

Bachelorarbeit im Studiengang Audiovisuelle Medien

**AKUSTISCHE UNTERSUCHUNG ELEKTRISCH BETRIEBENER
FAHRZEUGE AUF IHRE EMOTIONALITÄT UNTER
BERÜCKSICHTIGUNG GESETZLICHER NORMEN**

vorgelegt am 31.10.2020 von

Maximilian Utke

an der Hochschule der Medien Stuttgart

zur Erlangung des akademischen Grades eines Bachelor of Engineering

Erstprüfer: Prof. Oliver Curdt

Zweitprüfer: Rüdiger Kränzlein (B. Eng.)



**HOCHSCHULE
DER MEDIEN**

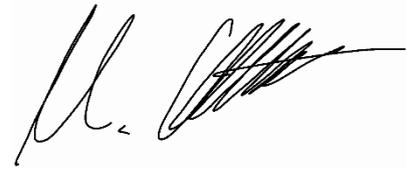
MPLAN
mobility engineering

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Maximilian Utke, ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel: „Akustische Untersuchung elektrisch betriebener Fahrzeuge auf ihre Emotionalität unter Berücksichtigung gesetzlicher Normen“ selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.

Ich habe die Bedeutung der ehrenwörtlichen Versicherung und die prüfungsrechtlichen Folgen (§ 24 Abs. 2 Bachelor-SPO (7 Semester) der HdM) einer unrichtigen oder unvollständigen ehrenwörtlichen Versicherung zur Kenntnis genommen.

Stuttgart, den 31.10.2020

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Utke', with a horizontal line drawn underneath it.

Max Utke

Kurzfassung

Ausgehend von der zum 1. Juli 2019 eingeführten und verpflichtenden Norm für künstliche Fahrgeräusche von Elektrofahrzeugen liefert diese Bachelorthesis eine Übersicht des Status quo.

Im ersten Teil wird die Norm mit ihren Richtlinien und daraus resultierenden Möglichkeiten eines Sounddesigns dargestellt. Es werden die Grundlagen der Klangwahrnehmung und Hörgewohnheiten bezüglich Fahrzeuge erläutert. Der Schwerpunkt liegt auf der emotionalen Wahrnehmung von Klängen. Anschließend werden mögliche Gestaltungsansätze präsentiert. Der zweite Teil beginnt mit einer Marktübersicht. Darauf folgt eine Benchmark-Untersuchung über aktuelle Sounddesigns. Es wurden dafür Fahrzeuge mit aktuellen Sounddesigns ausgewählt, die exemplarisch für verschiedene Gestaltungsansätze stehen. Die dort analysierten Stilmittel werden in synthetisierter Form an Probanden in einem Hörversuch auf ihre Emotionalität untersucht.

Anschließend erfolgt neben dem Fazit, das die bisherigen Sounddesign-Umsetzungen nicht ihr volles Potenzial ausschöpfen, ein Ausblick auf mögliche Anwendungsszenarien und Entwicklungen.

Abstract

Based on the regulation for artificial driving sounds of electric vehicles withdrawn on July 1st, 2019, this bachelor's thesis provides an overview of the status quo.

In the first part the regulation with its standards and the resulting possibilities of sound designs is described, followed by the basics of sound perception and listening habits regarding vehicles. The main focus is on emotional feelings of sounds. Afterwards possible design concepts are presented.

In the second part, a market review is given before a benchmark study will be conducted. Vehicles containing actual sound designs are chosen, standing as examples for various design concepts. In a survey of sound perception, the emotional impact of these synthesized styles is carried out.

Finally, beside the conclusion of present sound designs are not used in their full potential, an outlook on possible use cases and development is shown.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Warum Sounddesign?	1
1.2 Status Quo	2
2 Normen & Richtlinien	4
2.1 Die AVAS-Norm	4
2.2 Lärmemission	8
3 Hören und Wahrnehmung von Klängen	9
3.1 Klangdefinition	9
3.2 Klangwahrnehmung	12
3.3 Hörgewohnheiten	17
3.4 Fahrertypen	20
4 Fühlen und Wahrnehmen von Emotionen	23
4.1 Emotionen beschreiben	25
4.2 Markenidentität	28
4.3 Mit Klängen Emotionen erzeugen	29
4.3.1 Tonhöhe (Frequenz)	29
4.3.2 Harmonie (Frequenzbeziehungen)	29
4.3.3 Klangcharakter	33
4.4 Zusammenfassung	34
5 Aktueller Entwicklungsstand Elektro- und Hybridfahrzeug	35
5.1 Aktuelle Marktsituation	36
5.2 Benchmark	39
5.2.1 Versuchsaufbau	39
5.2.2 Prüfprogramme	41
5.2.3 Datenerfassung	42
5.2.3.1 Hyundai IONIQ	43
5.2.3.2 Renault ZOE	44
5.2.3.3 VW e-Golf	44
5.2.3.4 VW ID.3	45
5.2.3.5 Jaguar I-Pace	46
5.2.3.6 BMW i8	47
5.2.3.7 Mercedes GLE 350 e	48
5.2.3.8 Mercedes EQC	49

5.2.3.9	Porsche Taycan	50
5.2.3.10	Audi e-tron	51
5.2.3.11	Tesla Model S	52
5.3	Zusammenfassung	53
6	Hörversuch	57
6.1	Motivation und Ziele	57
6.2	Organisation und Durchführung.....	57
6.3	Datenerfassung.....	58
6.4	Auswertung und Diskussion	59
6.4.1	Personendaten	59
6.4.2	Individuelles Sounddesign.....	61
6.4.3	Klangbewertung.....	62
6.5	Kritische Betrachtung.....	70
6.6	Zusammenfassung	70
7	Fazit.....	72
7.1	Zusammenfassung	73
7.2	Ausblick.....	73
8	Anhang	76
8.1	Lärmemissionskarte Stuttgart	76
8.2	Überblick Emotionstheorien.....	77
8.3	Eingabemasken Probandentest.....	81
8.3.1	Personendaten	81
8.3.2	individuelles Sounddesign	81
8.3.3	Klangbewertungen	81
	Abbildungsverzeichnis.....	82
	Quellenverzeichnis	84
	Danksagung	89

Abkürzungsverzeichnis

AVAS	Acoustic Vehicle Alerting System (Akustische Warneinrichtung für elektrisch angetriebene Fahrzeuge)
BPM	Beats per minute (rhythmische Schläge pro Minute)
dB	Dezibel (Hilfsmaßeinheit, hier für Pegel)
dB(A)	frequenzbewerteter Pegel
DAW	Digital Audio Workstation (Programm zur Klangbearbeitung)
EQ	Equalizer (akustischer Filter)
EU	Europäische Union
HdM	Hochschule der Medien
Hz/kHz	Herz/Kiloherz, Maßeinheit für Frequenz
JASIC	Japan Automobile Standards Internationalization Center
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
ms	Millisekunden
NVH	Noise, Vibration, Harshness (Geräusch, Vibration, Rauigkeit)
PWS	Pedestrian Warning System (AVAS-Einrichtung bei Tesla)
UN	United Nations (Vereinte Nationen)
USA	United States of America (Vereinigte Staaten von Amerika)
VESS	Virtual Engine Sound System (AVAS-Einrichtung bei Hyundai)

1 Einleitung

Die auditive Wahrnehmung ist einer der fünf Sinne des Menschen. Hören ist dabei gleichzeitig auch der komplexeste. Mit geschlossenen Augen ist visuell nichts erkennbar. Die Ohren können dagegen nicht geschlossen werden. Es ist nur möglich durch Abdecken der Ohren, die akustische Wahrnehmung zu dämpfen. Der Schallpegel am Gehör kann reduziert werden. Vollständig ausschalten lässt sich die auditive Wahrnehmung nicht. Es gibt nur die Möglichkeit sie auf das Minimalste zu reduzieren („wegzuhören“).

Im Sounddesign wird sich der auditiven Wahrnehmung gewidmet, indem „gute Klänge“ gestaltet werden. Wie gut und schlecht definiert ist, hängt jedoch von vielen Faktoren ab (mehr dazu in Kapitel 3). Die Klanggestaltung hat ihren Ursprung im Kino und der Musik, findet inzwischen aber in viel mehr Bereichen außerhalb der Unterhaltungsbranche Anwendung. Firmen nutzen sogenannte *Sound Brandings* innerhalb ihres Corporate Designs als akustische Außenwirkung und emotionale (Marken-)Bindung. Dabei kann es beispielsweise sich um einen Jingle in der Werbung, oder um die akustische Wiedergabe von Produktzuständen handeln. Die Grenzen des guten Geschmacks sind dabei unscharf und in Anbetracht der Umwelt kann der Übergang von einem angenehmen Klang zur Lärmbelästigung fließend sein. An diesem Punkt setzt das Sounddesign an. Es werden Klänge gestaltet, die über das jeweilige Wiedergabesystem abgespielt gut klingen. Das erfordert zum einen den Geschmack der potenziellen Zielgruppe zu treffen, zum anderen aber auch den erzeugten Klang an die technischen Gegebenheiten anzupassen.

1.1 Warum Sounddesign?

Aufgrund des dauerhaften Hörens und einem Orientierungsfokus, welcher in Kapitel 3 näher erläutert ist, wird durch auditive Ereignisse die Aufmerksamkeit gelenkt. Ikonische Klänge, die *Sound Brandings*, lassen allein am Klang ein Produkt oder eine Situation erkennen (wie zum Beispiel die Streichersequenz im Film *Der weiße Hai*)¹, ohne sie direkt wahrzunehmen. Damit wird ein Vordenkereffekt möglich: Die akustische Ankündigung eines Ereignisses.

Es werden außer dem reinen Informationstransport noch weitere Inhalte transportiert. So ist das Empfinden eng mit Klängen verknüpft: Durch Klänge und ihr (harmonisches) Wirken können Emotionen erzeugt werden². Kinder werden von ihren Müttern in den Schlaf gesungen. Der Gesang und die körperliche Nähe zur Mutter bedeuten engste Geborgenheit³. Stimmt ein Klang nicht mit dem Objekt überein (inkongruente Kommunikation), erzeugt dies ein

¹ Görne, 2017, S. 217

² Spitzer, 2005 S. 379

³ Spitzer, 2005, S. 386

„komisches Gefühl“ (kognitive Dissonanz)⁴. Es entsteht ein Unwohlsein, welches aufgehoben werden will (kongruente Kommunikation).

In der Konsumentenforschung etablierte sich schnell der Einsatz von Musik. Das Resultat, die Kaufhausmusik, erzeugt eine angenehme Kaufatmosphäre, ohne dabei zu aufregend zu wirken (unterhaltend, aber nicht Unterhaltung). Langsame Musik bindet den Kunden an den Kaufprozess, lässt ihn langsamer durch das Geschäft gehen und damit auch mehr kaufen, beziehungsweise mehr Geld ausgeben⁵.

Bei maximaler Kongruenz, die Produktperformance ist zufriedenstellend und die Emotionen (beispielsweise durch Sounddesign ausgelöst) sind durchweg positiv, kommt es zu einer Glücksmaximierung. Damit wird der höchste (emotionale) Produktwert erreicht und bindet so den Konsumenten zu einer möglichst stabilen und langfristigen Marken-Kunden-Beziehung⁶.

„Nutzenmaximales Handeln entspricht [...] der Maximierung positiver Emotionen [...] sowie der Minimierung negativer Emotionen [...].“

Franke, 2013, S. 23

Dies verdeutlicht den großen Mehrwert und Zusatznutzen durch ein produktbezogenes Sounddesign.

1.2 Status Quo

In der Fahrzeugbranche liegt in Anbetracht der Lärmemission das Hauptaugenmerk auf der Geräuschreduzierung. Durch passive und aktive Mittel, wie dämpfende Materialien oder Genschall, wird versucht, den Schalldruckpegel störender Geräusche so gering wie möglich zu halten. Zusätzlich wird aktives Sounddesign durch Fahrzeugbauteile ermöglicht. So wird beispielsweise die Modifikation der Abgasanlage dazu verwendet, ihren Klang kreativ zu gestalten. Ein derartiges Sounddesign wird insbesondere für Fahrer erzeugt, welchen der Fahrzeugklang wichtig ist. Daraus ergab sich ein großer Sekundärmarkt an Nachrüstungsbausätze wie Soundmodule oder Hi-Fi-Equipment. Damit kann das einst (primär) erworbene Fahrzeug nach klanglichem Belieben optimiert und individualisiert werden. Bei vollelektrisch betriebenen Fahrzeugen, beziehungsweise beim rein elektrischen Fahren, fällt der Motor als größter Geräuscheverursacher und Charaktergeber weg. Durch die geminderte akustische Wahrnehmung steigt die Gefahr für andere Verkehrsteilnehmer wie Fußgänger⁷. Dies veranlasste die UN zur Einführung eines *Acoustic Vehicle Alerting Systems* (AVAS). Hersteller sind nun verpflichtet bei Fahrzeugen ohne Verbrennungsmotor ein Geräusch zur besseren Wahrnehmung im Straßenverkehr zu emittieren. Neben der reinen Warnung designen die Hersteller auch eigene Sounds, die ihr Fahrzeug in der Öffentlichkeit akustisch repräsentieren.

⁴ Görne, 2017, S. 236

⁵ Spitzer, 2005, S. 405

⁶ Knackfuss, 2010, S. 91

⁷ Lauen et al., 2019, S. 98

Öffentlichkeitswirksam werden die neuen Sounds präsentiert:

„Filmkomponist erschafft Autosound der Zukunft: Die Soundkulisse von Elektroautos macht nicht viel her. Der weltberühmte Filmkomponist Hans Zimmer soll das jetzt für BMW ändern.“

Hebermehl, 2019

„Der Soundtrack einer neuen Mobilität: Der neue Fahr sound der Marke Volkswagen entstand in Zusammenarbeit mit dem Komponisten und Musikproduzenten Leslie Mandoki. Die vielschichtigen Tonspuren bringen die Geschwindigkeit und Dynamik der Elektromobilität zum Ausdruck.“

Volkswagen, o. D.

Mit dem aktiven Sounddesign der akustischen Außenwirkung von Fahrzeugen ergibt sich ein weiteres und neues Feld. Bisher erfolgte die Beurteilung des Fahrzeugklangs aus Sicht des Fahrers (Kapitel 3.4). Mit der AVAS-Einführung und der damit verpflichtenden akustischen Außenwirkung können nun auch andere Verkehrsteilnehmer als potenzielle Kunden gesehen werden. Denn auf diese kann der emittierte Klang, außer der reinen Warnfunktion, ebenso emotional wirken. Der Fahrer könnte entscheiden, wie er nach außen wahrgenommen werden möchte (zum Beispiel durch individuell wählbare Sounds). Aber auch der Hersteller kann seine Marke akustisch transportieren. Ähnlich der Werbung wird der mögliche Konsument emotional vorgebildet und an die Marke gebunden. Damit fällt die Wahl beim nächsten Kauf möglicherweise auf das emotional beworbene Produkt⁸. An diesem Punkt setzt das aktive Sounddesign in der akustischen Außenwirkung von E-Fahrzeugen an und unterstützt auditiv die haptische und visuelle Wahrnehmung zu einem Gesamtkontext.

⁸ Knackfuss, 2010, S. 194

2 Normen & Richtlinien

2.1 Die AVAS-Norm

Die AVAS-Norm (UN-Regulation No. 138) ist seit 1. Juli 2019 für neu zugelassene Fahrzeugtypen und ab 1. Juli 2021 für alle vollelektrischen und hybriden Fahrzeuge verbindlich. Betroffen sind alle Fahrzeuge der Personen- und Güterbeförderung der Klassen M und N (bis 3,5 t). Darin sind unter anderem die technischen und akustischen Mindestanforderungen, sowie deren Obergrenzen und die Prüfverfahren enthalten. In Abbildung 1 ist die Adaption der UN-Norm und deren Abwandlung bis zur eigenen Norm zu sehen. Länder, wie die Mitglieder der Europäischen Union (EU) oder Australien, setzen die UN-Regulation No. 138 direkt um. Die Vereinigten Staaten von Amerika gestalteten eine eigene Norm (FMVSS141). Daneben gibt es Umsetzungen, die sich entweder an der FMVSS141 oder UN-Regulation No. 138 orientieren, sich aber an manchen Stellen unterscheiden. In China weichen beispielsweise die geforderten Pegel von der UN-Regulation No. 138 ab, die Messverfahren sind identisch⁹.

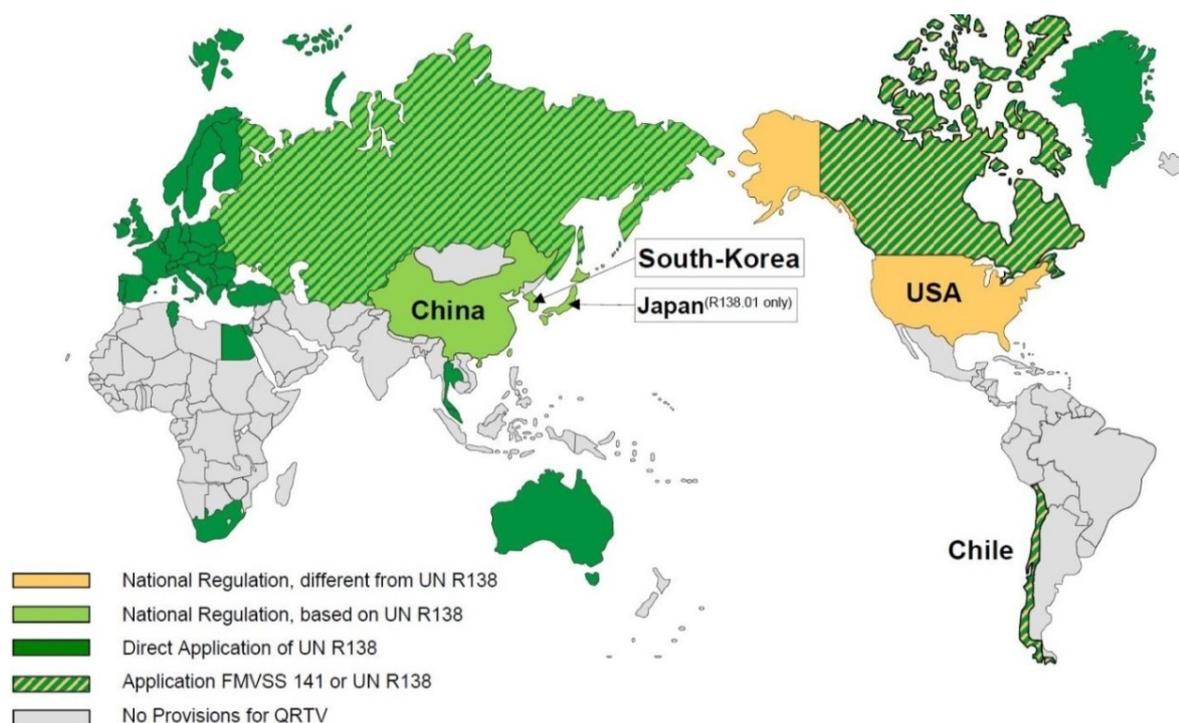


Abbildung 1: Weltkarte der AVAS-Normen; International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, 2018, S. 2

⁹ Lauen et al., 2019, S. 101

Einen Überblick wie die Richtlinie von der EU und fast allen Ländern aus der UN-Norm übernommen wurde (ECE (R138)), und der eigenen Umsetzung der USA (FMVSS141) sowie deren Unterschiede, zeigt Tabelle 1:

R138		Vorgeschriebene Pegel in dB(A)			FMVSS141 (2 Terz Anforderung)		Vorgeschriebene Pegel in dB(A)				
Frequenz in Hz		Messzyklen [3]			Frequenz in Hz		Messzyklen [3]				
		Rückwärts 6 km/h ±0,5* (2 Mikrofone)	10 km/h ±0,5* (2 Mikrofone)	20 km/h ±0,5* (2 Mikrofone)			Stationary (3 Mikrofone)	Backing (2 Mikrofone)	11 km/h ±1 (2 Mikrofone)	21 km/h ±1 (2 Mikrofone)	31 km/h ±1 (2 Mikrofone)
Gesamtpegel		47	50	56	Band Sum (Summe aus 1. Terz + 2. Terz) [1]		44	48	51	57	62
Min. 2 beliebige Terzbänder 160 Hz < f < 5 kHz. Davon min. 1 beliebiges Terzband f < 1,6 kHz	160	-	45	50	Erfüllung 1. Terz Band* im Bereich von 315 – 800	40	40	42	47	52	
	200	-	44	49							
	250	-	43	48	Erfüllung 2. Terz Band* im Bereich von 1k – 3k15	40	40	42	47	52	
	315	-	44	49							
	400	-	45	50							
	500	-	45	50							
	630	-	46	51							
	800	-	46	51							
	1k	-	46	51							
	1k25	-	46	51							
Sind 2 Terzbänder f < 1,6 kHz erfüllt, ist dieser Frequenzbereich nicht zwingend.	1k6	-	44	49	Volume shift: Änderung NORMALIZEDBANDSUM um min. 3dB(A) von Zyklus zu Zyklus NORMALIZEDBANDSUM = die Summe von 13 Bändern (315Hz-5000Hz) $NORMALIZEDBANDSUM = 10 * \log_{10} \left(\sum_{i=1}^{13} 10^{\frac{Normalized\ Band\ Level_i}{10}} \right)$	+3dB(A)	+3dB(A)	+3dB(A)			
2k	-	42	47								
2k5	-	39	44								
3k15	-	36	41								
4k	-	34	39								
5k	-	31	36								

[1] frequency shift: muss durchschnittlich mindestens eine Frequenzänderung von 0,8% pro 1 km / h im Geschwindigkeitsbereich von 5 km / h bis 20 km / h aufweisen. Nur eine Frequenzverschiebung muss die Anforderungen erfüllen.

*Indoor
(Outdoor: 10km/h±2, 20km/h±1, Rückwärts 6km/h±2)

* min. ein Band abstand von der 1. zur 2. Terz Anforderung einhalten

Tabelle 1: Vergleich der AVAS-Gesetzesanforderungen der EU (ECE (R138)) zu USA (FMVSS141); Moore, 2018

Es werden unter anderem die Mindestpegel in den einzelnen Terzbändern oder kombiniert angegeben [1], die akustische Geschwindigkeitssignalisierung vorgeschrieben [2] und die Messzyklen in zu dokumentierender Weise (z. B. Mikrofonierung und Geschwindigkeitsstufen) genannt [3].

In China wird, wie in der EU, die direkt auf der UN-Regulation No. 138 basierende Norm ECE (R138) eingesetzt. Dort sind lediglich die Mindestpegel der Terzbänder 2 dB(A) höher¹⁰. Die USA-Norm FMVSS141 hat die gleiche Grundlage und unterscheidet sich, wie aus Tabelle 1 ersichtlich, dabei nur in der genauen Umsetzung bezüglich Pegel, Messzyklen und Aufteilung der geforderten Terzbänder. Der größte Unterschied zur UN/EU-Norm liegt in der akustischen Signalisierung der Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeugs. Diese wird in der UN/EU anhand einer Frequenzverschiebung und in den USA mittels Lautstärkenveränderung umgesetzt¹¹.

Weitere Bestimmungen sind unter anderem das Abschalten des AVAS-Systems beim Einschalten eines Verbrennungsmotors (wie zum Beispiel bei Hybriden). Der Gesamtpegel darf

¹⁰ Lauen et al., 2019, S. 101

¹¹ Gsell, Werner, 2019, S. 66

75 dB(A) nicht überschreiten¹². Damit liegt das Pegellimit innerhalb der EU-Verordnung Nr. 540/2014 über Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen¹³.

Für die Messung der Frequenzverschiebung zur akustischen Wahrnehmung der Fahrzeuggeschwindigkeit und deren Änderung gibt es fünf verschiedene Messmöglichkeiten¹⁴:

- (A): Prüfung des vollständigen, fahrenden Fahrzeugs auf einer Prüfstrecke
- (B): Prüfung des vollständigen, stehenden Fahrzeugs auf einer Prüfstrecke (die Fahrzeugbewegung wird durch einen externen Signalgenerator simuliert)
- (C): Prüfung des vollständigen, fahrenden Fahrzeugs auf einem Rollenprüfstand
- (D): Prüfung des vollständigen, stehenden Fahrzeugs in einer Prüfungseinrichtung (die Fahrzeugbewegung wird durch einen externen Signalgenerator simuliert)
- (E): Prüfung des Warnsystems ohne Fahrzeug in einer Prüfungseinrichtung (die Fahrzeugbewegung wird durch einen externen Signalgenerator simuliert)

Für die Varianten (B) und (D) verringern sich durch die Simulation die Toleranzwerte der Geschwindigkeit auf $\pm 0,5$ km/h. Bei den Varianten (B), (C), (D) und (E) sind alle Teilgeschwindigkeiten 5 Sekunden lang zu messen.

Dabei muss das Prüffahrzeug repräsentativ für die in den Verkehr zu bringenden Fahrzeugtypen sein. Nur bei der direkten Prüfung der Frequenzverschiebung kann das Modul im ausgebauten Zustand (Prüfvariante (D)) geprüft werden.

¹² UN Regulation No. 138, 2017, S. 9

¹³ Verordnung (EU) Nr. 540/2014, 2014, S. 162

¹⁴ UN Regulation No. 138, 2017, S. 28f

Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen die Mikrofonpositionen für AVAS-Messungen nach der UN/EU-Norm ECE (R138). Die Mikrofone sind auf der PP'-Linie im Abstand von 2 m zur CC'-Achse auf einer Höhe von 1,2 m zu positionieren¹⁵.

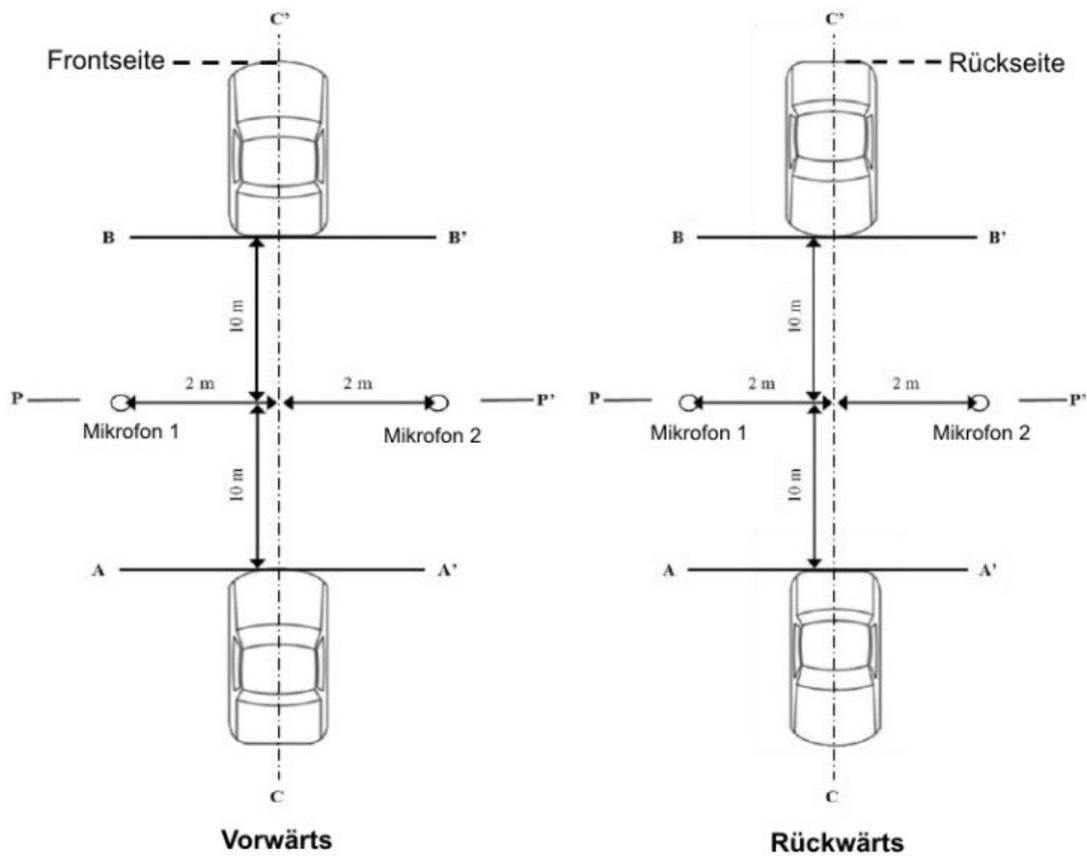


Abbildung 2: Prüfung im Freien auf einer Teststrecke; UN Regulation No. 138, 2017, S. 33

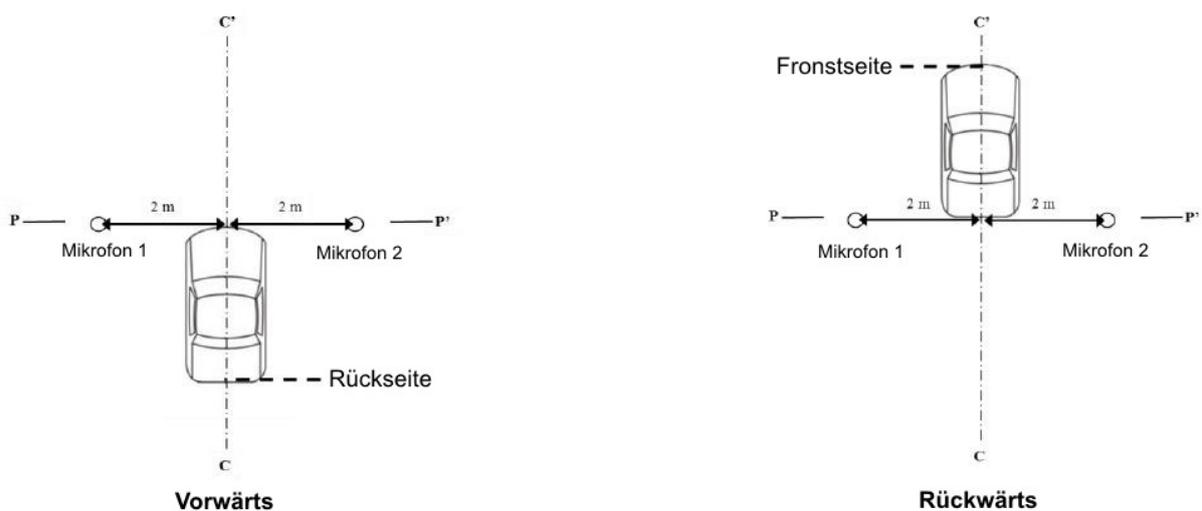


Abbildung 3: Prüfung im Halbfreiefeld-Raum; UN Regulation No. 138, 2017, S. 33

¹⁵ UN Regulation No. 138, 2017, S. 24

Außerhalb der gesetzlichen Bestimmungen sind Fahrzeughersteller, beziehungsweise Sounddesigner, frei in der Gestaltung. Der Fahrer darf beispielsweise aus verschiedenen Klängen wählen, sofern diese den gesetzlichen Bestimmungen entsprechen. So kann ein aktives Sounddesign nicht nur als Warneinrichtung dienen, sondern das Fahrzeug generell akustisch unterstützen und durch den Einsatz künstlich erzeugter Klänge eine Emotionalität erzeugen (mehr dazu in Kapitel 4.3).

2.2 Lärmemission

Das Europäische Parlament und der Europäische Rat geben im Umweltaktionsprogramm „*Gut leben innerhalb der Belastbarkeitsgrenzen unseres Planeten*“ (Beschluss Nr. 1386/2013/EU vom 20. November 2013) mit 55 dB(A) über 24 Stunden gemittelt einen Pegel vor, der eine Belästigungsgrenze definiert¹⁶. Jedoch zeigen innerstädtische Messungen eine Überschreitung von über 25 dB(A) in direkter Straßenumgebung (beispielhaft für Stuttgart in Anhang 8.1 dargestellt). Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Lärmmessungen in Detroit mit 74 dB(A) an stark befahrenen Straßen¹⁷. Damit kann es bei langanhaltender Beschallung zu deutlichen Beschwerden wie Stresssymptomen kommen. Über das Stadtgebiet Stuttgart gemittelte Messungen ergeben eine Lärmemission von 55 dB(A) bis 65 dB(A)¹⁸. Diese Ergebnisse decken sich mit deutschlandweiten Untersuchungen des Umweltbundesamtes und dienen exemplarisch für alle Großstädte Deutschlands. In ländlichen Regionen liegen die gemittelten Werte 5 dB(A) unter der Belästigungsgrenze¹⁷, können aber an Hauptverkehrsknotenpunkten und direkter Straßenumgebung ebenfalls auf über 75 dB(A) ansteigen.

Verkehrsrgeräusche sind breitbandiges und kontinuierliches Rauschen mit einer Anhebung bei 1 kHz um circa 8 dB(A)¹⁷. Für einen AVAS-Sound bedeutet dies, dass die Mindestpegel in Tabelle 1 bis zu 15 dB(A) unter dem Umgebungsgeräusch liegen. Selbst der obere Grenzwert liegt mit 75 dB(A) noch unter dem in Stuttgart – in direkter Straßenumgebung – gemessenen Wert von 85 dB(A). Es ergibt sich daraus ein möglicher Maskierungseffekt: Das AVAS-Signal könnte durch den lautereren Umgebungslärm nicht oder nur schwer wahrnehmbar sein.

Rauschhafte Klänge betten sich damit in die akustische Umgebung ein. Zur aufmerksamkeitslenkenden Klanggestaltung benötigt es entweder einen zu hohen Pegel (>85 dB(A)) oder einen diskontinuierlichen (sich stets verändernden) Anteil (weiterführend dazu Kapitel 3.2).

Die hier aufgeführten Pegel der Umgebungsgeräusche sind zwar gemittelt und bilden damit keine Augenblickswerte von diversen Verkehrssituationen wie Hauptverkehrszeiten oder nur rar befahrenen Straßen ab, es zeigt sich jedoch die Herausforderung an ein Sounddesign, welches nicht nur die AVAS-Norm erfüllen, sondern auch als Sound Branding bestehen soll.

¹⁶ EU-Beschluss Nr. 1386/2013/EU, 2013, S. 17

¹⁷ JASIC, 2010, S. 19

¹⁸ Landeshauptstadt Stuttgart/Amt für Umweltschutz, 2009, S. 3

3 Hören und Wahrnehmung von Klängen

Hören ist eine passive Wahrnehmung. Die Orientierung findet nicht wie beim Fühlen oder Sehen durch Muskelsteuerung statt, sondern durch einen Aufmerksamkeitsfokus¹⁹. Das Gehirn muss andauernd zwischen wichtigen und unwichtigen Informationen filtern und damit Signale gewichten. Dies geschieht zum einen bewusst, indem man sich auf ein bestimmtes Signal konzentriert (Cocktail-Party-Effekt²⁰), zum anderen aber auch unbewusst. Dadurch sind Klänge ein ausschlaggebender Faktor für das Wohlbefinden. Bei angenehmen Klängen stellt sich eine Zufriedenheit ein, bei unangenehmen entsteht Stress. Interessanterweise reagiert das Gehör bei Stress entweder mit einem Hörsturz (gedämpfte Wahrnehmung) oder mit Tinnitus, einen monotonen dauerhaften Ton. Während die Lästigkeit eines Klangs anhand des Pegels spätestens durch die Schmerzgrenze bestimmt ist (Abbildung 6), hängt die Beurteilung als gut oder schlecht von persönlichen Neigungen ab.

Schallereignisse werden als Klangobjekte wahrgenommen. Der physische Reiz (die Schallwelle) wird vom Gehirn analysiert und interpretiert. Durch diese kognitive Filterung entsteht aus abstraktem Schall ein semantisches Objekt. So lässt sich das Schallereignis deuten²¹.

3.1 Klangdefinition

Ein akustisches Signal ist entweder deterministisch und besteht aus einem reinen Sinus-Ton, oder stochastisch – durch eine zufällige Kombination von Schallereignissen²².



Abbildung 4 v.l.n.r.: reine Sinus-Schwingung, weißes Rauschen, komplexes Signal (eines Musikstücks)

Klänge liegen irgendwo dazwischen. Das komplexe Signal lässt sich auf Basis eines reinen Sinus als Grundton plus anteilig vielfacher Obertöne beschreiben²³. Je größer der Anteil an Obertönen ist, desto rauschhafter wird der Klang. Durch das Verhältnis von Obertönen zum Grundton entsteht der Klangcharakter. Gitarre und Geige sind sich mit Resonanzkörper (Korpus) und Saiten in der Bauart ähnlich, trotzdem anhand ihres Klangs deutlich voneinander zu unterscheiden.

¹⁹ Schmid, 2018, S. 57

²⁰ Zwischen vielen den Gesprächen wird das wichtige des Gegenübers fokussiert. Görne, 2017, S. 46

²¹ Görne, 2017, S. 35

²² Görne, 2017, S. 55

²³ Görne, 2017, S. 56

Beim Hörvorgang wird die Schallwelle auf physischer Ebene vom Trommelfell empfangen und über die Gehörknöchelchen-Kette an das Innenohr transportiert. Dort werden die mechanischen Reize in elektrische gewandelt. Auf der Basilarmembran entsteht am Auslenkungsmaximum der auftreffenden Schallwelle die wahrgenommene Frequenz und damit die Tonhöhe²⁴ (Abbildung 5). Die Anzahl an insgesamt angeregten Haarzellen (Nerv-Impulsen) bestimmt die Intensität (Pegel)²⁵. Das Ergebnis ist ein elektrischer Impuls, der vom Gehirn als (tonhaltiger) Klang interpretiert wird.

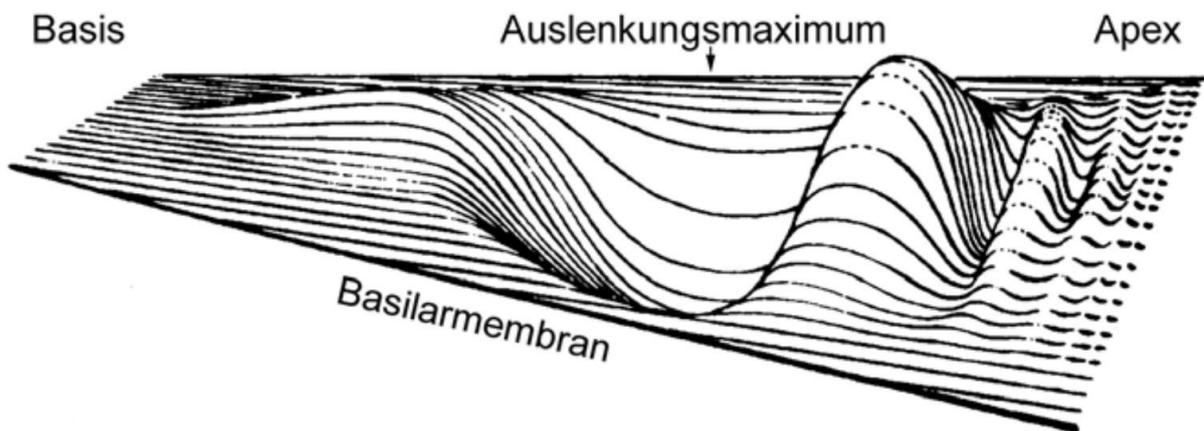


Abbildung 5: Augenblickszustand einer Basilarmembranschwingung; Warren, 2008, S. 16

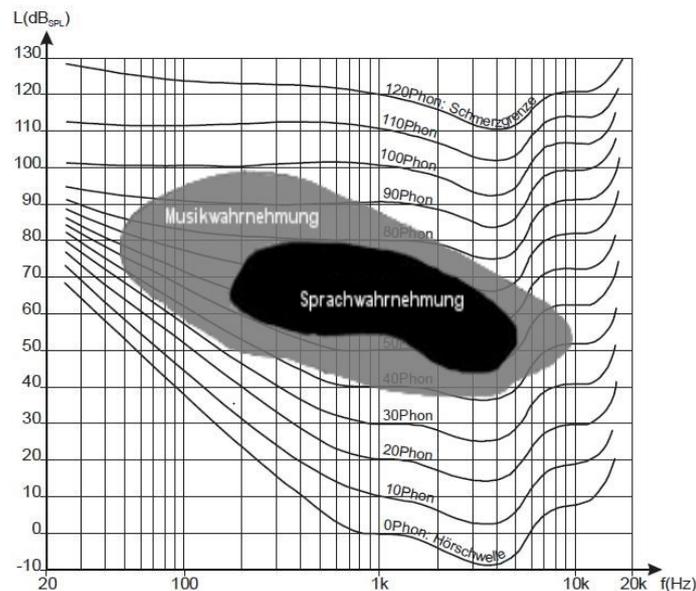


Abbildung 6: Kurven gleicher Lautstärke mit Musik- und Sprachbereich; eigene Darstellung nach Fletcher und Munson

Der vom Menschen hörbare Frequenzbereich liegt, Beeinträchtigungen unbeachtet, zwischen 20 Hz und 20 kHz. Die auditive Wahrnehmung des Menschen ist dabei frequenzabhängig. Aus Abbildung 6 geht hervor, dass das Gehör im Bereich zwischen 1,5 kHz und 5 kHz am empfindlichsten ist. Dies ist auf die evolutionäre Entwicklung zurückzuführen. In diesem

²⁴ Friesecke, 2014, S. 117

²⁵ Friesecke, 2017, S. 123

Frequenzbereich liegt der Hauptbestandteil der Sprache (Artikulation und Deutlichkeit²⁶). Ein Affenschrei schafft es, durch das Urwaldrauschen deutlich herauszustechen und erreicht damit auch weit von der Herde entfernte Tiere.

Während sich der physische Reiz mit Frequenz (-Spektrum), Pegel und (Ursprungs-) Position beschreiben lässt, verwendet die Psychoakustik Tonhöhe, Lautstärke/Lautheit, Klangfarbe und wahrgenommene Position, um subjektiv wahrgenommene Klänge objektiv zu beschreiben²⁷.

Größe	Zeichen	Einheit
Lautheit	<i>N</i>	sone
Rauheit	<i>R</i>	asper
Tonheit	<i>Z</i>	Bark = 100 mel
Schärfe	<i>S</i>	acum
Klanghaftigkeit	<i>K</i>	tu

Tabelle 2: gebräuchliche psychoakustische Empfindungsgrößen, Zeller, 2018, S. 256

Im Bereich der Fahrzeugakustik haben sich die in Tabelle 2 aufgeführten Empfindungsgrößen etabliert und sind in verschiedenen (DIN-) Normen standardisiert²⁸. Lautheit beschreibt die wahrgenommene Intensität eines Klangs, Rauheit die Schwankungsstärke (Modulation), Schärfe den Anteil hoher Frequenzen, Tonalität und Klanghaftigkeit die wahrnehmbaren Einzeltöne und deren Tonhöhe innerhalb eines komplexen Signals²⁹. Daraus kann unter anderem eine Lästigkeitsgrenze ermittelt werden, wobei die Isophonen (Kurven gleicher Lautstärke, Abbildung 6) als Bewertungsfiter mit einbezogen werden. Die AVAS-Norm verwendet die A-Bewertung, welche den Isophonen zwischen 20 und 40 Phon entspricht³⁰. Mittels dieser Werte lässt sich aber nur bedingt ein Wohlgefallen ermitteln. Geräuschqualität ist kontextabhängig³¹.

Nach der physischen Verarbeitung erfolgt die kognitive. Den Sinnesreizen werden Bedeutungen anhand kultureller Codes (gesellschaftliche Konventionen, Erziehung, erlerntes Wissen) zugeordnet³² (näheres dazu in Kapitel 4). So entstehen Emotionen und eine eigene empfundene Wirklichkeit.

²⁶ Görne, 2017, S. 37

²⁷ Görne, 2017, S. 35

²⁸ Maiberger, 2018, S. 8

²⁹ Zeller, 2018, S. 256-259

³⁰ Zeller, 2018, S. 254

³¹ Zeller, 2018, S. 260

³² Görne, 2017, S. 30

3.2 Klangwahrnehmung

Geprägt durch die kulturellen Codes und das subjektive Empfinden ist die wahrgenommene Wirkung von Klängen kaum allgemeingültig zu definieren. Klänge und deren Wahrnehmung zu beschreiben ist komplex. Die hier angewandten Definitionen und Beschreibungen sind den gängigsten entnommen, bestehen aber nicht auf allgemeine Gültigkeit.

Generell geht Lautstärke aus dem Energiegehalt des Signals hervor. Dieser wird durch Höhe der Amplitude und die Dauer beschrieben³³. Ein kurzer Impuls (10 ms) wird leiser wahrgenommen als ein langer (100 ms) mit gleicher Amplitude (wie in Abbildung 7 dargestellt). Ab einer Integrationszeit (Bewertung eines Zeitraums) von 200 ms wird in der Lautstärke zwischen Rauschen und Einzeltönen vom Gehör nicht mehr unterschieden.

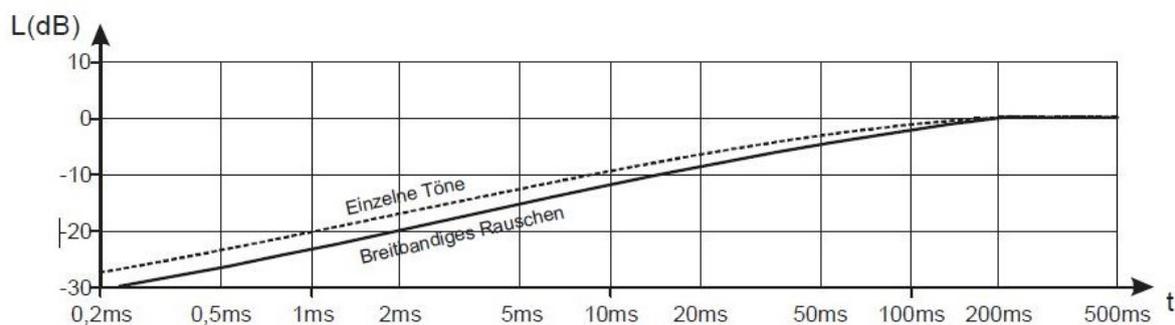


Abbildung 7: Unterschiede und Änderung des Lautstärkeempfindens bei kurzen Signalen; Friesecke, 2017, S. 130

Gleichzeitig ist der Energiegehalt ausschlaggebend. Ein Akkord (zum Beispiel ein Dur-Dreiklang) wirkt durch nah beieinanderliegende Töne lauter als ein einzelner Ton. Gefährlich ist bei der Lautstärkeempfindung die Ermüdung des Gehörs. Ab einer Integrationszeit von wenigen Minuten sinkt die Lautstärkewahrnehmung. Ein zu lautes Signal wirkt dann nicht mehr zu laut. Beobachtbar ist dies an sehr langsamen Pegelerhöhungen: In niedrigen Schritten nicht wahrnehmbar, wirkt es erst auffallend, wenn der Pegel wieder auf den ursprünglichen Ausgangspunkt reduziert wird. So kann die Schmerzschwelle teilweise überschritten werden und es können Schädigungen auftreten. Da neben der Lautheit auch die Dauer eine Rolle spielt, werden laute, aber langanhaltende Signale nicht in der Gefahr wahrgenommen, in der sie physisch auf das Gehör wirken. Ab wann aber Lautstärke als störend empfunden wird, ist neben physischen Gegebenheiten auch von der individuellen Einstellung abhängig. Musik, die gefällt, hat eine höhere Toleranzschwelle als diejenige, welche nicht gefällt.

Kreuzmodale Korrespondenzen verbinden Klangwahrnehmung (Interpretation von Frequenz und Amplitude) und Dinghaftigkeit, die Assoziation mit einem Objekt, dessen Struktur, Größe und Position. Klang wird so beschreibbar (Tabelle 3).

³³ Friesecke, 2017, S. 130

auditiver Reiz	korrespondierender Reiz	Korrespondenz
Tonhöhe	räumliche Höhe	höherer Ton = höhere Position
Tonhöhe	Helligkeit	höherer Ton = hellerer Reiz
Tonhöhe	Form	höherer Ton = kantigere Form
Tonhöhe	Größe	höherer Ton = kleineres Objekt
Tonhöhe	Ortsfrequenz	höherer Ton = feinere visuelle Struktur
Tonhöhe	Bewegungsrichtung	steigender Ton = Bewegung aufwärts
Lautstärke	Helligkeit	größere Lautstärke = hellerer Reiz
Tonhöhe	Geschmack	höherer Ton = süßeres Aroma
Harm. Konsonanz	Geschmack	größere Konsonanz = süßer

Tabelle 3: Kreuzmodale Korrespondenzen; Görne, 2017, S. 53

Strukturelle Kreuzmodalitäten wie die Verknüpfung von Lautstärke und Helligkeit sind angeboren und beruhen auf neuronaler Stimulation. Ein lauter, hochfrequenter Klang wirkt grell, beißend und löst ein Zusammenzucken aus. Statistische Kreuzmodalitäten sind erlernte, also auf Erfahrung basierende Zusammenhänge. Ein hochfrequenter Ton mit großer harmonischer Konsonanz wird von oben, beziehungsweise über der Person, verortet, ähnlich einem Vogelgezwitscher, welches erfahrungsgemäß aus Baumwipfeln kommt. Die dritte Kreuzmodalität fußt auf der semantischen Ebene. Hier werden Sinneseindrücke sprachlich beschrieben und drücken unter anderem das Fühlen aus, welches ein Klang erzeugt. Interessant hierbei ist die Verbindung von Klang und Geschmack, also zweier Sinne. Ein hoher Ton wird süß wahrgenommen (Tabelle 3).

Die Verbindung von Tonhöhe und Raumhöhe ist interkulturell. In fast allen Sprachen wird Tonhöhe anhand hoch/tief beschrieben und/oder im Raum oben/unten angeordnet. Einen Assoziationsansatz liefert Sigmund Freuds Strukturmodell der Psyche³⁴ (Abbildung 8).

³⁴ Görne, 2017, S. 111

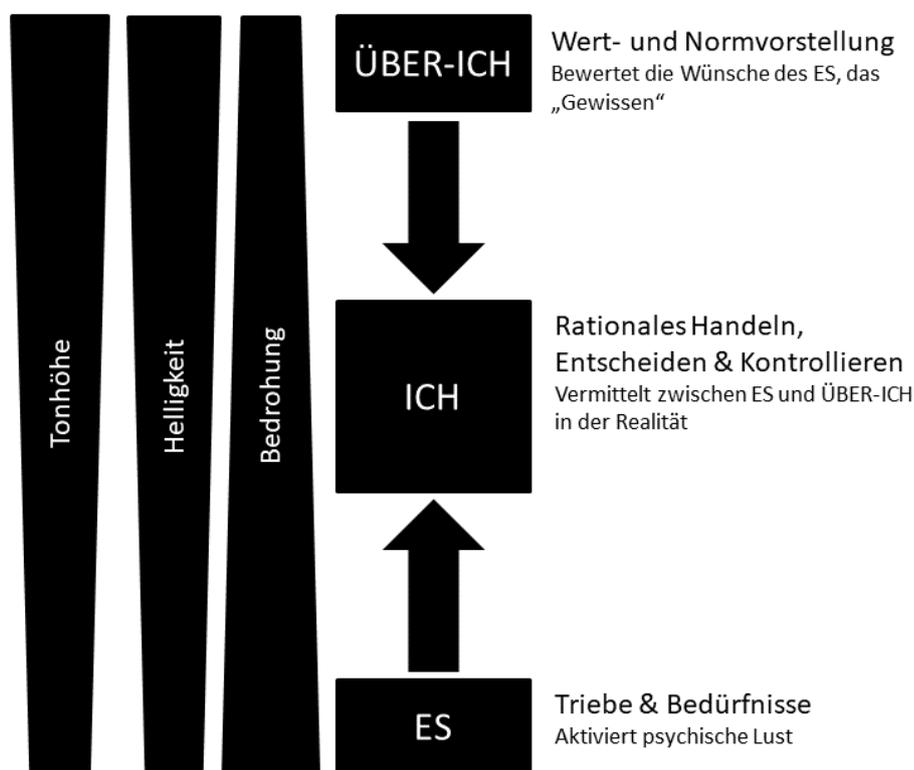


Abbildung 8: Strukturmodell der Psyche

Hier werden von oben nach unten das Über-Ich, das Ich und das Es angeordnet. Während das Über-Ich mit dem Metaphysischen in Verbindung steht (die Moral, der Intellekt) repräsentiert das Es die Instinkte, den Trieb. Starke hohe Frequenzen erscheinen hell und scharf. Tiefe Frequenzen wirken zunächst dumpf und dunkel, nehmen mit ihrer Intensität an Kraft, Macht aber auch an Bedrohlichkeit zu³⁵. Eine akustische Aufwärtsbewegung (Frequenzen nehmen im zeitlichen Verlauf an Höhe zu) wirkt erlösend, befreiend. Eine Bewegung zum Guten, eine Verbesserung. Abwärtsbewegungen drücken Trauer, Bedrücktheit aus³⁶.

Die kreuzmodalen Korrespondenzen gehen auf den Psychologen Charles Spence zurück³⁷. Ähnliche Erfahrungen sind auch von dem Elektrotechniker und Psychoakustiker Jens Blauert und den von ihm entwickelten *Blauertschen Bändern* bekannt (Abbildung 9).

³⁵ Görne, 2017, S. 112

³⁶ Görne, 2017, S. 114

³⁷ Görne, 2017, S. 52

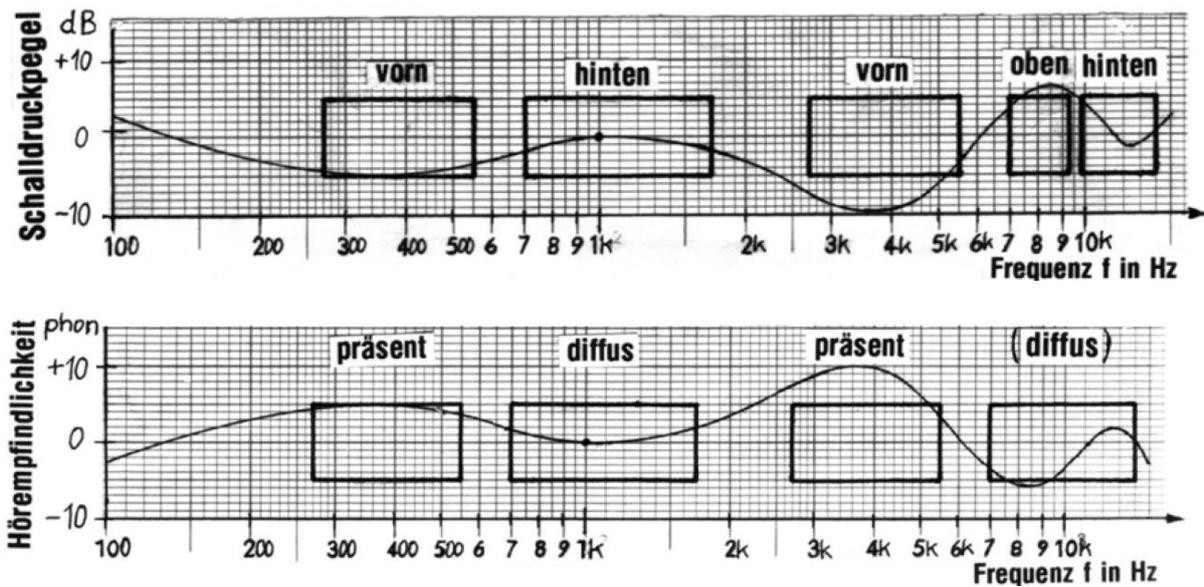


Abbildung 9: richtungsbestimmende Bänder, Sengpiel, 1995, S. 1

Durch die Abschattung des Kopfes werden Frequenzen, deren Wellenlängen kürzer als der Kopfdurchmesser sind, gedämpft. Der Intensitätsunterschied beträgt dabei bis zu 20 dB³⁸. Es ergibt sich ein Verhältnis von Diffus- und Direktschallanteilen. Daraus resultiert die wahrgenommene Position eines Signals im Raum. Eine Anhebung in den unteren Mitten (280 Hz bis 550 Hz) und untere/mittlere Höhen (2,8 kHz bis 5,5 kHz) führt zu einem deutlich und klar wahrgenommenen Klang von vorn. Eine Anhebung um 1 kHz entspricht einer Klangquelle hinter dem Kopf. Aufgrund der abnehmenden Wellenlänge der hohen Frequenzen wird zudem ein Bereich zwischen 7 kHz und 10 kHz gedämpft und diffus wahrgenommen. In den unteren Mitten liegen die Grundtöne, in den unteren Höhen die Obertöne. Letztere geben einem Instrument oder der menschlichen Stimme die Klangfarbe. Noch hochfrequenter, in den oberen Höhen, liegen die Sibilanten. Zusammen mit den Kurven gleicher Lautstärke (Abbildung 6) und dem Musik- und Sprachbereich erklären sich die in der AVAS-Norm definierten Terzbänder und Pegel. Es wird mindestens ein Terzband unter 1,6 kHz gefordert (Tabelle 1), welches damit im empfindlichen und gut wahrnehmbaren Sprachbereich liegt und eventuelle Hörbeeinträchtigungen (z. B. gedämpfte Höhenwahrnehmung) berücksichtigt.

Anhand der Assoziation wird auch der Aufmerksamkeitsfokus gelenkt. Bekannte Klangobjekte fordern zum Hinhören auf. Ein gänzlich unerkennlicher Klang weckt kein Interesse (beispielsweise der Verkehr als bloßes monotones Hintergrundrauschen). Es benötigt einen Orientierungsreiz³⁹. Hier versteckt sich eine Möglichkeit der unbewussten Manipulation. Ein Klang kann zunächst durch einen Maskierungseffekt im Hintergrund versteckt werden, wird aber dennoch vom Hörer wahrgenommen. Arbeitet man nun den Klang heraus, erscheint er bereits bekannt und lenkt deutlicher die Aufmerksamkeit. Die *Millersche Zahl* gibt dabei vor, dass ab

³⁸ Raffaseder, 2002, S. 113

³⁹ Görne, 2017, S. 89

7 Klangobjekten ± 2 zwischen den einzelnen nicht mehr unterschieden werden kann⁴⁰ und diese als ein neues ganzes Objekt wahrgenommen werden oder als Hintergrundgeräusch aus der Aufmerksamkeit verschwinden. Ein in Amplitude und/oder Lautstärke fluktuierendes AVAS-Signal könnte sich durch die geringen Variationen von Umgebungsgeräuschen abheben. Es wäre keine hohe Lautstärke nötig. Das Warnsignal wäre damit kein weiterer Faktor der Lärmemission⁴¹.

Ein reiner Sinus-Ton ist informationsarm und wird vom Gehirn mit niedriger Priorität verarbeitet. Mit zunehmenden Tönen unterschiedlicher Frequenzen wird das Signal komplexer, die Informationsdichte nimmt zu und das Signal wird für den Empfänger interessanter. Bei annähernd maximalem Informationsgehalt (Rauschen) kann das Gehirn jedoch keine Informationen mehr herausfiltern⁴². Rauschhafte Umgebungen erschweren daher die Informationsaufnahme. Der Cocktail-Party-Effekt lässt zwar durch den Aufmerksamkeitsfokus eine Filterung relevanter Inhalte zu, jedoch erschwert die Maskierung durch Störgeräusche die Informationsaufnahme und -verarbeitung. Rauschen kann auch bei niedrigen Lautstärken informationshemmend wirken. Sprache und Musik entsprechen einer mittleren Informationsdichte. Damit ist das Signal interessant genug, um wahrgenommen zu werden, die enthaltenen Informationen können aber noch entschlüsselt werden.

Klangobjekte werden aus abstrakten Schallereignissen, dem kausalen Hören⁴³, durch die kognitive Filterung auf zwei semantischen Ebenen geformt (semantisches Hören). Auf der ersten Ebene wird dem Schallereignis eine konkrete Quelle zugeordnet (Bellen bedeutet Hund). Auf der nächsten Ebene findet eine Bewertung statt (Bellen bedeutet Bedrohung). Durch den kulturellen Kontext ist das Hören stark archetypisch⁴⁴ geprägt⁴⁵. Mit den klanglichen Archetypen gibt es Soundklischees: Donner wird beispielsweise mit dem Zorn der Götter oder eine Glocke mit dem Schicksal assoziiert.

Beim abstrakten oder absoluten Klang fehlen die semantischen Ebenen. Das Schallereignis ist nicht zuordenbar⁴⁶. Abstrakte Klänge können zum einen Interesse wecken (Trends setzen), aber auch durch die fehlende Verknüpfung verwirren. Man hat die Möglichkeit, als Effekt im abstrakten Signal, versteckte Inhalte wie Emotionen zu transportieren⁴⁷. Nur sollten sie spärlich eingesetzt werden, um die generelle Assoziation und Bindung von Klang und Kontext nicht zu verlieren (Trends folgen). Hier werden die Herausforderungen, aber auch die Möglichkeiten des *Sound Brandings* deutlich.

⁴⁰ Görne, 2017, S. 91

⁴¹ JASIC, 2010, S. 16

⁴² Görne, 2017, S. 27

⁴³ Görne, 2017, S. 36

⁴⁴Archetyp (von altgriechisch ἀρχή arché ‚Anfang‘, ‚Ursprung‘ und τύπος typos, ‚Schlag/Abdruck‘, ‚Vorbild‘, ‚Skizze‘)

⁴⁵ Görne, 2017, S. 117

⁴⁶ Görne, 2017, S. 84

⁴⁷ Görne, 2017, S. 87

3.3 Hörgewohnheiten

Um Klanggewohnheiten- und/oder Vorlieben zu untersuchen, gibt es bisher Annäherungen von zwei Seiten. Einerseits untersuchen Fahrzeugakustiker ausgehend von der Psychoakustik die Wirkung von Fahrzeugsounds (z. B. Maiberger, 2018 und Zeller, 2018), andererseits gibt es Veröffentlichungen zu musikalischen Präferenzen (z.B. Rentfrow, Goldberg, Levitin, 2011 und Willimek, Willimek, 2011).

Rentfrow, Goldberg und Levitin haben anhand eines 5-Faktoren-Modells (MUSIC)⁴⁸ musikalische Vorlieben genreunabhängig anhand gefühlsbeschreibender Adjektive wie *mellow* (heiter), *unpretentious* (bescheiden), *sophisticated* (kultiviert), *intense* (intensiv) und *contemporary* (zeitgenössisch) eingeordnet. Ausgehend von der These, dass der Mensch anhand seiner Persönlichkeit, Einstellung und Gefühle Musik auswählt, wurde bei ihren Untersuchungen deutlich, dass außer der persönlichen Präferenz auch die Situation ausschlaggebend für die Musikwahl ist. So tendierte die Wahl in unangenehmen stimulierenden („stressigen“) Situationen, wie beispielsweise Fahren in dichtem Verkehr, zur entspannenden Musik (heiter, bescheiden), während in angenehm stimulierenden Situationen, zum Beispiel Training, anregende Musik gewählt wurde (kultiviert, intensiv)⁴⁹. Es kann also selbst die nach persönlicher Präferenz gewählte Musik in der falschen Situation störend wirken.

⁴⁸ Rentfrow, Goldberg, Levitin, 2011, S. 1152

⁴⁹ Rentfrow, Goldberg, Levitin, 2011, S. 1155

Attribute Faktor	musikalisch	psychologisch	demographische Verteilung
Mellow (heiter)	langsam, leise, klar	romantisch, entspannend, ausgeglichen, traurig, intelligent	vornehmlich weiß oder lateinamerikanisch, aufgeschlossen,
Unpretentious (bescheiden)	klar, gesanglich, leise, eintönig, langsam	romantisch, traurig, entspannend, ausgeglichen, simpel, ungebildet	vermehrt schwarz, geringes Einkommen, niedrige Bildung, ländliche Region, konservativ, religiös,
Sophisticated (kultiviert)	instrumental, eintönig, melodisch, klar, leise	intelligent, inspirierend, komplex, entspannend, romantisch, ausgeglichen	hohes Einkommen und Bildung, dichte Siedlung, kreativ
Intense (intensiv)	verzerrt, laut, mitreißend, perkussiv, dicht	aggressiv, komplex, aufregend, unromantisch, ungebildet, hemmend	vornehmlich weiß, geringes Einkommen, niedrige Bildung, wenig Vielfalt, geringes Wohlbefinden
Contemporary (zeitgenössisch)	mitreißend, perkussiv	fröhlich	hohes Einkommen, hoher Bildungsgrad, urbanes Umfeld, liberal, kreatives Umfeld

Tabelle 4: 5-Faktoren-Modell MUSIC; eigene Darstellung nach Rentfrow, Goldberg, Levitin, 2011, S.1152ff und Mellander, C., Florida, R., Rentfrow, P.J., Potter, J., 2018, S. 611

Eine Evaluierung des 5-Faktoren-Modells an der amerikanischen Bevölkerung von Mellander et al. ergab zudem, dass es gesellschaftliche Gruppierungen gibt, in denen sich gewisse Hörgewohnheiten abzeichnen (siehe Tabelle 4, Spalte demografische Verteilung). In einem stabilen, gut situierten Umfeld wird demnach fröhliche Musik präferiert⁵⁰, während gesellschaftliche Unterschichten im prekären Stimmungsklima aggressive Musik bevorzugen⁵¹.

Wird ausgehend von der Musiktheorie das Fahrzeug als Instrument betrachtet, lassen sich einige Zusammenhänge zwischen Motor- und Instrumentenklang feststellen. Das Fundament bildet der Grundton, der beim Instrument vom gespielten Ton (zum Beispiel der Anschlag einer Gitarrensaite oder Klaviertaste) und beim Motor von der Ordnung (und damit von der Zylinderzahl) abhängig ist. Im Unterschied zum Instrument, welches genau einen Grundton hat (die prägnanteste Frequenz im Spektrum), sind beim Motor mehrere Frequenzen ausgeprägt⁵². So ist bei den Untersuchungen von Chang und Park bei einem Motor mit 4 Zylindern die 2.,

⁵⁰ Mellander et al., 2018, S. 611

⁵¹ Mellander et al., 2018, S. 610

⁵² Chang, Park, 2016, S. 3

2,5., 3., 4. und 5. Ordnung betont (entspricht mit C3, E3, G3, C4, E4 einem C-Dur Akkord)⁵³. Ähnlich verhält es sich bei den Obertönen. Diese geben einem Instrument den Charakter. Eine Geige klingt nicht wie eine Gitarre, da die Seitenschwingung zusammen mit einem unterschiedlichen Resonanzkörper andere Obertöne erzeugt. Während beim Instrument die Obertöne einzeln in definierten Abständen (zum Beispiel Oktave, Terz, usw.) auftreten, kommen beim Motor durch die Schwingung von vielen Komponenten (Blechteile, Mechaniken, usw.) viele resonierende Obertöne hinzu. Das Instrument erhält wie erwähnt dadurch seinen Klangcharakter, der Motor neigt zum Rauschen⁵⁴.

⁵³ Chang, Park, 2016, S. 2

⁵⁴ Chang, Park, 2016, S. 1

3.4 Fahrertypen

Eine weitere Einteilung – nach akustischen und nicht-akustischen Einflüssen – kann nach Maiberger erfolgen⁵⁵. In erster Linie sind Fahrertypen am Fahrzeugtyp auszumachen. Entsprechend ihrer Erwartungshaltung und Hörgewohnheiten wählen sie ihr Fahrzeug aus.

	soundorientierter Spaßfahrer	lärmempfindlicher Ästhet	sound-uninteres- sierter Pragmatiker
Audi	34,5 %	29,6 %	35,9 %
BMW	39,5 %	26,7 %	33,7 %
Mercedes	28,9 %	35,6 %	35,4 %
Porsche	58,3 %	25,0 %	16,7 %
Volkswagen	24,6 %	24,6 %	50,7 %
Kompaktklasse	19,5 %	29,8 %	50,7 %
obere Mittelklasse	29,4 %	33,7 %	36,9 %
Oberklasse	24,2 %	45,9 %	29,9 %
SUV	27,9 %	32,5 %	39,6 %
Sportwagen/Coupé	46,9 %	30,7 %	22,4 %

Tabelle 5a: „prozentuale Verteilung auf die 3 Fahrertypen“, eigene Darstellung nach Maiberger, 2018, S. 35

Die sound-uninteressierten Pragmatiker (Tabelle 5a, dritte Spalte) tendieren aufgrund einer eher rationalen Entscheidung des Preis-Leistungsverhältnisses zur Kompaktklasse⁵⁶. Da sie weniger Bedarf an Komfort und gar kein Interesse an einem Sounddesign haben, besteht für diese Gruppe darin kein finanzieller Mehrwert. Das Fahrzeug ist ein Werkzeug⁵⁷. Bevorzugte Marke ist Volkswagen⁵⁸, die in diesem Segment sehr stark vertreten ist. Sportlicher Klang ist in der Weise störend, als dass gar kein Sound erwartet wird⁵⁹.

Die lärmempfindlichen Ästheten bevorzugen überwiegend das Oberklasse-Segment⁵⁶. Durch die hochwertige Verarbeitung wie bessere Dämmung geht oft ein generell niedriges Geräuschniveau einher. Ein Sounddesign spielt dergestalt eine Rolle, dass es eine Kongruenz von

⁵⁵ Maiberger, 2018, S. vii

⁵⁶ Maiberger et al., 2016, S. 1208

⁵⁷ Maiberger, 2018, S. 33

⁵⁸ Maiberger, 2018, S. 34

⁵⁹ Maiberger, 2018, S. 89

Fahrzeug und Sound geben muss. Ein sportlicher Klang ist nur bei Sportwagen akzeptiert, bei anderen Fahrzeugklassen aber störend⁶⁰. Dort sucht er zugunsten des Komforts das niedrige Geräuschniveau. So ist eine Markenzuordnung schwierig, da zwar Mercedes als Premiummarke generell höheren Komfort bietet, bei anderen Herstellern die Ausstattung aber deutlich von Paketen und damit stark vom Preis abhängig ist.

Sound-uninteressierte Pragmatiker und lärmempfindliche Ästheten können zusammengefasst werden. Beide bevorzugen ein generell niedriges Geräuschniveau. Der Klang wird mit mild, glatt, leise beruhigend, komfortabel, zurückhaltend und elegant bewertet⁶¹.

Soundorientierte Spaßfahrer bevorzugen vorwiegend Sportwagen⁵⁶. Hier spiegelt der Fahrzeugsound das dynamische Fahrverhalten wider⁶². Neben dem physischen Feedback dient auch der Sound zur akustischen Rückantwort des Fahrverhaltens. Das Fahrzeug ist hier ein Statussymbol⁶³. Für den gewünschten Effekt werden von dieser Fahrergruppe Mehrkosten in Kauf genommen (zum Beispiel für nachrüstbare Soundmodule). Beliebteste Marke ist Porsche (Tabelle 5a) als Vertreter des Sportwagensegments, aber auch zu geringeren Anteilen BMW, die ebenfalls Fahrzeuge aus diesem Segment im Portfolio führen (beispielsweise i8 als Plug-in-Hybrid-Sportwagen⁶⁴ oder M4 als Sportcoupé⁶⁵). Der soundorientierte Spaßfahrer erwartet sportlichen Klang in jedem Fahrzeug⁶⁶ und bewertet diesen mit laut, aufregend, aggressiv, sportlich, auffallend, kräftig und leistungsstark⁶⁷. Eine hohe Sportlichkeit bedeutet hier hohen Komfort und Soundqualität⁶⁸.

	soundorientierter Spaßfahrer	lärmempfindlicher Ästhet	sound-uninteres- sierter Pragmatiker
Altersdurchschnitt	53,5 Jahre	57,9 Jahre	58,9 Jahre
Marktanteil	31,0 %	27,4 %	41,6 %
männlich	32,9 %	32,6 %	34,5 %
weiblich	22,7 %	37,0 %	40,3 %

Tabelle 5b: „prozentuale Verteilung auf die 3 Fahrertypen“, eigene Darstellung nach Maiberger, 2018, S. 35

⁶⁰ Maiberger, 2018, S. 57

⁶¹ Maiberger, 2018, S. 35

⁶² Maiberger, 2018, S. 34

⁶³ Maiberger, 2018, S. 33f

⁶⁴ BMW AG_a, 2020

⁶⁵ BMW AG_b, 2020

⁶⁶ Maiberger, 2018, S. 87

⁶⁷ Maiberger, 2018, S. 36

⁶⁸ Maiberger, 2018, S. 57

Geschlechterspezifisch sind Frauen eher bei den Pragmatikern einzuordnen, während sich die hier genannte Aufteilung bei den Männern gleichverteilt. Der Schwerpunkt liegt bei den Pragmatikern. Betrachtet man das Alter, spiegelt sich darin der Altersdurchschnitt aus den Untersuchungen des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA) wider⁶⁹. Dieser verteilt sich mit über 50 Jahre auf alle 3 Fahrertypen ähnlich.

Dass bei den Fahrzeugmarken nur deutsche Marken genannt werden, liegt unter anderem daran, dass die Untersuchungen an Kunden der genannten Marken durchgeführt wurden und die Bewertung bisher anhand eigener Fahrzeuge oder potenzieller Anschaffungen erfolgten⁷⁰.

Die schematische Abbildung 10 stellt die Zusammenhänge von Sportlichkeit und Komfort, Fahrer- und Fahrzeugtyp und die Fahrsituation dar. Der einzelne Fahrertyp hat eine gewisse Erwartungshaltung an Komfort oder Sportlichkeit. Diese überträgt sich auf das Fahrverhalten (statisch oder dynamisch). Stimmen diese beiden nun mit dem Fahrzeugtyp überein, ergibt sich eine positiv wahrgenommene Klangqualität (z. B. Sportlichkeit und dynamisches Fahren). Auszugsweise gilt für den lärmempfindlichen Ästheten:

Er erwartet ein niedriges Geräuschniveau, fährt eher statisch und bevorzugt ein Oberklassemodell. Klingt dieses nun mild und glatt (geringe Rauheit und Schärfe), hat das Fahrerlebnis als Resultat eine hohe Klangqualität. Entspricht das Klangbild nicht der Erwartung und/oder mit der Fahrweise überein, wirkt dies auf den Fahrer enttäuschend und mindert das Fahrerlebnis.

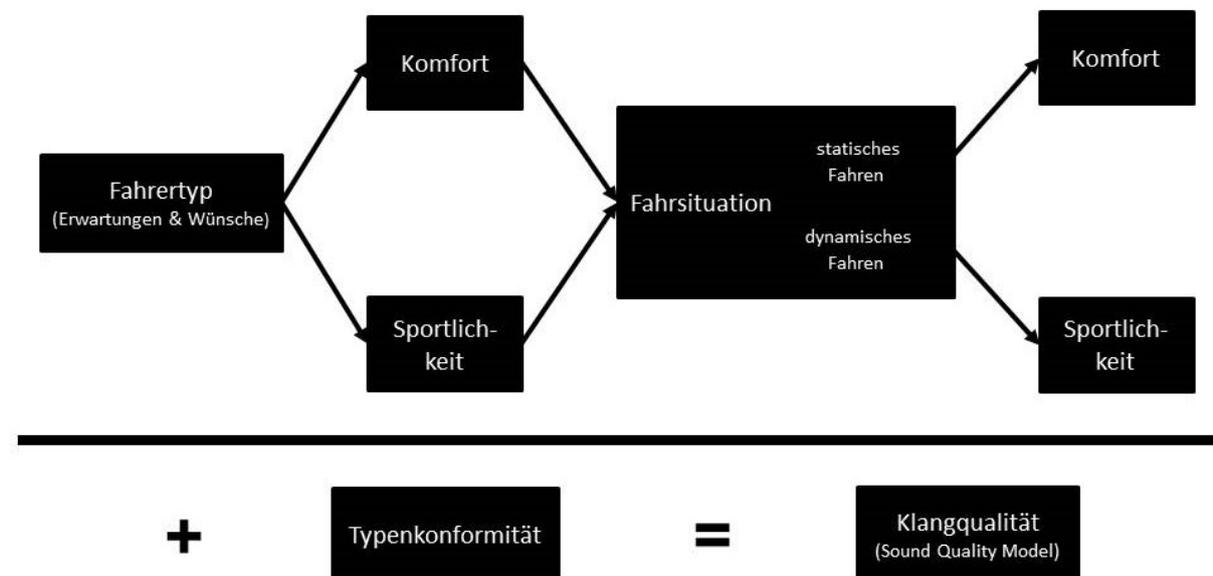


Abbildung 10: Klangqualitätsmodell; eigene Darstellung nach Maiberger, 2018

Die Klangqualität eines Fahrzeugs setzt sich also aus dem Fahrertyp (und seiner Erwartungshaltung an Sportlichkeit oder Komfort), der Fahrsituation (dynamisches oder statisches Fahren) und der Typkonformität (Sportwagen oder Limousine) zusammen. Daraus resultieren die zwei Klangmodi Sportlichkeit und Komfort.

⁶⁹ KBA, 2011, S. 6

⁷⁰ Maiberger, 2018, S. 88

4 Fühlen und Wahrnehmen von Emotionen

Rationales Handeln ohne Emotionen ist unmöglich. Neben instinktiver Lenkung (z. B. Hunger/ Durst, Arterhaltung) spielen noch äußere Faktoren eine Rolle. Diese lösen weitere innere Reize (Emotionen) aus. Damit wird entweder das instinktive Handeln verstärkt oder anhand von Analyseprozessen umgeleitet. Durch Emotionalität kann der Mensch Situationen als gut oder schlecht und die damit notwendigen Handlungspotenziale einschätzen⁷¹.

Emotionen sind damit objekt- und situationsgerichtet⁷². Das Empfinden wird dabei zum einen von der Situation von außen, aber auch von der inneren (Erwartungs-)Haltung beeinflusst (Subjekt-Objekt-Beziehung⁷³). Das Sender-Empfänger-Modell der Kommunikation nach Shannon und Weaver (Abbildung 11) lässt sich in Bezug der Emotionswahrnehmung wie folgt darstellen:

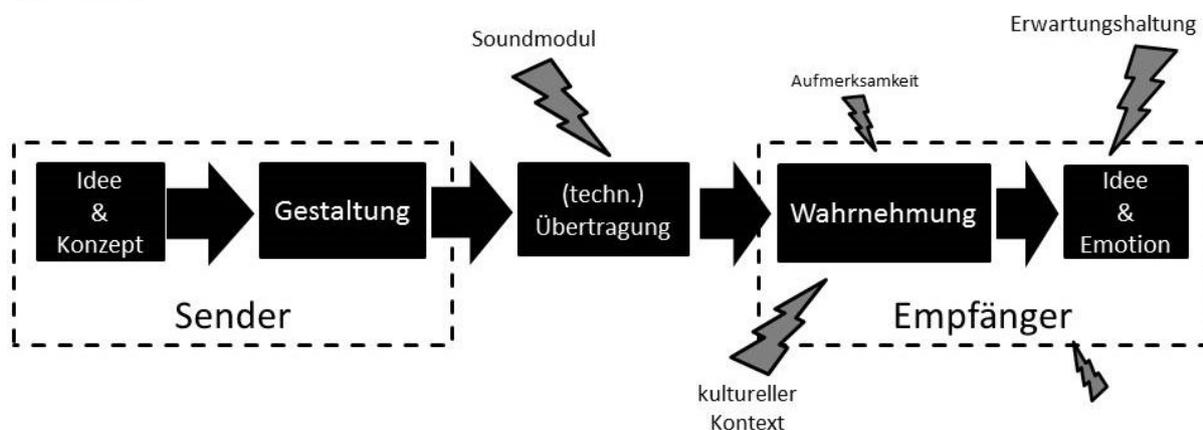


Abbildung 11: Sender-Empfänger-Modell; eigene Darstellung nach Görne, 2017, S. 44

Emotionen sind nicht Bestandteil der physikalischen Realität. Im Verlauf der Informationsübertragung ändert sich die Gewichtung in der Wahrnehmungsinterpretation von objektiv zu subjektiv. Zunächst messbare physikalische Größen werden durch die subjektive Wahrnehmung (Senderseite), der kognitiven Filterung anhand eigener Erwartungen und des kulturellen Kontextes in subjektives Empfinden und schließlich in eine eigene empfundene Realität gewandelt (Empfängerseite). Dadurch sind Emotionen individuell abhängig. Ein Ereignis kann auf zwei Personen völlig unterschiedlich wirken. Wie bereits erwähnt, wird der Sportwagen sound vom soundorientierten Spaßfahrer positiv wahrgenommen, während er auf den sound-uninteressierten Pragmatiker störend wirkt.

„Emotionen sind Reaktionen auf äußere Reize, die als angenehm oder unangenehm empfunden werden und mit erhöhter Aktivierung verbunden sind.“

Fischer, Wiswede, 2002, S. 110

⁷¹ Knackfuß, 2010, S. 2

⁷² Franke, 2013, S. 17

⁷³ Knackfuß, 2010, S. 18

Per Definition werden Emotionen durch Wahrnehmung (Reaktion auf Stimuli) ausgelöst⁷⁴ (Belien bedeutet Bedrohung, Bedrohung verursacht Angst). In der bewussten Wahrnehmung werden äußere Reize aktiv wahrgenommen (durch Fühlen, Hören, Schmecken, Sehen). Dabei wird ständig in einem kognitiven Verarbeitungsprozess analysiert und gefiltert⁷⁵, ob ein Reiz wichtig ist und eine aktive Reaktion erfordert (zum Beispiel Muskelzucken bei Schmerz)⁷⁶. Bei unbewusster Wahrnehmung wird einem Reiz eine niedrige Wichtigkeit zugeordnet, es bedarf also keiner aktiven Reaktion. So wird die Stimulation „nicht wahrgenommen“, was aber nicht bedeutet, dass sie reaktionslos bleibt. Die Wirkung bleibt nur versteckt. Konstanter Lärm oberhalb der Hörschwelle geht vielleicht im Alltag durch Gespräche, Musik oder Verkehrsgeräusche unter (Maskierungseffekt), durch die konstante Beschallung und Reizung entsteht aber dennoch Stress.

Durch den Situationsbezug sind Emotionen zeitlich limitiert⁷⁷. Der Moment wirkt nur akut in der Gegenwart. Davor und danach entstehen zwar auch Emotionen, im Nachhinein resultieren diese aber aus der Erinnerung an den Moment und sind beeinflussbar⁷⁸. Eine Stimmung oder ein Gefühl ist im Unterschied nicht objektgerichtet und damit zeitlich unbegrenzt. Stimmungen gehen als Erwartungshaltung den Emotionen voraus. Es kann zu einer negativen Emotion kommen, da die generelle Haltung bereits negativ ist.

Tabelle 6 fasst die Unterschiede zwischen Stimmung und Emotionen zusammen:

Stimmung	nicht objektgerichtet	zeitlich <u>un</u> limitiert	wirken auf kognitive Filterung	emotions <u>un</u> abhängig
Emotion	objektgerichtet	zeitlich limitiert	entstehen durch kognitive Filterung	stimmungs <u>ab</u> hängig

Tabelle 6: Unterschiede zwischen Stimmung und Emotion; eigene Darstellung

Letztendlich kommt es bei der empfundenen Realität neben der psychologischen Veränderung auch wieder zu Veränderungen auf physischer Basis. Emotionen wirken sich auf Muskelbewegungen, wie beispielsweise die Mimik (freundliches Lächeln) und auf die Physis wie Pulsänderungen und/oder Geschwindigkeit des Herzschlags aus⁷⁹. Ein wütender Fahrer neigt zum Beispiel zu aggressivem Fahrverhalten wie starkes Beschleunigen, riskanten Überholmanövern und einer verminderten Kompromissbereitschaft anderen Verkehrsteilnehmern gegenüber (beispielsweise bei Vorfahrten).

⁷⁴ Fischer, Wiswede, 2002, S. 110

⁷⁵ Görne, 2017, S. 44

⁷⁶ Görne, 2017, S. 43

⁷⁷ Knackfuß, 2017, S. 18

⁷⁸ Franke, 2013, S. 26

⁷⁹ Knackfuß, 2017, S. 21

4.1 Emotionen beschreiben

Die Emotionsforschung versucht trotz der stark subjektiven Abhängigkeit, Emotionen objektiv zu beschreiben, sie zu kategorisieren und dadurch allgemeingültige Aussagen zu treffen. Doch obwohl sich die Psychologie schon sehr lange mit Emotionen auseinandersetzt (Darwin beschrieb bereits emotionale Ausdrucksweisen⁸⁰) gibt es keine einheitliche Meinung, wie sich Emotionen definieren, kategorisieren und/oder bewerten lassen.

In Anbetracht von Probanden-Befragungen sind zwei wesentliche Ansätze zu nennen:

- (1) Der kategoriale Ansatz gibt eine bestimmte, klar untereinander getrennte Anzahl an Gefühlszuständen vor (Basisemotionen). Diese sind nicht weiter zu unterteilen, sondern können höchstens durch Umschreibungen (Items) abgefragt werden.⁸¹
- (2) Im dimensionalen Ansatz sind Empfindungen nicht klar abgetrennt, sondern in Dimensionen wie Valenz (angenehm – unangenehm) und Erregung (hoch-erregend – niedrig-erregend) eingeordnet, deren Übergänge prinzipiell fließend sind. Anhand von Umschreibungen (Items) können Probanden mittels des semantischen Differenzials indirekt abgefragt werden⁸².

Anhang 8.2 dieses Dokuments zeigt einen Überblick der gängigsten Emotionstheorien und der darin verwendeten Kategorisierungen. Allen gleich ist eine Aufteilung in positiv und negativ. Ebenso dominiert mit großer Mehrheit die Theorie der Basisemotionen. Diese sind kulturell übergreifend und können anhand (mimischer) Reaktionen verstanden werden⁸³. Welche bestimmten Emotionen dies sind und auch deren Anzahl ist jedoch strittig. So wird in den meisten Untersuchungen zwischen Basis- oder Primäremotionen und Emotionsitems unterschieden (Anhang 8.2). Anhand der Items werden die Basisemotionen von Probanden abgefragt. Es hat sich beim Entwurf verschiedener Theorien bei gewissen Emotionen und deren Items eine Eignigkeit gebildet. So tauchen gewisse Begriffe entweder als Basisemotionen oder Items in allen gängigen Theorien auf (zum Beispiel Freude, erfreut, freudig; Angst, ängstlich).

Für die Klangbewertung von Fahrzeuggeräuschen hat sich unter anderem das semantische Differenzial bewährt⁸⁴. Darin wird die subjektive Wahrnehmung verbal abgefragt. Zwar ergibt sich daraus das Problem, dass sich der Proband in seinem Empfinden selbst gegenüber sicher sein muss – und es ist dabei fraglich, inwiefern er darüber Auskunft geben möchte oder kann,

⁸⁰ Brandstätter et al., 2013, S. 161

⁸¹ Brandstätter et al., 2013, S. 152f

⁸² Brandstätter et al., 2013, S. 151f

⁸³ Brandstätter et al. 2013, S. 132

⁸⁴ Maiberger, 2018, S. 13f

jedoch kann diese Umschreibung durch Items eine Möglichkeit bieten, den Probanden unbewusst über Emotionen abzufragen. Tabelle 7 stellt eine eigene, mögliche Zusammenstellung der Emotionsitems auf Basis diverser Emotionstheorien in einem semantischen Differenzial dar:

Adjektivpaare								
	3	2	1	0	1	2	3	
altmodisch								modern
angenehm								störend
billig								wertig
aufregend								langweilig
fremdartig								vertraut
künstlich								natürlich
sanft								grob
trist								fröhlich

Tabelle 7: semantisches Differenzial mit eigenen Emotionsitems

Anhand einer Probandenuntersuchung kann sich mit diesen Items, deren emotionale Wirkung ableiten lassen. Gleichzeitig wären aber auch mit diesen Begriffen akustische Rückschlüsse für mögliche Sounddesigns möglich. Damit könnte teilweise gleichzeitig die wahrgenommene Fahrzeugqualität, die erzeugten Gefühle und der Klang bewertet werden.

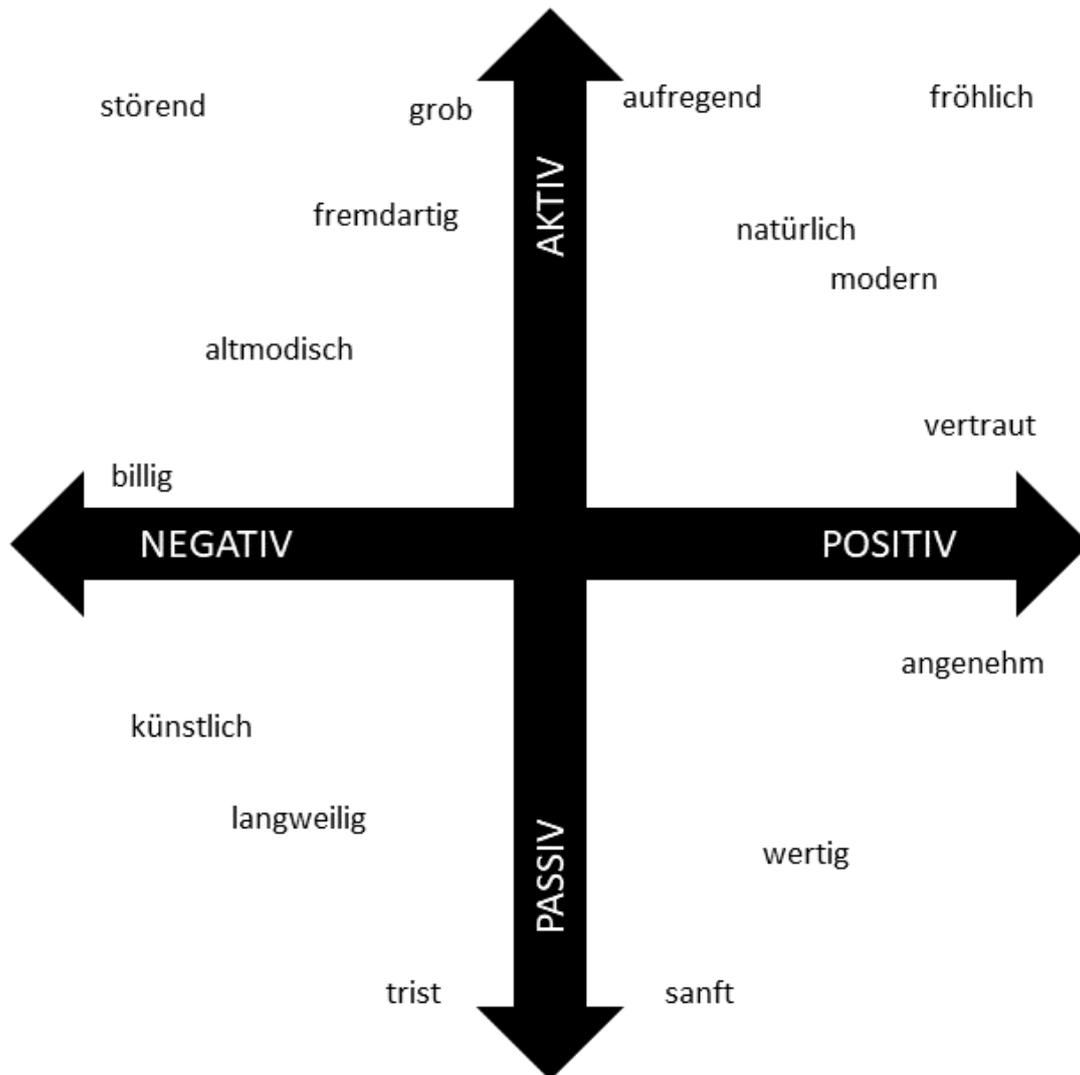


Abbildung 12: zweidimensionales Circumplex-Modell der Emotionen

Überträgt man die Emotionsitems wie in Abbildung 12 in das Circumplex-Modell, so ergibt sich exemplarisch für die (Basis-)Emotion Freude (aus den Items aufregend und fröhlich) eine hohe positive Aktivität. Liebe (vertraut und natürlich) wäre eine mittlere aktive, aber deutlich positive Emotion. Auf der Gegenseite wäre mit billig und altmodisch die Ablehnung deutlich negativ mit mittlerer Aktivität.

Zusätzlich kann anhand der mimischen Reaktionen⁸⁵, Messung des Blutdrucks, Pulses, Hautwiderstands oder mittels funktioneller Magnetresonanztomographie die emotionale Wirkung objektiv auf physiologischer Ebene gemessen werden⁸⁶. Diese Werte sind dann unabhängig von der persönlichen Mitteilungsbereitschaft. Welche Verfahren herangezogen werden, ist immer in Anbetracht der zu Verfügung stehenden Mittel, einem Kosten-Nutzen-Verhältnis und ob qualitative oder quantitative Aussagen ermöglicht werden sollen, abzuwägen.

⁸⁵ Brandstätter et al., 2013, S. 154

⁸⁶ Brandstätter et al. 2013, S. 155

4.2 Markenidentität

Emotionen haben fahrzeugbezogen einen Zusatznutzen. Sie helfen bei der Produktdifferenzierung in der großen Aus- und Vielzahl an Angeboten der Automobilbranche⁸⁷. Sie sprechen mögliche Kunden direkt an und führen damit zu einer möglichen Kaufentscheidung, aber auch zur Markenbindung⁸⁸. Viele Marken haben daher einen emotionalen Mehrwert für ihre Fahrzeuge oder Marke entdeckt:

„Freude am Fahren“ – BMW⁸⁹

„auto emoción“ – Seat⁹⁰

„excellence through passion“ – Maserati⁹¹

„DAS BESTE ODER NICHTS“ – Mercedes Benz⁹²

Wie bereits erwähnt, sind Emotionen situationsabhängig, beziehungsweise objektgerichtet. Die erste Reaktion auf ein Fahrzeug findet anhand einer unmittelbaren emotionalen Bewertung nach gut oder schlecht statt und prägt sofort das weitere Erlebnis („der erste Eindruck zählt“)⁹³. Damit spielen viele Faktoren beim Fahrzeug eine Rolle. Objektgerichtet ausschlaggebend sind Haptik und Fahrverhalten, also wie fühlt sich das Fahrzeug an, in Verbindung der Erwartungshaltung, welches Fahrverhalten und Verarbeitungsqualität erwartet wird. Situationsbezogene Faktoren sind Wetter, zum Beispiel eine trockene, nasse oder vereiste Fahrbahn, oder der Verkehr. Der soundorientierte Spaßfahrer möchte beispielsweise dynamisch fahren. Er erwartet eine aufregende Fahrt und möchte die Straße genießen⁹⁴. Stau und ein leistungsschwaches Auto wird stark negatives Empfinden auslösen.

Es gibt auch einige, den jeweilig subjektiven Emotionen des Fahrzeugs gegenüber, weniger stark persönlich abhängige Empfindungen. Eine gewisse Wertigkeit entsteht durch das Sicherheitsgefühl, ausgelöst durch Robustheit. Daneben vermittelt der Individualverkehr immer noch Unabhängigkeit und Freiheit.

Noch unerforscht sind Erwartungshaltungen und Emotionen gegenüber elektrisch angetriebenen Fahrzeugen. Aufgrund ihres umweltfreundlichen Antriebs (fehlende Abgase) und der medialen Präsenz als neue, innovative Technik, lassen sich hypothetisch Begriffe wie Zukunft, Umwelt, Moderne und damit ein gewisser Lifestyle verbinden. Die Fahrzeugbatterie und die damit eingeschränkte Reichweite könnten sich negativ auf die Unabhängigkeit und das Freiheitsgefühl auswirken.

⁸⁷ Knackfuß, 2010, S. 92

⁸⁸ Knackfuß, 2010, S. 187

⁸⁹ BMW Slogan, (o.D.)

⁹⁰ Seat Auto Emocion, (o.D.)

⁹¹ Maserati tagline excellence through passion, (o.D.)

⁹² Daimler AG, 2018

⁹³ Franke, 2013, S. 2

⁹⁴ Sheller, 2004, S. 5

Zur potenziellen Emotionalisierung eines E-Fahrzeugs ist folgende Zielsetzung ausschlaggebend⁹⁵:

(1) gewünschte Emotionen definieren:

Bei positiv-aktiven wird der Kaufwille ausgelöst, während durch positiv-passive die Markenbindung entsteht. Im Idealfall erreicht man beide Bereiche zu einer „Glücksmaximierung“⁹⁶. Kognitive Dissonanzen sollten vermieden werden.

(2) auslösende Faktoren identifizieren:

ausgehend vom Fahrertyp, Erwartungshaltung des Fahrzeugs gegenüber, zu transportierendes Markenimage

(3) Vorhersagbarkeit der Wirkung:

durch beispielsweise Probandentests

4.3 Mit Klängen Emotionen erzeugen

Die Wirkung von Emotionen ähnelt den Wirkungen anderer (biologischer) Reize im Belohnungssystem, ähnlich Sex, Drogen oder Essen. Es kommt bei positiven Emotionen zur Dopaminausschüttung. Gleichzeitig wird die Reaktion im Angstzentrum des Gehirns gemindert. Es stellt sich damit Wohlbefinden oder bei positiv-aktiven Emotionen eine erhöhte Leistungsfähigkeit ein⁹⁷.

4.3.1 Tonhöhe (Frequenz)

Die Manipulation einzelner Frequenzen wirkt sich nur dezent auf die Gestaltwahrnehmung aus, bestehen doch Klänge aus Grund- und Obertönen. Tiefe und laute Frequenzen vermitteln zwar ein eher großes Objekt, wirken aber mehr auf die Gestalttextur. Ein präsender, tieffrequenter Anteil lässt das Klangobjekt rau und hart klingen. Emotional werden Macht und Dominanz, damit aber auch gleichzeitig Bedrohlichkeit ausgelöst⁹⁸. Ein deutlicher Anteil hoher Frequenzen oder ein höherer Grundton lässt ein Objekt klein wirken⁹⁹.

4.3.2 Harmonie (Frequenzbeziehungen)

Neben der reinen Lautstärke und Frequenz sind deren Verhältnisse zueinander wichtig. Die Harmonielehre diktiert einen definierten Abstand zwischen zwei Tönen und ob dieser dissonant (sich widerspricht, lat.: dis = unterschiedlich, sonare = klingen) oder konsonant (lat.: con =

⁹⁵ Knackfuß, 2010, S. 3

⁹⁶ Franke, 2013, S. 23

⁹⁷ Spitzer, 2005, S. 397

⁹⁸ Schmid, 2018, S. 57

⁹⁹ Görne, 2017, S. 39

zusammen) klingt. Dieses Verhältnis ist kulturell geprägt (Abbildung 14). Ein Vorteil der europäischen Musik ist die Durchsetzung der Kirchentonarten nach Johann Sebastian Bach in der klassischen Musik. Sie definieren einen konkreten Tonvorrat und die tonalen Beziehungen darin. Durch die internationale Etablierung der westeuropäischen klassischen Musik und der daraus resultierten musikalischen Entwicklung entspricht die allgemeine Klangvorstellung auf der Welt der westeuropäischen. Es gibt trotzdem noch weitere definierte Tonvorräte und damit andere tonale Beziehungen wie in Abbildung 13 dargestellt ist:

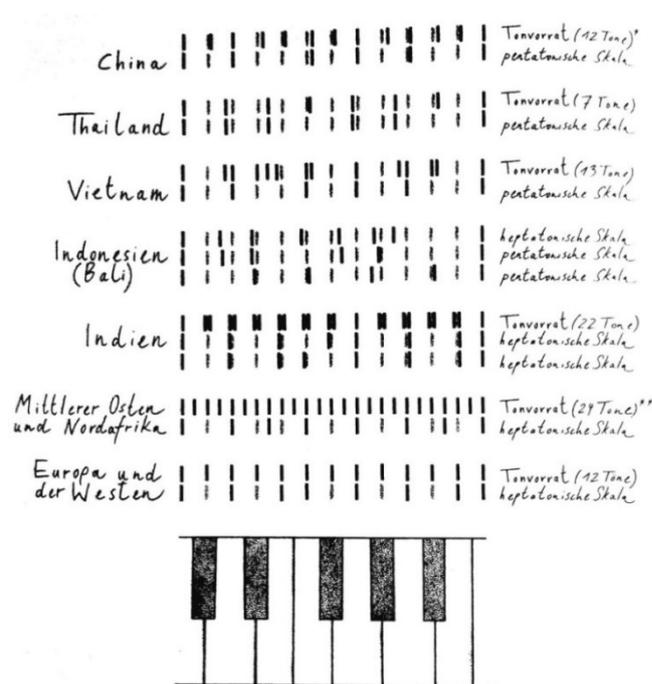


Abbildung 13: Beispiele für Tonvorrat und ausgewählte Skalen verschiedener Kulturen, in Relation zum westlichen System gleichstufiger Halbtöne von je 1/12 Oktave; Görne, 2017, S. 70

Intervall	Proportion	Klang
Prim	1 : 1	Vollständige Konsonanz
Oktave	1 : 2	
Quinte	2 : 3	
Quarte	3 : 4	Unvollständige Konsonanz
Große Sexte	3 : 5	
Große Terz	4 : 5	
Kleine Terz	5 : 6	Dissonanz
Kleine Sexte	5 : 8	
Kleine Septime	5 : 9	
Große Sekunde	8 : 9	Dissonanz
Große Septime	8 : 15	
Kleine Sekunde	15 : 16	
Tritonus	32 : 45	Dissonanz

Abbildung 14: Proportionstheorie; Zeller, 2018, S. 260

Allen Kulturen gemeinsam ist der Oktavabstand. Bei Quinte und Quarte kommt es nur um wenige Cent Abweichungen (da nicht nach westlichem Maß *wohltemperiert*). Die Zwischenstufen, Aufteilung in Halb- und Ganzton, sind kulturell unterschiedlich.

Dies liegt an den harmonischen Obertönen (ganzzahlige Vielfache des Grundtons). Pro Oktave wird die Frequenz verdoppelt (125 Hz → 250 Hz). Damit ist der Grundton immer ein Teilton eines Obertones. Bei Quinten entspricht das jedem zweiten Teilton¹⁰⁰.

¹⁰⁰ Görne, 2017, S. 73

Dissonante Akkorde aktivieren Gehirnareale, die für negative Emotionen zuständig sind¹⁰¹. Dissonanz kündigt Unheilvolles an¹⁰²:

„[...] der Teufel spielt Geige; aber die Engel singen und spielen Harfe, [...]“

Spitzer, 2005, S. 440

Daraus ergibt sich in gewissem Maße auch der Zusammenhang von Moll-Akkorden (kleiner Terzabstand zum Grundton), die gegenüber Dur-Akkorden (großer Terzabstand) dissonanter klingen, und der Trauer.

Aussagekräftiger ist jedoch die harmonische Beziehung der Akkorde zum Gesamtkomplex und wie darin Akkorde und Töne eingebettet sind und sich entwickeln (*Chord-Progression*).

Durch die westliche Hörgewohnheit klingen ganze Tonika-Dreiklänge (1., 3., 5. Akkord-Stufe) nach Perfektion und Komfort. Der suspendierte Dreiklang (1., 4., 5. Akkord-Stufe) erzeugt durch seinen verringerten Abstand zur 5. Akkord-Stufe eine Reibung (Dissonanz) und wirkt daher ähnlich einem Sportmotor mit seiner hohen Rauigkeit dynamisch und heiter¹⁰³. Der in der Rock-Musik eingesetzte Powerchord (1. und 5. Akkord-Stufe) ist durch seine Geschlechtslosigkeit (weder Moll, noch Dur) simpel, aber kräftig (in der Rockmusik besteht beispielsweise das harmonische Grundgerüst häufig aus Powerchords, die in 8-tel oder 16-tel Noten angeschlagen werden. Dies dient als ein geschlechtsloses Fundament und lässt der Melodie oder Soli ausreichend Platz). Die Wirkung von Harmonien im musikalischen Gesamtkonstrukt stellt Tabelle 7 dar. Darin ist wie beispielsweise bei der Zwischendominante ersichtlich, dass der wahrgenommene Charakter von der Entwicklung zur nächsten Harmonie abhängt. Folgt ein Dur-Akkord (Auflösung), erklingt das Konstrukt hoffnungsvoll. Wird die Spannung (Dissonanz) nicht aufgelöst, wirken negative Gefühle wie Enttäuschung oder Schmerz.

¹⁰¹ Spitzer, 2005, S. 395

¹⁰² Spitzer, 2005, S. 419

¹⁰³ Chang, Park, 2016, S. 2

Harmonie	Wirkung
Dur-Tonika	Gefühl des nüchternen Einverstanden-Seins
Moll-Tonika	Trauer (leise), Zorn (laut); ebenso Nicht-Einverstanden-Sein
Äolisch Moll	Mut, Abenteuer, Spannung, Gefahr, Härte, schwierige Situation
Dominantakkord	Gefühl von Bewegung, Fortstreben, Befreiung, Dominante einer Molltonika: Übernahme des Mollcharakters
Septakkord	Widerstand, Protest, Aufmüpfigkeit, Weinerlichkeit, Weichlichkeit, Bremsen, Schrittbewegung; bei Molltonika: Übernahme des Mollcharakters
Zwischendominante	Charakter extrem wandelbar und vielfältig einsetzbar; Vorausnahme des Charakters der erwarteten neuen Tonika, bittere Enttäuschung, schmerzvoll, starke seelische Betroffenheit; bei erwarteter Durtonika: Hoffnungsvoll, Gefühl des Aufbruchs zu Neuem
Subdominante in Dur	Gelöstheit, Überschwänglichkeit, Freude, Trunkenheit, Sieg, Feierlichkeit, emotionaler Höhepunkt, Jubel, Zufriedenheit
Subdominante in Dur mit großer Septime	wie Subdominante, nur wehmütiger, Abschied, letzte Umarmung, Sehnsucht, Sehnsuchtstraum, Vergänglichkeitsgedanke
Sixte ajoutée in Dur	Geborgenheit, Gemütlichkeit, Treue, Warmherzigkeit, Wärme, Zweisamkeit, Liebe, Freundschaft
Sixte ajoutée in Moll	Einsamkeit, Trennung, Verlassenheit, Liebeskummer
Neapolitanischer Sextakkord	Verschwinden, Tod, Verlassenheit, endgültiger Schmerz, Abschied für immer
Verminderter Septakkord	Schrecken, Verzweiflung, Panik, Entsetzen, grüblerische Schwermut, Melancholie
Übermäßiger Dreiklang	Staunen, Wundern, Überraschung, Zauber, Verwandlung
Ganztonleiter	Zustände in Schwerelosigkeit, unter Wasser, im Weltall, im Traum
Kleine Sexte	Bedrohung, Gefahr, Angst, Beklemmungsgefühle

Tabelle 8: Emotionale Charaktere von Harmonien im Überblick; Willimek, Willimek, 2011, S. 23

4.3.3 Klangcharakter

Bearbeitungsmöglichkeiten, den Klangcharakter betreffend, sind Lautstärke (laut/leise), Anheben oder Absenken der Präsenz, Mischverhältnis des Hallanteils (und damit das Verhältnis von Direkt- zu Diffusschall) und das Verändern der Tonhöhe (tief/hoch). Durch das Hinzufügen von Obertönen durch Sättigung oder Verzerrung kann ein Klangobjekt verfremdet werden¹⁰⁴. Bei Verzerrung werden neue Informationen hinzugefügt, das Signal damit komplexer, während bei der Sättigung nur Charaktermerkmale verändert, am ursprünglichen Charakter aber nichts geändert wird.

Das Verhältnis von Diffus- zu Direktschall bestimmt neben der wahrgenommenen Position im Raum (viel Hall entspricht einer weit entfernten Raumposition) die Massivität. Ein Signal mit viel Hall wirkt hohl und rund¹⁰⁵. Solch ein Klang erzeugt zwar ein unangenehmes, unruhigeres Empfinden, wirkt aber gleichzeitig harmlos. Übertragen auf ein Fahrzeug könnte ein hohler Klang auch die empfundene Wertigkeit negativ beeinflussen (massiv könnte hier Sicherheit/Robustheit und höherqualitative Materialien bedeuten, was sich beispielsweise bei der Fahrzeugisolierung beobachten lässt.).

Durch Hallanteile lässt sich ein Klangobjekt zudem im akustischen Raum positionieren. Ein in den Höhen und Tiefen stark beschnittener Frequenzbereich (dumpf) mit großem Diffusschallanteil wirkt weit entfernt. Je näher ein Klang erscheint, desto intensiver wirkt er. In der Popmusik wird daher der Gesang stark in den Vordergrund gehoben um den Sänger innerhalb einer Band am deutlichsten wiederzugeben. Der Hörer wird direkt mit dem Gesang angesprochen. Stehen sich zwei Personen gegenüber, entstehen durch den Abstand gänzlich unterschiedliche Beziehungen zueinander, wie folgend erläutert wird¹⁰⁶:

Intime Distanz (40 cm bis 50 cm): körperlicher Kontakt, Sex/Intimität, aber auch Kampf

Private Distanz (50 cm bis 1,5 m): Vertrauen (bekannte Person), vertraute Kommunikation, leichte Berührungen

Soziale Distanz (1,5 m bis 4 m): Kollegialität, Neutralität

öffentliche Distanz (4 m bis 8 m): formale Kommunikation, respektvoller Abstand

Durch Lautheit (Schreien) kann man trotz Entfernung intim eindringen. Daher wirken Schreie stark störend.

¹⁰⁴ Schmid, 2018, S. 61

¹⁰⁵ Schmid, 2018, S. 95

¹⁰⁶ Görne, 2017, S. 173

4.4 Zusammenfassung

Es lässt sich zusammenfassen, dass sich die Tonalität auf die empfundene Größe und Flächigkeit auswirkt. Dabei wirken größere Objekte bedrohlich, lassen den Klangraum ebenfalls größer wirken und lösen eine gewisse innere Unruhe damit aus¹⁰⁷. Gestalterisch lässt sich daraus schließen, dass tiefe Töne weniger Hall benötigen. Transienten und die betonte Präsenz erzeugen einen kantigen und harten Klangeindruck¹⁰⁸. Bei Überbetonung ist eine Tendenz zum Unangenehmen zu erkennen. Wiederholt sich ein Klang auffallend oft, wird dies wegen einer klinischen Stabilität mit einer maschinell-mechanischen Ursache assoziiert¹⁰⁹. Ist dies nicht erwünscht, muss im Sounddesign auf eine unbemerkte Periodizität geachtet werden, indem beispielsweise mit weniger perkussiven und transienten-ärmeren Signalen gearbeitet wird. Dadurch büßt man zwar an Deutlichkeit ein, kann dies aber durch Betonen der Formanten ausgleichen. Diese transportieren in einem fixen Frequenzbereich innerhalb der Sprache viel Energie. Löwengebrüll wirkt beispielsweise durch die Formanten trotz des tieffrequenten Anteils laut und bedrohlich¹¹⁰.

Deutlich wird bei Schmid's Probandentests auch der Zusammenhang von Klang und Bild. Sobald eine visuelle Hilfestellung in Form eines Bildes den Probanden vorgelegt wird, kommt es zu einer Dämpfung der Unruhe¹¹¹. Das bedeutet je weiter der Klang sich vom Objekt entfremdet, desto stärker wirkt sich dieser auf die innere Unruhe aus. Im Gegensatz dazu kommt es bei einer hohen Kongruenz zwischen Klang und Objekt, aber auch zwischen Assoziation und Erwartungshaltung (beispielsweise eine positive Erinnerung an einen Moment), zu einem emotional positiven Maximum¹¹². Lässt sich ein Klang durch eine Ursache erklären, wirkt dies generell positiv beruhigend und zufriedenstellend.

¹⁰⁷ Schmid, 2018, S. 105

¹⁰⁸ Schmid, 2018, S. 105

¹⁰⁹ Schmid, 2018, S. 113 und Chang, Park, 2016, S. 4

¹¹⁰ Chang, Park, S. 2

¹¹¹ Schmid, 2018, S. 94

¹¹² Schmid, 2018, S. 100

5 Aktueller Entwicklungsstand Elektro- und Hybridfahrzeug

Der Markt ist von den alternativen Antrieben noch nicht erschlossen. Der Anteil an Neuzulassungen im Vergleich zum herkömmlichen Antrieb mittels Verbrennungsmotor ist noch verschwindend gering¹¹³. In Abbildung 15 ist aber eine ansteigende Tendenz erkennbar (erkennbar der Schub ab 2016 durch den Umweltbonus)¹¹⁴. So strebt Porsche 2025 einen Umsatz an, der zu 50 % mit E-Fahrzeugen erwirtschaftet wird¹¹⁵.

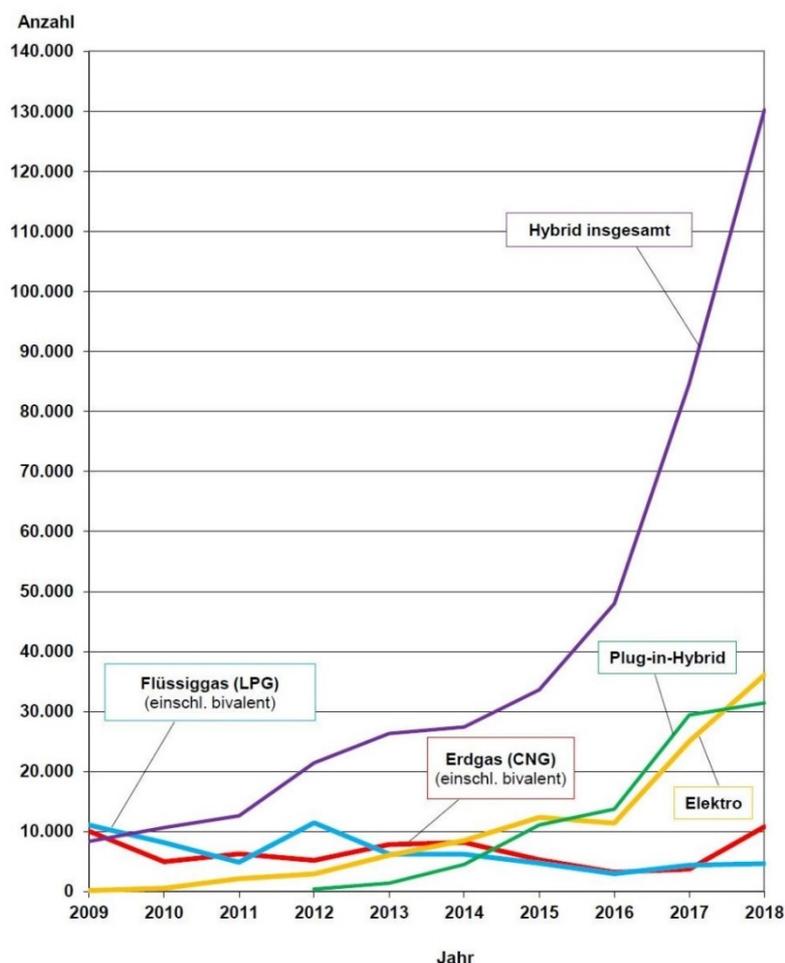


Abbildung 15: Neuzulassungen von Personenkraftwagen 2009 bis 2018 nach alternativen Antrieben, KBA, 2019, S. 12

Den größten Anteil an alternativen Antrieben haben Hybridfahrzeuge. Für das Sounddesign von Elektrofahrzeugen bedeutet dies die Anwesenheit und damit Berücksichtigung eines Verbrennungsmotors als Hauptgeräuschquelle.

¹¹³ KBA, 2019, S. 11

¹¹⁴ KBA, 2019, S. 13

¹¹⁵ Werwitzke, 2018

5.1 Aktuelle Marktsituation

Bei den Fahrzeugsegmenten ist die Kompaktklasse mit sinkender Tendenz noch vorherrschend, wird aber vom SUV mit steigendem Marktanteil abgelöst werden. Ebenfalls sinkend im Marktanteil sind Kleinwagen, Mittelklasse und Vans. Die Premiumsegmente (obere Mittelklasse, Oberklasse und Sportwagen) haben zwar einen geringen Marktanteil, sind darin aber stabil (Abbildung 16).

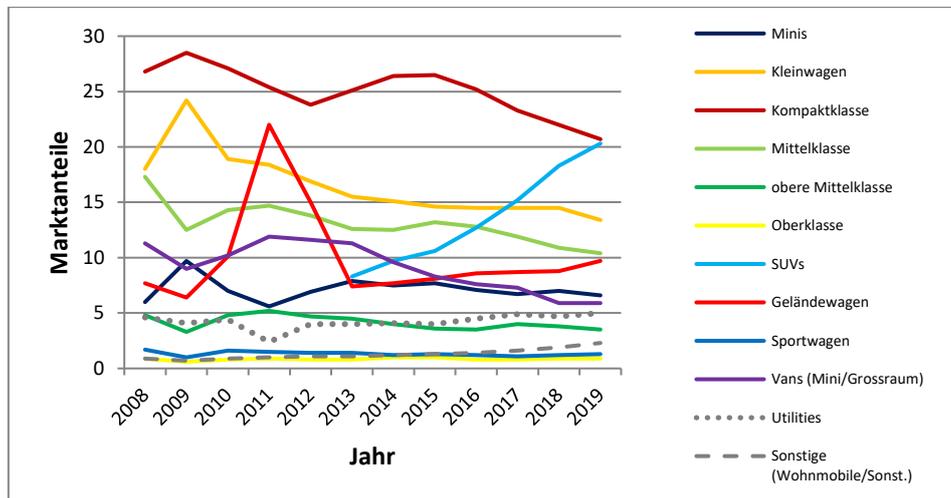


Abbildung 16: eigene Darstellung nach KBA-Angaben

Demografische Untersuchungen ergeben einen männlichen Durchschnittsfahrer mit 51 Jahren. Die Mehrzahl an zugelassenen Neu-Fahrzeugen fällt auf Männer zwischen 40 und 49 Jahren mit steigender Alterstendenz¹¹⁶. Der Frauenanteil nimmt generell zu¹¹⁷, die Differenz wird aber bei zunehmendem Alter größer¹¹⁸. Bei den Altersgruppen unter 40 Jahre überwiegt der Anteil an Besitzumschreibungen. Hier werden vermehrt Gebrauchtwagen gefahren (Abbildung 17).

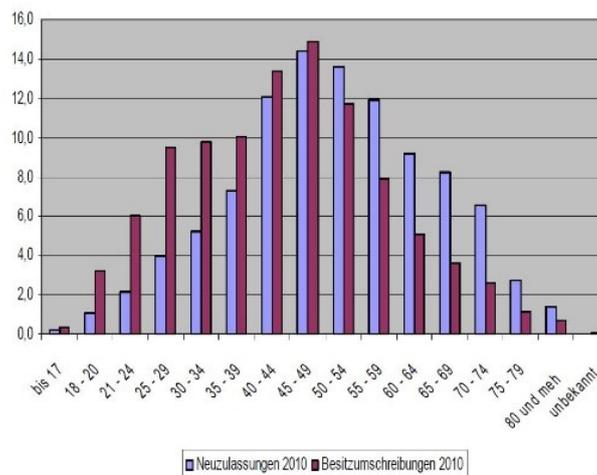


Abbildung 17: KBA, 2011, S. 6

¹¹⁶ KBA, 2011, S. 4

¹¹⁷ KBA, 2011, S. 7

¹¹⁸ KBA, 2011, S. 1

Interessanter ist aber die Altersabhängigkeit der Fahrzeugtypen (Abbildung 18). Während bei Männern die Interessen in jüngeren Jahren an Sportwagen überwiegen, wechselt dies mit zunehmendem Alter zugunsten von SUVs und Kleinwagen. Auch bei Frauen besteht zunächst hauptsächlich Interessen an Sportwagen. Dies ändert sich aber stark ab 30 Jahre in Richtung der Kleinwagen (Abbildung 19). Mit zunehmendem Alter wird die Fahrzeugwahl pragmatischer.

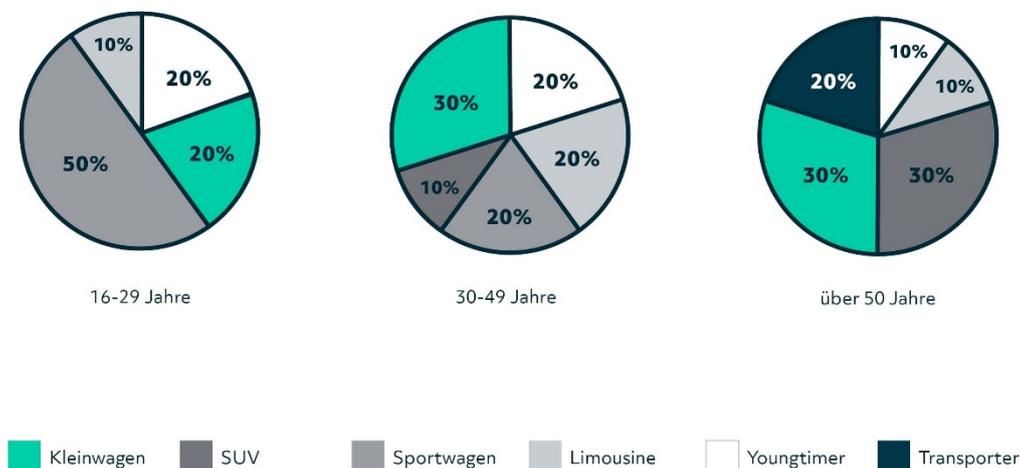


Abbildung 18: Interesse an Automobiltypen bei Männern; Hey.car, 2019

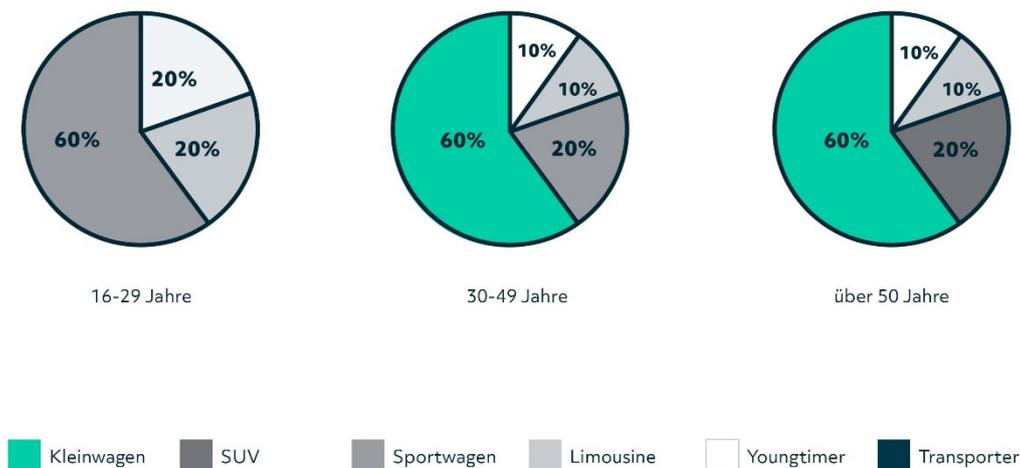


Abbildung 19: Interesse an Automobiltypen bei Frauen; Hey.car, 2019

Die niedrigen Interessen jüngerer Fahrer an SUVs könnte auf das erst im höheren Alter zunehmenden Komfortbedürfnis und dem sozialen Umfeld zurückzuführen sein. Im jungen Alter dient das Fahrzeug als Statussymbol und Selbstverwirklichung¹¹⁹ eines selbstbewussten und agilen Typs. Mit zunehmendem Alter gewinnt (bedingt durch das Familienleben) das Sicherheitsbedürfnis und die Unabhängigkeit an Gewicht¹²⁰.

¹¹⁹ Sheller, 2004, S. 12

¹²⁰ Sheller, 2004, S. 13

Bemerkenswert ist der „*SUV-Effekt*“: Hier schafft es laut Sheller ein Fahrzeugtyp das langweilige Familienleben mit dem (Outdoor-) Abenteuer zu verbinden. Er kombiniert Sicherheit und Komfort (die Familie) mit Unabhängigkeit und Lifestyle (Selbstverwirklichung)¹²¹. Dies erklärt die stark wachsenden Zulassungszahlen dieses Fahrzeugtyps¹²².

Es zeichnen sich zwei Fahrertypen ab: Der Sportfahrer ist jung und träumt von Sportwagen. Das Fahrzeug dient als Identifikation und soll das Selbstbild nach außen transportieren. Der Komfortfahrer ist hingegen älter und pragmatischer orientiert. Ihm ist Komfort und Sicherheit wichtig. Das Fahrzeug dient zwar als Statussymbol, nicht aber zur Selbstverwirklichung. Bei beiden bleibt die individuelle Mobilität das Zeichen der Unabhängigkeit.

¹²¹ Sheller, 2004, S. 14

¹²² KBA, 2018, S. 1

5.2 Benchmark

Beim Thema Sounddesign gehen die Hersteller bisher mit ganz unterschiedlichen Konzepten an ihre Arbeit.

Eine Klassifizierung ist in synthetisch erzeugte und real aufgenommene Samples möglich. Bei der synthetischen Klanggestaltung wird auf Synthesizer (elektronische Klangerzeugung) zurückgegriffen. Viele Hersteller, darunter Hyundai, Jaguar und Renault, setzen auf tonale, zum Teil musikalische Pad-Samples¹²³ aus Synthesizern, die nur im Pitch (Tonhöhe) variiert werden. Manche Hersteller, darunter zum Beispiel Volkswagen, verfolgen den Ansatz einen Verbrennungsklang künstlich zu imitieren, oder erzeugen wie Mercedes deutlich rauschhafte Klänge. Andere Hersteller, wie Audi oder Porsche, setzen bei ihren Konzepten auf *natürliche* Geräusche und binden damit echte Aufnahmen in ihre Designs mit ein. Bei Audi wird eine eigene *Digital Audio Workstation (DAW)* in das Fahrzeug implementiert, in welcher verschiedene, nicht selten aus Aufnahmen von Verbrennungsmotoren bestehende Geräusche miteinander gemischt werden (Abbildung 20).

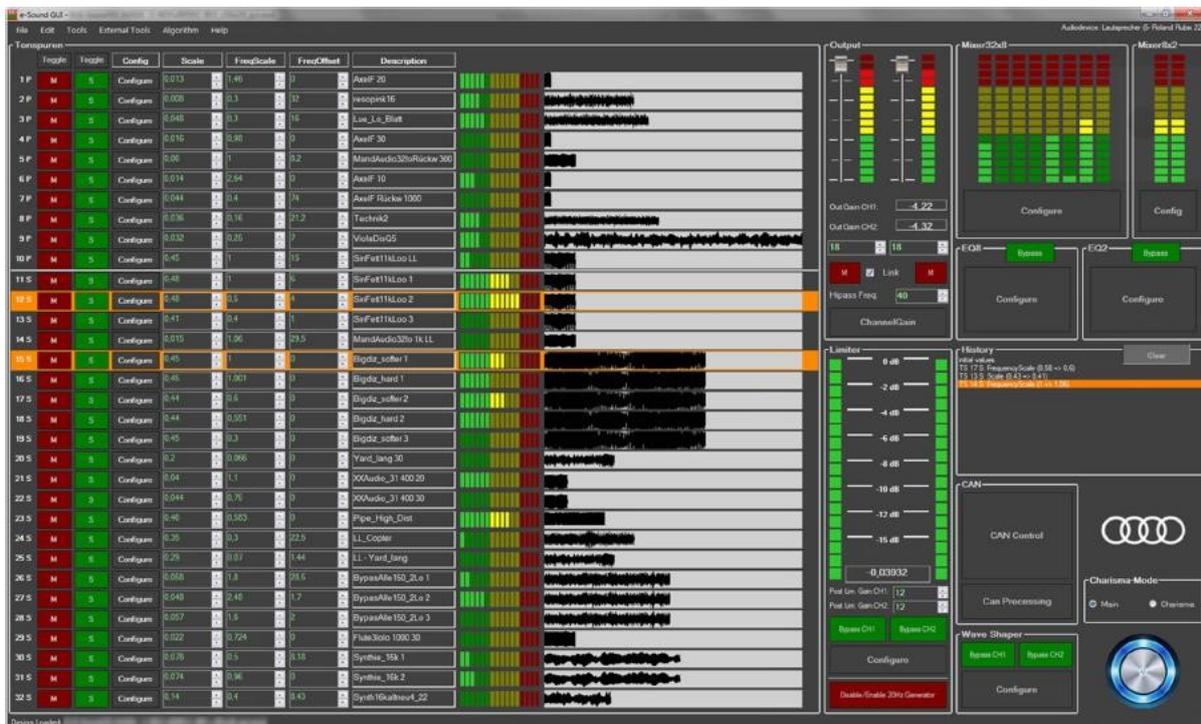


Abbildung 20: graphische Oberfläche der Audi-eigenen DAW; Gsell, Werner, 2019, S. 69

5.2.1 Versuchsaufbau

Die Untersuchung der Benchmark-Fahrzeuge erfolgt zum einen im Halbfreifeldraum im Hause M-Plan und zum anderen im Freien auf Asphalt. Der Halbfreifeldraum (Abbildung 21) gewährleistet eine möglichst geräuscharme Umgebung zur Aufnahme der Fahrzeugsounds. Um eine Vorbeifahrt zu simulieren, finden außerdem Aufnahmen im Freien auf einer geraden Strecke statt.

¹²³ Pads sind flächenartige, synthetische Sounds, die hauptsächlich den klanglichen Hintergrund bilden



Abbildung 21: Messaufbau im Halbfreifeldraum

In jedem Fahrzeug wird das Außen- und Innengeräusch durch je einen Kunstkopf (Abbildung 22) aufgenommen. Um den typischen Klang des jeweiligen Fahrzeugs besser untersuchen zu können, wird jeweils auch noch ein Mikrofon direkt am Aktuator platziert (Abbildung 23).

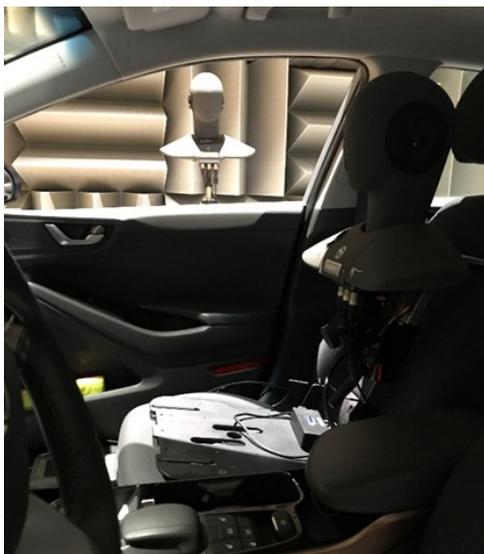


Abbildung 22: Kunstköpfe zur Aufnahme



Abbildung 23: Mikrofon am Aktuator; eigene Darstellung

5.2.2 Prüfprogramme

Um herauszufinden, welche Klanggestaltungen die verschiedenen Hersteller entwickelten und einsetzen, wurden folgende Szenarien geprüft:

- Teillasthochlauf (konstante Beschleunigung 0 bis über 30 km/h)
- Vollasthochlauf (konstante Beschleunigung 0 bis über 30 km/h)
- Konstantfahrt mit 10 km/h
- Konstantfahrt mit 30 km/h
- Konstantfahrt mit 50 km/h
- Rückwärtsfahrt
- Motorstart und Motorstopp
- Leerlauf

Sämtliche Prüfzenarien werden mit allen jeweiligen Fahrmodi, wie Eco, Komfort oder Sport, durchgeführt, um deren Auswirkungen auf das Sounddesign herauszustellen. Ein Kunstkopf wird dafür im Abstand von 2 m zur Fahrzeugmitte und eine Markierung 10 m vor und hinter der Fahrzeugmitte platziert (Abbildung 24). Beim Start der Messung befindet sich das Fahrzeug an der ersten Markierung und beschleunigt bis zur Markierung 2 auf 30 km/h. Die Konstantfahrten werden ebenfalls zwischen den Markierungen mit den Geschwindigkeiten 10 km/h, 30 km/h und 50 km/h gemessen. Bei den Leerlaufmessungen steht das Fahrzeug mittig zum Kunstkopf.

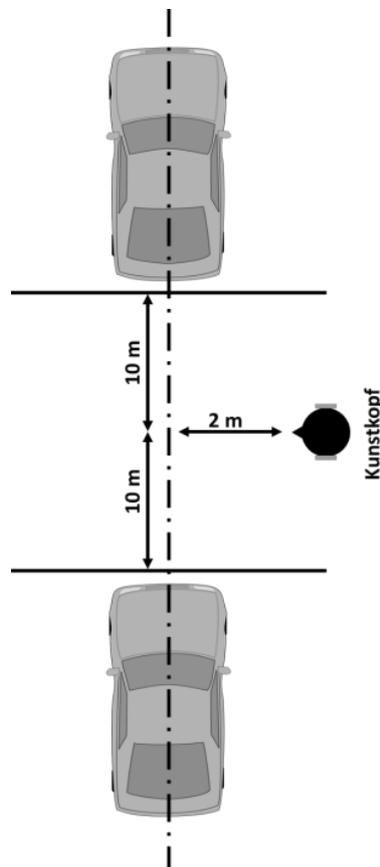


Abbildung 24: Messaufbau der Teillastmessung

5.2.3 Datenerfassung

Zum Vergleich der verschiedenen Fahrzeuge erweisen sich die Aufnahmen am Aktuator am aussagekräftigsten. Diese sind auch bei den Testszenarien auf Asphalt annähernd frei von Störgeräuschen wie Reifenrollen, Windrauschen oder Steinschlägen. Beispielhaft werden Analyseergebnisse der Teillasthochläufe dargestellt. Diese sind wegen den Klangveränderungen zur Geschwindigkeit für die Sounddesigns am relevantesten.

Die Frequenzverläufe zu den nachfolgenden Benchmark-Fahrzeugen beziehen sich auf einen Momentanauszug zwischen 5,2 s und 5,5 s der einzelnen Aufnahmen.

Zur Analyse der AVAS-Tauglichkeit wurden jeweils die dominantesten Frequenzen herangezogen, um deren Frequenzveränderung zu untersuchen. Die Lautstärke bezieht sich auch auf die direkte Abnahme ab Aktuator, sodass hier nicht der Gesamtpegel, sondern die Pegelanhebung zur Erfüllung der amerikanischen Norm analysiert wird.

Die Datenauswertung erfolgt mittels Software-Plattform ArtemiS SUITE der Firma HEAD acoustics GmbH. Damit können direkt Frequenzgänge, Spektren und psychoakustische Werte (Tabelle 2) veranschaulicht, kalkuliert und in diverse Formate (u.a. Excel) ausgegeben werden. Dies ermöglicht ein Zusammentragen der erforderlichen Daten und eine einfache Weiterverarbeitung in einem Excel-Tool zur Untersuchung der AVAS-Tauglichkeit der einzelnen Sounddesigns und ein Wertevergleich untereinander (Tabelle 9).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
	Psychoakustik					Pegelanstieg dB(A)				Frequenzverschiebung %				Kontrolle
	Fahrzeug	Lautheit/sona	Rauheit/asper	Schärfe/acum	Klanghaftigkeit/tu	Lref	Lspeed	L pro 10kmh	Lziel	fref	f speed	%		fziel
							[del L = (Lspeed - Lref) / 3]			[del f = ((f speed - fref)/(vtest - vref))/fref] · 100				[f1=fo*((1+ (p/)) ⁿ)]
3	Audi PB18 E-tron	72,4	0,0579	2,25	1,82	60	86,9	8,966666667	69	245,5	591,1	4,854273474		311,793789
4	Jaguar I-pace dynamic	67,2	0,125	1,58	3,51	73,2	91	5,933333333	82,2	554,1	693,4	0,866891947		703,7268371
5	Audi e-tron comfort	65,9	0,0654	2,9	4,01	76,6	91,4	4,933333333	85,6	287,5	1378,6	13,08665667		365,1352927
6	Daimler V167/GLE electric	60,4	0,0966	2,11	0,99	70,7	88,2	5,833333333	79,7	309,4	379,3	0,779038406		392,9490767
7	Renault Zoe normal	60,4	0,0466	1,85	3,61	52,1	84,4	10,76666667	61,1	335,3	425,9	0,931744089		425,8430039
8	BMW i8 eDrive	60,2	0,0739	1,85	2,78	74,1	89,4	5,1	83,1	1051,5	1857,8	2,644170069		1335,442644
9	VW ID3	57,1	0,0497	1,75	2,71	61,7	82,6	6,966666667	70,7	124,2	407,8	7,873840857		157,7384464
10	Tesla Model S lässig	54,4	0,0651	3,07	1,04					769	2360,9	7,138244922		976,6575306
11	BMW i8 sport	49,1	0,218	1,19	4,04									
12	VW eGolf normal	48,2	0,0989	1,09	4,56	51,3	83,2	10,63333333	60,3	249,6	687,8	6,05382405		317,0009358
13	Porsche Taycan	47,4	0,685	1,32	6,46	81,44	81,44	0	90,44	185,5	324,3	2,580165443		235,591641
14	Hyundai ionic normal	46,9	0,0994	1,33	2,54	39,4	80,5	13,7	48,4	99,4	148	1,685977937		126,2415586
15	Daimler EQC Eco	46,1	0,0979	1,62	0,64	61,8	88,7	8,966666667	70,8	304,1	384,6	0,912812255		386,2178869

Tabelle 9: Excel-Tool zur Datenauswertung

Die für die AVAS relevanten Werte beziehen sich auf eine Geschwindigkeitsveränderung um 30 km/h. Somit wird die Formel zur Ermittlung der Frequenzverschiebung¹²⁴ (1) wie folgt angewendet (2):

$$(1) \text{ del } f = \{[(f \text{ speed} - f \text{ ref}) / (v \text{ test} - v \text{ ref})] / f \text{ ref}\} \cdot 100$$

$$(2) \text{ del } f = \{[(f \text{ speed} - f \text{ ref}) / (30 - 1)] / f \text{ ref}\} \cdot 100$$

Es gilt: *f speed* ist die gemessene Frequenz bei der Zielgeschwindigkeit 30 km/h

f ref ist die gemessene Frequenz bei Bezugsgeschwindigkeit 1 km/h

v test ist die Zielgeschwindigkeit 30 km/h

v ref ist die Bezugsgeschwindigkeit 1 km/h

¹²⁴ UN Regulation No. 138, 2017, S. 31

Die Lautstärkenanhebung in der USA-Norm bezieht sich immer auf 10 km/h-Schritte¹²⁵. Somit wird folgende Formel zur Berechnung (3) verwendet:

$$(3) \text{ del } L = (L_{\text{speed}} - L_{\text{ref}}) / 3$$

Es gilt: L_{speed} ist der gemessene Schallpegel in dB(A) bei 31 km/h

L_{ref} ist der gemessene Schallpegel in dB(A) bei Bezugsgeschwindigkeit 1 km/h

3 ist der konstante Wert der Geschwindigkeitsstufen

5.2.3.1 Hyundai IONIQ

Hyundai nennt sein System zur Warnung von Fußgängern *Virtual Engine Sound System* (VESS). Ein Pad-Sample wird von einem Lautsprecher an der Vorderseite des Fahrzeuges bei Geschwindigkeiten über 0 km/h emittiert. Der Pitch des Samples (Tonhöhe) steigt linear (das Verhältnis der tonalen Anteile und deren Frequenzabstände bleiben gleich) mit der Geschwindigkeit bis 30 km/h und wird dann abrupt ausgeblendet. Bei der Rückwärtsfahrt kommt noch ein Sinus-Ton um 550 Hz mit gleichbleibender Frequenz und rhythmischer Schwebung (1 Hz) hinzu. Im Stillstand wird kein Klang aktiv abgegeben. Der ovale Lautsprecher hat eine Größe von ca. 120x60 mm bei einer Nominalleistung von 10 W und einer Impedanz von 2 Ohm. Der Übertragungsbereich reicht von ca. 100 Hz bis 10 kHz. Die verschiedenen Fahrmodi (Eco, Normal und Sport) haben keinen Einfluss auf das Sounddesign.

Die europäische AVAS-Norm ist mit einer steigenden Frequenzänderung um 1,7 % erfüllt. Die amerikanische ist mit einer Lautstärkeveränderung um + 13,7 dB teilerfüllt. Es fehlt eine Klangabgabe im stationären Betrieb.

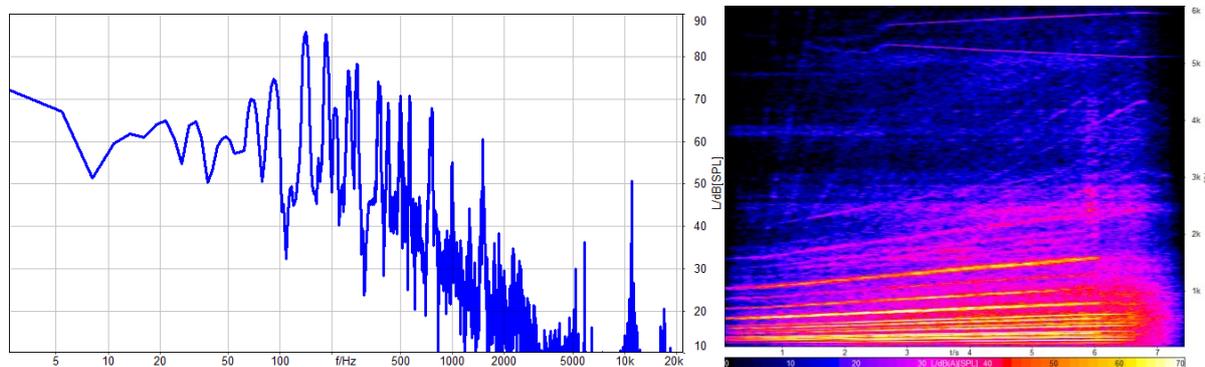


Abbildung 25: Frequenzverlauf und Spektrum des VESS von Hyundai

Das Sample wirkt durch die Betonung einzelner Frequenzen (Abbildung 25) tonal. Es setzt sich aus einem suspendierten Septakkord (7sus4) zusammen (die 3. Stufe (Terz) wird durch die 4. (Quinte/Subdominante) ersetzt). Dadurch verliert die Harmonie ihre Moll-/Dur-Definition. Die großen Abstände der Teiltöne führen bei der 7-sus4-Kombination jedoch zu einem nicht allzu dissonanten Klang. Durch die konstanten Teiltonverhältnisse und die geringe Modulation klingt das Sample eher synthetisch. Dies zeigt sich dergestalt, dass das Sounddesign mit 0,099 asper im oberen Mittelfeld des Benchmarks liegt.

¹²⁵ Moore, 2018

5.2.3.2 Renault ZOE

Das Sounddesign liegt im Geschwindigkeitsbereich zwischen 1 km/h und circa 30 km/h vor. Im Stillstand ist kein Sounddesign vorhanden und beim Rückwärtsfahren wird auch das Vorwärts-Sample eingesetzt. Zum verwendeten Lautsprecher liegen keine Informationen vor (Verdeckungen durch Bauteile konnten nicht soweit abgenommen werden, um Zugang zum Soundmodul zu erhalten). Es wird ein synthetischer, tonaler Pad-Sound eingesetzt, dessen Pitch drehzahlabhängig ist. Es blendet schnell ein und aus. Somit ist ein Übergang deutlich zu hören. Der Fahrmodus (Normal oder Eco) hat auch hier keine Auswirkung auf das Sounddesign.

Der Frequenzanstieg um 0,9 % erfüllt die europäische AVAS Norm. Der Pegelanstieg um 10,7 dB erfüllt auch die amerikanische, jedoch fehlt hier eine Klanggenerierung im stationären Betrieb.

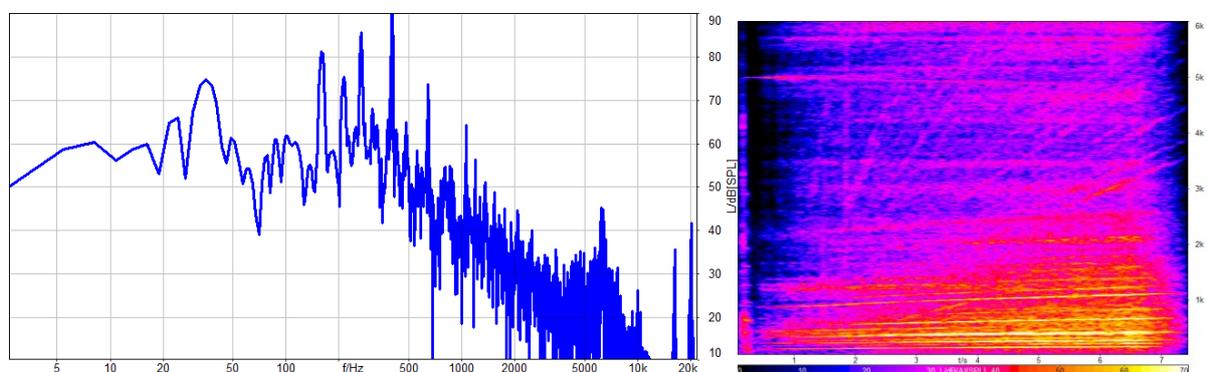


Abbildung 26: Frequenzverlauf und Spektrum des Renault ZOE

Die Harmonie besteht aus einem großen Dominantseptakkord in Dur. Die geschlechtsgebenden Anteile sind deutlicher gegenüber den anderen Harmonietönen ausgeprägt, sodass die durch die große Septime entstehende Dissonanz gering ausfällt. Der synthetische Klang entsteht durch geringe Modulation. Mit 0,0467 asper ist er der zweitniedrigste gemessene Wert. Zu den tonalen Anteilen mischt sich auch ein dezentes Rauschen, was sich aber trotz der hohen Frequenzen nicht auf die Schärfe auswirkt. Dort liegt das Sounddesign mit 1,85 acum im Mittelfeld.

5.2.3.3 VW e-Golf

Volkswagen setzt beim e-Golf auf die Nachahmung eines Verbrennungsmotors. Das Sample wird nur im Fahrbetrieb abgespielt und steigt in der Tonhöhe und Lautstärke mit der Geschwindigkeit bis 30 km/h an und wird dann abrupt ausgeblendet. Auffällig ist, dass sich die Pitch-Veränderung des Sounds zeitverzögert zur Geschwindigkeit/Drehzahl verändert und bei schnellen Veränderungen (dynamisches Fahren) nachläuft. Der Lautsprecher des Golfs sitzt vorne rechts und strahlt nach links ab. Die Membran des Lautsprechers misst ca. 65 mm.

Im Sounddesign ist zwar ein Sinus-Ton vorhanden, der ebenso in der Tonhöhe ansteigt, dieser lässt sich aber nicht eindeutig dem Soundmodul zuordnen und könnte auch von diversen Aggregaten herführen. Somit ist fraglich, ob dieser der Erfüllung der AVAS-Norm dient, obwohl er diese mit einer Frequenzänderung um + 6,1 % bedient. Mit einer Lautstärkeveränderung

von + 10,6 dB, aber einer fehlenden Klangabgabe im stationären Betrieb ist die amerikanische AVAS-Norm teilerfüllt.

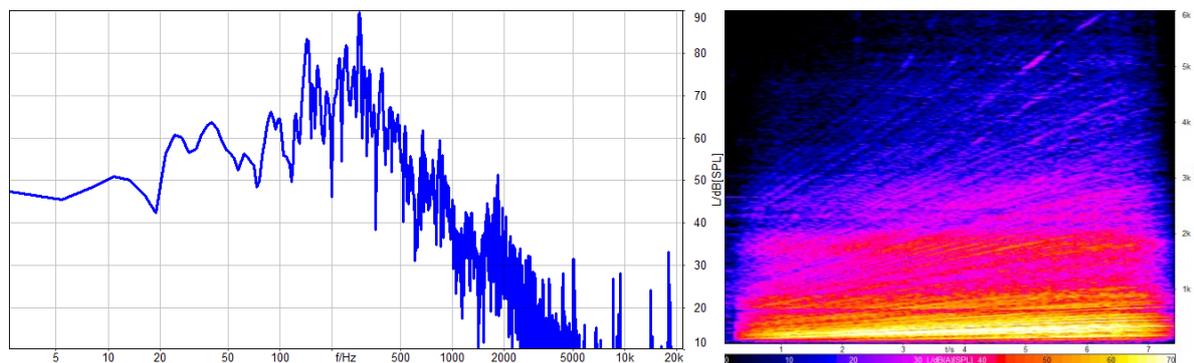


Abbildung 27: Frequenzverlauf und Spektrum des e-Golf-Moduls

Ein Harmoniekonstrukt liegt nicht vor. Das synthetische Motorsample ist einerseits an der Fächerform mit zunehmender Geschwindigkeit/Drehzahl zu erkennen (Abbildung 27), andererseits bildet es der Rauheitswert mit 0,099 asper nicht wider (im Vergleich: BMW i8 liegt mit seiner Motorunterstützung bei 0,218 und Porsche Taycan mit seinem motorähnlichen, tieffrequenten Fundament bei 0,685 asper).

5.2.3.4 VW ID.3

Bei neueren Modellen von Volkswagen, wie dem ID.3, kommt ein padartiges Sounddesign, wie beim Hyundai IONIQ, zum Einsatz. Zu den aufsteigenden Tonreihen werden hier noch gleichzeitig absteigende wiedergegeben (Abbildung 28). Das Sounddesign ist an die „Shepard Tones“, eine unendliche Tonleiter, angelehnt¹²⁶.

Der VW ID.3 erfüllt mit einer Frequenzänderung von 7,8 % die Anforderung der europäischen Norm deutlich. Mit einer Pegelanhebung um 7 dB, aber der fehlenden stationären Klangabgabe, ist die amerikanische Norm auch wieder nur teilerfüllt.

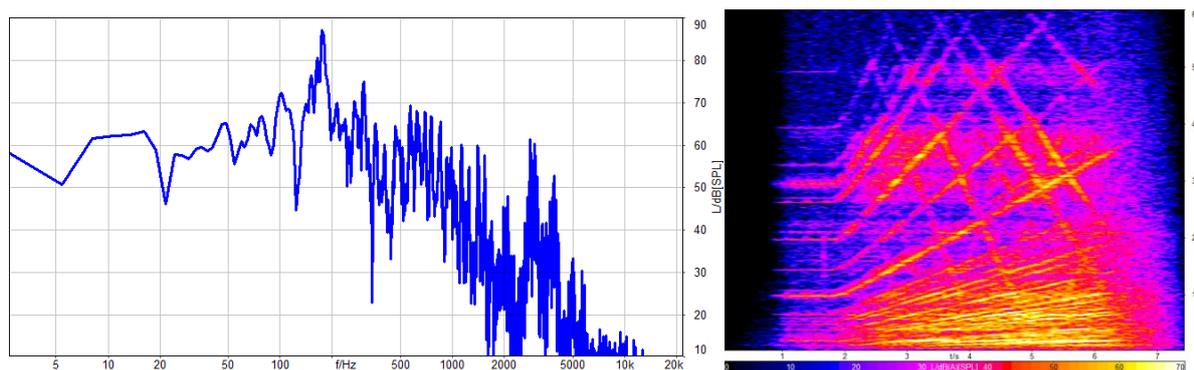


Abbildung 28: Frequenzverlauf und Spektrum des ID.3

Das Harmoniespektrum ist durch viele Teiltöne sehr komplex. Am dominantesten ist die Tonika, die Dominante und die geschlechtsgebende 3. Stufe. Hinzu kommen noch weitere Teiltöne zu einem Dominantseptakkord mit hinzugefügter None in Moll. Aufgrund weiterer oktavierter Teiltöne des Klangs wirkt sich der tonale Anteil nur undeutlich auf den Charakter aus und das Sounddesign tendiert zum Rauschen.

¹²⁶ Görne, 2017, S. 63

Der Unterschied zum motorähnlichen Sample des VW e-Golf zeigt sich in den psychoakustischen Werten mit einem circa halb so geringem Rauheitswert von 0,050 asper. Eine Modulation ist kaum wahrnehmbar. Trotz der vielen Teiltöne ist, durch die komplexen Frequenzveränderungen nach oben, wie auch nach unten, der Schärfewert mit 1,75 acum nicht besonders auffällig und liegt im Mittelfeld der Benchmark.

5.2.3.5 Jaguar I-Pace

Ähnlich wie beim Hyundai IONIQ oder Renault ZOE wird ein komplett synthetisch erzeugtes, tonales Pad-Sample verwendet. Der Pitch wird über die Motordrehzahl manipuliert. Das Pad wird bei Geschwindigkeiten über 0 km/h ein- und ab 30 km/h ausgeblendet. Zu dem tonalen Pad-Sample werden auch einzelne Frequenzen abgespielt, deren Tonhöhenveränderung sich konträr zum Pad bewegen (Beispiel Beschleunigung: das Pad-Sample steigt in der Tonhöhe, die einzelnen Teilfrequenzen fallen). Bei Konstantfahrten ist die Lautstärke niedriger als bei Beschleunigungs- und Abbremsvorgängen. Bei der Rückwärtsfahrt wird zusätzlich noch ein Sinus-Ton mit 500 Hz abgespielt. Bei Stillstand wird kein Sound abgegeben. Die Membran des vorne verbauten Lautsprechers hat einen Durchmesser von 75 mm und das Gehäuse misst 85x85x90 mm. Der Fahrmodus (Dynamic oder Eco) hat keine Auswirkungen auf den Klang. Es findet lediglich eine Lautstärkevariation durch Beschleunigen oder Abbremsen statt.

Die Frequenzverschiebung von + 0, 9% erfüllt die europäische AVAS-Norm. Für die amerikanische fehlt eine Klangabgabe im stationären Betrieb, der Lautstärkeanstieg um 5,9 dB würde jedoch ausreichen.

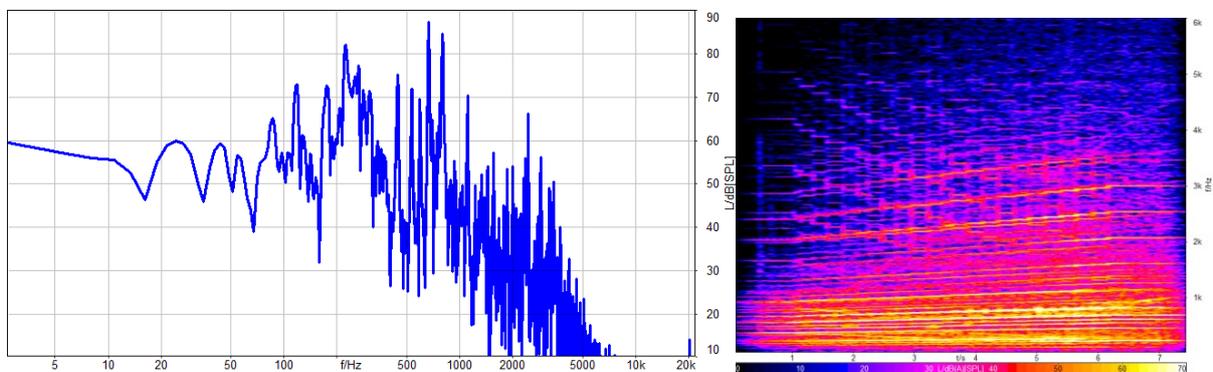


Abbildung 29: Frequenzverlauf und Spektrum des Jaguar I-PACE

Die Harmonie besteht wie beim Hyundai IONIQ aus einem suspendierten Septakkord, wobei hier die dritte Stufe zugunsten der vierten nicht weggelassen wurde, sodass die Harmonie in Moll erklingt. Gleichzeitig klingt diese auch dadurch dissonanter. Viele der Teiltöne sind oktaviert vorhanden, wodurch die Rauschhaftigkeit des Sounddesigns verstärkt wird. Es ist eine kleine Modulation wahrnehmbar, die sich im dritthöchsten Rauheitswert von 0,125 asper widerspiegelt.

5.2.3.6 BMW i8

Da BMW mehrere elektrisch angetriebene Fahrzeugmodelle anbietet, wurde hier exemplarisch ein i8-Modell untersucht. Es wird ein Sounddesign eingesetzt, welches vorne und hinten unterschiedliche Lautsprecher verwendet. An beiden Lautsprechern wird ein synthetischer Pad-Sound emittiert, bei dem tonale Anteile im Pitch mit der Geschwindigkeit verändert werden. Zusätzlich wird der Verbrennungsmotor über einen Resonator, der hinten zwischen Luftfilter und Turbolader verbaut ist, betont. Dabei maskiert der Resonator das Geräusch des Motorluft-Ansaugeräuschs.

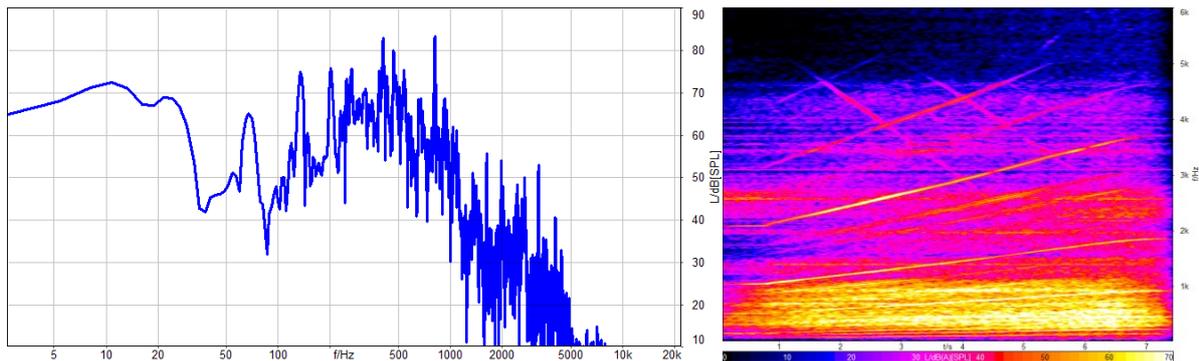


Abbildung 30: Frequenzverlauf und Spektrum des hinteren Soundmoduls

Hinten kommt ein Pad-Sample zum Einsatz, welches sich mit der Geschwindigkeit in der Tonhöhe ändert. Die tonalen Anteile haben im Frequenzbereich zwischen 150 Hz und 1,5 kHz eine Dominanz (siehe Abbildung 30). Der Verbrennungssound steigt ebenfalls parallel zur Geschwindigkeit.

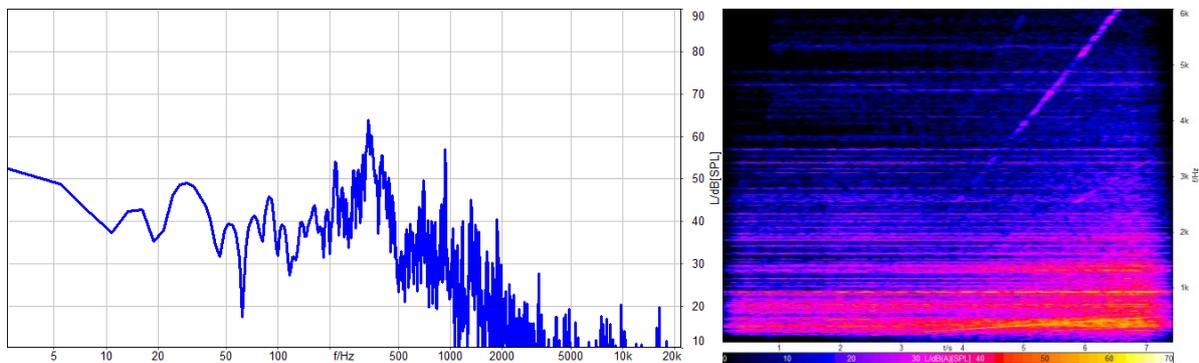


Abbildung 31: Frequenzverlauf und Spektrum des vorderen Soundmoduls

Vorne erklingt ein gleichbleibendes Pad-Sample zusammen mit einem Verbrennungsgeräusch. Die tonalen Anteile des Geräuschs werden mit einem Pitch in Abhängigkeit der Motordrehzahl verändert. Durch das konstante Pad-Sample ist die tonale Dominanz zwischen 150 Hz und ca. 2 kHz etwas höher. Es sind aber noch einzelne Teiltöne bis ca. 5 kHz ausgeprägt, wodurch der Gesamtklang breitbandiger und höhenbetonter erklingt. Während vorne ein Lautsprecher mit Durchmesser 70 mm und einem Gehäuse von 85x85x90 mm verbaut ist, sitzt der Aktuator beim hinteren Soundsystem in einem Helmholtz-Resonator, der tiefere Frequenzen unterstützt. Dadurch klingt der Motor tieffrequenter und subjektiv voluminöser. Der Fahrmodus (eDrive – vollelektrisch, Komfort & Sport – hybrid) wirkt sich nur soweit auf das Sounddesign aus, dass

bei voll elektrischer Fahrt der Verbrennungsmotor ausgeschaltet ist und bei hybrider Fahrt Verbrennersound und emittierter Sound gleichzeitig zu hören sind. Zudem kann der Fahrer das aktive Sounddesign abschalten. Dies entspricht einer veralteten AVAS-Norm, in welcher diese Möglichkeit noch vorgesehen war, in der aktuellen jedoch revidiert wurde.

Die europäische AVAS-Norm ist im eDrive-Modus mit einer steigenden Frequenzverschiebung um 5,1 % pro 1 km/h-Schritt erfüllt. Hier ist sogar die amerikanische Norm abgedeckt, da zum einen der i8 im Stand das konstante Pad-Sample abgibt und die Lautstärke mit zunehmender Geschwindigkeit um 5,1 dB pro 10 km/h-Schritt ansteigt. Sobald der Motor aber angeschaltet wird, müsste der Aktuator abgeschaltet werden, womit das hybride Fahren nicht AVAS-gerecht ist. Hinzu kommt wie bereits erwähnt die Möglichkeit das AVAS-Modul auch komplett im eDrive-Modus abzuschalten.

Harmonische Basis ist ein Quint-Oktav-Klang, auch Powerchord genannt, bei dem der Grundton oktaviert dazu gespielt wird. Im hinteren Aktuator sind des Weiteren die siebte und suspendierte vierte Stufe enthalten. Vorne besteht die konstante Harmonie aus einem Cluster, womit keine Dominanz einzelner Teiltöne vorhanden ist. Der Gesamtklang ist damit eher rauschhaft. Einzig die Tonika ist als Sweep wahrnehmbar. Interessant ist der Vergleich zum hybriden Sportmodus. Dieser besteht zunächst nur aus den dominanten, tieffrequenten Teiltönen der Motorordnungen, die sich mit zunehmender Geschwindigkeit bis 470 Hz auffächern. Damit ist der eDrive-Modus mit 1,85 acum schärfer als der Sport-Modus mit 1,19 acum. Dafür ist die Rauheit in Sport mit 0,218 asper der zweithöchste Wert (nur der Porsche Taycan ist höher, der ebenfalls einen Klang eines Verbrennungsmotors enthält) und deutlich höher als das eher padartige und tonale Sounddesign in eDrive mit 0,074 asper.

5.2.3.7 Mercedes GLE 350 e

Mercedes setzt bei seiner AVAS-Umsetzung auf ein zweiteiliges Sounddesign. Es besteht zum einen aus bandgefiltertem Rauschen im Bereich 500 Hz bis 2 kHz (zur Verstärkung der Abrollgeräusche des Fahrzeuges) und zum anderen aus einem Sweep (sinusartig und in der Frequenz ansteigend) zwischen 309 Hz und 380 Hz, der mit zunehmender Geschwindigkeit bis 50 km/h konstant ansteigt und dann langsam ausgeblendet wird. Ab dieser Geschwindigkeit überwiegen Abroll- und Windgeräusche. Bei der Vorwärtsfahrt generiert das vordere Soundmodul den Sound. Bei der Rückwärtsfahrt erklingt das hintere. In der US-Variante emittieren beide Module gleichzeitig Geräusche. Zusätzlich kommt bei der Rückwärtsfahrt ein Sinus-Ton hinzu, welcher sowohl in Frequenzhöhe, als auch in der Wiederholung parallel zur Geschwindigkeit/Drehzahl moduliert wird. Bei Stillstand wird kein Geräusch emittiert. In Abbildung 32 sind das Rauschen mit einer Bandbreite von 500 Hz bis 2 kHz und der steigende tonale Anteil zwischen 309 Hz und 4380 Hz sichtbar.

Der Sweep reicht mit 0,8 % aus, um die in der AVAS-Norm geforderten Frequenzverschiebung abzudecken. In der US-Variante ist mit einem Standgeräusch und einer Lautstärkeanhebung von 5,3 dB die dortige Norm erfüllt.

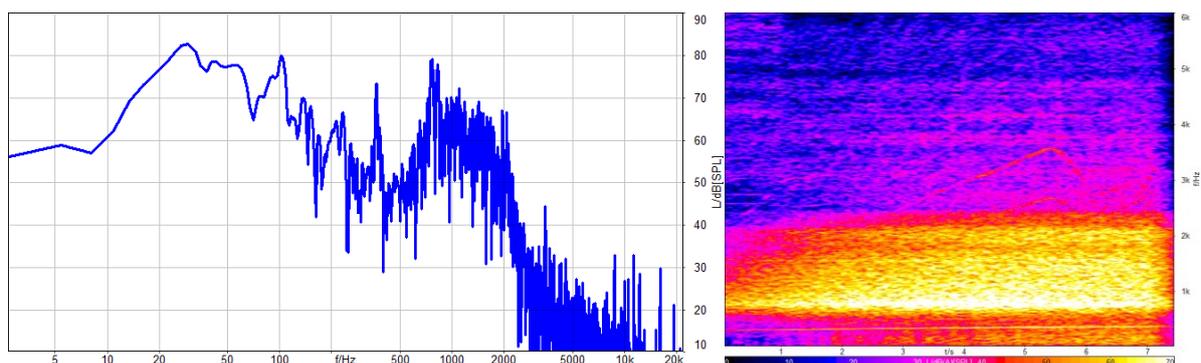


Abbildung 32: vorderer Frequenzverlauf und Spektrum

Harmonisch fällt der ansteigende Ton zu Erfüllung der AVAS-Norm nur unter Laborbedingungen (bei direkter Messung am Aktuator und fehlende Abroll-/Windgeräusche) ins Gewicht. In einer realen Betriebsumgebung vermischt sich das generierte Rauschen und der Sweep mit den Roll- und Windgeräuschen, sodass zunächst der generierte Klang nicht auffällt. Obwohl Mercedes hier ein subjektiv unauffälliges Sounddesign verfolgt, macht sich das Rauschen mit 2,11 acum bemerkbar. Damit liegt der GLE 350 e im oberen Drittel.

5.2.3.8 Mercedes EQC

Ähnlich wie beim GLE 350 e setzt Mercedes hier ebenfalls auf ein zweiteiliges Sounddesign. Es besteht aus einer Kombination von Rauschen und einem Sweep. Im Gegensatz zum GLE ist das Rauschen aber stärker begrenzt (350 Hz – 1,4 kHz). Der Sweep ist identisch wie beim GLE (siehe Abbildung 32 und 33). Im Stillstand liegt kein Geräusch vor. Der Sound wird auch hier von zwei Lautsprechern mit 80 mm Durchmesser abgegeben (vorne und hinten).

Der Sweep erreicht mit 0,9 % Frequenzanstieg den in der Norm geforderten Wert. Da nur die europäische Fahrzeugvariante vorliegt, ist davon auszugehen, dass ohne ein Standgeräusch die Erfüllung der amerikanischen Norm nicht angestrebt wird (obwohl der Pegelanstieg um 9 dB diese teilerfüllt).

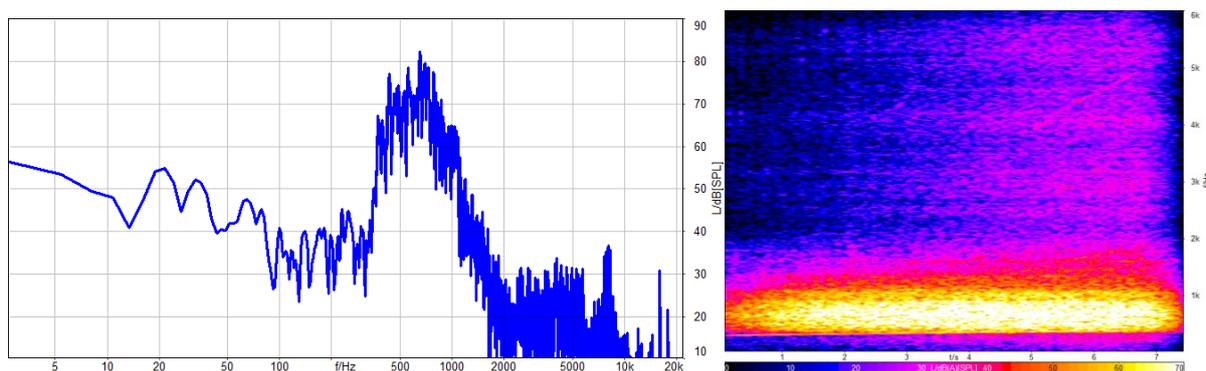


Abbildung 33: Frequenzverlauf und Spektrum (vorderes Modul)

Das Sounddesign ähnelt dem des Mercedes GLE, sodass die Vermutung nahe liegt, es werden bei beiden Modellen ein identisches Sounddesign eingesetzt. Die hier dargestellten Unterschiede können durch die verschiedenen Aktuatoren erklärbar sein, die beispielsweise die Bandbreite des Rauschens unterschiedlich filtern. Ansonsten sind diese subjektiv kaum wahrnehmbar und zeigen sich erst bei den gemessenen Werten. Die Rauheit weicht zwischen den

Modellen um 0,01 asper ab, womit sich beide im Mittelfeld der Benchmark bewegen. Das Sounddesign des EQC wirkt ansonsten nur durch das stärker bandgefilterte Rauschen nicht so scharf (1,62 acum hier gegenüber 2,11 acum beim GLE 350 e).

5.2.3.9 Porsche Taycan

Es werden verschiedene Layer (Schichten), die aus teils aufgenommenen, oder generierten Samples bestehen, verwendet. Unter anderem werden Verbrennungssounds und Sweeps verschiedener Frequenzen verarbeitet. Die Samples sind sowohl geräuschhaft, als auch tonal. Das Sounddesign ist im Fahrbetrieb sowie im Stillstand aktiv. Es wird bei ca. 40 km/h langsam ausgeblendet. Auch hier verändert sich der Pitch linear über die Drehzahl des Motorsteuergeräts. Porsche bietet zum normalen AVAS-Paket (ein Aktuator vorne) noch ein Sport-Soundpaket an, welches im Turbo S serienmäßig vorhanden ist und mit zusätzlichen tieffrequenten Klängen das Sounddesign erweitert. Der Lautsprecher vorne hat ein Volumen von 4,2 l und hinten 3,1 l. In beiden Gehäusen sitzt ein Lautsprecherchassis mit einem Membrandurchmesser von 110 mm.

Die europäische AVAS-Norm ist mit den Sweeps, die parallel zueinander um 2,5 % pro 1 km/h steigen, erfüllt. Zwar wird hier im stationären Betrieb ein Klang abgegeben, dieser bleibt aber mit zunehmender Geschwindigkeit in der Lautstärke konstant. Somit ist die amerikanische Norm nur teilerfüllt ist.

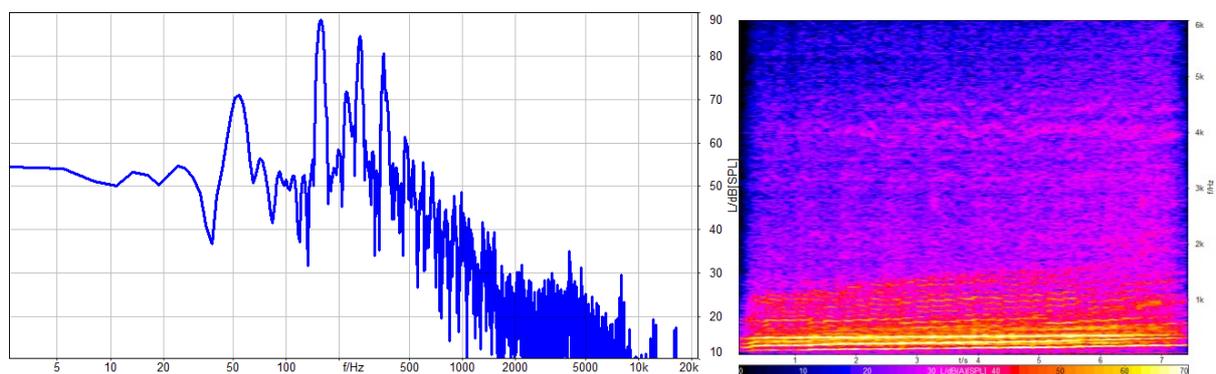


Abbildung 34: Frequenzverlauf und Spektrum des Porsche Taycan vorne

Das harmonische Konstrukt besteht aus einem verminderten Septakkord in Moll oder aus einem Moll-Sextakkord (beide Varianten sind möglich, je nachdem, welche Basis man betrachtet). Insgesamt wirkt es sehr dissonant, da keine Dominanz einzelner Töne, wie bei den anderen Sounddesigns, herrscht. Das Sample eines Verbrennungsmotors macht sich durch die starke Modulation bemerkbar. Damit hat der Porsche Taycan mit 0,685 asper die höchste Rauheit. Jedoch ist dem Sample eine gewisse Synthetik nicht abzuspüren, da die Teiltöne linear ansteigen und sich deren Frequenzabstände nicht verändern. Bei üblichen Verbrennungsmotoren fächern sich die dominanten Töne (Ordnungen) mit zunehmender Drehzahl auf und ihr Frequenzabstand zueinander wird größer.

Gut zu erkennen ist im Spektrum (Abbildung 34) auch ein sehr tieffrequentes Sounddesign. Dafür ist im Fahrzeug auch das größte Lautsprechergehäuse mit dem größten Lautsprecher verbaut.

5.2.3.10 Audi e-tron

Bei älteren Modellen des e-trons findet noch kein aktives Sounddesign Anwendung. Die Geräuschkulisse besteht nur aus den Geräuschen des elektrischen Antriebsstranges und diverser Nebenaggregate. Interessanterweise würden zum einen die Frequenzveränderungen mit einer Steigerung von 13,1 % die europäische Norm erfüllen, zum anderen wäre die amerikanische mit einer Lautstärkenzunahme um 4,9 dB pro 10 km/h-Schritt auch teilerfüllt.

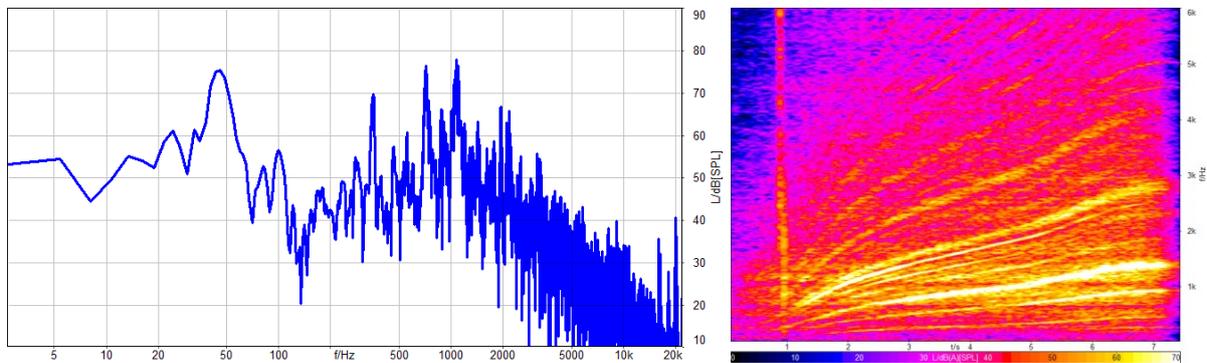


Abbildung 35: Frequenzverlauf und Spektrum des Audi e-tron ohne AVAS-Einrichtung

Bei neueren Modellen wird ein, dem Porsche Taycan ähnliches Sounddesign eingesetzt, welches aus viel tieffrequenten und flächigen Anteilen besteht. Auch hier werden verschiedene Sounds übereinandergeschichtet. Audi verwendet eine eigene DAW zur Bildung des Sounddesigns (Abbildung 20).

Die neue Klanggestaltung erfüllt mit einer ansteigenden Frequenzverschiebung von 4,9 % die europäische AVAS-Norm. Die amerikanische ist mit einem Anstieg der Lautstärke um 9 dB, aber fehlendem Standgeräusch, nur teilerfüllt.

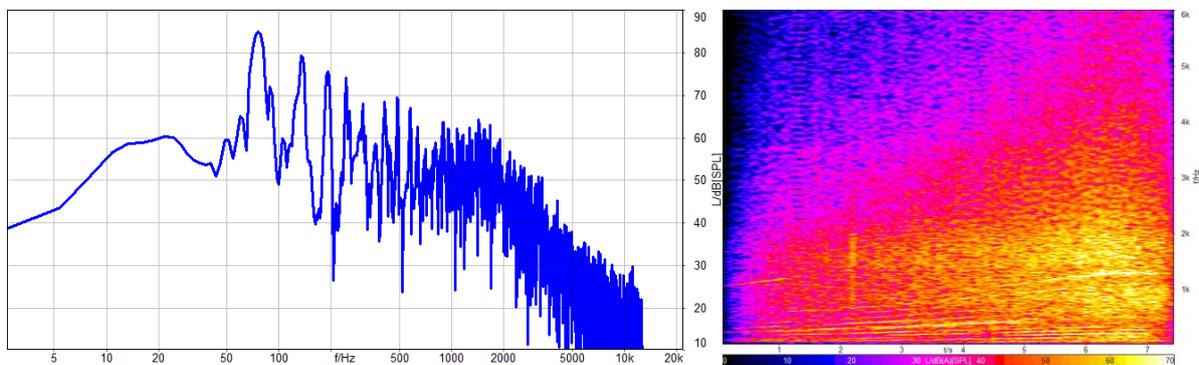


Abbildung 36: Spektrum des Audi e-tron mit AVAS-Einrichtung

Dem reinen Elektromotorsound der alten Variante ist kein harmonisches Konstrukt nachzuweisen. Die dominanten Frequenzen fächern sich mit zunehmender Geschwindigkeit/Drehzahl auf (Abbildung 35).

Das neue Sounddesign ist mit der Vielschichtigkeit an Klängen sehr komplex. Subjektiv bewertet wirkt es zunächst tonal und es sind auch dominante Frequenzen im Spektrum zu erkennen (Abbildung 36), jedoch können diese keinem harmonischen Konzept zugewiesen werden. Die anderen rauschhaften Teilklänge maskieren die tonalen Anteile zu stark. So ist trotz einer wahrnehmbaren Modulation die Rauheit mit 0,06 asper sehr gering und liegt auf dem

drittvorletzten Platz. Der rauschhafte Anteil macht sich dafür mit seinen hohen Frequenzen in der Schärfe mit 2,25 acum bemerkbar und liegt damit auf dem dritthöchsten Platz.

5.2.3.11 Tesla Model S

Bei älteren Modellen von Tesla (Typengenehmigung vor 1.07.2019, wie hier in der Untersuchung vorliegend) besteht das Sounddesign lediglich aus den Geräuschen, die von den Elektromotoren und der Peripherie abgegeben werden. Da die E-Motoren im Fahrmodus *Von Sinnen +* die volle Leistung der Batterie abrufen, werden die Lüfter zur Batteriekühlung hochgefahren. Dadurch ergibt sich ein deutlich wahrnehmbares, rauschhaftes Geräusch.

Bei neueren Modellen soll das *Pedestrian Warning System* (PWS) zum Einsatz kommen¹²⁷. Um die AVAS-Norm zu erfüllen, wird ein synthetischer Pad-Sound an einem Lautsprecher vorne emittiert, dessen Pitch sich linear zur Geschwindigkeit von 0 km/h bis 29 km/h verändert. Das Sample wird beim Einlegen der Fahrstufe D abgespielt und ist beim Rückwärtsfahren lauter und mit größerer Schwebung moduliert als bei der Vorwärtsfahrt. Hinzu kommt noch ein Rauschen, das im Frequenzbereich der hörbaren Abrollgeräusche konstant spielt.

Eine Untersuchung bezüglich der AVAS-Norm konnte aufgrund der Nichtverfügbarkeit eines Modells mit PWS nicht durchgeführt werden. Es ist nur zu bemerken, dass ähnlich wie bei Audi ohne AVAS, der Pitch des Elektrosounds prinzipiell den Anforderungen genügen würde.

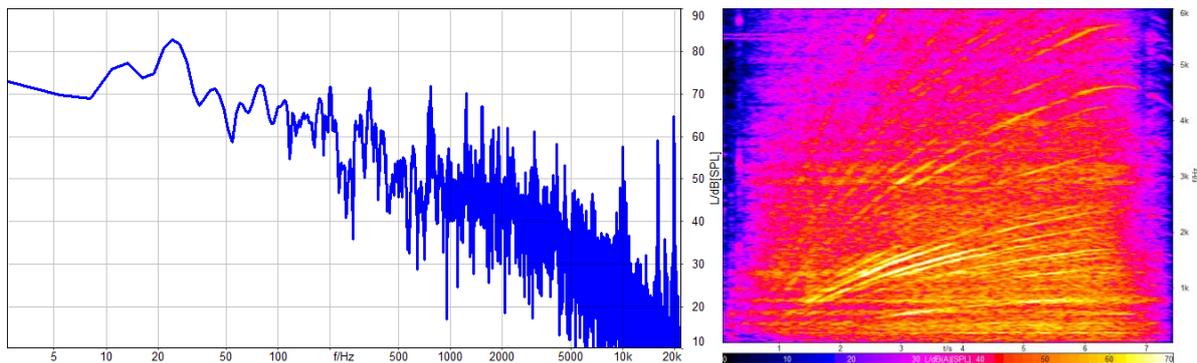


Abbildung 37: Frequenzverlauf und Spektrum eines Tesla-Modells ohne AVAS-Einrichtung

Der Klang des Modells ohne AVAS-Einrichtung ist subjektiv unauffällig. Es sind zwar von diversen Aggregaten und des Antriebstrangs tonale Anteile vorhanden, die sich aber nur unter Laborbedingungen bemerkbar machen. In der realen Fahrumgebung werden diese von Reifenabrollgeräuschen und dem Wind maskiert, sodass es insgesamt zu einem wenig auffallenden, ruhigen und natürlichen Klang führt. So liegt die Rauheit mit 0,065 asper im unteren Drittel des Benchmarks. Das Rauschen macht sich hingegen gerade im Modus *Von Sinnen +* in der Schärfe mit 3,07 acum bemerkbar und ist damit der Spitzenwert im Vergleich zu den anderen Fahrzeugen.

¹²⁷ Lambert, 2019

5.3 Zusammenfassung

Beim Sounddesign lassen sich gewisse Ähnlichkeiten feststellen. Im Gesamten setzen alle Hersteller mit aktivem Sounddesign auf die Pitch-Modulation ihrer Samples und erfüllen damit die AVAS-Bedingungen der europäischen Norm. Nur beim Mercedes GLE 350 e stand explizit ein Fahrzeug mit einer AVAS-Einrichtung für den amerikanischen Markt zur Verfügung.

Die meisten Hersteller greifen auf synthetisch erzeugte, oft tonale Pad-Samples zurück. Gerade bei neueren Fahrzeugen werden diese auch mit anderen tonalen Sounds gemischt. Es werden dann verschiedene Samples mit unterschiedlicher Pitch-Modulation abgespielt. Daneben werden auch reale Geräusche eingesetzt.

Eine weitere Herangehensweise ist die Verwendung von geräuschhaften Klängen. Es werden Abrollgeräusche durch ein synthetisch erzeugtes Rauschen in einem bestimmten Frequenzbereich verstärkt. Dies hat zur Folge, dass von außen Abrollgeräusche lauter wahrgenommen werden. Bei nahezu allen Fahrzeugen aus den Benchmark-Tests hatte der Fahrmodus, bis auf Unterschiede in Vorwärts- oder Rückwärtsfahrt, keinen Einfluss auf das Sounddesign. Außerdem wurden keine Anwendungsszenarien, wie Warnung vor Gefahrensituationen oder Erkennung verschiedener Fahrzustände umgesetzt. Tabelle 10 zeigt eine Übersicht der eingesetzten Sounddesigns nach Klangcharakter und eine mögliche Einteilung in Klanggruppen:

Fahrzeug	Sounddesign	Charakter	Gruppe
Hyundai IONIQ	synthetisch	padartig – tonal	synthetische tonale Pad-Sounds
Renault ZOE	synthetisch	padartig – tonal	
VW ID.3	synthetisch	padartig - tonal	
Jaguar I-Pace	synthetisch	padartig - tonal	
BMW i8	synthetisch	padartig – tonal & Verbrennungsemulation	
VW e-Golf	synthetisch	Verbrennungsemulation – tonal	synthetische Verbrennungsemulation
Mercedes EQC	synthetisch	rauschhaft & tonal (Sweep)	synthetisches Rauschen
Mercedes GLE 350 e	synthetisch	rauschhaft & tonal (Sweep)	
Porsche Taycan	real / samplebasiert	Layer vieler Samples & tonal	Layer realer Samples
Audi e-tron	real / samplebasiert	Layer vieler Samples & tonal	
Tesla Model S	real / mechanisch	rauschhaft & tonal	kein aktives Sounddesign

Tabelle 10: Übersicht der eingesetzten Sounddesigns nach Klangcharakter

Die größte Gruppe an Gemeinsamkeiten bilden die Sounddesigns mit synthetisch tonalen Pad-Sounds. Meistens wird aber versucht, die tonalen Anteile gering zu halten. Dafür werden flächenartige Sounds dazu gemischt. So fallen die oft verwendete siebte Stufe oder verminderte Harmonien in ihrer Dissonanz nicht ins Gewicht. Hier ist klar der Trend zu einem harmonisch unauffälligen Sounddesign zu erkennen. Bezüge zu den in Kapitel 4.3.2 auf S. 37 erläuterten Harmonien lassen sich nicht eindeutig feststellen. Ein suspendierter Dreiklang, der mit seiner Dissonanz und erhöhten Rauheit zu sportlichen Modellen passen würde, kommt beispielsweise nur bei der Limousine von Hyundai zum Einsatz. Porsche, Volkswagen, BMW und Jaguar setzen auf Tonika-Dreiklänge für Perfektion und Komfort (obwohl es sich beim Porsche Taycan und BMW i8 um Sportwagen handelt). Ebenso ist eine Verbindung zu den Harmoniecharakteren, wie sie von Willimek definiert sind (Tabelle 8), zu hinterfragen. Der in der Benchmark häufig verwendete Septakkord (Hyundai Ioniq, Renault Zoe, VW ID3, Jaguar I-Pace) wäre dort mit „Widerstand, Protest, Aufmüpfigkeit, Weinerlichkeit, Weichlichkeit, Bremsen, Schrittbewegung; bei Molltonika: Übernahme des Mollcharakters“ bewertet werden. Diese Adjektive stehen jedoch nicht in positiver Beziehung zu einem Fahrzeug.

Den Sounddesigns der Gruppe Verbrennungsemulationen ist tieffrequenter Schwerpunkt gemein. Bei gesampelten Motorenklängen ist der Bezug zu realen Sounds durch eine stärkere Modulation deutlicher erkennbar (Porsche Taycan, Audi e-tron), als bei synthetisch erzeugten Sounds mit geringer Modulation (BMW i8, VW eGolf).

Mercedes sticht etwas aus der Benchmark heraus. Der Hersteller verfolgt mit einem generell rauschhaften Klang ein unauffälliges Sounddesign. Während bei den anderen Fahrzeugen der Frequenzanstieg deutlich erfüllt ist, bewegen sich EQC und GLE 350 e gerade im Rahmen der Norm.

Fahrzeug	Rauheit/asper	Schärfe/acum	Klanghaftigkeit/tu
Hyundai Ioniq	0,099	1,33	2,54
Renault Zoe	0,047	1,85	3,61
VW ID3	0,050	1,75	2,71
Jaguar I-Pace	0,125	1,58	3,51
BMW i8 eDrive	0,074	1,85	2,78
BMW i8 Sport	0,218	1,19	4,04
VW eGolf	0,099	1,09	4,56
Mercedes EQC	0,098	1,62	0,64
Mercedes GLE 350 e	0,097	2,11	0,99
Porsche Taycan	0,685	1,32	6,46
Audi e-tron „alt“	0,065	2,9	4,01
Audi Etron „neu“	0,058	2,25	1,82
Tesla Model S	0,065	3,07	1,04

Tabelle 11: Psychoakustische Auswertung der eingesetzten Sounddesigns (Werte gemittelt)

Betrachtet man die psychoakustischen Werte, zeigt sich in der Rauheit die Gemeinsamkeiten der synthetischen Klangerzeugung. Die Mehrheit der Sounddesigns enthält nur geringe Modulationen, sodass die meisten Werte zwischen 0,0466 asper und 0,0994 asper liegen. Porsche Taycan, BMW i8 im Sport-Modus (mit Verbrennungsmotor) und Jaguar I-Pace weichen davon ab. Bei ersteren sind die tieffrequenten Modulationen des Verbrennungsmotors, beziehungsweise des Samples, deutlich wahrnehmbar. Bei Jaguar ist die Modulation synthetisch generiert und liegt etwas höher im Frequenzspektrum des Harmoniekonstrukts. Sie ist subtiler wahrzunehmen. Dies bestätigt auch der Rauheitswert des Jaguar I-Pace.

In der Schärfe sind die Unterschiede zwischen rauschhaften und tonalen Sounddesigns erkennbar, aber auch die Anteile eines Elektromotors und seinen hochfrequent auftretenden drehenden Teilen. So führen die Modelle ohne AVAS-Modul (Tesla Model S und Audi e-tron in der alten Version) die Skala an. Die Simulationen der Verbrennungssounds haben aufgrund der tieffrequenten Dominanz die geringsten Werte. Ansonsten gibt es hier ein breites Mittelfeld. Darin liegen auch die beiden Daimler Modelle EQC und GLE 350 e, die zwar ein deutlich rauschhaftes Sounddesign abgeben, welches aber stark bandgefiltert ist und sich somit das Rauschen nicht in den höheren Frequenzen bemerkbar macht.

Von der Klanghaftigkeit konkrete Aussagen zur Geräuschqualität abzuleiten, gestaltet sich schwierig, schwanken die Werte bei manchen doch stark über die Zeit. Auffällig sind hier Porsche Taycan mit einer schwankenden Wertdifferenz von bis zu 8,3 tu, die rein elektrische Variante des Audi e-tron mit 6,5 tu und der VW ID3. Zusammen mit den gemittelten Werten aus Tabelle 11 lassen sich aber doch die tonalen Aspekte erkennen. Hier liegen Porsche Taycan und Audi e-tron „alt“ auch im oberen Drittel. Deren Sounddesigns wirken durch Dominanzen von einzelnen Tönen im Harmoniespektrum subjektiv tonal. Fehlen Dominanzen einzelner Töne/Frequenzen ist die Klanghaftigkeit verhältnismäßig niedrig. So liegen die Sounddesigns vom Hyundai IONIQ oder Jaguar I-Pace im Mittelfeld. Sie enthalten zwar ein tonales Harmoniekonstrukt, deren Teiltöne sind aber in der auralen Wahrnehmung ausgeglichen. Die rauschhaften Klanggestaltungen wie bei Mercedes EQC und GLE 350 e zeigen sich zum einen durch die niedrigsten Durchschnittswerte und zum anderen auch in der geringen Schwankung. Diese liegt beim GLE 350 e bei 1 tu und beim EQC bei 1,2 tu. Tesla folgt ihnen mit 2,2 tu, hier sind die tonalen Anteile des elektrischen Antriebsstranges zu erkennen.

Insgesamt zeigt sich eine zurückhaltende Gestaltung der Sounddesigns mit primärem Ziel der Erfüllung der AVAS-Norm. Die Tendenz geht in Richtung unauffälligen Klang und Komfort. So ist in fast jedem Sounddesign ein Rauschen oder zumindest ein breites Klangspektrum vorhanden, sodass kein stark tonales oder melodisches Klangbild entsteht. Ob sich Hersteller wie Porsche für ihren Taycan an Klanggewohnheiten der Fahrzeugklasse orientieren kann nur gemutmaßt werden. Auffällig ist bei diesem als Vertreter der Sportwagen zumindest die Tendenz zur Rauheit¹²⁸. Ebenso setzt BMW beim i8 auf eine, wenn auch nur durch den Verbrennungsmotor und nicht im künstlichen Sounddesign enthaltene Rauheit, welche im eDrive-Modus deutlich geringer ausfällt. Fast allen gemein ist keine Einbindung von Use-Cases. Alle Sounddesigns haben einen konstanten Charakter. Eine Unterstützung der Fahrdynamik wie beispielweise akustische Rückantwort auf die Gaspedalstellung kommt nur beim Jaguar I-Pace zum Einsatz (bei Beschleunigungen ist der abgegebene Pegel höher als bei Konstantfahrten). Die direkte Ansprache an Fahrer und Verkehrsteilnehmer nach außen fällt gering aus. Von einer Emotionalisierung des Sounddesigns kann an diesem Punkt der Untersuchung nicht gesprochen werden.

¹²⁸ „Bei sportlichen Fahrzeugen ist hingegen ein gewisser Grad an Rauheit im Motorengeräusch erwünscht, da er den sportlichen Charakter des Fahrzeugs unterstreicht.“ Zeller, 2018, S. 257

6 Hörversuch

6.1 Motivation und Ziele

Die Benchmark hat ergeben, dass es unterschiedliche Sounddesigns gibt, diese sich aber in Gruppen einteilen lassen und damit gewisse Tendenzen erkennbar sind. Zwar werben zum einen manche Hersteller, wie in Kapitel 1.2, erwähnt mit populären Persönlichkeiten, die einen Sound nach ihrer Kreativität designen, jedoch sind deren Einflüsse in den Modellen kaum erkennbar. Es gibt bisher keine konkreten Äußerungen zu klanglichen Vorlieben bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen. Daher wird folgend anhand eines Probandentests untersucht, welche Erwartungshaltung an die Außengeräusche von Fahrzeugen bei elektrischer Fahrt besteht. Es sollen auch die bisherigen Stilmittel bestehender Sounddesigns in ihrer Emotionalität bewertet und für zukünftige neue abgeleitet werden.

Folgende Thesen werden zur Untersuchung aufgestellt:

T1	Bekannte Geräusche eines Fahrzeugs werden auch für Fahrzeuge im elektrischen Fahrbetrieb präferiert
T2	Die Erwartungshaltungen an das Sounddesign sind abhängig von Personengruppen
T3	Die Bewertungen bestehender Sounddesign-Konzepte sind abhängig von Personengruppen
T4	Sounddesigns werden mit unterschiedlichen Emotionen verbunden

Tabelle 12: Ziele des Hörversuchs

6.2 Organisation und Durchführung

Die Akquise der Probanden erfolgte über die internen Verteiler der Hochschule der Medien (HdM) und der Firma M Plan GmbH. Durchgeführt wurde der Hörversuch im Tonstudio der HdM. Dort war eine Versuchsumgebung im akustisch optimierten Raum möglich, um Einflüsse durch Störgeräusche von außen zu minimieren. Es wurden sieben identische Arbeitsplätze, bestehend aus Desktop-Computern (Windows 10, Bildschirme, Tastatur, Maus), offenen Kopfhörern (Sennheiser HD-600) und Audiointerface (Focusrite Scarlett Solo), eingerichtet. Die Systeme wurden jeweils akustisch eingemessen, entzerrt und um eine *Head-Related Transfer Function*¹²⁹ auf Basis der Kunstköpfe der Firma HEAD acoustics GmbH erweitert, um eine neutrale Klangwiedergabe zu garantieren. Die Software mit grafischer Oberfläche wurde eigens von David Goecke auf Basis der MatLab Runtime programmiert als Stand-Alone-Anwendung auf jedem Computer bereitgestellt.

¹²⁹ Kopfbezogene Übertragungsfunktion: Filterwirkung des menschlichen Gehörs

Zu Beginn wurden die Probanden in die Arbeitsplätze eingewiesen und erhielten schriftlich eine Beschreibung des Szenarios:

„Bitte stelle dir vor, Du stehst am Straßenrand (z. B. an einer Ampel) und ein E-Fahrzeug fährt mit zunehmender Geschwindigkeit an dir vorbei.“

Auszug aus dem Umfrage-Szenario

Den Hörversuch konnten alle Probanden an den Arbeitsplätzen selbstständig (mithilfe der On-Screen-Anweisungen) durchführen. Es bestand kein Zeitlimit.

6.3 Datenerfassung

Die Software zum Hörversuch untergliedert sich in folgende Teilabschnitte (Anhang 8.3):

Zuerst werden die Person betreffenden Daten erfasst. Neben Alter und Geschlecht wird eine akustische Vorbildung abgefragt. Die Probanden sollen aus vorgegebenen Aussagen über den Fahrertyp („Für mich muss ein Auto besonders auffällig klingen!“, „Mir ist es egal wie ein Auto klingt. Hauptsache es fährt!“ und „Mir ist es wichtig, dass die Geräuscentwicklung von einem Auto möglichst leise und komfortabel ist!“), auswählen, welche auf sie am ehesten zutrifft. Jede Durchführung bekommt eine Identifikationsnummer. So werden die erfassten Daten anonymisiert, die Ergebnisse sind aber weiterhin jedem Durchgang zuordbar.

Im darauffolgenden Abschnitt können die Probanden anhand von vorgegeben Sounds einen eigenen Klang erstellen. Als Basis dient das klangliche Szenario einer beschleunigten Vorbeifahrt unter Teillast von einer Dauer über 8 Sekunden. Dazu wird nicht veränderbar ein konstantes, stadtähnliches Umgebungsgeräusch und typische Roll- und Windgeräusche zugespielt. Ein Play-Button spielt diese Grundklänge ab. Mittels Loop-Funktion lässt sich dies auch automatisieren. Für den eigenen Klang stehen dem Probanden 5 Stilmittel zur Verfügung, die zum Teil aus Sounddesigns der Benchmark adaptiert worden sind. Stil 1 spiegelt einen E-Motor wider, wie er bei älteren Tesla-Modellen und Audi e-tron zum Einsatz kommt. Stil 2 ist einem 4-zylindrischen Verbrennungsmotor nachempfunden, wie er unter anderem beim VW e-Golf und BMW i8 verwendet wird. Stil 3 entspricht einem Pad-Sound ähnlich dem Jaguar I-Pace oder Hyundai IONIQ. Stil 4 ähnelt dem schmalbandigen Rauschen der Mercedes GLE 350 e und EQC Modellen. Stil 5 ist ein tieffrequenter Sweep von 50 Hz bis 75 Hz, um den tieffrequenten Bereich abzudecken. Dieses Sample ist zwar selbst erstellt, aber auch im Sounddesign des Porsche Taycan enthalten. Das Mischungsverhältnis der Klänge lässt sich anhand Skalen von 0 % bis 100 % zu einem Gesamtklang einstellen. Das eingestellte individuelle Sounddesign wird durch Betätigen des „Speichern und weiter...“-Buttons im Hintergrund mit den Einzelwerten der Stilmittel abgelegt und gerendert, um im nächsten Teil weiterverarbeitet zu werden.

In Teil 3 werden anhand des semantischen Differentials und beschreibender Adjektive vom Probanden sechs zufällig angeordnete Klänge bewertet. Diese bestehen aus dem individuell erstellten Sounddesign, fünf verschiedenen Varianten davon (es wurden die Stile 1 bis 5

zwischen 20 % und 100 % im Pegel angehoben) und einem Sounddesign mit gleichverteilten Anteilen aller Stilelemente. Durch Normalisierung sind alle Gesamtpegel untereinander gleich.

6.4 Auswertung und Diskussion

6.4.1 Personendaten

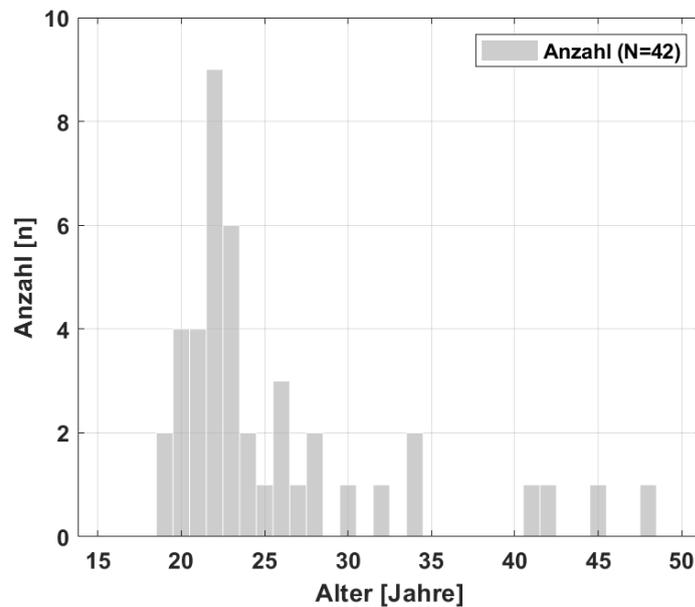


Abbildung 38: Alter der Probanden

Insgesamt nahmen am Hörversuch 42 Probanden teil. Das Alter des Hauptanteils liegt zwischen 20 und 25 Jahren. Dies ist auf das Umfeld und der hauptsächlichen Akquise an der Hochschule der Medien zurückzuführen (typisches Studentenalter). Damit entsprechen die Daten zwar nicht der typischen Verteilung von Fahrzeugkäufern (Abbildung 17), ist aber als potentielle und zukünftige Zielgruppe interessant.

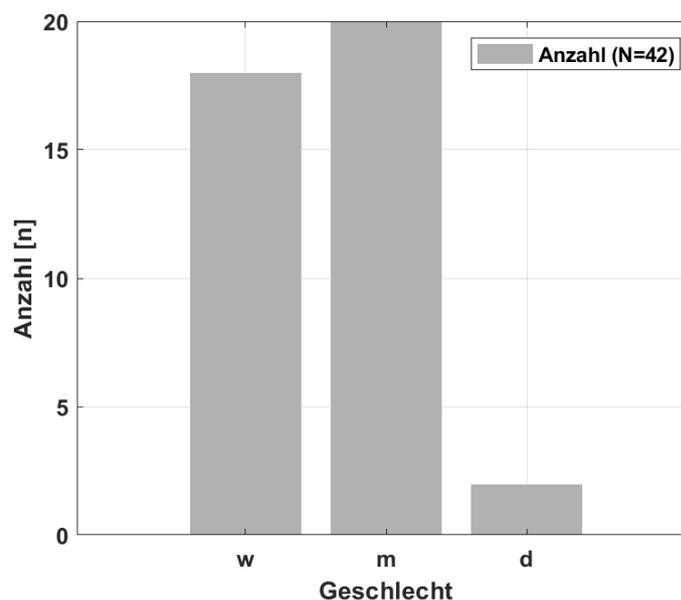


Abbildung 39: Geschlechterverteilung der Probanden

Das Geschlecht der Probanden verteilt sich nahezu gleich. Es ist also möglich die Personengruppen geschlechterspezifisch zu untersuchen.

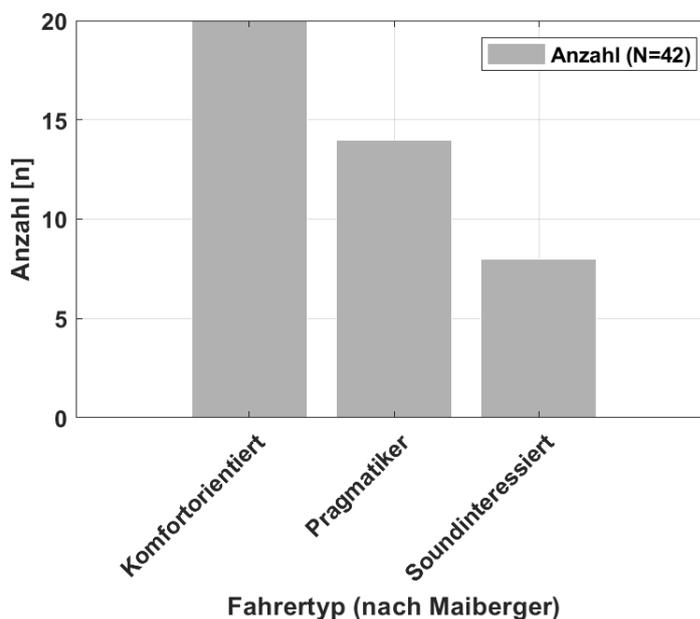


Abbildung 40: Verteilung der Fahrertypen

Anhand der ausgewählten Aussagen über den Fahrertyp werden die Probanden den Fahrertypen nach Maiberger zugeordnet. Es überwiegt der komfortorientierte Fahrertyp. Dieser wünscht sich eine möglichst leise und komfortable Geräusentwicklung. Da sich die Probanden den entsprechenden Aussagen zuordnen konnten, ist es möglich, die Ergebnisse in Abhängigkeit des Fahrertyps zu untersuchen.

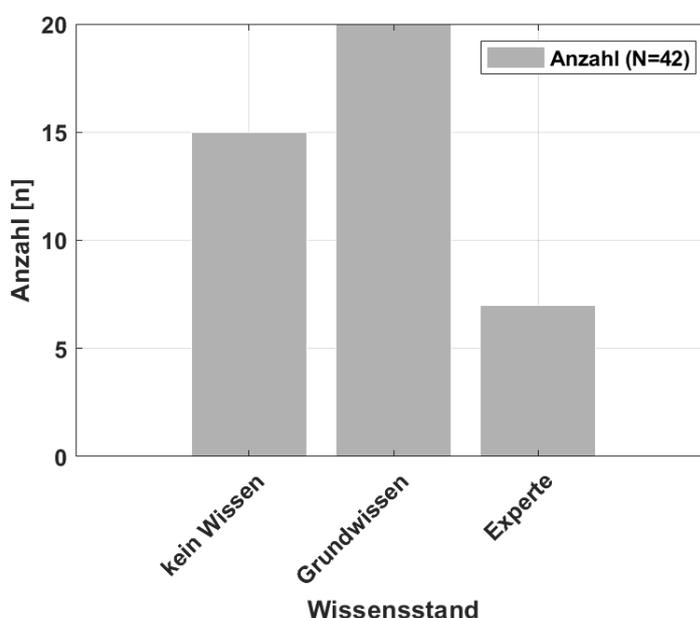


Abbildung 41: Verteilung der akustischen Vorbildung

Nur wenige der Probanden betrachten sich als Experten im Bereich Akustik. Bei den Daten handelt es sich folglich nicht um Expertenmeinungen, die sich nur auf einen kleinen Personenkreis übertragen lassen würden.

6.4.2 Individuelles Sounddesign

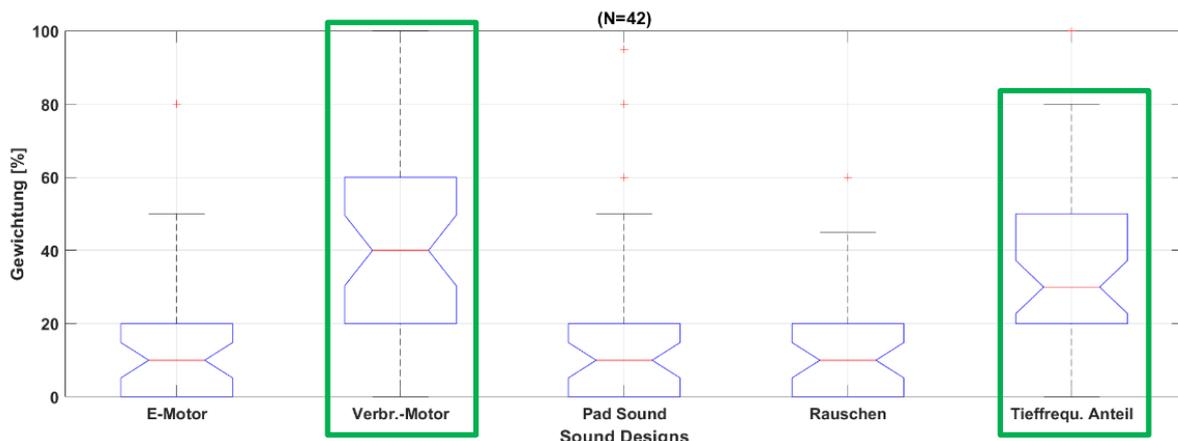


Abbildung 42: individuelle Gewichtung der Stilmittel

Im individuellen Sounddesign werden die Anteile eines Verbrennungsmotors und tieffrequente Anteile hervorgehoben¹³⁰.

These 1 ist damit positiv: Bekannte Geräusche (Verbrennungsmotor) eines Fahrzeugs werden auch für E-Fahrzeuge präferiert.

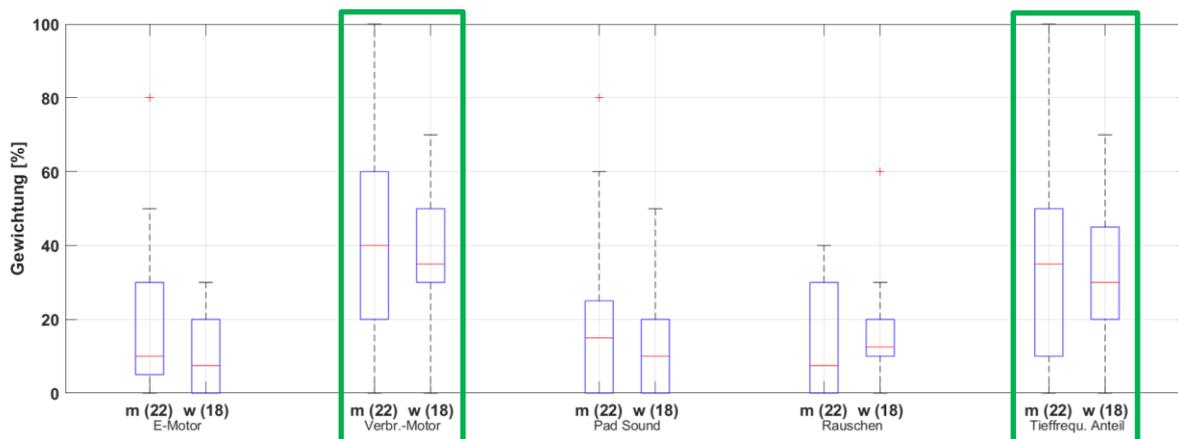


Abbildung 43: Gewichtung der Stilmittel nach Geschlecht

Eine Gewichtung nach Geschlecht zeigt eine große Streuung bei den männlichen Probanden. Die Ergebnisse der weiblichen sind tendenziell eindeutiger. Eine geschlechterspezifische Betrachtung würde bei einer männlichen Zielgruppe ein individuelles Sounddesign fordern.

¹³⁰ Nicht alle Stichproben entsprechen einer Normalverteilung (Shapiro-Wilk Test). Daher wurde ein Rangsummentest nach Wilcoxon zur Signifikanzprüfung angewendet.

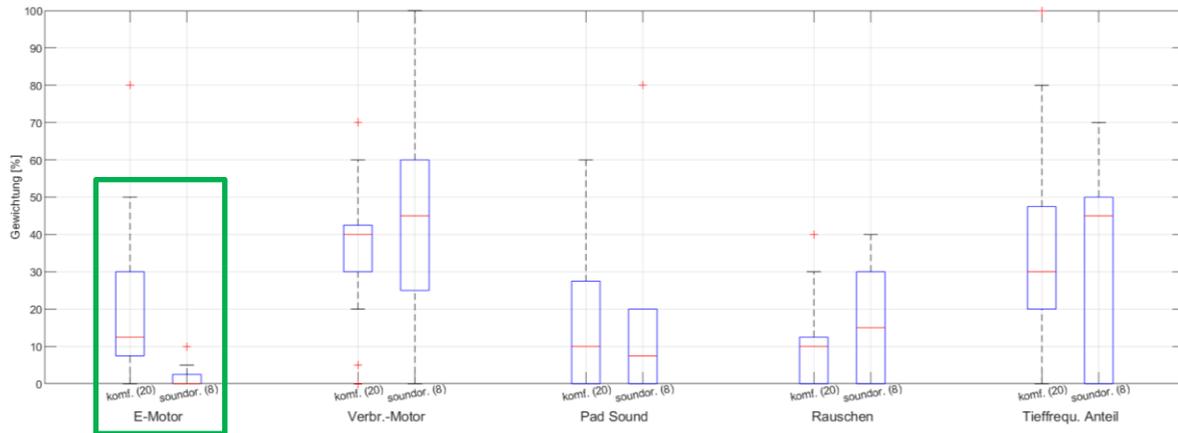


Abbildung 44: Gewichtung der Stilmittel nach Fahrertyp

Eine Einteilung in Fahrertypen nach Maiberger zeigt eine geringere Toleranz des soundorientierten Fahrertyps gegenüber den Geräuschen des E-Motors (komfortorientierte Fahrertypen und Pragmatiker sind aus Gründen wie in Kapitel 3.4, S. 27 erläutert, zusammengefasst).

Die Ergebnisse bestätigen These 2: Die Erwartungshaltungen an das Sounddesign sind abhängig von Personengruppen und deren Rollen.

6.4.3 Klangbewertung

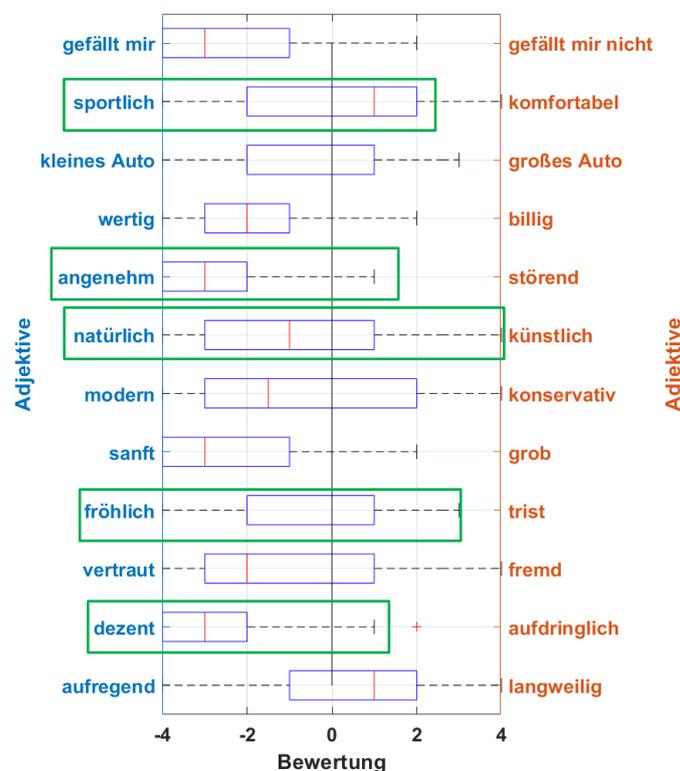


Abbildung 45: Bewertung des individuellen Sounddesigns

Generell sind die Begriffe „gefällt mir“, „wertig“, „angenehm“, „sanft“, und „dezent“ ausgeprägt (Abbildung 45). Das Sounddesign sollte diese Begriffe erfüllen, da diese Kombination *gefällt* und positiv wahrgenommen wird.

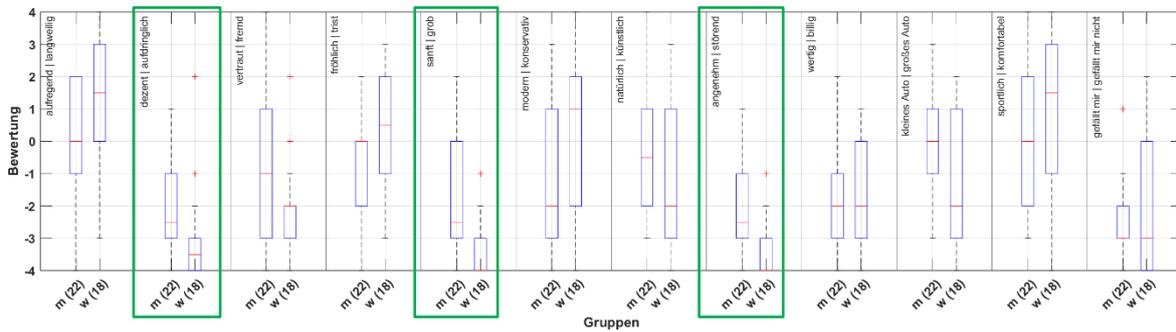


Abbildung 46: Bewertung des individuellen Sounddesigns nach Geschlecht

In Abbildung 46 zeigt sich in der geschlechterspezifischen Betrachtung des individuellen Sounddesigns wie in Abbildung 43 eine geringere Streuung bei den weiblichen Probanden. Dies bestärkt eine individuelle Gestaltung des Ziel-Sounddesigns bei Männern.

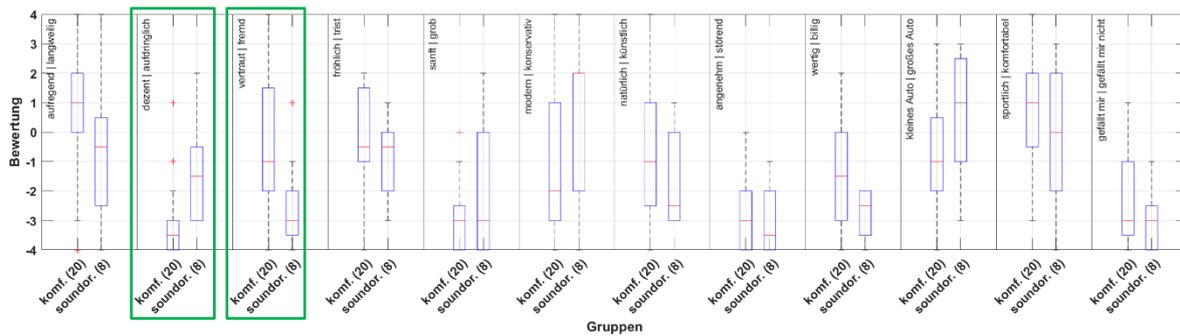


Abbildung 47: Bewertung des individuellen Sounddesigns nach Fahrertyp

In der Bewertung des individuellen Sounddesigns nach Fahrertyp spiegelt sich ein ähnliches Ergebnis zu Maiberger wider. Komfortorientierte Fahrertypen wählen einen dezenten Klang, während die soundorientierten Fahrertypen einen vertrauten Klang wählen (kognitive Konsonanz).

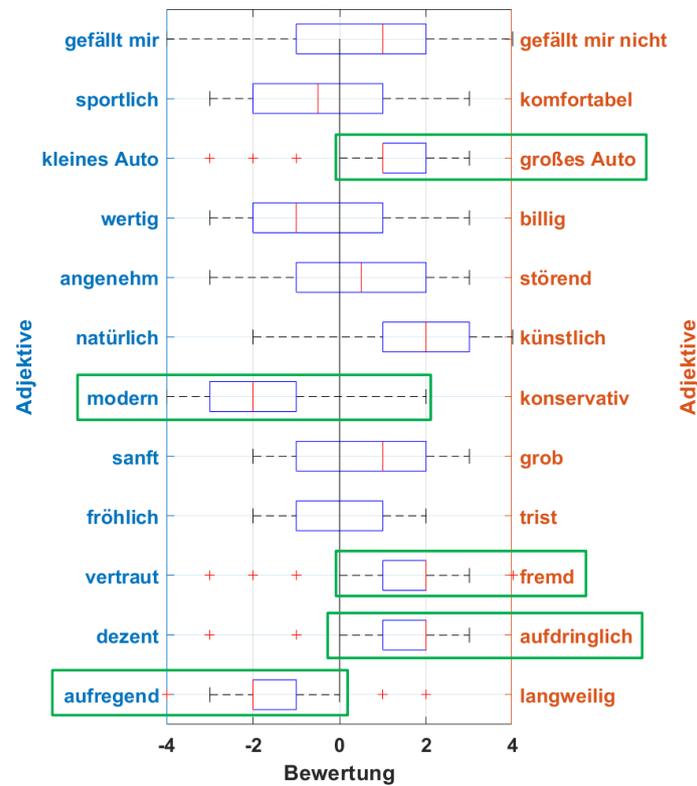


Abbildung 48: Bewertung der Stile bei gleichen Pegelanteilen

Das Sounddesign mit den Stilen zu gleichen Pegelanteilen wird mit „großes Auto“, „modern“, „fremd“, „aufdringlich“ und „aufregend“ bewertet. Ein gleicher Anteil aller Stile führt zu einer aufdringlichen Reizüberflutung. Es bestätigt sich hier die bisher auf Verbrennungsmotoren bezogene Definition des Wohlklangs¹³¹: in Lautheit (17,3 sone), Rauheit (0,036 asper) und Schärfe (1,06 acum) befindet sich dieses Stilmittel im oberen Drittel und wirkt damit störend. Kompensiert wird der gänzliche Missklang mit klanghaften Anteilen (0,604 tu).

¹³¹ Zeller, 2018, S. 260

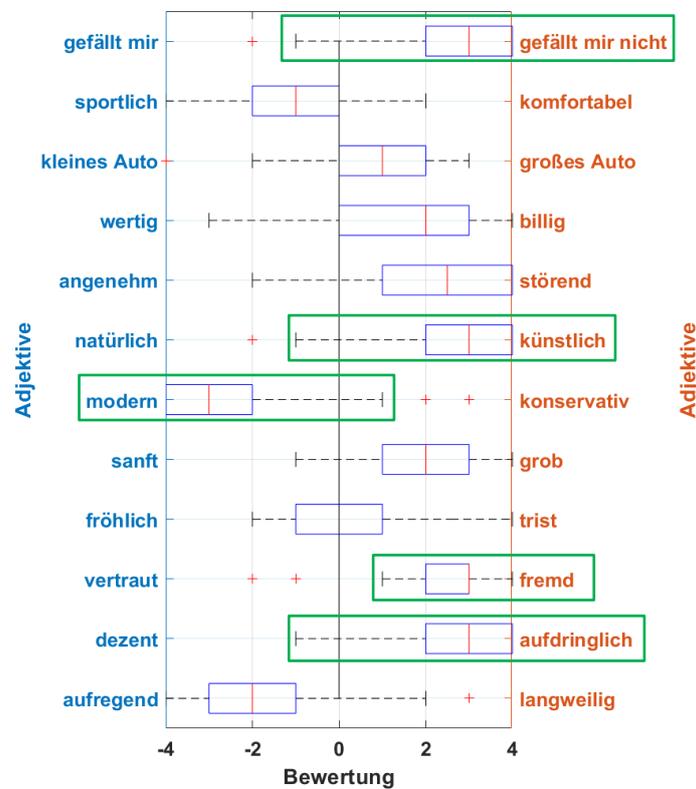


Abbildung 49: Bewertung eines E-Motors als Stilmittel

Der Klang des E-Motors wird mit „modern“, „künstlich“, „fremd“, „aufdringlich“ und „gefällt mir nicht“ negativ bewertet. Die Geräusche eines E-Motors sollten minimiert werden, da diese zwar modern klingen, aber nicht gefallen. Die Bewertung als „modern“ kann von der Assoziation eines modernen Fahrzeugs kommen. Da die Klänge aber nicht direkt mit einem Fahrzeug, wie es üblicherweise verkehrt, in Zusammenhang gebracht werden, entsteht ein fremder Eindruck (kognitive Dissonanz). In den psychoakustischen Werten spiegelt sich das Missfallen im höchsten Schärfewert (1,37 acum) wider.

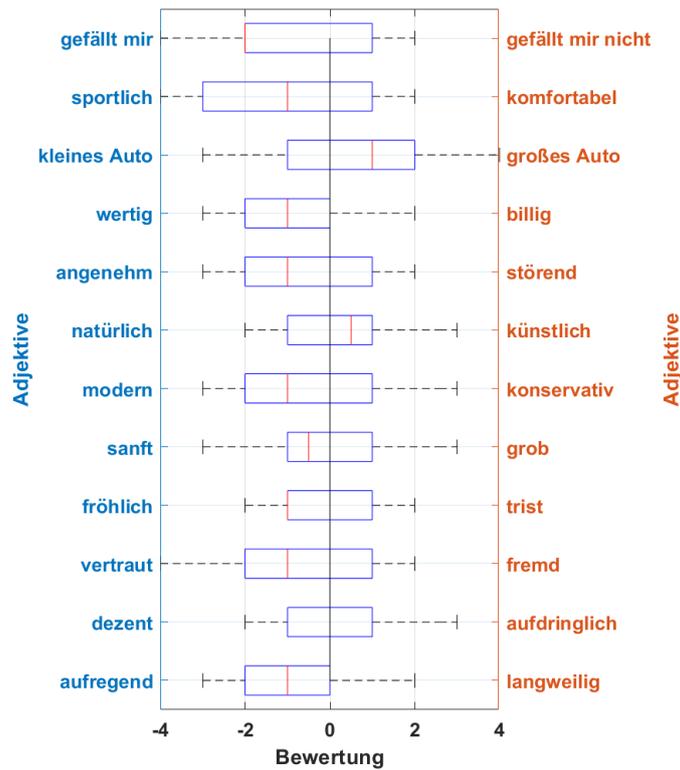


Abbildung 50: Bewertung eines Verbrennungsmotors als Stilmittel

Beim Verbrennungsmotor zeigen sich keine eindeutigen Tendenzen. Es ergab sich nur eine große Differenz in der Bewertung nach „sanft /grob“ bei den unterschiedlichen Geschlechtern. Eine zukünftige Gestaltungsmöglichkeit könnte demnach eine Ergänzung zu diesem Stil durch weitere Klänge sein.

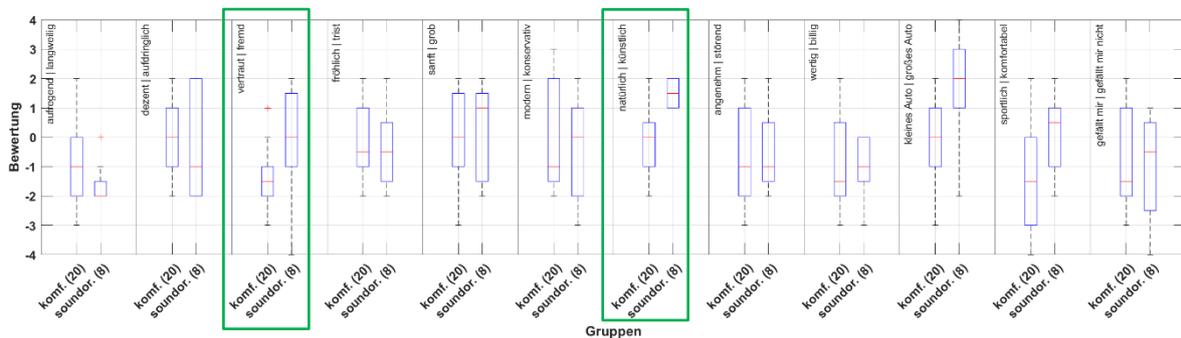


Abbildung 51: Bewertung eines Verbrennungsmotors als Stilmittel nach Fahrertyp

In der Unterscheidung nach Fahrertypen nehmen die komfortorientierten dieses Stilmittel als vertraut wahr. Die soundorientierten Fahrertypen empfinden es hingegen als künstlich. Ursache dafür könnte einerseits die kognitive Konsonanz mit einem realen Fahrzeug sein, da der Klang aber mit einem Sample generiert wird, ist die künstliche Klangerzeugung für

soundorientierte Fahrertypen, die auch dementsprechend Kenntnis über Motorgeräusche haben, deutlich bemerkbar (die Rauheit ist zwar von allen Stilmitteln mit 0,06 asper am höchsten, fällt damit aber trotzdem gering aus). Auf das klangliche Verhalten künstlich generierter Fahrzeugsounds weisen Chang und Park¹³² bereits hin und benennen Modulationseffekte als mögliche Gestaltungsmittel.

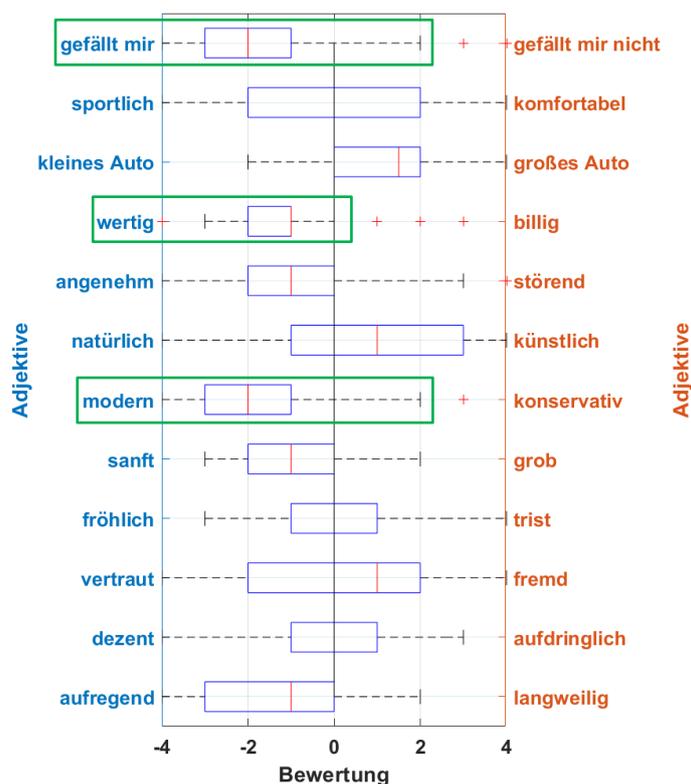


Abbildung 52: Bewertung eines Pad-Sounds als Stilmittel

Das padartige Stilmittel wird mit „wertig“, „modern“ und „gefällt mir“ bewertet. Ein hoher Anteil dieses Stils trägt zu einem wertigen und modernen Klangbild mit hoher Akzeptanz bei. Die Akzeptanz eines nichttypischen Klangs für ein Fahrzeug ist dergestalt erklärbar, dass es hier zunächst bewusst zu einer kognitiven Dissonanz kommt, die sich aber in Anbetracht eines futuristischen Fahrzeugs auflöst. Im Vergleich der psychoakustischen Werte liegt dieses Stilmittel im Mittelfeld.

¹³² Chang, Park, 2016, S. 4-5

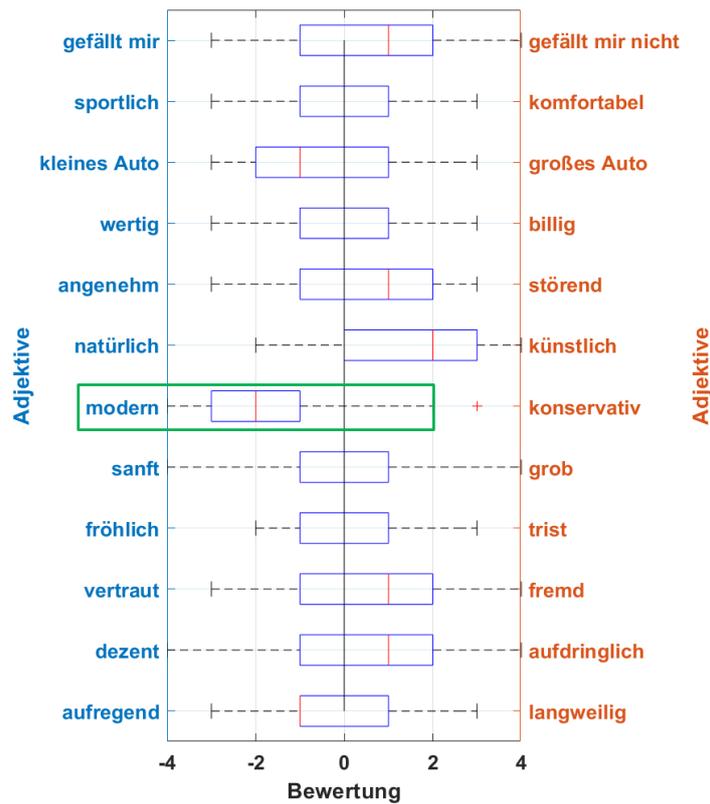


Abbildung 53: Bewertung eines bandgefilterten Rauschens als Stilmittel

Ein rauschafter Klang zeigt bis auf eine „moderne“ Bewertung kaum Auffälligkeiten.

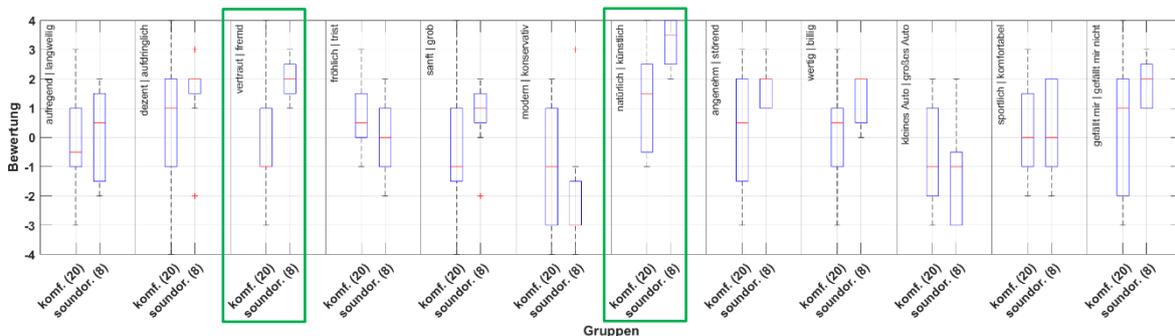


Abbildung 54: Bewertung eines bandgefilterten Rauschens nach Fahrertypen

Bei Betrachtung der Unterschiede in der Bewertung nach Fahrertypen empfinden die soundorientierten Fahrertypen das Stilmittel eher als „fremd“ und „künstlich“. Das könnte auf die Begrenzung der oberen und unteren Frequenzbereiche zurückzuführen sein. Dadurch weicht das synthetische Rauschen vom realen Rauschen der Abroll- und Windgeräusche sofern ab, als dass diese eben nicht gefiltert sind. So wirkt dieses Stilmittel mit 0,759 acum weniger scharf als der E-Motor und ein Sounddesign mit allen Stilmitteln zu gleichen Anteilen. Das Rauschen selbst macht sich im zweitniedrigsten Wert der Klanghaftigkeit bemerkbar (0,117 tu).

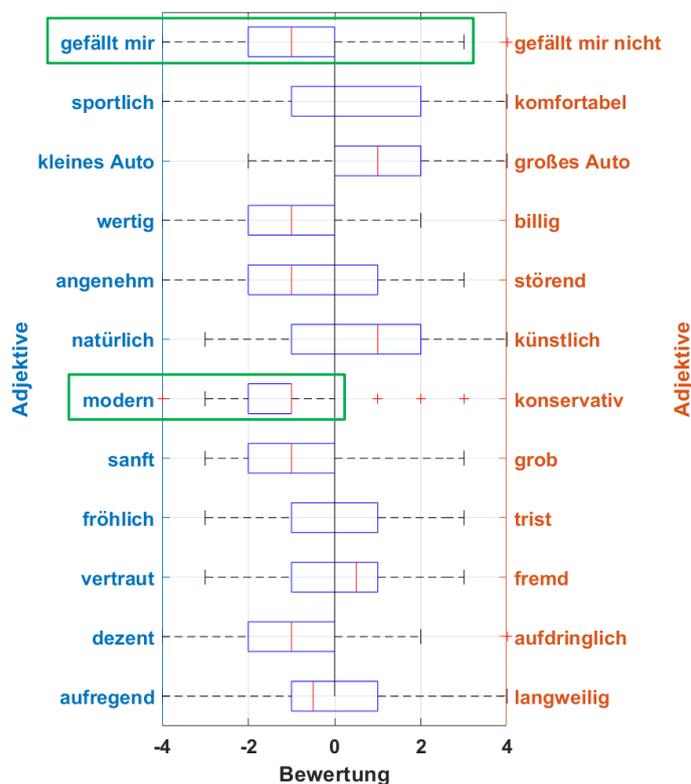


Abbildung 55: Bewertung eines tieffrequenten Sweeps als Stilmittel

Der Anteil eines tieffrequenten Sweeps wird mit „modern“ und tendenziell „gefällt mir“ bewertet.

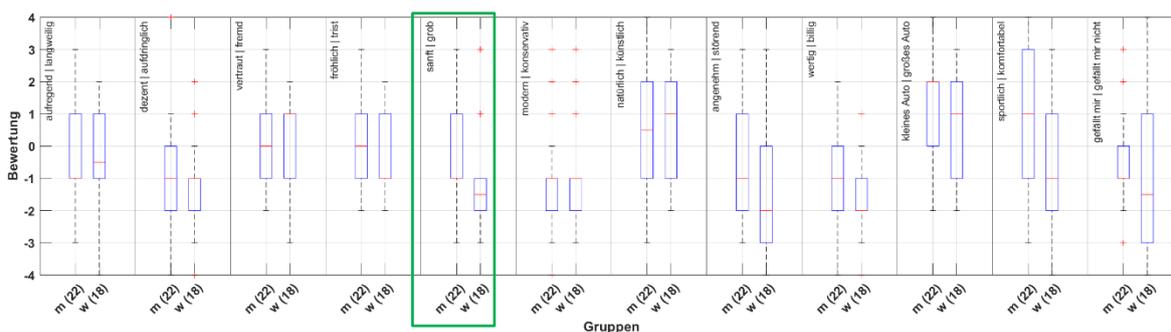


Abbildung 56: Bewertung eines tieffrequenten Sweeps als Stilmittel nach Geschlecht

Die geschlechterspezifische Betrachtung zeigt bei „sanft“ und „grob“ unterschiedliche Tendenzen.

Ein tieffrequenter Anteil trägt demnach zu einem positiven Eindruck des Klangbildes bei. Er ist in den psychoakustischen Werten unauffällig und liegt in allen Bereichen im unteren Drittel.

Die Auswertung der Klangbewertung bestätigt These 3: Die Bewertungen bestehender Sound-design-Konzepte sind abhängig von Personengruppen.

6.5 Kritische Betrachtung

Der Mittelwert der Probanden liegt mit unter 30 Jahren unterhalb des durchschnittlichen Autokäufers (Abbildung 17). Dies ist auf das studentische Umfeld des Versuchs an der Hochschule der Medien zurückzuführen. Empfehlenswert ist eine Erweiterung durch Probanden mittleren Alters, um ein genaueres Meinungsbild des „klassischen“ Autokäufers (relevante Zielgruppe) abbilden zu können.

Die Versuchsumgebung, bestehend aus dem Szenario (Außengeräuschbewertung eines anfahrens Autos) und der Hörumgebung (akustisch optimierter Raum, Einspielung von Störgeräuschen, usw.), ist geeignet, um eine Bewertung der Ergebnisse vorzunehmen. Zwar gibt es verschiedene Freiheitsgrade, welche die Bewertung beeinflussen, jedoch sind die zugespielten Geräusche bei jedem Probanden konstant und damit die individuelle Kombination der Stilmittel und die Bewertung untereinander vergleichbar. Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch Maiberger bei vergleichenden Untersuchungen in einer realen Umgebung und im Labor¹³³. Dort wurde ebenso eine erhöhte Streuung der Ergebnisse im Labor im Unterschied zu einem Feldtest festgestellt. Ein genau definiertes Szenario ist wichtig.

6.6 Zusammenfassung

T1	Bekannte Geräusche eines Fahrzeugs werden auch für Fahrzeuge im elektrischen Fahrbetrieb präferiert	✓
T2	Die Erwartungshaltungen an das Sounddesign sind abhängig von Personengruppen	✓
T3	Die Bewertungen bestehender Sounddesign-Konzepte sind abhängig von Personengruppen	✓
T4	Sounddesigns werden mit unterschiedlichen Emotionen verbunden	✓

Tabelle 13: Ziele des Hörversuchs

Alle Thesen wurden bestätigt. Es werden bekannte Geräusche eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor auch für elektrische Fahrzeuge präferiert (These 1). Das Geräusch eines Elektromotors wurde dabei konsequent negativ bewertet. Die Erwartungshaltung, das Sounddesign und die Bewertung dessen, sind abhängig von Personengruppen, wie beispielsweise komfortorientierten oder sportlichen Fahrern (These 2 und 3). Streuungen in den Ergebnissen deuten auf die Notwendigkeit individueller Sounddesigns hin, welche sich an den jeweiligen Personengruppen ausrichten. Es war allen Probanden zudem möglich, anhand vorgegebener Emotionsbegriffe, die Sounddesigns zu bewerten (These 4).

¹³³ Maiberger, 2018, S. 86

Ein Sounddesign mit einem Fokus auf das Geräusch eines (bekannten) Verbrennungsmotors mit tieffrequentem Anteil wird bevorzugt. Dieses wird positiv mit „gefällt“, „wertig“, „angenehm“, „sanft“ und „dezent“ bewertet.

Stilmittel	Lautheit / sone	Rauheit / asper	Schärfe / acum	Klanghaftigkeit / tu
durchschnittliche individuelle Mischung	3,8	0,022	0,484	0,023
gleiche Anteile	17,3	0,036	1,06	0,604
E-Motor	9,52	0,027	1,37	0,341
Verbrennungs-Motor	6,25	0,06	0,409	0,866
Pad-Sound	8,28	0,034	0,544	0,414
Rauschen	9,47	0,038	0,759	0,117
tieffrequenter Sweep	5,78	0,016	0,402	1,126
Median	5,59	0,026	0,463	0,312

Tabelle 14: psychoakustische Auswertung der Stilmittel

Vergleicht man die psychoakustischen Werte der Stilmittel des Hörversuchs mit den Werten realer Sounds, so fallen erstere niedriger aus. Dadurch missfallen die Stilmittel nicht deutlich, es sind Tendenzen erkennbar. Kategorisch wird nichts abgelehnt oder isoliert gewählt. Ein Trend zur generell niedrigen Geräuschentwicklung ist an der medianen Mischung der Stilmittel zu beobachten, welche im Gesamtvergleich in allen Werten im unteren Drittel liegt. Es handelt sich folglich bei der Erwartungshaltung immer um eine Klangmischung. Individuelle Klanggestaltungen sind erforderlich, welche entweder mit den Fahrmodi (Eco, Komfort, Sport) verknüpft, oder frei wählbar sein sollten. Genau hier ergibt sich die Problematik, dass die passiven Verkehrsteilnehmer nicht aktiv den Klang wählen können, sondern dieser vom Fahrer bestimmt wird. Unterschiedliche Sounddesigns für innen und außen wären eine Möglichkeit, beiden Erwartungshaltungen zu entsprechen.

7 Fazit

„Dinge, die sich gut anfühlen, müssen begehrenswert und nutzenstiftend sein [...].“

Franke, 2013, S. 28

Die Marktkommunikation hat sich von der transportierten Produkteigenschaft zu einer Erlebniswelt gewandelt¹³⁴. In Anbetracht des *Hedonischen Konsums* (Franke, 2013) sind positive Emotionen zielführend. Dabei schaffen es Hersteller im Premiumsegment (beispielsweise Audi, BMW und Mercedes)¹³⁵ im Vergleich zu Basismarken (beispielsweise Opel, Renault und Toyota)¹³⁵ stärkere positive und schwächere negative Emotionen auszulösen¹³⁶. Fahrzeugkunden sind damit gewillt, aus einem nicht rationalen Grund (Emotionen) mehr zu investieren¹³⁷, da durch den emotionalen Mehrwert das Auto nicht nur als Werkzeug, sondern auch als Statussymbol dient.

Das Sounddesign hat dabei die Möglichkeit, Emotionen auch durch unbewusste Wahrnehmung im Kontext des Fahrzeugs auszulösen. Es entsteht eine produktleistungsunabhängige Wertigkeit. Das Fahrzeug fühlt sich einfach gut an.

Aus dem Hörversuch geht hervor, dass reale Geräusche nur zu gewissen Teilen akzeptiert werden. Während die Geräusche eines Verbrennungsmotors zusammen mit tieffrequenten Anteilen, also „alten großen Motoren“ entsprechend, bevorzugt werden, wirken die Geräusche des „neuen“ Elektromotors störend und sollten maximal gedämpft werden. Um der Vielfalt der Erwartungshaltungen gerecht zu werden, ist die individuelle Einstellbarkeit von Sound Presets möglich. Beispielsweise könnte sich zusammen mit den Fahrmodi wie „Komfort“, „Eco“ oder „Sport“ wie sie in fast allen Fahrzeugen vorkommen, (eils unter anderen Namen), sich der Außenklang des Fahrzeugs ändern, um zum einen den Bedürfnissen des „komfortorientierten“, „pragmatischen“ oder „sportlichen“ Fahrers zu entsprechen, aber auch um gleichzeitig das Fahrverhalten der Umwelt zu kommunizieren.

Der Klang muss normgerecht sein, gleichzeitig das (emotionale) Markenimage transportieren und der Erwartungshaltung des Fahrers, aber auch der Umwelt (z. B. Passanten) entsprechen.

¹³⁴ Knackfuß, 2010, S. 86

¹³⁵ Knackfuß, 2010, S. 103

¹³⁶ Knackfuß, 2010, S. 186

¹³⁷ Knackfuß, 2010, S. 187

7.1 Zusammenfassung

Durch die AVAS-Richtlinie sind Fahrzeughersteller angehalten, bei ihren E-Fahrzeugen Geräusche zu emittieren. Neben den Mindestanforderungen der Warnhinweise eröffnen sich mit dem Sounddesign weitere Möglichkeiten, sich im Alltag oder in der Masse an Verkehrsteilnehmern individuell zu präsentieren. Fahrzeughersteller wollen bestimmte Emotionen auslösen. Dazu sind ihnen verschiedene Stilmittel gegeben. So wird aus der Literaturrecherche zum Beispiel ersichtlich, dass tiefe Frequenzen sowohl ein Gefühl von Überlegenheit als auch Größe auslösen. Hohe Frequenzen ziehen durch die Präsenz die Aufmerksamkeit auf sich. Dissonante Klänge lösen Unbehagen aus.

Aus den Aufnahmen des Benchmarks ergeben sich verschiedene Charakteristika der Sounddesigns. So kann man die Klänge in verschiedene Klassen (synthetisch – flächenartig, synthetisch – verbrennungsähnlich, synthetisch – rauschhaft und real) einteilen. Aktuell ist das zentrale Element des Sounddesigns elektrisch betriebener Fahrzeuge die Erfüllung der AVAS-Richtlinie.

Die Probandenuntersuchung hat im Hörversuch ergeben, dass ein generell niedriges Geräuschniveau gewünscht ist. Die Erwartungshaltung an das Sounddesign ist dabei von Geschlecht und Fahrertyp abhängig. Um diesen vielfältigen Ansprüchen gerecht zu werden, sind individuelle Klanggestaltungen nötig.

7.2 Ausblick

Trotz einer medienwirksamen Inszenierung der Umsetzungen (Beispiele in Kapitel 1.2) beinhaltet das Endprodukt keine allzu kreative Klanggestaltung. Dynamische Fahrzustände werden, die Frequenzhöhen-Modulation bei Geschwindigkeitsänderungen ausgenommen, nicht miteinbezogen. Dabei ergeben sich gerade hier Möglichkeiten für eine Individualisierung des Fahrzeugsounds nicht nur in Anbetracht einer vom Hersteller gewollten Markenidentität, sondern auch in Anbetracht des Fahrers in Beziehung zu seinem Fahrzeug. So könnte man nicht nur verschiedene Fahrzustände, wie „Sport“, „Komfort“ oder „Eco“, mit passenden Sounddesigns ausstatten, sondern auch Größen des Motorsteuergeräts besser mit einbinden. Es könnte unter anderem die Gaspedalstellung mit einberechnet werden. In den Benchmark-Untersuchungen ist auch kein Sound bei der Rekuperation oder beim Start/Stop des Fahrzeuges messbar. Weiterhin wäre eine regionale Einbindung von GPS-Daten denkbar: Es könnte auf Autobahnen oder Landstraßen eine andere Klanggestaltung als innerorts oder in Stadtzentren eingesetzt werden. Auch eine gegenseitige Wirkung der Fahrzeuge aufeinander ist möglich: Bei Kolonnenfahrten könnten die Fahrzeuge eine Art Orchester bilden, in welchem jedes einzelne wie ein Instrument funktioniert und sich, aufeinander abgestimmt, ein (harmonisches) Gesamtkonstrukt ergibt. Weiterhin wäre eine zeitliche Entwicklung der Sounds denkbar: Der Klang verändert sich, je nach Länge der Fahrt oder tagsüber wird ein anderes Sounddesign als nachts verwendet. Des Weiteren könnte auch die Witterung berücksichtigt werden: Regen, Schmutz und Schnee wirken sich auf die Hörbarkeit des Fahrzeuges aus. Neben der zeitlichen, örtlichen und

fahrzeugspezifischen Einbindung des Designs ist auch der Sicherheitsaspekt wichtig. Beim Thema Fußgänger- und Fahrradfahrerschutz sind vielfältigere Gestaltungen möglich. Frequenzen, die das menschliche Gehör am besten wahrnimmt, könnten betont oder der Schall gerichtet werden. Tabelle 15 stellt einen Überblick möglicher Anwendungsszenarien und deren eventuelle Anforderungen an das Sounddesign dar:

Situation		Klanggestaltung
Annäherung	Fahrradfahrer/ Fußgänger	langsam steigender Pegel, um Erschrecken zu vermeiden gerichteter Schall
	Überholmanöver	Fahrradfahrer/Auto höhere Präsenz für deutlichere Wahrnehmbarkeit
Fahrbahn	schneebedeckt	deutlichere Präsenz durch dumpfere Umgebung
	nass	höhere Pegel wegen erhöhtem Rauschen
	(stark) verschmutzt	höhere Pegel wegen Störgeräuschen (z.B. Steinschlag)
Wetter	Regen	Anhebung bestimmter Frequenzbereiche für bessere Wahrnehmbarkeit (Blauertsche Bänder)
Tageszeit	Nachtfahrt	weniger Pegel, da leisere Umgebung
Umgebung	außerorts	weniger Pegel, da keine Passanten
	innerorts	normal
	Autobahn	niedriger Pegel, da laute Roll- und Windgeräusche
	Kolonnenfahrt	akustische Verknüpfung zur Minderung des Gesamtpegels harmonische Einbindung zu einem Gesamtklang
Gaspedalstellung	hohe Stellung	Sportlichkeit betonen (Modulation, größerer Anteil hoher Frequenzen)
Emotionsstart	Start/Stopp – Betätigung	kurzes „Aufheulen“ eines tieffrequenten modulierten Klangs
Fahrmodi	Sport/Komfort/Eco	Orientierung an hoher Geräuschqualität für jeden Modi

Tabelle 15: Übersicht möglicher Anwendungsszenarien

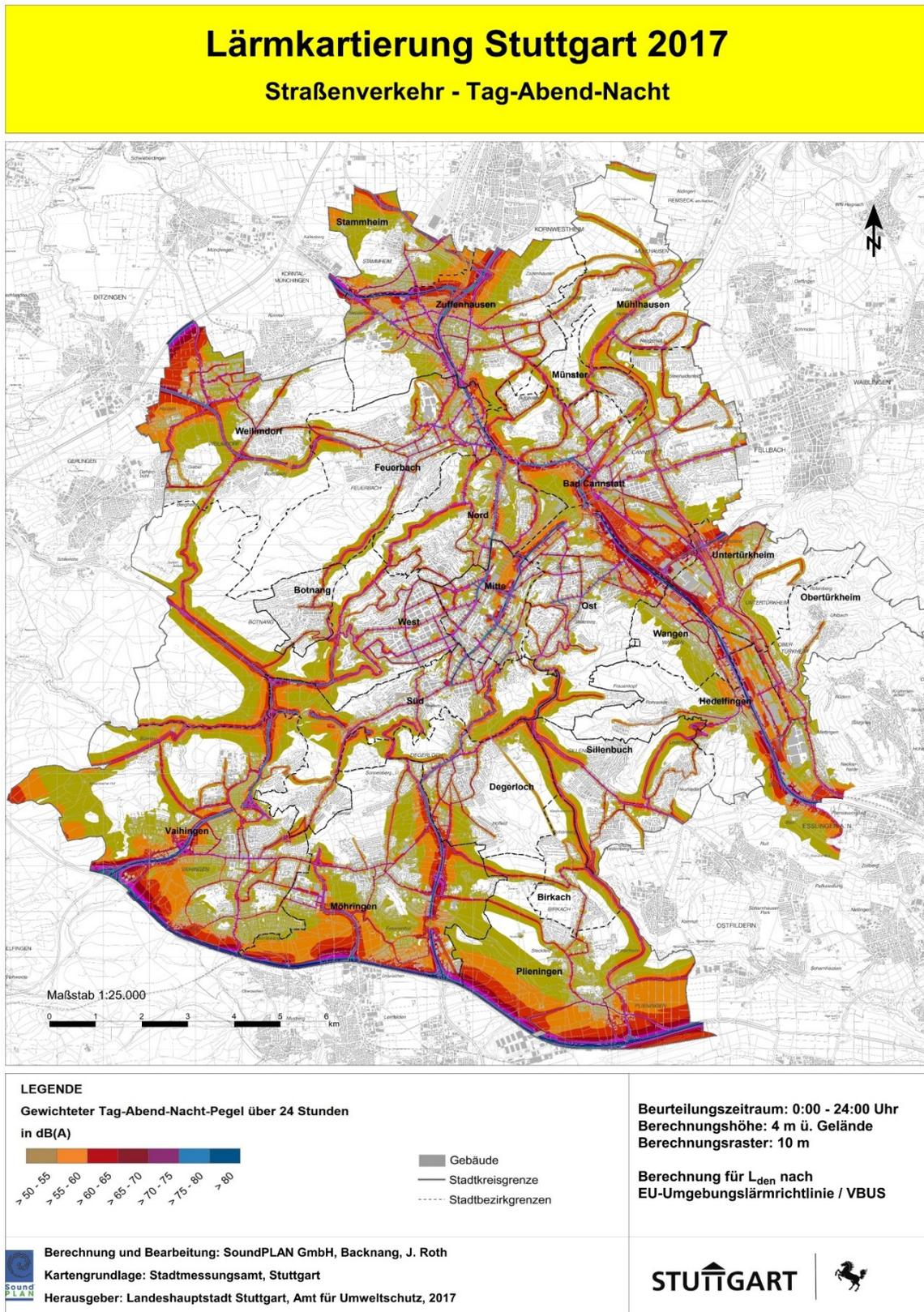
Es bleibt zu beobachten, wie sich die klanglichen Vorlieben und die Erwartungshaltung an zukünftige Fahrzeuggeräusche ändert. Aktuell sind elektrisch betriebene Fahrzeuge in der Minderheit im Straßenbild und müssen sich mit ihren deutlich leiseren Antrieben gegenüber

lauten Verbrennungsmotoren behaupten. Es gibt mit sinkenden Pegelgrenzen ein generelles Bestreben vom Gesetzgeber nach einer Geräuschminimierung von Verbrennungsmotoren. Mit wachsendem Anteil an E-Fahrzeugen ist ein deutlicher Rückgang an Verkehrslärm zu erwarten. Dementsprechend könnten sich auch die Voraussetzungen an eine AVAS-Norm ändern, da mit abnehmendem Grundgeräusch des Verkehrs auch generell leise Autos besser wahrgenommen werden. Aktuell, wie in der Umfrage ersichtlich, wird noch mit einem elektrisch betriebenen Fahrzeug ein verbrennungsähnlicher Klang verbunden, um dieses Fahrzeug als solches akustisch wahrzunehmen. Spannend bleibt die Entwicklung dieser Erwartungshaltung, wenn die klangliche Assoziation des Fahrzeugs an Verbrennungssounds nachlässt.

Ein aktuelles Sounddesign hat damit eine endliche Gültigkeit. Eine stetige Anpassung an akustische Umgebungsvariablen wie Geräuschemission, Verkehrslärm und Erwartungshaltung aller Verkehrsteilnehmer muss Hauptaugenmerk der Sounddesigner und Fahrzeughersteller sein.

8 Anhang

8.1 Lärmemissionskarte Stuttgart



8.2 Überblick Emotionstheorien

*/**/****/*****	Circumplex-Modell (Russell & Pratt 1980)*	Hierarchisches Emotionsmodell (Laros & Steenkamp 2005)**	Consumption Emotions Set (Richins 1997)	Hierarchische semantische Emotionsstruktur (Shaver 1987)***	Differentielle Affekt Skala (Merten & Krause 1993)	Differential Emotions Scale (Izard 1974)	Schmid-Ableitung von Ekman's FACS (2018) Ableitung	Circumplex-Modell mit eigenen Items****
	Aufregung Begeisterung Erwartung Freude	optimistisch ermutigt hoffnungsvoll fröhlich froh freudig erleichtert außer sich vor Freude enthusiastisch	optimistisch ermutigt hoffnungsvoll Freude Aufregung	hoffnungsvoll fröhlich Freude erregt zufrieden	fröhlich erfreut Freude vergnügt	froh erfreut Freude glücklich aufmerksam konzentriert wach	Freude euphorisch melancholisch	fröhlich Freude aufregend wertig Begehren/Stolz modern dezent Liebe/ Verbundenheit natürlich
Positiv	Glück Aktiv Interesse Lust Neugier Spannung Spaß Vorfreude		romantische sexy romantisch leidenschaftlich verliebt sentimental wärmherzig Liebe	verliebt zärtlich leidenschaftlich Liebe	Interesse konzentriert wach	Interesse konzentriert wach		

//**/****	Circumplex-Modell (Russell & Pratt 1980)*	Hierarchisches Emotionsmodell (Laros & Steenkamp 2005)**	Consumption Emotions Set (Richins 1997)	Hierarchische semantische Emotionsstruktur (Shaver 1987)***	Differenzielle Affekt Skala (Merten & Krause 1993)	Differential Emotions Scale (Izard 1974)	Schmid-Ableitung von Ekman's FACS (2018) <small>Ableitung</small>	Circumplex-Modell mit eigenen Items****
	Entspannung Hoffnung Sorglosigkeit Überraschung Vertrauen		Überraschung Erfüllung Friedlichkeit Zufriedenheit		überrascht Überraschung erstaunt verblüfft	überrascht Überraschung erstaunt verblüfft	Überraschung ruhig erschreckt	
Positiv	Zufriedenheit	erfüllt friedlich Zufriedenheit zufrieden	erfüllt friedlich ruhig zufrieden					Zufriedenheit sanft angenehm

*/**/****/*****	Circumplex-Modell (Russell & Pratt 1980)*	Hierarchisches Emotionsmodell (Laros & Steenkamp 2005)**	Consumption Emotions Set (Richins 1997)	Hierarchische semantische Emotionsstruktur (Shaver 1987)****	Differentielle Affekt Skala (Merten & Krause 1993)	Differential Emotions Scale (Izard 1974)	Schmid-Ableitung von Ekman's FACS (2018)	Circumplex-Modell mit eigenen Items*****
	Ärger	wütend frustriert irritiert feindselig Wut unerfüllt unzufrieden verängstigt ängstlich Angst panisch nervös besorgt angespannt	wütend frustriert irritiert Ärger Unzufrieden Angst panisch nervös beunruhigt angespannt Neid neidisch eifersüchtig	Wut wütend frustriert Wut ärgerlich zornig Angst ängstlich Angst panisch beunruhigt	wütend Zorn aufgebracht zornig Furcht sich fürchtend ängstlich bange	wütend Zorn aufgebracht zornig Furcht sich fürchtend ängstlich bange	Wut Ärger Zorn Angst/Furcht bedrohlich harmlos	Hass unzufrieden grob störend billig altmodisch audringlich
Negativ	Aktiv Angst							
	Abneigung/Ekel Gefahr						Abneigung/Ekel erschreckt Verachtung	

*/**/****/*****	Circumplex-Modell (Russell & Pratt 1980)*	Hierarchisches Emotionsmodell (Laros & Steenkamp 2005)**	Consumption Emotions Set (Richins 1997)	Hierarchische semantische Emotionsstruktur (Shaver 1987)***	Differentielle Affekt Skala (Merten & Krause 1993)	Differential Emotions Scale (Izard 1974)	Schmid-Ableitung von Ekman's FACS (2018)	Circumplex-Modell mit eigenen Items****
		depressiv traurig	depressiv traurig	niedergeschlagen traurig	niedergeschlagen traurig	niedergeschlagen traurig	Ableitung	
	Bedauern	Traurigkeit miserabel hilflos nostalgisch schuldig	Traurigkeit miserabel	Trauer entnütigt schuldig reumütig tadelnswert	Trauer entnütigt schuldig reumütig tadelnswert	Kummer/ Leid mutig schuldig reutig tadelnswert	Trauer	Trauer trist langweilig
Negativ	Passiv Frustration Irritation Langeweile Schlechtes Gewissen	Scham verlegen beschämt gedemütigt	Einsamkeit verlegen beschämt gedemütigt Scham	Traurigkeit einsam unglücklich beschämt	Scham verlegen verschämt	Scham/ Schüchternheit zurückhaltend schüchtern	Verzweiflung	
	Enttäuschung Unsicherheit Zweifel		Ungnade	enttäuscht				

8.3 Eingabemasken Probandentest

8.3.1 Personendaten

Herzlich Willkommen
 Proband Nummer

Alter: Geschlecht:

Erfahrung im Bereich Akustik / Sound Design / Klanggestaltung?

Fahrertyp:

aktuelles Fahrzeug:
 Elektrofahrzeug Hybridfahrzeug

Wunsch-Fahrzeug:

MPLAN
Proband Klanggestaltung Bewertung

8.3.2 individuelles Sounddesign

Wie soll das Elektrofahrzeug klingen?

Hinweis:
Bitte mischen Sie anhand der Regler "Ihren" Elektrofahrzeug-Klang der Zukunft!

 Loop

Stil 1 [%]

Stil 2

Stil 3

Stil 4

Stil 5

MPLAN
Proband Klanggestaltung Bewertung

8.3.3 Klangbewertungen

Wie bewerten Sie folgende Geräusche?

 Loop

Klang

A

B

C

D

E

F

G

aufregend langweilig

dezent aufdringlich

vertraut fremd

fröhlich trist

sanft grob

modern konservativ

natürlich künstlich

angenehm störend

wertig billig

kleines Auto großes Auto

sportlich komfortabel

gefällt mir gefällt mir nicht

MPLAN
Proband Klanggestaltung Bewertung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Weltkarte der AVAS-Normen; International Organization of Motor Vehicle Manufacturers,.....	4
Abbildung 2: Prüfung im Freien auf einer Teststrecke; UN Regulation No. 138, 2017, S. 33 ..	7
Abbildung 3: Prüfung im Halbfreifeld-Raum; UN Regulation No. 138, 2017, S. 33	7
Abbildung 4 v.l.n.r.: reine Sinus-Schwingung, weißes Rauschen, komplexes Signal (eines Musikstücks).....	9
Abbildung 5: Augenblickszustand einer Basilarmembranschwingung; Warren, 2008, S. 16..	10
Abbildung 6: Kurven gleicher Lautstärke mit Musik- und Sprachbereich; eigene Darstellung nach Fletcher und Munson	10
Abbildung 7: Unterschiede und Änderung des Lautstärkeempfindens bei kurzen Signalen; Friesecke, 2017, S. 130.....	12
Abbildung 8: Strukturmodell der Psyche	14
Abbildung 9: richtungsbestimmende Bänder, Sengpiel, 1995, S. 1	15
Abbildung 10: Klangqualitätsmodell; eigene Darstellung nach Maiberger, 2018.....	22
Abbildung 11: Sender-Empfänger-Modell; eigene Darstellung nach Görne, 2017, S. 44	23
Abbildung 12: zweidimensionales Circumplex-Modell der Emotionen	27
Abbildung 13: Beispiele für Tonvorrat und ausgewählte Skalen verschiedener Kulturen, in Relation zum westlichen System gleichstufiger Halbtöne von je 1/12 Oktave; Görne, 2017, S. 70.....	30
Abbildung 14: Proportionstheorie; Zeller, 2018, S. 260	30
Abbildung 15: Neuzulassungen von Personenkraftwagen 2009 bis 2018 nach alternativen Antrieben, KBA, 2019, S. 12	35
Abbildung 16: eigene Darstellung nach KBA-Angaben.....	36
Abbildung 17: KBA, 2011, S. 6.....	36
Abbildung 18: Interesse an Automobiltypen bei Männern; Hey.car, 2019	37
Abbildung 19: Interesse an Automobiltypen bei Frauen; Hey.car, 2019	37
Abbildung 20: graphische Oberfläche der Audi-eigenen DAW; Gsell, Werner, 2019, S. 69... ..	39
Abbildung 21: Messaufbau im Halbfreifeldraum.....	40
Abbildung 22: Kunstköpfe zur.....	40
Abbildung 23: Mikrofon am Aktuator; eigene Darstellung	40
Abbildung 24: Messaufbau der Teillastmessung	41
Abbildung 25: Frequenzverlauf und Spektrum des VESS von Hyundai	43
Abbildung 26: Frequenzverlauf und Spektrum des Renault ZOE.....	44
Abbildung 27: Frequenzverlauf und Spektrum des e-Golf-Moduls.....	45
Abbildung 28: Frequenzverlauf und Spektrum des ID.3.....	45
Abbildung 29: Frequenzverlauf und Spektrum des Jaguar I-PACE	46

Abbildung 30: Frequenzverlauf und Spektrum des hinteren Soundmoduls	47
Abbildung 31: Frequenzverlauf und Spektrum des vorderen Soundmoduls	47
Abbildung 32: vorderer Frequenzverlauf und Spektrum.....	49
Abbildung 33: Frequenzverlauf und Spektrum (vorderes Modul)	49
Abbildung 34: Frequenzverlauf und Spektrum des Porsche Taycan vorne	50
Abbildung 35: Frequenzverlauf und Spektrum des Audi e-tron ohne AVAS-Einrichtung	51
Abbildung 36: Spektrum des Audi e-tron mit AVAS-Einrichtung	51
Abbildung 37: Frequenzverlauf und Spektrum eines Tesla-Modells ohne AVAS-Einrichtung .	52
Abbildung 38: Alter der Probanden	59
Abbildung 39: Geschlechterverteilung der Probanden	59
Abbildung 40: Verteilung der Fahrertypen	60
Abbildung 41: Verteilung der akustischen Vorbildung.....	60
Abbildung 42: individuelle Gewichtung der Stilmittel.....	61
Abbildung 43: Gewichtung der Stilmittel nach Geschlecht	61
Abbildung 44: Gewichtung der Stilmittel nach Fahrertyp	62
Abbildung 45: Bewertung des individuellen Sounddesigns.....	62
Abbildung 46: Bewertung des individuellen Sounddesigns nach Geschlecht	63
Abbildung 47: Bewertung des individuellen Sounddesigns nach Fahrertyp	63
Abbildung 48: Bewertung der Stile bei gleichen Pegelanteilen	64
Abbildung 49: Bewertung eines E-Motors als Stilmittel.....	65
Abbildung 50: Bewertung eines Verbrennungsmotors als Stilmittel	66
Abbildung 51: Bewertung eines Verbrennungsmotors als Stilmittel nach Fahrertyp.....	66
Abbildung 52: Bewertung eines Pad-Sounds als Stilmittel.....	67
Abbildung 53: Bewertung eines bandgefilterten Rauschens als Stilmittel	68
Abbildung 54: Bewertung eines bandgefilterten Rauschens nach Fahrertypen.....	68
Abbildung 55: Bewertung eines tieffrequenten Sweeps als Stilmittel	69
Abbildung 56: Bewertung eines tieffrequenten Sweeps als Stilmittel nach Geschlecht.....	69

Quellenverzeichnis

- Chang, K., Park, D. (2016): *Technology of an Emotional Engine Sound Designing for Active Sound Control Using Order Balance and Musical Instrument Sound*, abgerufen von <https://doi.org/10.4271/2016-01-1782> [17.10.2019]
- BMW AG_a (2020): *BMW i8 Coupé: Highlights entdecken | BMW.de*, abgerufen von <https://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/bmw-i/i8-coupe/2017/auf-einen-blick.html> [10.01.2020]
- BMW AG_b (o. D.): *THE M4: BMW M4 Coupé | BMW.de*, abgerufen von [https://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/m/m4coupe/2019/bmw-m4-coupe-ueberblick.html?ds_rl=1273223&tl=sea-gl-GSP%20\(BS\)%20BMW%20M-mix-miy-.-sech-BMW%20M4%20Coup%C3%A9-.-e-bmw%20m4-.-.&clc=BMW_se&gaw=sea:11485742442_kwd-352410791&gclid=EAiIaIQob-ChMI3pChq8f55gIVicx3Ch34jwF2EAAYASAAEgJRWfD_BwE&gclsrc=aw.ds](https://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/m/m4coupe/2019/bmw-m4-coupe-ueberblick.html?ds_rl=1273223&tl=sea-gl-GSP%20(BS)%20BMW%20M-mix-miy-.-sech-BMW%20M4%20Coup%C3%A9-.-e-bmw%20m4-.-.&clc=BMW_se&gaw=sea:11485742442_kwd-352410791&gclid=EAiIaIQob-ChMI3pChq8f55gIVicx3Ch34jwF2EAAYASAAEgJRWfD_BwE&gclsrc=aw.ds) [10.01.2020]
- BMW Slogan(o. D.), abgerufen von https://www.bmwgroup.com/content/dam/grpw/websites/bmwgroup_com/brands/bmw/Marken_BMW_Slogan.jpg.grp-transform/xlarge/Marken_BMW_Slogan.jpg [12.12.2019]
- Brandstätter, V., Schüler, J., Puca, R. M., Lozo, L. (2013): *Motivation und Emotion – Allgemeine Psychologie für Bachelor*, Heidelberg
- Daimler AG (2018): *Wie Mercedes-Benz sein Versprechen „Das Beste oder nichts“ umsetzt*, abgerufen von <https://blog.mercedes-benz-passion.com/2018/08/wie-mercedes-benz-sein-versprechen-das-beste-oder-nichts-umsetzt/> [10.01.2020]
- EU-Beschluss Nr. 1386/2013/EU (2013): Über ein allgemeines Umweltaktionsprogramm der Union für die Zeit bis 2020 „Gut leben innerhalb der Belastbarkeitsgrenzen unseres Planeten“, (Beschluss vom 20.11.2013), abgerufen von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D1386&from=EN> [28.01.2019]
- EU-Verordnung Nr. 540/2014 (2014): Über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen und von Austauschschalldämpferanlagen sowie zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 70/157/EWG, (Abkommen vom 16.04.2014), abgerufen von <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0540&from=DE> [18.12.2019]
- Fischer, L., Wiswede G. (2002): *Grundlagen der Sozialpsychologie*, 2. Auflage, München

- Franke, M. (2013): *Hedonischer Konsum – Emotionen als Treiber im Konsumentenverhalten*, Wiesbaden
- Friesecke, A. (2017): *Die Audio-Enzyklopädie*, 2. Auflage, Berlin
- Görne, T. (2017): *Sounddesign: Klang, Wahrnehmung, Emotion*, München
- Gsell, S., Werner, M. (2019): *Development of AVAS sounds at Audi*, , In Pischinger, S., Eckstein, L., Genuit, K., Vorländer, M. (Red.), *Aachener Akustik Kolloquium (S.65-72)*, Aachen, Deutschland: FEV Group, fka GmbH, Head acoustics GmbH, Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen University
- Hebermehl, G. (2019): *Elektrische BMW mit Hans-Zimmer-Sound: Filmkomponist erschafft Autosound der Zukunft*, abgerufen von <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/bmw-elektroauto-sound-hans-zimmer-2019/> [17.12.2019]
- Hey.car (2019): *Zwischen Traum und Realität – Die Autos der Deutschen*, abgerufen von <https://hey.car/traumauto-vs-realitaet> [25.09.2019]
- International Organization Of Motor Vehicle Manufacturers (2018): *Regulations Worldwide on Minimum Sound Emission of Quiet Vehicles*, UNECE Wiki, abgerufen von https://wiki.unece.org/download/attachments/60361498/GTRQRTV-06-09%20REV.1%20%28OICA%29%202018-05-29%20OICA%20presentation%20%20Overview%20QRTV_AVAS%20Regulations%20Worldwide.pdf?api=v2 [09.12.2019]
- Japan Automobile Standards Internationalization Center (2010): *AVAS: Approaching Vehicle Audible System*, (informelles Konferenzpapier), 52. GRB Session (6-8.09.2010) abgerufen von <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2010/wp29grb/ECE-TRANS-WP29-GRB-52-inf18e.pdf> [05.09.2019]
- Lambert, F. (2019): *Tesla adds pedestrian warning system to Model 3*, abgerufen von <https://electrek.co/2019/09/10/tesla-pedestrian-warning-system-model-3/> [10.01.2020]
- Landeshauptstadt Stuttgart/Amt für Umweltschutz (2009): *Lärmaktionsplan der Landeshauptstadt Stuttgart*, abgerufen von https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/noise/df7/envs1b4qq/DE_BW_DF7_Agg_001_Stuttgart.pdf [28.01.2019]
- Moore, D. (2018): *Technical Comparison of FMVSS 141 and ECE R138*, (Vortrag, 30./31.05.2018), Baltimore, abgerufen von <https://wiki.unece.org/download/attachments/60361498/GTRQRTV-06-06%20%28ISO%29%20Technical%20Comparison%20of%20FMVSS%20141%20and%20ECE%20R138.pdf?api=v2> [18.11.2019]

- Knackfuß, C. (2010): Die Rolle von Emotionen als Mediatoren zwischen Markenimage und Markenstärke, Wiesbaden
- Kraftfahrt-Bundesamt (2008-2018): *Neuzulassungen von Personenkraftwagen nach Segmenten* (Pressemeldung), abgerufen von https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/Segmente/segmente_node.html [24.09.2019]
- Kraftfahrt-Bundesamt (2011): *Halter der Fahrzeuge*, Flensburg
- Kraftfahrt-Bundesamt (2017): Bestand an Personenkraftwagen in den Jahren 2008 bis 2017 nach der Pkw-Dichte sowie der Bevölkerung von Personen im Alter von 60 Jahren und mehr (Pressemeldung), abgerufen von https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Halter/2017/2017_halter_node.html [25.09.2019]
- Kraftfahrt-Bundesamt (2019): Fahrzeugzulassungen (FZ), Neuzulassungen von Kraftfahrzeugen nach Umwelt-Merkmalen, Jahr 2018, Flensburg
- Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz (2017): *Lärmkartierung Stuttgart 2017, Straßenverkehr – Tag-Abend-Nacht*, abgerufen von https://www.stadtklima-stuttgart.de/stadtklima_image/laerm/lmp/Laermkarte-Stgt-2017-Strasse-LDEN.jpg [28.01.2020]
- Lauen, M., Eisele, G., Lange, S., Steffens, Ch. (2019): *Interior and exterior noise design using vehicle audio systems*, In Pischinger, S., Eckstein, L., Genuit, K., Vorländer, M. (Red.), Aachener Akustik Kolloquium (S.97-110), Aachen, Deutschland: FEV Group, fka GmbH, Head acoustics GmbH, Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen University
- Maiberger, D., Letens, U., Tischler, M., Weber, R., van de Par, S. (2016): *Eine Typisierung von Fahrzeugkunden nach Geräuschvorlieben*, In DAGA 2016: 42. Jahrestagung für Akustik (S.1.206-1.209), Berlin, Deutschland: Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.
- Maiberger, D. (2018): *Acoustical and non-acoustical influences on vehicle sound evaluation* (Dissertation), Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
- Maserati tagline excellence through passion (o.D.), abgerufen von http://autoya.info/img/content_cache/20209/maserati_tagline_excellence_through_passion.jpg [12.12.2019]
- Mellander, C., Florida, R., Rentfrow, P.J., Potter, J. (2018): *The geography of music preferences*, In Journal of Cultural Economics Volume 42 (S.593-618), Springer US, abgerufen von <https://doi.org/10.1007/s10824-018-9320-x> [04.09.2019]
- Moore, D. (2018): *Technical Comparison of FMVSS 141 and ECE R138*, (Vortrag, 30./31.05.2018), Baltimore, abgerufen von

- <https://wiki.unece.org/download/attachments/60361498/GTRQRTV-06-06%20%28ISO%29%20Technical%20Comparison%20of%20FMVSS%20141%20and%20ECE%20R138.pdf?api=v2> [18.11.2019]
- Raffaseder, H. (2002): *Audiodesign*, München
- Rentfrow, P., Goldberg, L., Levitin, D. (2011): *The Structure of Musical Preferences: A Five-Factor Model*, In Journal of Personality and Social Psychology Nr. 4(S.1139-1157), American Psychological Association, abgerufen von <https://doi.org/10.1037/a0022406> [09.09.2019]
- Schmid, S. (2018): *Wie hört der Mensch? – Besonderheiten in der Wahrnehmung des Menschen* (Bachelor-Thesis), Hochschule der Medien Stuttgart, abgerufen von https://curdt.home.hdm-stuttgart.de/PDF/Schmid_Sebastian.pdf [03.09.2019]
- Seat Auto Emocion (o.D.), abgerufen von <https://imgr1.auto-motor-und-sport.de/Seat-Auto-Emocion-169FullWidth-f2c615d0-1181035.jpg> [12.12.2019]
- Sengpiel, E. (1995): *Die Bedeutung der Blauertschen Bänder für die Tonaufnahme*, abgerufen von <http://www.sengpielaudio.com/DieBedeutungDerBlauertschenBaender.pdf> [21.01.2020]
- Sheller, M. (2004): *Automotive Emotions: Feeling the Car*, <https://doi.org/10.1177/0263276404046068> [17.10.2019]
- Spitzer, M. (2005): *Musik im Kopf – Hören, Musizieren, Verstehen und Erleben im neuronalen Netzwerk*, Stuttgart
- UN Regulation No. 138 (2017): *Uniform provisions concerning the approval of Quiet Road Transport Vehicles with regard to their reduced audibility* (Abkommen vom 10.10.2017), abgerufen von <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2017/R138r1e.pdf> [06.11.2019]
- Volkswagen. (o.D.): *Der Sound der Elektromobilität: ID.3 macht mit eigenem Fahrgeräusch auf sich aufmerksam*, abgerufen von <https://www.volkswagen-newsroom.com/de/pressemittelungen/der-sound-der-elektromobilitaetid3-macht-mit-eigenem-fahrgeraesch-auf-sich-aufmerksam-5665> [17.12.2019]
- Warren, R. (2008): *Sound and the auditory system*. In Auditory Perception: An Analysis and Synthesis (S.1-34). Cambridge
- Werwitzke, C. (2018): *Porsche will 2025 zur Hälfte Modelle mit E-Antrieb absetzen*, abgerufen von <https://www.electrive.net/2018/07/30/porsche-will-2025-zur-haelfte-modelle-mit-e-antrieb-absetzen/> [08.01.2020]

Willimek, B., Willimek, D. (2011): *Musik und Emotionen – Studien zur Strebetendenz-Theorie*, Bretten, abgerufen von <https://www.willimekmusic.de/musik-und-emotionen.pdf> [18.09.2019]

Zeller, P. (2018): *Handbuch Fahrzeugakustik – Grundlagen, Auslegung, Berechnung, Versuch*, 3. Auflage, Wiesbaden

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei der Firma M Plan GmbH bedanken, welche die Messausrüstung, Labore, Fahrzeuge und Arbeitsplätze, beziehungsweise Ausrüstung für die Probandentests Verfügung stellte. Vielen Dank an die M Plan Mitarbeiter Nikolai Kienitz und David Goecke, für die maßgebliche Unterstützung bei der Umfrage, der statistischen Auswertung und der Erstellung des Umfrageprogramms; Elina Moser und Rüdiger Kränzlein, die mich im Rahmen der Projektarbeit, aus welcher diese Arbeit entstand, betreuten und es ermöglichten diese Arbeit anzufertigen.

Großer Dank auch an Herrn Professor Curdt, für die Betreuung dieser Abschlussarbeit. Ebenso bedanke ich mich bei allen HdM-Mitarbeitern, die mich während des Studiums durch Rat und Tat unterstützten.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Kommilitonen für anregende Gespräche und etliche fachliche Diskussionen: Christoph Hafner und Matthias Stefan, mit denen ein stetiger Gedankenaustausch über das gesamte Studium hinweg und damit eine gegenseitige Motivation stattfand.

Vielen Dank auch an alle Korrekturleser!