Klangfarbenunterschiede bei Variation der Ordnungspegelzusammensetzung

Christine Patsouras

ArvinMeritor Emissions Technologies GmbH, 86154 Augsburg, Deutschland,
Email: christine.patsouras@arvinmeritor.com

Einleitung

Bei der Entwicklung von Abgasanlagen werden vom Automobilhersteller zunehmend detaillierte Zielkurven für einzelne Ordnungspegelverläufe des Mündungsgeräusches eines Hochlaufs spezifiziert. Die unterschiedliche Zusammensetzung der Ordnungspegel beeinflusst nicht nur die Klangfarbe des Hochlaufs, sondern dadurch auch mit dem Fahrzeug assoziierte Fahreigenschaften, wie z.B. Sportlichkeit oder Luxuriösität.

Ziel der vorliegenden Studie ist es Klangfarbenunterschiede, die unterschiedliche Ordnungspegelzusammensetzungen hervorrufen können, systematisch zu untersuchen. Dies geschieht anhand von Hochlaufsynthesen mit gezielt veränderten Ordnungspegelzusammensetzungen und subjektiven Beurteilungen.

Synthese von Hochläufen

Die synthetisierten Hochläufe wurden durch Addition von Sinus-Sweeps für alle ganzen und halben Motorordnungen zwischen der 1. und 12. Ordnung realisiert. Start bzw. Stopfrequenzen orientieren sich hierbei an einer fiktiven Start- bzw. Stopdrehzahl von 2000 bzw. 6000 U/min. Alle Hochläufe wurden für eine Hochlaufzeit von 8 Sekunden realisiert.

Als Ausgangssituation für die Untersuchungen wurde ein Hochlauf mit einer Ordnungspegelzusammensetzung entsprechend unten stehender Formel realisiert. Dieser Zusammenhang resultierte aus einer Analyse diverser 6- und 8-Zylinderfahrzeuge ohne die für die jeweilige Motorisierung typischen Ordnungspegelanhebungen, wie weiter unten dargestellt wird, zu berücksichtigen.

$$L(Ord_n) = -5 \cdot \ln(n) + L(Ord_1) \qquad [\text{dB}] \qquad (1)$$

Zur Beurteilung wurden alle Stimuli auf den gleichen A-bewerteten Schalldruckpegel zum Zeitpunkt der Startdrehzahl gebracht

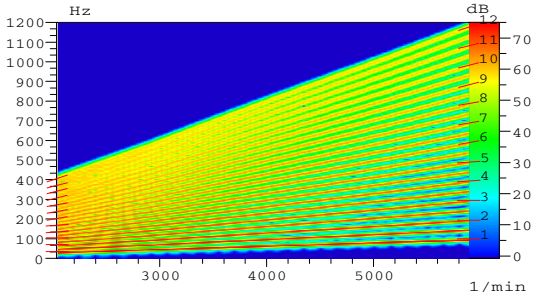

Abbildung 1: Campbelldiagramm von Stimulus A, dem Basishochlauf für alle untersuchten Variationen.

Stimuli: Halbe Motorordnungen

Um die Klangfarbenunterschiede verursacht durch eine Veränderung der halben Motorordnungen zu erfassen, wurden die in Tabelle 1 zusammengefassten Stimuli synthetisiert.

Tabelle 1: Stimuli „halbe Motorordnungen“

Stimulus	Modifikation der Ordnungspegel	um
B	alle halben Motor-ordnungen	+ 5 dB
C		- 5 dB
D		- 10 dB
E		komplett eliminiert

Stimuli: 6-Zylinder-Fahrzeug

Für den Klang eines 6-Zylinder-Fahrzeugs ist insbesondere die Zusammensetzung der 1.5ten, der 3ten, der 4.5ten, der 6ten, der 7.5ten, der 9ten, der 10.5ten und der 12ten Motorordnung ausschlaggebend. Dementsprechend wurden die in Tabelle 2 dargestellten Stimuli realisiert. Die Modifikationen von Stimulus I entsprechen hierbei den mittleren Ordnungspegeln unterschiedlicher im Vorfeld analysierter 6-Zylinder-Fahrzeuge.

Tabelle 2: Stimuli „6-Zylinder“

Stimulus	Modifikation der Ordnungspegel	um dB
F	1.5te	+15 dB
G	3te	+15 dB
H	1.5te und 3te	je +15 dB
I	1.5te und 4.5te	je +15 dB
	3te	+20 dB
	6te und 9te	je +10 dB
	7.5te, 10.5te und 12te	je +5 dB

Stimuli: 8-Zylinder-Fahrzeug

In ähnlicher Weise wurden die für einen 8-Zylinder typischen Ordnungspegel modifiziert, wobei ebenso die Modifikationen von Stimulus N den mittleren Ordnungspegeln unterschiedlicher analysierter 8-Zylinder-Fahrzeuge entsprechen.

Tabelle 3: Stimuli „8-Zylinder“

Stimulus	Modifikation der Ordnungspegel	um dB
K	4te	+15 dB
L	8te	+15 dB
M	4te und 8te	je +15 dB
N	4te	+20 dB
	8te	+15 dB
	1.5te, 2.5te, 3.5te, 4.5te, 5.5te, 6.5te, 7.5te	+7 dB, +6 dB, +5 dB, +4 dB, +3 dB, +2 dB, +1 dB

Beurteilung der Klangfarbenunterschiede

Die beschriebenen Varianten wurden im Hörversuch mittels Semantischem Differential entsprechend Tabelle 4 von 12 Personen mit Erfahrung in Abgasanlagenakustik beurteilt.

Tabelle 4: Ausgewählte Semantische Differentiale zur Beurteilung der Klangfarbenunterschiede

Bezeichnung in Ergebnisdarstellung	Semantisches Differential	
Lautstärke	laut	leise
Schwankung	schwankend	glatt
Klanghaftigkeit	klanghaft	rauschhaft
Spannung	langweilig	spannend
Rauhigkeit	rauh	glatt
Dynamik	dynamisch	träge
Harmonie	harmonisch	unharmonisch
Luxus	luxuriös	nicht luxuriös
Kraft	kraftlos	kraftvoll
Sportlichkeit	sportlich	nicht sportlich

In der nun folgenden Ergebnisdarstellung sind die Differentiale (Median aller Beurteilungen) jeweils so dargestellt, dass das in Tabelle 4 grau markierte Adjektiv im Kreis nach außen, das andere nach innen aufgetragen ist.

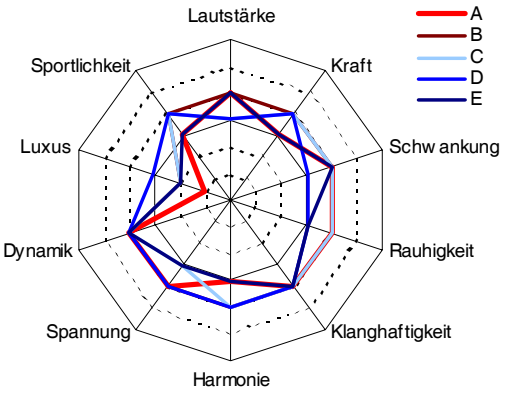

Abbildung 2: Polaritätsprofile der Stimuli A bis E (Stimuli „halbe Motorordnungen“).

Bei einer systematischen Veränderung aller halben Motorordnungen (Abb. 2) zeigen sich die größten Unterschiede für die Beurteilung des Adjektivpaars „luxuriös – nicht luxuriös“. Hierbei wird das Basisgeräusch als am wenigsten luxuriös eingestuft, beste Werte erzielt der Stimulus mit einer Absenkung aller halben Motorordnungen um 10 dB. Bei allen anderen Adjektivpaaren ergeben sich Unterschiede zwischen den Stimuli von bis zu einer Kategorie, lediglich die Einstufung der Klanghaftigkeit resultiert für alle Stimuli in der gleichen Kategorie.

Interessant ist insbesondere das Ergebnis der Sportlichkeit: hier erzielen lediglich Stimuli A (halbe und ganze Ordnungen entsprechend Formel 1) und E (nur ganze Ordnungen) eine schlechtere Kategorie als alle restlichen Stimuli (Anhebung oder Absenkung der halben Motorordnungen um 5 dB bzw. Absenkung der halben Motorordnungen um 10 dB).

Eine Anhebung der 1.5ten Motorordnung (Abb.3, Stimulus F) weist sich durch eine Verbesserung in Klanghaftigkeit, Rauhigkeit und Kraftfülle aus, wohingegen eine Anhebung der 3ten Motorordnung (Stimulus G) eine deutliche Anhebung der Sportlichkeit bewirkt.

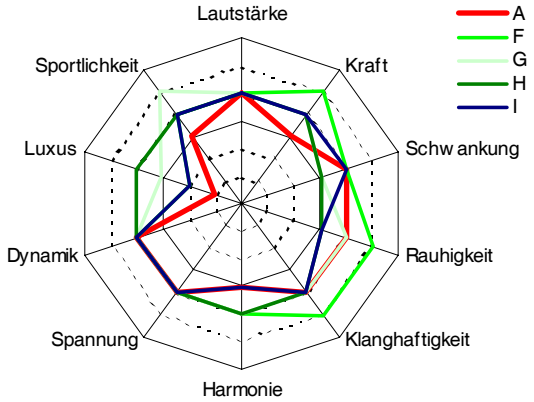

Abbildung 3: Polaritätsprofile der Stimuli A und F bis I (Stimuli „6-Zylinder“).

Ein Unterschied in der Anhebung lediglich der 1.5te und 3ten Motorordnung zu Stimulus I, welcher einer typischen 6-Zylinder-Ordnungspegelverteilung entspricht, tritt vor allem bei „luxuriös – nicht luxuriös“, „harmonisch – unharmonisch“ und „schwankend – glatt“ auf.

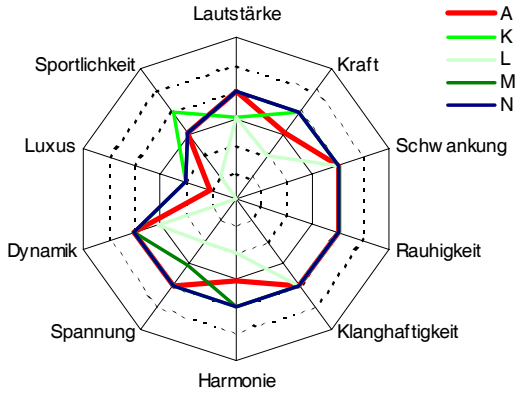

Abbildung 4: Polaritätsprofile der Stimuli A und K bis N (Stimuli „8-Zylinder“).

Das negativste Resultat bezüglich Luxus, Sportlichkeit, Spannung, Harmonie und Kraft ergibt sich durchwegs für Stimulus L, bestehend aus einer Anhebung der 8ten Motorordnung. Wohingegen eine zusätzlich Anhebung der 4ten Motorordnung bereits in einem sehr ähnlichen Profil wie dem eines typischen 8-Zylinderfahrzeuges (mit einer einzigen Abweichung um eine Kategorie bezüglich des Adjektivpaars „spannend – langweilig“) resultiert.

Kurzes Fazit

Je nach Ordnungspegelzusammensetzung ist ein deutlicher Einfluss auf Klangfarbe und der damit assoziierten Fahreigenschaft eines Hochlaufs zu beobachten, wobei die größten Unterschiede (von je 4 Kategorien) bei der Beurteilung von Luxuriösität (6-Zylinder-Stimuli) und Sportlichkeit (8-Zylinder-Stimuli) auftreten.

Literatur

[1] Osgood, Ch.E.: The measurement of meaning. University of Illinois Press Urbana, 1957