die interne, sondern auch die externe Validität der Messergebnisse zu gewährleisten, wurden die Klänge unter realitätsnahen Bedingungen bei Benutzung der Parkbremse direkt im Fahrzeug hörbar gemacht. Hierzu wurde ein Computer über einen CAN-Router mit dem CAN-Bus des jeweiligen Fahrzeugs verbunden. Mit einer in MATLAB programmierten Software konnten dann alle notwendigen Informationen der Parkbremse (z. B. Start- und Endzeitpunkt des Funktionsvorgangs) für eine Ausgabe verschiedener Klänge über den Audioausgang des Rechners (verbunden mit dem Aux-Eingang des Fahrzeugs) ermittelt werden. Zudem war es möglich, einige Parameter der Audioanlage (Fader, Balance, etc.) separat zu steuern, wodurch eine Anpassung der Klänge hinsichtlich Lokalisierbarkeit und Lautstärke an den Klang des Funktionsgeräuschs im Fahrzeug individuell erfolgen konnte.

Insgesamt wurden 16 Klänge von 68 Probanden (32 Laien und 36 Fahrzeugakustikexperten) auf einer fünfstufigen Ratingskala mit entsprechender Verbalbeschreibung (*sehr schlecht* bis *sehr gut*) beurteilt. Die zu beantwortende Fragestellung lautete: "Wie gut gefällt Ihnen der Klang in Bezug auf die Funktion der elektrischen Parkbremse?"

Außerdem wurde ermittelt, ob ein Zusammenhang zwischen einem klanglichen Muster (auf- / absteigende Melodie, gebrochener Akkord, Signalton) und dem intuitiven Erkennen einer der beiden Funktionen der elektrischen Parkbremse (Öffnen / Schließen) hergestellt werden kann. Dazu mussten die Probanden selbstständig verschiedene klanglichen Muster den von ihnen vermuteten korrespondierenden Funktion zuordnen. Auch in diesem Hörversuch erfolgte die Darbietung der Klänge randomisiert.

Klanganalyse

Abbildung 1 zeigt die spektrale Ausprägung des Geräuschs eines Schließvorgangs im Fahrzeuginnenraum. Es ist ersichtlich, dass die tiefen Frequenzen unterhalb von 250 Hz einen tonalen Eindruck hervorrufen. Es kommt eine Vielzahl von höheren Frequenzkomponenten hinzu, die kein klares tonales Muster erkennen lassen, jedoch so nah beieinander liegen, dass ein rauer Klangeindruck entsteht. Das Abfallen in der Frequenz gegen Ende des Funktionsvorgangs vermittelt einen gequälten Klangeindruck. Versuchsfahrten haben zudem gezeigt, dass das Funktionsgeräusch in Abhängigkeit der Fahrbahnsteigung zeitlich stark variiert.

Hörversuch im Labor

Das Ergebnis in *Abbildung 3* (Bewertung der empfundenen Hochwertigkeit) zeigt, dass mit den untersuchten Stimuli nur eine sehr geringe Verbesserung des Gesamtklangs erzielt werden konnte. Dennoch sind mit den Stimuli 13 (tieffrequente Klanganreicherung) und 8 (Informationston) für beide Verfahren Einzelbeispiele vorhanden, die das Potential einer Optimierung besitzen. Diese fällt jedoch unterschiedlich aus. Während mit Stimulus 13 sowohl eine Steigerung der Hochwertigkeit als auch eine Tendenz zur Senkung der Lästigkeit erreicht werden konnte, bewirkte der Informationston ausschließlich eine Verbesserung der wahrgenommenen Hochwertigkeit.

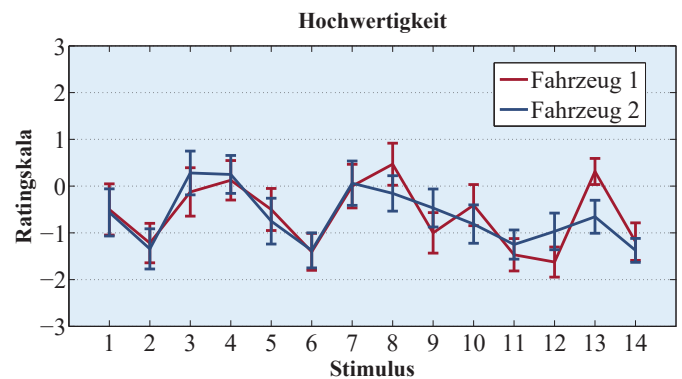


Abbildung 3: Bewertung der empfundenen Hochwertigkeit der Stimuli bei Fahrzeug 1 & 2, Mittelwerte mit Konfidenzintervall (95 %)

Generell wird der Einsatz von Informationstönen zur Verbesserung der Hochwertigkeit im Mittel signifikant besser bewertet als die Klanggestaltung mittels Klanganreicherung. Des Weiteren besteht zwischen den Variablen Hochwertigkeit und Lästigkeit ein starker korrelativer Zusammenhang.

Hörversuch im Fahrzeug

Werden die Mittelwerte mit zugehörigem Konfidenzintervall (95 %) der einzelnen Stimuli in *Abbildung 4* betrachtet, fällt auf, dass keiner der untersuchten Klänge als sehr gut bewertet wurde. Hochfrequente bzw. breitbandige und synthetische Informationstöne wurden jedoch signifikant besser bewertet als geräuschhafte oder tieffrequente. Die Anzahl der Töne spielte nur eine untergeordnete Rolle bei der Bewertung, ob ein Klang in Bezug zur Funktion der elektrischen Parkbremse gefällt. Für Gestaltungsparameter wie die Impulshaftigkeit oder Länge des Klangs konnte kein signifikanter Einfluss nachgewiesen werden.

Eine präferierte Zuordnung von musikalischen Variationstechniken zu den Funktionen Öffnen und Schließen konnte ebenfalls nicht festgestellt werden. Ausschließlich das Motiv der Tonwiederholung eines Einzeltons wurde von 84 % der befragten Probanden eindeutig dem Schließen der Parkbremse zugeordnet.

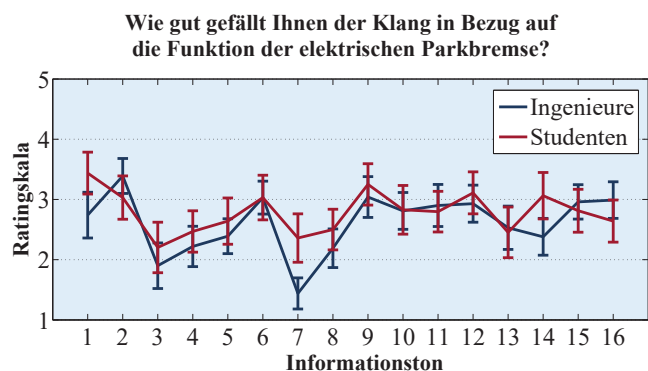


Abbildung 4: Bewertung der im Fahrzeug dargebotenen Informationstöne, Mittelwerte mit Konfidenzintervall (95 %)

Diskussion

Wie diese Studie gezeigt hat, steckt sowohl in der aktiven Klanggestaltung mittels Klanganreicherung als auch in der aktiven Klanggestaltung durch Informationstöne ein Potential zur Verbesserung der akustischen Qualität der elektrischen Parkbremse. Dieses ist jedoch möglicherweise begrenzt, da eine Klanganreicherung noch kein vollständig neues Funktionsgeräusch darstellt. Die klanglichen Probleme des Funktionsgeräusches werden damit nur kaschiert und nicht endgültig behoben. Allerdings bietet die Klanggestaltung mit Informationstönen die Möglichkeiten, den Informationsgehalt zu erhöhen, indem beispielsweise eine Unterscheidung zwischen dem Öffnungs- und Schließvorgang auditiv deutlich gemacht werden kann.

Die uneindeutigen Ergebnisse im Laborversuch lassen vermuten, dass der Einsatz von Fahrzeugakustikexperten als Hörversuchsprobanden in diesem Fall nur bedingt zielführend war. Ein großer Teil der Probanden arbeitet üblicherweise vorrangig an der Reduktion von Störgeräuschen bei akustisch problembehafteten Fahrzeugkomponenten. Ein Hinzufügen von Klangkomponenten und die damit teilweise in Kauf genommene höhere Gesamtlautstärke des Geräusches wurde daher möglicherweise besonders kritisch beurteilt. Anhand von Kommentaren einiger Probanden ließen sich zudem einige Vorbehalte gegenüber dem neuartigen Konzept der aktiven Klanggestaltung feststellen, was das Ergebnis durchaus negativ beeinflusst haben könnte.

Bezüglich einer präferierten Zuordnung eines bestimmten musikalischen Motivs (aufsteigende, absteigende Linie) zu einer bestimmten Funktion (Öffnen / Schließen) hat sich gezeigt, dass bei den Versuchspersonen noch keinerlei die Funktion betreffende Hörgewohnheit ausgeprägt ist. Damit ist die intuitive Zuordnung der Klänge zu einer der beiden Funktionen frei erlernbar. Dies gilt jedoch nicht für das Motiv der Tonwiederholung bei einem Einzelton. 84 % der befragten Versuchspersonen haben den Doppelton dem Schließgeräusch zugeordnet, wonach sich vermuten lässt, dass dies ein bereits erlerntes Konzept darstellt. Möglicherweise haben Probanden unbewusst von ihren Erfahrungen mit dem Abschließen eines Fahrzeuges Gebrauch gemacht. Dort ist ein ähnliches Konzept be-

reits auf optischer Ebene etabliert. Schließt man heute ein Fahrzeug von außen mittels Fernsteuerung ab, dann reagiert bei zahlreichen Herstellern die Lichtanlage mit einem doppelten Lichtimpuls. Wird das Fahrzeug jedoch geöffnet, dann wird dies durch einen einfachen Impuls signalisiert. Diese Analogie könnte dafür verantwortlich sein, dass ein derart eindeutiges Ergebnis in Bezug auf die Zuordnung der Klänge zustande kam.

Bezüglich der technischen Realisierbarkeit einer aktiven Klanggestaltung hat der Hörversuch im Fahrzeug gezeigt, dass bei einer Betätigung der Parkbremse problemlos verschiedene Stimuli über die Audioanlage im Fahrzeug wiedergegeben werden können. Der CAN-Bus liefert alle Informationen der elektrischen Parkbremse und der Audioanlage, welche für eine Signalverarbeitung nötig sind, in für diesen Zweck ausreichender Geschwindigkeit. Damit ist ein präzises Auslösen von Klängen an unterschiedlichen Stellen im Fahrzeug zu jedem Zeitpunkt möglich. Allerdings muss beachtet werden, dass sich die Länge des Funktionsgeräusches in Abhängigkeit der Steigung der Fahrbahn ändert. Dies erschwert die technische Umsetzung zeitvarianter Gestaltungskonzepte. Die Klanggestaltung muss demzufolge so konzipiert sein, dass die Unterschiede in der Länge des Originalgeräusches keinen signifikanten Einfluss auf die Wirkung, den Informationsgehalt oder die Klangqualität der Kombination zwischen Original und additiver Komponente hat.

Hinsichtlich der Akzeptanz einer aktiven Klanggestaltung konnte keine abschließende Aussage getroffen werden. Diese variierte stark in Abhängigkeit des dargebotenen Stimulus.

Ausblick

Um abschließend eine Aussage über die Akzeptanz oder Gestalt einer aktiven Klanggestaltung für die elektrische Parkbremse treffen zu können, sind noch eine Reihe von Feldversuchen nötig. Es erscheint jedoch sinnvoll, eine kombinierte Anwendung der beiden untersuchten Klanggestaltungsvarianten anzustreben. Ein weiterer Schritt könnte die Bewertung der im zweiten Hörversuch verwendeten Klänge in anderen Fahrzeugen sein. Dies würde einerseits eine genauere Aussage über die ideale Gestaltung eines zur elektrischen Parkbremse passenden Informationstons liefern und andererseits zeigen, ob in anderen Fahrzeugen eine abweichende Wahrnehmung der Klänge erfolgt.

Ferner ist auch eine Ausweitung der Anwendung aktiver Klanggestaltungskonzepte auf andere Fahrzeugkomponenten und Funktionsgeräusche denkbar, etwa auf elektrische Verstellmotoren im Fahrzeuginnenraum.

Literatur

- [1] Kujawski, A.: Aktive Klanggestaltung von Fahrzeugkomponenten am Beispiel der elektrischen Parkbremse, HS Düsseldorf, Bachelorarbeit (2015)
- [2] Bech, S. & Zacharov, N: Perceptual Audio Evaluation. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester West Sussex, 2006