

Störempfinden bei gleichzeitiger Entertainmentwiedergabe im Fahrzeug

René Skowronek¹, Christian Volkmar¹

¹IAV GmbH, 80807 München, E-Mail: rene.skowronek@iav.de

Einleitung

Die Zeit, die täglich im Fahrzeug verbracht wird, steigt seit Jahren kontinuierlich an. Das deshalb immer wichtiger werdende Entertainment für Passagiere ist derzeit hauptsächlich auf eine gemeinsame Entertainmentquelle beschränkt. Die Verwendung von Kopfsützenlautsprechern soll individuelle Audiozonen schaffen, durch die eine gleichzeitige Entertainmentwiedergabe ermöglicht werden soll. Das dabei entstehende Übersprechen der Audiozonen soll durch ein Verfahren reduziert werden, das auf zwei Grundprinzipien beruht:

1. Adaptive Lautheitsanpassung

Die unterschiedlichen Audiosignale sollen digital, adaptiv durch eine Automatic Gain Control (AGC) auf die gleiche Lautheit geregelt werden, um die spektrale Verdeckung zueinander auszugleichen. Dafür wird der LKFS-Wert nach der Norm ITU-R BS.1770-2 berechnet. [1]

2. Dynamikreduktion

Durch die Reduktion der Dynamik sollen laute Signalanteile abgefangen werden, um das Übersprechen in andere Audiozonen zu verhindern. Außerdem sollen leise Signalanteile angehoben werden, um von lauterem Signalen nicht so leicht verdeckt zu werden. Somit soll eine möglichst konstante spektrale Maskierung für alle Audiozonen erreicht werden. [2]

Ein Hörversuch soll Aufschluss darüber geben, ob das Verfahren zu einer insgesamt Erhöhung der Übersprechdämpfung in den Audiozonen führt und über einen möglichen Lautstärkeregelbereich innerhalb einer Audiozone geben.

Versuchsdurchführung

Der Hörversuch wurde im Versuchsfahrzeug durchgeführt, in dem Lautsprecher nah an den Ohrpositionen integriert sind. Dabei wurden nur die Audiozonen auf dem Beifahrerplatz (Audiozone A) und auf dem Rücksitz hinter dem Beifahrer (Audiozonen B) betrachtet. 20 Probanden führten jeweils zwei Versuchsteile durch, einen um die Übersprechdämpfung zu validieren (Versuchsteil 1) und einen um den Lautstärkeregelbereich zu untersuchen (Versuchsteil 2). Dabei wurden laute, dynamische und sprachlastige Entertainmentssignale (Audiotypen) in allen sechs möglichen Kombinationen an den jeweiligen Sitzplätzen ausgegeben. Laute Musiksignale sind Musikstücke, die eine geringe Dynamik aufweisen und eine hohe digitale Aussteuerung besitzen. Als dynamische Signale werden Musikstücke bezeichnet, die einen großen Dynamikumfang aufweisen. Darunter fällt u.a. klassische Musik. Audiosignale, wie beispielsweise Hörspiele, die hauptsächlich von Stimmen und Sprache dominiert werden, werden als sprachlastige Signale bezeichnet.

Versuchsteil 1

In Versuchsteil 1 wurden in Audiozone A und Audiozone B gleichzeitig unterschiedliche Audiosignale abgespielt. Diese zwei Audiosignale können als ein Szenario

zusammengefasst werden. Durch die unterschiedlichen Audiosignale bilden die Szenarien unterschiedliche Audiotypkombinationen ab. Eine Übersicht der Szenarien bietet Abbildung 1. Die Testpersonen hatten hierbei die Möglichkeit so oft zwischen den bearbeiteten und den originalen Versionen hin und her zu schalten wie sie mochten. Die Probanden wurden angehalten zu bewerten, wie sich der Störeinfluss des Übersprechens von der fremden Audiozone auf die eigene Audiozone beim Umschalten verändert. Es galt also zu bewerten, ob das Audiosignal aus der anderen Audiozone nach dem Umschalten störender wurde, oder ob sich der Störeinfluss verringerte.

Hierfür stand eine Bewertungsskala zur Verfügung, die durch einen Slider mit 19 Stufen realisiert wurde und von den Probanden eingestellt werden konnte. Sie bot die Möglichkeit den Störeinfluss von „sehr viel größer“ (-9) bis „sehr viel weniger“ (+9) zu bewerten.

Anhand einer Lautheitsanalyse der originalen Versionen, wurden zu jedem Szenario Hypothesen festgelegt (siehe Abbildung 1). Dabei wurde davon ausgegangen, dass sich der Störeinfluss in der Audiozone mit dem leiseren Originalsignal verringert und in der Audiozone mit dem lauterem Originalsignal erhöht.

Szenario	Audiosignal vorne	Audiosignal hinten	Audiotyp	Sitzposition	Hypothese des Störeinflusses
1 (A)	Juli – Warum	Jamiroqui – White Knuckle Ride	I – I	Hinten	>0
2 (B)	Juli – Warum	Stravinsky – Firebird	I – d	Hinten	>0
3 (C)	Jamiroqui – White Knuckle Ride	Dan Brown – Meteor	I – s	Hinten	>0
4 (D)	Stravinsky – Firebird	Bach – Air	d – d	Hinten	>0
5 (E)	Stravinsky – Firebird	Drei Fragezeichen – Blutspuren	d – s	Hinten	<0
6 (F)	Drei Fragezeichen – Blutspuren	Dan Brown – Meteor	s – s	Hinten	>0
7 (G, a)	Juli – Warum	Jamiroqui – White Knuckle Ride	I – I	Vorne	<0
8 (H, b)	Juli – Warum	Stravinsky – Firebird	I – d	Vorne	<0
9 (I, c)	Jamiroqui – White Knuckle Ride	Dan Brown – Meteor	I – s	Vorne	<0
10 (J, d)	Stravinsky – Firebird	Bach – Air	d – d	Vorne	<0
11 (K, e)	Stravinsky – Firebird	Drei Fragezeichen – Blutspuren	d – s	Vorne	>0
12 (L, f)	Drei Fragezeichen – Blutspuren	Dan Brown – Meteor	s – s	Vorne	<0
13 (M)	Jamiroqui – White Knuckle Ride	Juli – Warum	I – I	Vorne	>0
14 (N, g)	Stravinsky – Firebird	Juli – Warum	d – I	Vorne	>0
15 (O, h)	Dan Brown – Meteor	Jamiroqui – White Knuckle Ride	s – I	Vorne	>0
16 (P)	Bach – Air	Stravinsky – Firebird	d – d	Vorne	>0
17 (Q, i)	Drei Fragezeichen – Blutspuren	Stravinsky – Firebird	s – d	Vorne	<0
18 (R)	Dan Brown – Meteor	Drei Fragezeichen – Blutspuren	s – s	Vorne	>0

Abb. 1: Liste der Szenarien mit Hypothesen

Versuchsteil 2

In Versuchsteil 2 wurden den in Audiozone A sitzenden Probanden wieder unterschiedliche Audiotypkombinationen dargeboten (siehe Abbildung 1). Sie entsprechen den durch das Verfahren bearbeiteten Versionen und ein hin- und herschalten war in diesem Versuchsteil nicht möglich. Mit Hilfe eines Lautstärkereglers konnte das Audiosignal in Audiozone B in der Lautstärke geregelt werden. Die Probanden sollten mit dem Lautstärkeregel zwei Grenzwerte einstellen. Den Lautstärkewert 1, bei dem sie von dem Audiosignal in Audiozone B gerade so nicht gestört wurden und den Lautstärkewert 2, bei dem die Störung gerade noch akzeptabel war. Lautstärkewert 1 entspricht der unteren Akzeptanzschwelle und spiegelt somit die maximale Lautstärke in Audiozone B wider, die für einen komfortablen Musikkonsum geeignet ist. Die obere Akzeptanzschwelle wird durch den Lautstärkewert 2 beschrieben. Es ist die Lautstärke, bei der ein akzeptabler Musikkonsum gerade noch möglich ist. Das Audiosignal aus Audiozone B wurde dabei

wahrgenommen aber als nicht störend empfunden. Sobald diese Schwelle überschritten wurde, wurde das Audiosignal aus Audiozone B als störend empfunden. Der Bereich zwischen diesen Werten kann als Akzeptanzbereich bezeichnet werden. In Abhängigkeit der eingestellten Werte lässt sich daraus auf den Lautstärkeregelbereich schließen.

Messergebnisse

Versuchsteil 1

Die eingestellten Werte im Versuchsteil 1 sollten dazu verwendet werden die Funktionsweise des Verfahrens zu validieren. Dafür sollten zuerst die Störeinflusstendenzen der einzelnen Szenarien betrachtet werden. Hierbei sollte eine allgemein gleiche Tendenz der Probanden erkennbar sein, die entweder größer Null (Störeinfluss wird weniger) oder kleiner Null (Störeinfluss wird größer) ist. Anschließend wurde jedes Szenario mit seinem Gegenszenario verglichen um die insgesamt Störeinflussänderung zu ermitteln.

Für einen Überblick über die eingestellten Werte wurden in Abbildung 2 Boxplots für die einzelnen Szenarien dargestellt. Die Nummern entsprechen den jeweiligen Fallnummern. Die blauen Markierungen bei den Werten -9 und 9 kennzeichnen die erwartete Tendenz (H_1) für die einzelnen Szenarien. Die Szenarien bei denen eine signifikante Tendenz ermittelt wurde werden durch die grünen Balken hinterlegt. Die gelben Balken kennzeichnen die Szenarien bei denen keine Signifikanz nachgewiesen werden konnte.

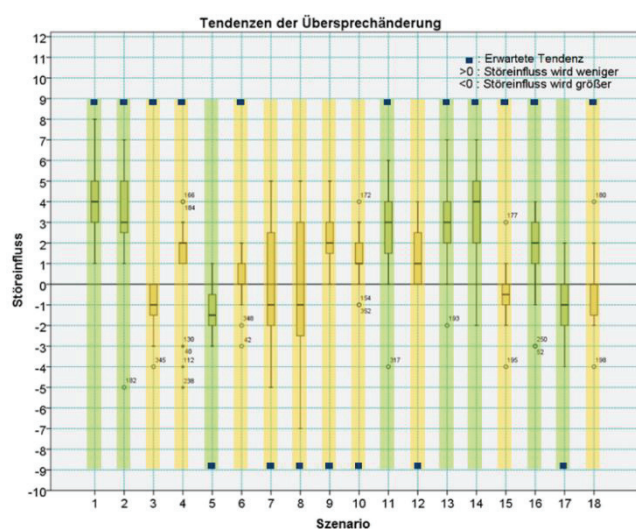


Abb. 2: Tendenzen der Übersprechänderung und deren Hypothesen

Es ist zu erkennen, dass die Boxen der meisten Szenarien entweder ausschließlich auf der positiven oder negativen Seite liegen. Außerdem sind die Boxen, in der 50% der Werte liegen, relativ kurz und weisen somit eine geringe Schwankung auf. Lediglich Szenario 7 und 8 weichen von diesem Verhalten ab. Lässt man sie außen vor, ist die maximale Boxenlänge der restlichen Szenarien 3 Einheiten lang (Szenario 14). Allerdings gab es bei einigen dieser Szenarien auch Probanden, die die Übersprechänderung anders wahrgenommen haben. Das ist an den Ausreißern und an den Antennen zu erkennen, die über die Nullgrenze hinausgehen. Dennoch nehmen in allen Fällen (außer Szenario 7 und 8) mindestens 75% der Probanden die Übersprechänderung gleich wahr.

Die Streuung könnte an der zeitlichen Konstellation der Signale liegen. Da dynamische und sprachlastige Signale

durch laute und leise Passagen geprägt sind, kann es vorkommen, dass das Übersprechen zeitweise besser und zeitweise schlechter wahrgenommen wurde. Je nachdem bei welcher Passage der Musikstücke eine Bewertung abgegeben wurde, kann es einen Einfluss auf die Störeinflussänderung haben. In Szenario 7 und 8 beginnt ein Musikstück sehr laut und wird dann allmählich an die Ziellautheit angepasst. Bis dieser laute Beginn runtergeregelt wird vergehen ca. 10 Sekunden und ein Übersprechen ist möglich. Da der Titel am Anfang laut ist, kann es passieren, dass der Störeinfluss beim Umschalten in diesem Zeitraum weniger wird. Bei einer Beurteilung in diesem Zeitraum könnten also Werte eingestellt worden sein, die der Hypothese widersprechen.

Auffällig sind außerdem die Szenarien mit sprachlastigen Hörspiel (Szenarien 3,9,12,15 und 18). Die Regelung scheint nach Betrachtung der Ergebnisse bei sprachlastigen Signalen nicht optimal zu funktionieren. Durch die Pausen im Signal könnte es zu Mittelungszeiten und Regeldauern kommen, die dazu führen, dass die Regelung nicht angemessen erfolgt. Außerdem scheint aufgrund der vielen Pausen in Sprachsignalen und der ständig schwankenden Lautheit, der Störeinfluss zeitlich abhängig zu sein. Möglicherweise werden Sprachsignale auch schneller als störend empfunden und anders vom Hörer wahrgenommen als andere Audiotypen.

Da die einzelnen Szenarien noch keinen Überblick über die insgesamt Störeinflussänderung aller Audiozonen geben, sollten diese noch ermittelt werden. Dafür wurden die Szenarien mit ihren Gegenszenarien verglichen. Dabei ist für ein positives Ergebnis von Bedeutung, dass der Störeinfluss in Audiozone A deutlich weniger wird, während er in Audiozone B nur geringfügig größer wird oder umgekehrt. Damit die Sitzposition keinen Einfluss auf das Ergebnis hat, wurde der Vergleich auf der vorderen Sitzposition durchgeführt und lediglich die Audiosignale vertauscht. Das Ergebnis dieser Untersuchung sollte durch einen Wert pro Proband beschrieben werden können, der die insgesamt Störeinflussänderung repräsentiert. Dabei wurde jeweils der Wert des Szenarios mit dem Wert des Gegenszenarios der einzelnen Probanden verglichen, um die subjektive Wahrnehmung pro Proband zu beachten und in Boxplots dargestellt (Abbildung 3).

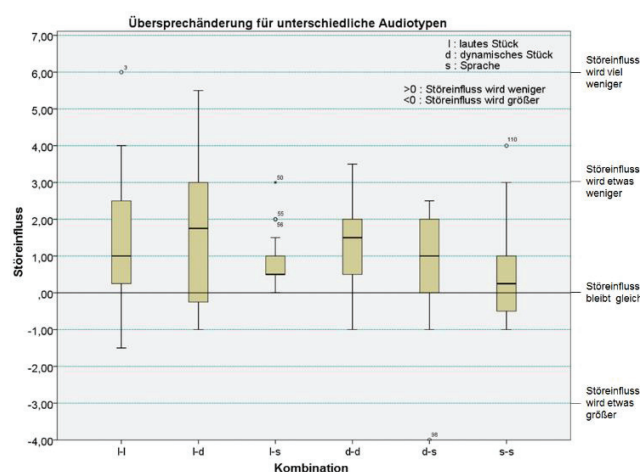


Abb. 3: Übersprechänderung für unterschiedliche Audiotypen

Bis auf die Kombination s-s sind bei allen Kombinationen die eingestellten Werte signifikant größer als Null. Daraus folgt, dass bei diesen Kombinationen der Störeinfluss insgesamt

weniger wird. Der positive Effekt des Verfahrens ist also deutlich erkennbar. Allerdings gehen dabei nur vereinzelt Bewertungen über den Bereich "Störeinfluss wird etwas weniger". Die Regelung des Verfahrens scheint somit bei sprachlastigen Signalen weniger gut zu funktionieren, wodurch der Effekt weniger stark in Kraft tritt. Ein weiterer Grund könnte sein, dass Sprache als besonders störend empfunden wird. Es wäre denkbar, dass die Probanden leichter von einem Sprecher gestört werden als von einem Musiksignal.

Versuchsteil 2

Die Auswertung des zweiten Versuchsteils sollte Aufschluss über einen möglichen Lautstärkeregelbereich geben. Die zwei Werte die die Probanden eingestellt haben sollten dazu verglichen werden (obere und untere Akzeptanzschwelle). Die Differenz dieser zwei Werte würde theoretisch den Lautstärkeregelbereich definieren, allerdings galt es dabei stets auch die andere Audiozone im Auge zu behalten. Hier darf der Störeinfluss ebenfalls nicht zu groß werden. Deswegen sollte zwischen einem Lautstärketoleranzbereich und einem Lautstärkeregelbereich unterschieden werden. Der Lautstärketoleranzbereich ist der Bereich, der durch die Werte der Testpersonen ermittelt wurde, ohne dabei die andere Audiozone zu berücksichtigen. Der Lautstärkeregelbereich leitet sich vom Lautstärketoleranzbereich ab. Allerdings wurde hierbei das Augenmerk auf die andere Audiozone gelegt. Dabei wurde der Fokus auf die eingestellten Grenzen der einzelnen Probanden gelegt. Dafür wurde die Differenz der oberen und unteren Grenze für jede einzelne Testperson berechnet und diese werden anschließend in einem Boxplot abgebildet (siehe Abbildung 4).

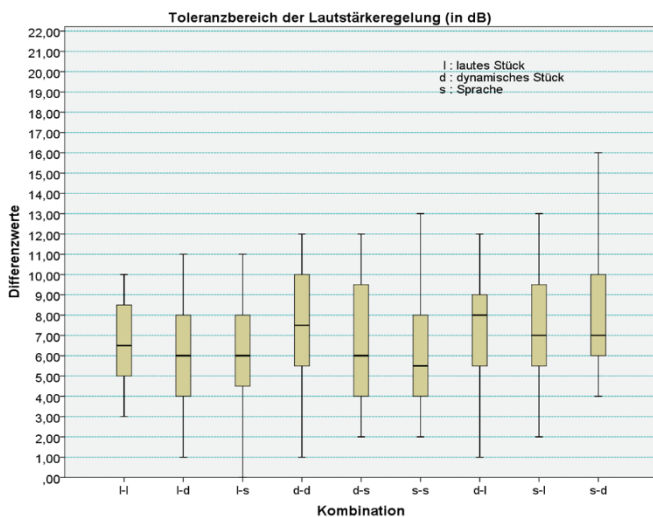


Abb. 4: Toleranzbereich der Lautstärkeregelung (in dB)

Obwohl deutliche Schwankungen erkennbar sind, liegt das untere Quartil in allen Kombinationen deutlich über der Nulllinie, was auf einen Toleranzbereich hindeutet. Die Boxen befinden sich außerdem bei ungefähr ähnlichen Werten. Der Toleranzbereich scheint somit in dieser Darstellung über alle Kombinationen hinweg relativ konstant zu sein. Der Median variiert hierbei zwischen 5,5 dB und 8,0 dB.

Bis auf wenige Ausnahmen wurde das Audiosignal in Audiozone B grundsätzlich leiser geregelt. Damit diese Regelung von dem Passagier in Audiozone B jedoch akzeptiert wird, müsste es für ihn in Ordnung sein, dass das

Audiosignal in Audiozone A lauter ist. Nach den bisherigen Erkenntnissen würde vermutlich allerdings ebenfalls ein leiseres Signal in Audiozone A bevorzugt werden, um den Störeinfluss für einen angenehmen Audiokonsum gering zu halten.

Diese Voraussetzung könnte durch eine Erhöhung der Übersprechdämpfung durch weitere Verfahren ermöglicht werden. Je größer die Übersprechdämpfung wird, ein desto größerer Regelbereich stellt sich ein, da eine Regelung in den positiven Bereich ermöglicht wird.

Zusammenfassung

Das Ergebnis des Hörversuchs zeigt, dass der Störeinfluss zwischen den Audiozonen insgesamt verringert wird und somit die Übersprechdämpfung zwischen den Audiozonen erhöht wird. Weiterhin wurde ersichtlich, dass die Probanden einen Toleranzbereich für Störeinflüsse von durchschnittlich ca. 7 dB aufweisen. Das Audiosignal der fremden Audiozone wurde allerdings deutlich leiser geregelt, wodurch der Toleranzbereich in der Praxis noch nicht in einen Lautstärkeregelbereich umsetzbar ist. Wenn ausschließlich dieses Verfahren verwendet wird, ist ein Lautstärkeregelbereich nicht möglich. Daraus wird auch deutlich, dass noch keine vollständige Akzeptanz gegeben ist, da die Probanden das Audiosignal der fremden Audiozone trotz einer Erhöhung der Übersprechdämpfung leiser regeln, um sich eine komfortable Abhörbedingung zu schaffen.

Die Verwendung unterschiedlicher Audiotypen zeigte Schwächen des Verfahrens bei sprachlastigen Signalen auf. Sprachsignale wurden von den Testpersonen als am störendsten bewertet und deutlich aus der fremden Audiozone wahrgenommen. Trotz der Bearbeitung der Audiosignale ist der Störeinfluss weiterhin abhängig von der zeitlichen Veränderung der Signale.

Es wurde deutlich, dass eine Verbesserung der Übersprechdämpfung durch dieses Verfahren erreicht wird. Zur weiteren Optimierung wäre es interessant eine Studie durchzuführen, die die Empfindlichkeit der Probanden auf Dynamikkompensation von Audiosignalen im Fahrzeug testet. Anhand der Ergebnisse könnte möglicherweise eine stärkere Kompression verwendet und somit eine bessere Übersprechdämpfung erreicht werden, wobei die wahrgenommene Audioqualität erhalten bleibt. Durch die Kombination weiterer Verfahren (z.B. ANC) könnte die Übersprechdämpfung weiter gesteigert werden und möglicherweise die Nutzung des Lautstärkeregelbereichs realisiert werden.

Literatur

- [1] I. T. Union, Algorithms to measure audio program loudness and true-peak audio level, Recommendation ITU-R BS.1770-2, 2011
- [2] K. Fellbaum, Sprachverarbeitung und Sprachübertragung, Springer Verlag, 2012