

Gestaltung des subjektiven V8-Sounds

Christine Patsouras, Josef Biber, Wolfgang Ruth

ArvinMeritor Light Vehicle Systems, Emissions Technologies GmbH, 86154 Augsburg, Deutschland,

Email: Christine.Patsouras@ArvinMeritor.com

Einleitung

Wird die Abgasanlage eines Fahrzeugs als ein Musikinstrument verstanden, stellt der Motor als Anregung natürlich eine wesentliche Einflussgröße auf den erzeugten Klang dar. Die Gestaltung der Abgasanlage durch Anpassung von Rohrlängen, -durchmessern, Einbringung von Resonatoren oder absorbierenden Kammern etc., kann die Klangfarbe des Instruments jedoch gezielt beeinflussen.

Besitzt man als Anregungssignal einen V8-Motor, so existieren genau genommen zwei Instrumente (mit 4 Zylindern pro Bank), bestehend jeweils aus Krümmer und Abgasstrang mit Katalysatoren und Schalldämpfern bis hin zum Endrohr. Hierbei besteht nun die Möglichkeit an einer bestimmten Stelle eine Verbindung der beiden einzelnen Instrumente bzw. Abgasstränge, eine Übersprechstelle, zu erzeugen und somit eine weitere Variable zur Beeinflussung der Klangfarbe des Gesamtinstruments zur Verfügung zu haben. Die Überlagerung der Signale aus den beiden Endrohren ist dann ausschlaggebend für den *typischen* V8-Sound des Fahrzeugs.

Die Frage, die im Folgenden gestellt wird, ist nun: Wie kann dieser *typische* V8-Sound subjektiv beschrieben und welche objektiv messbaren Größen können hierfür herangezogen werden? Hierzu werden Ergebnisse aus psychoakustischen Untersuchungen zur allgemeinen Präferenz des so genannten „V8-Sounds“ vorgestellt und diskutiert. Im Weiteren werden physikalisch gemessene Größen mit subjektiven Resultaten zum „V8-Blubbern“ korreliert um dadurch eine Objektivierung der subjektiven Empfindung zu erhalten.

Subjektive Beschreibungen

„allgemeiner V8-Sound“

Um sich dem Thema „V8-Sound“ zu nähern, wurde eine allgemeine Umfrage zum „guten“ und „schlechten“ V8-Sound durchgeführt. Hierzu wurden von sechzehn erfahrenen Versuchspersonen sieben Geräuschbeispiele (Aufnahmeposition 2m mittig hinter Fahrzeug) hinsichtlich ihres „guten“ und „schlechten“ V8-Sounds mit der Methode „Random Access“ eingeordnet. Zusätzlich war die Einstufung der Extreme (bester / schlechtester Platz) mit beschreibenden Adjektiven zu begründen. Um die Ergebnisse einzugrenzen, war den Versuchspersonen die Art des Zielfahrzeugs – Premium SUV (Sport Utility Vehicle) – vorgegeben. Um zusätzlich Informationen über die Qualität des V8-Sounds bei unterschiedlichen Fahrsituationen zu erhalten, wurden die Einstufungen bei unterschiedlichen Drehzahlzuständen - von 1000 bis 5000 U/min - durchgeführt.

Abbildung 1 zeigt für 1500 U/min die Einstufung der sieben Varianten bezüglich der extremen Plätze (bester und schlechtester V8-Sound). Variante 1 veranschaulicht am deutlichsten die sehr zwiespältige Meinung der befragten

Versuchspersonen: Während sieben Personen Variante 1 als das Geräusch mit dem besten V8-Sound empfanden, beurteilten fünf Personen dasselbe Geräusch als das mit dem schlechtesten V8-Sound!

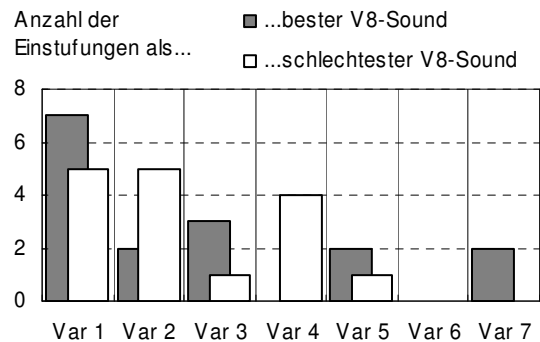


Abbildung 1: Sieben Varianten, beurteilt im Random Access Verfahren. Dargestellt ist jeweils die Anzahl der Einstufungen aller Versuchspersonen als bester bzw. als schlechtester V8-Sound für die sieben Varianten.

In Tabelle 1 sind die zugehörigen Beschreibungen der Versuchspersonen für die Beurteilungen bei 1500 U/min aufgelistet.

Tabelle 1: Verbale Beschreibungen bei Einstufung als „schlechtester“ bzw. „bester“ V8-Sound bei 1500 U/min.

	„bester“	„schlechtester“
Var 1	kraftvoll, voluminös, leichte Asymmetrie, angenehm, blubbernd, rau, kräftig, dumpf, viel Hubraum, knackiges Blubbern, sattes Blubbern, hubschrauberhaft	traktorhaft, hart pulsierend, flutterig, hohl, stark brummig, laut, hart, scheppernd, propellerartig, aufdringlich, tonal, nagelnd, lärmend, grobschlächtig
Var 2	tieffrequent, gleichmäßig, gepflegt, kraftvoll	zu schwach, zu brav, kein Blubbern
Var 3	gleichmäßig, ruhig, impulshaltig, leicht brummig	kein Blubbern
Var 4	--	symmetrischer Klangeindruck, harmonisch, hämmernd, blubbernd, flutternd, nagelnd, rauschhaft, tickern, brummig, hohl, stark propellerhaft, dieselig
Var 5	blubbernd, wummernd, kernig	unregelmäßig, holperig, dumpf
Var 6	--	--
Var 7	leicht propellerhaft, sonor, tieffrequent, voluminös, wenig Rauigkeit, hämmernd, pulsierend, souverän, kraftvoll, klangvoll	--

Bei einer Einstufung der Variante als bestes Geräusch wird in den meisten Fällen als Begründung ein „kraftvoller, kerniger und blubbernder Klangeindruck“ angeführt, während bei der Einstufungen als schlechtestes Geräusch entweder das fehlende „Blubbern“ und ein „zu schwacher“ Klangeindruck oder aber ein „zu hartes“, eher „traktorartiges“ Geräusch bemängelt wird. Es treten jedoch auch Adjektive auf, die von einigen Versuchspersonen als positive, von anderen als negative Beschreibung herangezogen werden; dies sind die Adjektive „dumpf“, „brummig“, „propellerhaft“, „pulsierend“, „hämmernd“ und „blubbernd“.

Sowohl die Einstufung der Geräusche als auch die verbalen Beschreibungen zeigen, dass sich die Beurteilung eines „allgemeinen V8-Sounds“ für die Versuchspersonen als sehr schwierig erweist bzw. sehr personenabhängig ist.

Da die verbalen Beschreibungen der Versuchspersonen im niedrigeren Drehzahlbereich (1000 bis 2000 U/min) ergaben, dass das Geräuschkennzeichen „Blubbern“ ein wesentliches Gütekriterium zur Einstufung eines guten V8-Sounds darstellt, wird im weiteren Verlauf dieses Geräuschkennzeichen näher untersucht.

Subjektive Beurteilung „V8-Blubbern“

Abbildung 2 zeigt die Ausprägtheit des V8-Blubbers für die sieben Varianten, subjektiv beurteilt bei 1000, 1500 und 2000 U/min. Von Variante 2 bis 7 gibt sich für alle Drehzahlen ein fast kontinuierlicher Anstieg des Blubbers, lediglich Variante 1 zeigt große Unterschiede für die untersuchten Drehzahlen: Während diese Variante bei 1500 U/min das stärkste Blubbern beinhaltet, ist es bei 1000 und 2000 U/min schwächer ausgeprägt. Als Optimum, was die Ausprägtheit des V8-Blubbers betrifft, gemittelt über alle untersuchten Drehzahlen, erweist sich Variante 7.

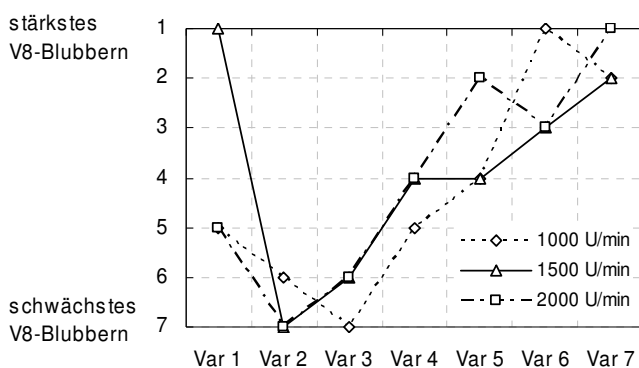


Abbildung 2: Stärke des empfundenen V8-Blubbers bei unterschiedlichen Drehzahlen für die sieben untersuchten Varianten.

Objektive Beschreibung „V8-Blubbern“

Zur objektiven Beschreibung des Klangcharakters „V8-Blubbern“ werden die Analysen unterschiedlicher Messgrößen in Betracht gezogen. Tabelle 2 zeigt die Zusammenhänge anhand der Korrelations-Koeffizienten einer Auswahl der untersuchten Messgrößen mit den subjektiven Urteilen. Für die Ordnungspegel der 1,5ten und 2,5ten Ordnung (Spalte 2 und 3) ergeben relativ gute Korrelationen insbesondere mit den Beurteilungen bei 1500 und 2000 U/min.

Tabelle 2: Pearson-Korrelations-Koeffizient zwischen den subjektiven Urteilen zum V8-Blubbern und unterschiedlichen berechneten physikalischen Größen. (± 1 entspricht einer 100%igen, 0 einer 0%igen Korrelation)

U/min	Ordnungspegel [dB(A)]		Modulationspegel [dB(lin)]		Psychoakustische Größen	
	1,5te Ord	2,5te Ord	0,5 Ord	1,5 Ord	Schwankungsstärke	(Motor-)Rauigkeit
1000	-0,26	-0,04	0,11	-0,74	-0,58	0,41
1500	-0,77	-0,88	-0,89	-0,92	-0,08	-0,87
2000	-0,61	-0,72	-0,75	-0,96	-0,27	-0,46

Die nächsten beiden Spalten zeigen die Korrelationen mit den Modulationspegeln. Wird die Hüllkurve aus dem Zeitsignal berechnet und in den Spektralbereich transformiert, ergibt sich ein Modulationsspektrum. Die beinhalteten Frequenzen entsprechen hierbei den Modulationsfrequenzen des modulierten Signals. Wird zum Beispiel durch Überlagerung dreier Sinusfunktionen bei den Frequenzen 92 Hz, 100 Hz und 108 Hz – dies entspräche bei 1000 U/min der 5,5ten, der 6ten und der 6,5ten Motorordnung – ein amplitudenmoduliertes Signal synthetisiert, so zeigt sich dies also im Modulationsspektrum anhand eines Modulationspegels bei der Modulationsfrequenz von 8 Hz – also einer halben Ordnung. In dieser Art und Weise wurden die Modulationspegel der beurteilten Signale analysiert und mit den subjektiven Urteilen korreliert: Für den Modulationspegel, der dem Anstand einer halben Ordnung entspricht, zeigt sich bei 1500 und 2000 U/min ein deutlicher statistischer Zusammenhang. Eine besonders hohe Korrelation mit den subjektiven Urteilen besteht jedoch insbesondere für den Modulationspegel, der dem Abstand von 1,5 Ordnungen entspricht: hier liegt der Korrelations-Koeffizient für alle untersuchten Drehzahlen über 74 %, für 1500 und 2000 U/min resultieren sogar Werte über 90 %.

Von den berechneten psychoakustischen Größen ergibt sich lediglich für die Motorrauhigkeit [1] bei 1500 U/min eine hohe Korrelation mit den subjektiven Urteilen.

Fazit

Der subjektive Eindruck des V8-Blubbers stellt bei niedrigeren Drehzahlen (1000 bis 2000 U/min) ein wichtiges Kriterium für die empfundene Güte des V8-Sounds dar. Da zwischen der subjektiven Empfindung des V8-Blubbers und dem Modulationspegel, der einem Abstand von 1,5 Ordnungen entspricht ein sehr hoher statistischer Zusammenhang besteht, kann anhand dieser Messgröße eine sehr gute Einschätzung der Ausprägtheit dieses Geräuschkennzeichens erfolgen.

Literatur

- [1] Martner, O., Zerbs, C., Fey, U., Kragl, R., Müller, A.: Neues psychoakustisches Modell zur objektiven Bestimmung der Rauigkeit bei Verbrennungsmotoren. MTZ Motortechnische Zeitschrift 61 (2000) 10.
- [2] FVV Abschlussbericht: Störgeräusch. Beurteilung und Katalogisierung von Störgeräuschen bei Verbrennungsmotoren. (2001).