

Aus dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin
des Universitätsklinikums der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Kommissarische Leiterin: Professorin Dr. med. Sieglinde Schwarze

**Psychophysiologische Bewertung von KFZ–Vorbeifahrt-
geräuschen anhand von Fingerpulsamplitude und Hautleitfähig-
keit sowie subjektiver Beurteilung**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

Der Medizinischen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Scherwin Talimi

2005

Als Inauguraldissertation gedruckt
mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.: Univ.-Prof. Dr. med.dent. Wolfgang H.-M. Raab
Dekan

Referentin: Prof. Dr. Schwarze
Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Dr. Jansen

Inhaltsverzeichnis

	Kapitel	Seite
1	Einleitung	4
2	Theoretischer Hintergrund	5
2.1	Lärmwirkungen	5
2.2	Fingerpulsamplitude	7
2.3	Hautleitfähigkeit	9
2.4	Aussagekraft physiologischer Reaktionen beim Vergleich ähnlicher Geräusche	11
3	Fragestellung und Methodik	15
3.1	Fragestellung	15
3.2	Definition und Klassifikation der Schallreize	16
3.3	Physiologische Messparameter	17
3.4	Subjektive Geräuschbewertung	18
3.5	Versuchsablauf	20
3.6	Stichprobenbeschreibung	21
3.7	Voruntersuchung	21
3.8	Versuchsdurchführung	22
3.9	Datenerfassung	23
3.10	Statistische Auswertung	25
4	Ergebnisse	27
4.1	Versuchsbedingung Kfz-Vorbeifahrtgeräusch 50 km/h ₁	
	<u>Beschleunigung im 2. Gang</u>	27
4.1.1	Fingerpulsamplitude (FPA)	27
4.1.2	Hautleitfähigkeit	29
4.1.3	Generelle Beurteilung	30
4.1.4	Direkter Geräuschvergleich	31

4.2	Versuchsbedingung Kfz-Vorbeifahrtgeräusch 70 km/h	
	<u>3. Gang, konstante Geschwindigkeit</u>	32
4.2.1	Fingerpulsamplitude (FPA)	32
4.2.2	Hautleitfähigkeit	34
4.2.3	Generelle Beurteilung	36
4.2.4	Direkter Geräuschvergleich	37
4.3	Versuchsbedingung Kfz-Vorbeifahrtgeräusch mit Bremsen - Leerlauf - Anfahren (B-L-A)	38
4.3.1	Fingerpulsamplitude (FPA)	38
4.3.2	Hautleitfähigkeit	40
4.3.3	Generelle Beurteilung	42
4.3.4	Direkter Geräuschvergleich	42
4.4	Vergleich der drei Fahrbedingungen	43
4.4.1	Generelle Beurteilungen	43
4.4.2	Beurteilung der subjektiven Empfindungen	45
4.5	Synopse der Ergebnisse	47
5	Diskussion	49
6	Zusammenfassung	52
7	Literatur	54
	Anhang	57
	Lebenslauf	71

1 Einleitung

In den letzten zehn bis fünfzehn Jahren hat die Verbesserung der Geräuschsituation im Fahrzeuginnenraum von Pkw unter dem Oberbegriff „Sound quality“ oder „Geräuschqualität“ große Bedeutung gewonnen (Schick 1994, Bednarzyk 1999). Im Fahrzeugdesign ist es heute Stand der Technik, die Geräuschqualität im Fahrzeuginnenraum möglichst optimal zu gestalten. Insbesondere die Fortschritte in der gehörgerechten Aufnahme und Wiedergabe von Geräuschen mittels der Kunstkopf-Technik (Genuit 1988, 1991) haben dazu beigetragen, das subjektive Erleben von Geräuschen in Laborsituationen wesentlich effizienter untersuchen zu können. Es stellt sich nun die Frage, ob sich dieser Ansatz der Geräuschbeurteilung und -optimierung auch für Fahrzeugaußengeräusche nutzen lässt (Krebber et al. 2002).

Das europäische Verbundprojekt SVEN (Sound quality of vehicle exterior noise) verfolgte das Ziel, Möglichkeiten zur Verbesserung der Geräuschqualität auch für Kfz-Außengeräusche zu entwickeln: In der ersten Versuchsreihe (SVEN 1) wurden Paare von Straßenverkehrsgläuschen mit gleichem Schallpegel untersucht, die sich jeweils in einem architektonischen oder verkehrstechnischem Aspekt unterschieden. Es zeigten sich interessante Unterschiede zwischen den Geräuschen hinsichtlich der physiologischen Reaktionen und subjektiven Bewertungen der Versuchspersonen (Notbohm & Schwarze 2002, Notbohm et al. 2003).

In der vorliegenden Arbeit werden Ergebnisse aus der zweiten Versuchsreihe (SVEN 2) vorgestellt, in der nun Vorbeifahrtgeräusche einzelner Pkws in ähnlicher Weise hinsichtlich ihrer subjektiven Bewertung durch Versuchsteilnehmer und der hervorgerufenen physiologischen Reaktionen analysiert wurden. Durch geeignete Messungen und Analysen wurden zunächst objektive akustische Beschreibungen von Kfz-Außengeräuschen erstellt. Diese wurden anschließend in Laborversuchen mit subjektiven Beurteilungen und physiologischen Reaktionen der Versuchspersonen in Relation gesetzt. Der methodische Ansatz hatte sich bereits in ähnlichen Fragestellungen als aussagekräftig gezeigt, z. B. beim Wirkungsvergleich von identischen Geräuschen, die einmal mit konventioneller und einmal mit binauraler Kunstkopftechnik aufgenommen wurden (Schwarze et al. 1993a, Genuit et al. 1997).

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Lärmwirkungen

Lärm wird als unerwünschter, belästigender und gegebenenfalls schädigender Schall definiert (Pschyrembel 1994). In der Wissenschaft versucht man, Kriterien herauszuarbeiten, die dazu beitragen, dass physikalisch beschreibbare Schallvorgänge als Lärm bewertet werden, so dass Schall also erst dadurch zu Lärm wird, dass er abträgliche Wirkungen auf Lebewesen hat (Schwarze 1991). Die hier zu betrachtenden Einflussfaktoren sind zum einen auf das Schallereignis bezogen, und damit physikalisch messbar, wie z.B.:

- Intensität
- Spektrum, Bandbreite
- Impulshaltigkeit
- Zeitliche Faktoren (Tag/Nacht, Sommer/Winter, Regelmäßigkeit, Dauer).

Zum anderen sind sie direkt mit der betroffenen Person verbunden:

- Individuelle Geräuschempfindlichkeit
- Einstellung zur Geräuschquelle
- Informationsgehalt
- Situation des Betroffenen (Gesundheitszustand, Interferenz mit beabsichtigten Tätigkeiten)
- Gesundheitsschädlichkeit

Anhaltswerte der Schallbelastung in den üblichen Kenngrößen wie Maximalpegel im Innenraum bzw. Mittelungspegel innen oder außen, oberhalb derer mit Lärmwirkungen zu rechnen ist, werden in Tab. 1 wiedergegeben. Diese Werte sind im Laufe der Lärmwirkungsforschung durch zahlreiche Untersuchungen abgesichert.

Lärm kann zu Gehörschädigungen und Schmerzreaktionen führen und wirkt nicht nur auf den Gehörapparat und -sinn, sondern über zentralnervöse Impulse auf den Gesamtorganismus. Schon bei Schallpegeln von 55 dB(A) kann ein Geräusch als belästigend empfunden werden und bei längerer Dauer die Leistungsfähigkeit und das Wohlbefinden des Menschen erheblich beeinträchtigen. Es kommt zu einer Erregung des vegetativen und zentralen Nervensystems, die sich in vegetativen Reaktionen äußert. Bereits ab 65 dB(A) kann Lärm wie ein Stressfak-

tor wirken (Andren et al. 1982, 1983). Das kann zu Blutdruckanstieg, Pupillenerweiterung, Ausschüttung von Katecholaminen, Verringerung der Magensaft- und Speichelproduktion, Erhöhung der Atem- und Herzfrequenz, Veränderungen des Hirnstrombildes, der Muskelaktivität und des elektrischen Hautwiderstandes sowie zu Störung des psychischen Wohlbefindens (z.B. Schlafstörungen) führen. Bereits ab 85 dB(A) kann man zusätzlich pathologische Veränderungen im Gehörapparat beobachten. Es kommt zur Schädigung der Gehörsellen und somit zur Entstehung der Lärmschwerhörigkeit.

Tab. 1 Anhaltswerte für Lärmwirkungen (nach Jansen & Notbohm 1994)

<u>Anhaltswerte</u>		<u>Lärmwirkungen</u>
Mittelungspegel L_m dB (A)	Maximalpegel L_{max} dB(A)	
außen	innen	Innen
--	38	40
		Schlafqualitätsänderungen
--	--	40
		Schwellenwert für physiologische Änderungen (EEG im Wachzustand)
--	45	--
		Schwellenwert für Kommunikationsstörungen
45 - 55	--	--
		Schwellenbereich für Bevölkerungsreaktionen (0 - 20 % Gestörte)
--	--	55
		- vegetative Reaktionen im Schlaf
--	--	55
		99 % Satzverständlichkeit
--	--	60
		Schwellenwert für Aufwachen
--	--	60
		Primäre Wirkungen (vegetativ)
65	--	--
		Deutliche Bevölkerungsreaktionen (30 - 70 % Gestörte, 5 - 15 % Beschwerden)
--	--	75
		Signifikante vegetative Wirkungen
80	--	--
		60 - 90 % der Bevölkerung stark gestört
--	85	--
		Beginn der Lärmschwerhörigkeit
--	--	100
		Mögliche Grenze des physiologischen Gleichgewichts
--	--	³ 130
		Extraaurale Symptome mit Krankheitswert

Im Rahmen der Fragestellung interessieren allein die extra-auralen Reaktionen. Periphere physiologische Reaktionen werden in der Aktivierungs- und Stressforschung häufig als experimentelle Parameter verwendet, um die Reaktionen der Probanden auf bestimmte Reize oder

Situationen quantitativ zu beschreiben; ausgeprägte physiologische Reaktionen werden dabei als stärkere Aktivierung („Arousal“) oder als stärkeres Stresserlebnis verstanden (Schandry 1996). Meist werden in der Aktivierungsforschung mehrere Parameter gleichzeitig erfasst, da ein Parameter allein zu viele Schwankungen der Werte zeigen kann und auch Schwierigkeiten der Interpretation mit sich bringt (Fahrenberg et al. 1979). Gerade die Lärmwirkungsfor-schung hat mit Hilfe peripherer physiologischer Messungen zahlreiche Erkenntnisse über die Wirkungen von Schallbelastung gewinnen können, insbesondere mit der Messung der Fingerpulsamplitude (Jansen 1984, 1986, Jansen et. al. 1978, 1981). Aber auch die Hautleitfähigkeit hat sich als guter Indikator für schallbezogene physiologische Reaktionen erwiesen (Schwarze et al. 1993a, 1993 b), so dass auch dieser Parameter für die vorliegende Arbeit von Interesse ist.

Zwar ist die Diskussion um eine präzise Definition des Begriffs „Geräuschqualität“ auch heute noch nicht abgeschlossen, wie neueste Vorschläge zu einer einheitlichen „Theorie der Qualität von Geräuschen“ zeigen (Jekosch & Blauert 2005), aber es dürfte Konsens darüber bestehen, dass eine solche subjektive Beurteilung nicht ausschließlich auf intellektuellen Prozessen beruht, sondern dass eine emotionale und affektive Komponente beteiligt ist (Västfjäll et al. 2002). Auch bei emotionalen und affektiven Reaktionen sind zwangsläufig physiologische Prozesse im Sinne der Aktivierungs- und Stressforschung involviert, die sich an peripheren Veränderungen beobachten lassen.

2.2 Fingerpulsamplitude

Durch Veränderung der relativen Anteile von ein- und ausströmendem Blut kommt es zu Veränderungen im Blutvolumen eines peripheren Körpergebietes. Die Gefäßmotorik ist diejenige Kraft, die diese Veränderungen an der Peripherie steuert. Daraus resultiert, dass Blutvolumenmessungen die Vasomotorik beschreiben. Durch sympathische Erregungen über vasokonstriktorisches Fasern erfolgt die Steuerung der Gefäßmotorik in der Haut. Die Durchtrennung der Sympathikusfasern führt somit zur Vasodilatation.

Die Hautgefäße unterliegen auch im Ruhezustand einem sympathischen Dauertonus. Als postganglionärer Überträgerstoff fungiert Noradrenalin. Die Blutgefäße der Haut bilden ein Modellsystem zur Registrierung der Aktivität im Sympathikus-Zweig des autonomen Nervensystems. Im Fall der Unterarmplethysmographie erfolgt die Innervation der Gefäßmuskulatur

sowohl über vasodilatatorische als auch vasokonstriktorische Fasern. Ein Dauertonus der Gefäßmuskulatur durch ausschließliche Aktivität adrenerger Synapsen ergibt sich in Ruhe in der Skelettmuskulatur, ebenso wie in der Haut. Will man nun das Blutvolumen messen, beobachtet man Volumenschwankungen im Rhythmus des Herzschlags. Diese Volumenschwankungen ergeben sich durch die einströmende bzw. ausströmende Blutmenge.

Aus der Differenz zwischen maximalem und minimalem Blutvolumen während eines Herzzyklus ergibt sich das Pulsvolumen oder die Pulsvolumenamplitude (PVA). Diese entspricht der mit jedem Herzschlag in das Gebiet hinein- und wieder heraustransportierten Blutmenge. Bei physischer Anstrengung und auch bei psychischer Belastung sinken sowohl die Werte des Blutvolumens als auch die des Pulsvolumens. Allerdings sind die beiden Werte nicht unbedingt austauschbar; z. B. kann die PVA bei sehr großem Blutvolumen auch zurückgehen, da die maximale Dehnbarkeit der Gefäße erweitert ist und nur noch geringe Volumenschwankungen toleriert werden können (Schandry 1996).

Die Temperatur spielt auch eine Rolle bei den plethysmographischen Größen. Erwärmung führt zur Vasodilatation, während Abkühlung eine Vasokonstriktion bewirkt. Es sind mehrere Wege der Regulation möglich:

- Die glatte Gefäßmuskulatur antwortet auf die lokale Erwärmung mit Dilatation.
- Die Temperaturveränderungen rufen über spinale Reflexe auch an anderen Hautbezirken die adäquate vasomotorische Reaktion hervor.
- Eine Signalübermittlung findet auf der Ebene hypothalamischer Zentren statt.
- Zur Koordination vasomotorischer Reaktionen des Kreislaufsystems werden dann ausgehend vom Hypothalamus Signale ausgesandt.

Auswirkungen der Umgebungs- und Hauttemperatur auf die Messwerte beim Einsatz der Fingerpulsamplitude (FPA) als experimenteller Parameter wurden u. a. von Griefahn (1993) ausführlich beschrieben. Für den praktischen Einsatz lässt sich daraus vor allem folgern, wie wichtig eine konstante angenehme Zimmertemperatur und normal durchblutete Hände der Probanden sind, um wirklich aussagekräftige Messwerte zu gewinnen.

Die Registrierung der Fingerpulsamplitude ist aufgrund der körperlich wenig belastenden Methode und der unkomplizierten Technik sehr gut für psychophysiologische Untersuchungen geeignet. Die Fingerpulsamplitude ist eine indirekte Methode zur Erfassung der

peripheren Hautdurchblutung. Sie wurde früher meist mit einem Messfühler, der im Wesentlichen aus einem Dehnungsmessstreifen besteht, registriert (Jansen & Thutewohl 1968).

Heutzutage hat sich die Photoplethysmographie in der Psychophysiologie zur Erhebung von Blutvolumenänderungen durchgesetzt. Die gute Praktikabilität dieser Methode erklärt sich wie folgt:

- die Aufnehmer können an beliebiger Stelle angebracht werden
- die geringe Größe der Aufnehmer erlaubt auch die Messung kleinerer Areale
- das komplikationslose Anbringen der Aufnehmer stellt für den Probanden keine Belastung dar.

Die Fingerpulsamplitude wird dabei mittels eines Pulsoximeters dokumentiert. Das Pulsoximeter setzt sich zusammen aus drei Hauptbestandteilen, nämlich aus einem Aufnehmer, einer Lichtquelle und einem photoelektrischen Wandler, wobei eine Transformation des reflektierten Lichtes in ein elektrisches Signal über eine Photozelle erfolgt. Grundlegendes Prinzip dieser Methode ist die unterschiedliche Durchlässigkeit von durchblutetem und nicht durchblutetem Gewebe für rotes Licht. Durch Bestrahlung eines gut durchbluteten Gewebes kommt es zur starken Streuung der Lichtstrahlen, bedingt durch das Auftreten auf Partikel, die sich in der Blutbahn befinden (vor allem Erythrozyten), woraus hohe Intensitätsverluste resultieren. Bei Anbringen einer geeigneten Lichtquelle an der Oberseite des Fingers und eines Photodetektors auf der Unterseite lässt sich bei hohem Durchblutungsgrad registrieren, dass weniger Licht aufgefangen wird als bei geringerem Durchblutungsgrad. Detailliertere Angaben zur Methodik der Photoplethysmographie sind bei Jennings et al. (1980) nachzulesen.

2.3 Hautleitfähigkeit

Ein anderer aussagekräftiger Parameter der physiologischen Aktivierung ist die Hautleitfähigkeit, d.h. das Ausmaß der Weiterleitung eines induzierten elektrischen Potentials.

Die physiologischen Grundlagen der Hautleitfähigkeit sind bislang noch nicht bis ins Detail erforscht. Theoretische Modelle werden etwa von Boucsein (1988) und von Fowles (1986) angeboten. Einige Tatsachen sind jedoch nicht von der Hand zu weisen. Zu nennen wäre et-

wa, dass die Hautleitfähigkeit an den Körperstellen, an denen die meisten Schweißdrüsen fokussiert sind, am größten ist. Bei Menschen, die zum Beispiel nicht in Besitz von Schweißdrüsen sind, ist keine Hautleitfähigkeit zu verzeichnen. Auch ist bei Durchtrennung von Innervationswegen der Schweißdrüsen ein Ausfall der Hautleitfähigkeit konstatiert worden. Daraus resultiert jedoch nicht, dass die Hautleitfähigkeit allein durch die Schweißdrüsen bestimmt wird. Weiterhin wäre anzunehmen, dass der Schweiß als guter Leiter fungiert und daher bei vermehrter Schweißproduktion eine erhöhte Hautleitfähigkeit resultiert. Dies wird jedoch dadurch in Frage gestellt, dass ein Anstieg der Hautleitfähigkeit bereits circa 1 sec. vor einer messbaren Zunahme der Hautfeuchtigkeit erfolgt. Ein weiteres Kriterium zur Erklärung des Pathomechanismus der Hautleitfähigkeit bezieht sich auf die Schweißdrüsengänge. Wird eine Schweißdrüse aktiviert, entsteht zur Oberfläche hin ein Leitungspfad zwischen der Hautoberfläche und der Dermis. Die Leitfähigkeit wird potenziert durch Aktivierung mehrerer Schweißdrüsen.

Bzgl. der Innervationswege ist festzustellen, dass die Schweißdrüsenaktivität sowohl sympathisch als auch parasympathisch angeregt wird, wobei Acetylcholin eine tragende Rolle spielt. Als erwiesen gilt die Beteiligung des limbischen Systems, der *Formatio reticularis*, des Hypothalamus, von Strukturen im Rückenmark sowie des Cortex, wobei vor allem die frontotemporale Region zu erwähnen ist, die unter anderem verantwortlich ist für motivationale Prozesse.

Die Hautleitfähigkeit und der Hautwiderstand sind exosomatische Größen. Das Biosignal wird über die angelegte Spannung (also unter Zufuhr von äußerer Energie) erhoben und das entsprechende endosomatische Biosignal ist das Hautpotential.

Heute geht man davon aus, dass sich die Schweißdrüsen wie parallel geschaltete Widerstände verhalten; somit wird bei der Aktivierung zusätzlicher Schweißdrüsen nur die Leitfähigkeit linear anwachsen und nicht der Widerstand. Dies bedeutet, dass die Hautleitfähigkeit linear mit der Anzahl aktiver Schweißdrüsen zusammenhängt.

Im Rahmen der SVEN-Versuchsreihe werden tonische Veränderungen gemessen, und zwar das Leitwertsniveau als gängigstes Maß. Die Durchfeuchtung des Corneums und insbesondere die Füllung der Schweißdrüsengänge sind als verantwortlich anzusehen für die Verschiebung des SCL (skin conductance level), wie das Maß der tonischen Veränderung in der Psy-

chophysiologie genannt wird. Tonische Reaktionen des Leitwerts bedeuten langsame und länger (im oberen Sekunden- oder im Minutenbereich) anhaltende Niveauverschiebungen in stärkerem Ausmaß als bei kurzzeitigen phasischen Reaktionen (Schandry 1996).

2.4 Aussagekraft physiologischer Reaktionen beim Vergleich ähnlicher Geräusche

Während die Erfassung von psychophysiologischen Parametern als Antwortreaktion auf die Belastung mit hohen Schallpegeln seit Jahrzehnten in der Lärmforschung etabliert ist (Übersicht bei Schwarze 1991), ist ihr Einsatz zur Bewertung von Geräuschen, die sich nur in der Qualität des akustischen Höreindrucks unterscheiden, bislang nur in geringem Umfang erfolgt. Einige wichtige Erkenntnisse dazu konnten in den 90-er Jahren im Rahmen eines Verbund-Forschungsprojektes gewonnen werden, in dem die Anwendungsmöglichkeiten der Kunstkopf-Technik in der physiologischen Bewertung von Lärmeinwirkungen untersucht wurden (Genuit et al. 1997). So wurde im Rahmen eines Vergleichs von binaural und mit konventioneller Methodik aufgenommenen bzw. wiedergegebenen Geräuschen gezeigt, dass sich selbst geringe Unterschiede in der akustischen Wirkung von Industriegeräuschen mit psychophysiologischen Methoden abbilden und objektivieren lassen (Schwarze et al. 1993a, 1993b, Notbohm et al. 1992). Einige für die vorliegende Arbeit wegweisende Ergebnisse dazu sollen im Folgenden kurz referiert werden.

In einer ersten Versuchsreihe wurden verschiedene Geräusche von Arbeitsplätzen der metallverarbeitenden Industrie (Kreissäge, Sonderbau-Metallsäge, Motormontage) untersucht. Jedes Geräusch wurde sowohl in normaler monauraler Aufnahmetechnik per Mikrofon als auch in binauraler Kunstkopftechnik aufgezeichnet. Da die Geräusche nur aus kurzen Sequenzen bestanden (bei der Sonderbau-Metallsäge 25 Sek, sonst 30 Sek.), wurden sie mehrfach hintereinander geschnitten, so dass sich pro Geräusch eine Beschallungszeit von 4 min ergab. Bei den Sägegeräuschen ließen sich die einzelnen Sequenzen gut erkennen. Um Reihenfolgeeffekte auszuschließen wurde die Abfolge der Geräusche variiert. Alle Geräuscharbietungen erfolgten in einer schallarmen Kammer unter kontrollierten experimentellen Bedingungen. Die Aufnahmen wurden jeweils im Paarvergleich von konventioneller und Kunstkopf-Aufnahme wiedergegeben.

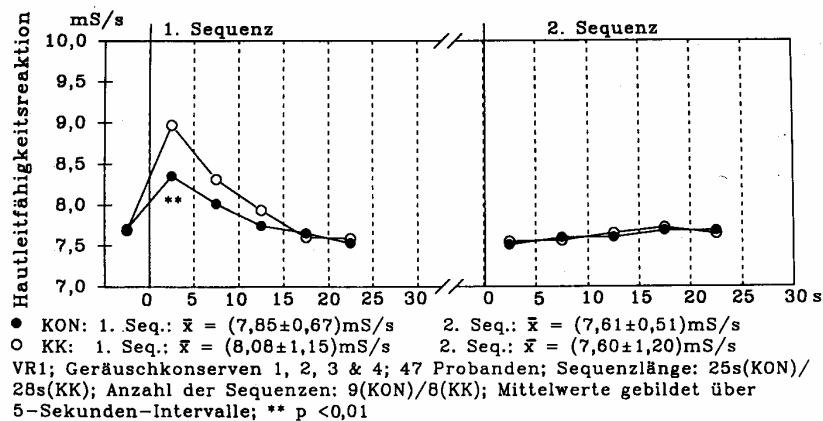


Abb. 1: Hautleitfähigkeitsreaktion bei der Wiedergabe des Sonderbau-Metallsägegeräusches mit konventioneller (KON) und Kunstkopf-Aufnahmetechnik (KK) (aus: Schwarze et al. 1993a)

Abb. 1 zeigt die Veränderungen der Hautleitfähigkeit in der Stichprobe von 47 Probanden in Form von Mittelwerten über 5-s-Intervalle während der ersten und der zweiten Sequenz der Aufnahme des Metallsägegeräusches. Beim ersten Hören zeigt sich für beide Geräusche ein initialer Anstieg des SCL nach Einsetzen des Geräusches, der nach 20 s wieder abgeklungen ist. Bei der Kunstkopf-Aufnahme (KK) ist dieser Anstieg deutlich stärker; für das erste 5-s-Intervall ist dieser Unterschied auch statistisch signifikant. In der 2. Sequenz unterscheiden sich die Aufnahmetechniken nicht.

Für das Geräuschbeispiel aus der Motormontage gibt Abb. 2 die Veränderungen der Fingerpulsamplitude während der ersten und zweiten Sequenz mit konventioneller und Kunstkopftechnik wieder. Bei der Fingerpulsamplitude zeigt sich eine physiologische Aktivierung typischerweise in Form einer verringerten Amplitude, also einer Abnahme gegenüber dem Ausgangswert vor Stimulusbeginn. Die Reaktionsgröße wird als Prozentsatz dieses Ausgangswertes angegeben. Bei der ersten Darbietung sehen wir wieder für beide Geräusche eine starke Reaktion, die auch länger anhält.

Aus der Diskussion im Rahmen des Forschungsprojekts über mögliche Erklärungen der unterschiedlichen Wirkung von konventionell und mit Kunstkopf aufgenommenen Geräuschquellen entstand die Hypothese, dass der stärkere Effekt der binauraler Aufnahme durch den

Eindruck größerer Echtheit der gehörten Situation bedingt sein könne. Dies sei bedingt durch die Fülle an räumlichen Informationen, die bei der Mikrofonaufnahme fehlen.

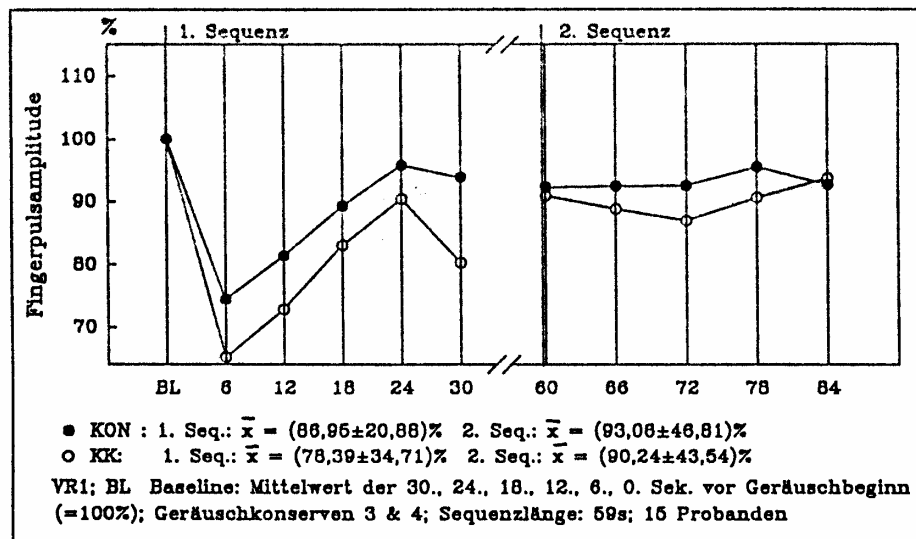


Abb. 2: Veränderung der FPA bei der Wiedergabe des Motormontagegeräusches mit konventioneller (KON) und Kunstkopf-Aufnahmetechnik (KK) (aus: Genuit et al. 1997)

Andererseits könnten natürlich auch Assoziationen oder Erfahrungen mit den konkreten Arbeitsgeräuschen eine Rolle in der Reaktion spielen.

In einem weiteren Versuchsdurchgang wurde daher dieselbe künstliche Geräuschquelle – ein rosa Rauschen als Schallstimulus – mittels Kunstkopf-Technik in unterschiedlicher Weise räumlich angeordnet, d. h. für den Probanden handelte es sich einmal um ein unidirektionales oder um ein bidirektionales Geräusch und als dritte Variante um eine bewegte Geräuschquelle. Mögliche Reaktionsunterschiede zwischen diesen drei Versuchsbedingungen wären aufgrund des künstlichen Charakters des Geräusches nur auf die unterschiedliche räumliche Information zurückzuführen.

Wie Abb. 3 zeigt, ergaben sich tatsächlich deutliche Unterschiede in der Stärke der FPA-Veränderung während der drei Versuchsdurchgänge: Bei der unidirektionalen Darbietung zeigte die FPA nach anfänglichem Abfall relativ schnell eine Tendenz zur Rückkehr auf den Ausgangswert, während sich bei den beiden anderen Geräuschen während der gesamten Darbietungsdauer von 180 s nur eine geringe Rückregulation der FPA zeigt. Besonders bei der bewegten Geräuscharbietung – also dem Geräusch mit der intensivsten räumlichen Information – ist die Verringerung der FPA am stärksten und hält am längsten an.

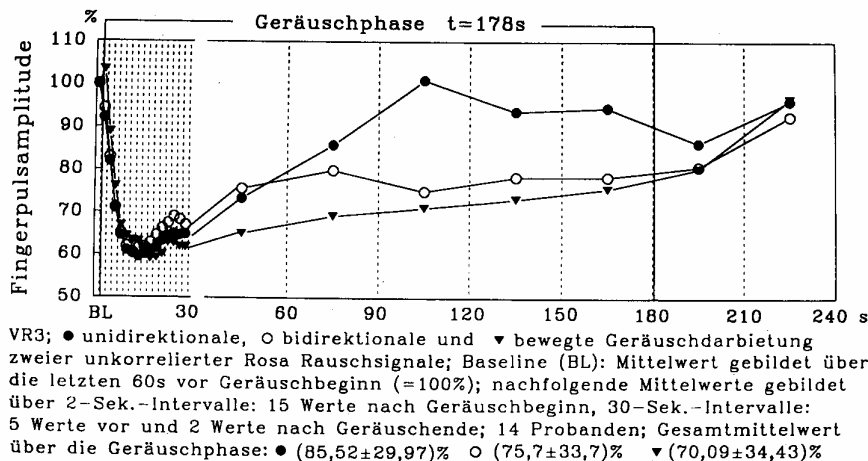


Abb. 3: Veränderung der Fingerpulsamplitude bei der Wiedergabe des uni-, des multidirektionalen und des bewegten Geräusches (aus: Schwarze et al. 1993a)

Mit dieser Versuchsreihe gelang erstmals der Nachweis, dass sich periphere physiologische Reaktionen auch dazu eignen, bei sehr ähnlichen akustischen Signalen Intensitätsunterschiede in der Wirkung auf menschliche Zuhörer zu zeigen. Die verschiedenen Varianten eines Geräusches wurden ja mit derselben Lautstärke dargeboten, und der einzige Unterschied bestand in der Aufnahme- und Wiedergabetechnik bzw. im letzten Beispiel in der Art der räumlichen Information. Es lag also nahe, das gleiche methodische Vorgehen auch auf die SVEN-Fragestellung anzuwenden, in der es sich ebenfalls darum handelt, zusätzliche Charakteristika eines Geräusches neben den bekannten „Lärmfaktoren“ zu entdecken, die mit einer qualitativen Bewertung der „Geräuschqualität“ zu verbinden wären.

Im ersten Laborversuch (SVEN 1) im Rahmen des SVEN-Projektes wurde dieser Ansatz bereits mit Straßenverkehrsgeräuschen umgesetzt (Notbohm & Schwarze 2002, Notbohm et al. 2003, Schwarze et al. 2004). In dem hier beschriebenen Experiment soll diese Methodik auch auf Vorbeifahrtgeräusche einzelner Pkws angewendet werden.

3 Fragestellung und Methodik

3.1 Fragestellung

Der Begriff „Lärm“ enthält per definitionem eine negative Wertung eines Geräusches als „schädigend“ oder zumindest „störend“ und „belästigend“. Der Begriff „Geräuschqualität“ dagegen beinhaltet kein abschließendes Urteil, sondern bezieht sich auf ein Kontinuum von mehr oder weniger Qualität, wobei natürlich im Bereich der Produktqualität, dem Ursprung dieses Begriffs, ein Optimum angestrebt wird. Wenn dieser Begriff nun auf Geräusche der Umwelt angewendet werden soll, geht es um Vergleiche zwischen verschiedenen Geräuschen hinsichtlich ihrer Wirkung auf Menschen unterhalb der „Lärmschwelle“ einer Schädigung oder zumindest Belästigung. Lassen sich solche Wirkungsunterschiede – sowohl im kognitiven Urteil wie in emotionalen und affektiven Reaktionen von Zuhörern - feststellen, so sind dies Hinweise auf subtilere Geräuschcharakteristika als Lautstärke, Impulshaltigkeit oder andere vorrangige Kenngrößen von Lärmquellen. Mit der Entschlüsselung solcher Geräuscheigenschaften böten sich neue Ansatzpunkte, um Umweltgeräusche einzelner Fahrzeuge oder bestimmter Fahrsituationen zu beeinflussen und die akustische Umwelt dadurch angenehmer zu gestalten.

Konkret soll in diesem Experiment untersucht werden, ob mehrere Pkw-Typen, die sich in Motorart und -leistung unterscheiden, in genau definierten alltäglichen Fahrbetriebsbedingungen nachweisbare Unterschiede in den geäußerten Bewertungen und physiologischen Reaktionen naiver Versuchspersonen hervorrufen. Das heißt, im Unterschied zur Beurteilung von Produktqualität, die in der Regel mit gut geschulten Experten vorgenommen wird, sollen die Reaktionen einer zufälligen Stichprobe von Versuchspersonen untersucht werden, die die Erfahrungen und Einstellungen der Allgemeinbevölkerung bezüglich unserer alltäglichen akustischen Umwelt vertreten. Es handelt sich also um eine heuristische Fragestellung, in der erst einmal das Procedere und die Grundannahmen für weitere Untersuchungen zur Geräuschqualität von Umweltgeräuschen untersucht werden sollen.

3.2 Definition und Klassifikation der Schallreize

In der vorliegenden Versuchsreihe wurden Vorbeifahrtgeräusche von unterschiedlichen Pkw-Typen unter verschiedenen Fahrbedingungen aufgezeichnet. Die Geräusche wurden unter standardisierten Bedingungen nach ISO 362 auf der Teststrecke eines Verbundpartners des SVEN-Projektes aufgenommen. Abb. 4 gibt die Aufnahmeanordnung wieder: Die Aufnahme erfolgte sowohl binaural (mit Kunstkopf) wie auch herkömmlich mit Mikrofon, während das Fahrzeug jeweils die 20 m lange Messstrecke durchfuhr (von Linie A bis Linie B in der Skizze). Kunstkopf und Mikrofon waren in der Mitte der Messstrecke in einem Abstand von 7,5 m links bzw. rechts von der Fahrbahn positioniert.

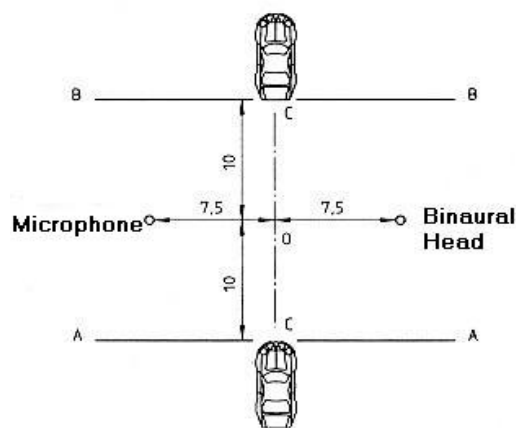


Abb. 4: Aufnahmeanordnung Kfz-Vorbeifahrt

Bei dem Experiment kamen folgende Wagentypen zum Einsatz:

MittD Mittelklassenwagen Dieselmotor (1,9 l; 72 kW)

MittB Mittelklassewagen Benzinmotor (1,4 l; 70 kW)

Limo Limousine mit Benzinmotor (gehobene Mittelklasse, 2,4 l; 121 kW)

Tabelle 2 zeigt die drei unterschiedlichen Fahrbedingungen, unter denen jeder der drei Wagentypen eingesetzt wurde.

Tab. 2: Die im Experiment eingesetzten Fahrbedingungen

3 Fahrbedingungen pro Wagentyp:		
50 km/h	70 km/h	B-L-A
Vorbeifahrt bei 50 km/h, Beschleunigung im 2. Gang	Konstant bei 70 km/h, 3. Gang	Bremsen, Leerlauf, Anfahren

3.3 Physiologische Messparameter

Während der Geräuscharbeitung wurden folgende physiologische Variablen mit einem Vita-port-Messsystem aufgezeichnet:

- Fingerpulsamplitude (FPA) mit Berechnung der Herzfrequenz
- Hautleitfähigkeit (SCL „skin conductance level“)
- EMG am Unterarm

In dieser Arbeit werden die Ergebnisse der Fingerpulsamplitude und der Hautleitfähigkeit dargestellt, da die beiden anderen Parameter – Herzfrequenz und EMG – keine zusätzlichen Aufschlüsse ergaben bzw. das EMG sehr häufig von Artefakten überlagert wurde.

Die Fingerpulsamplitude wurde mittels eines Pulsoximeters am rechten Zeigefinger des Probanden aufgezeichnet. Eine ausführliche Beschreibung der Photoplethysmographie-Technik findet sich bei Jennings et al. (1980).



Abb. 5: Position des Pulsoximeter zur Erfassung der Fingerpulsamplitude

Die Hautleitfähigkeit wurde über Elektroden am linken Kleinfingerballen (Hypothenar) und am linken Daumenballen (Thenar) erfasst.

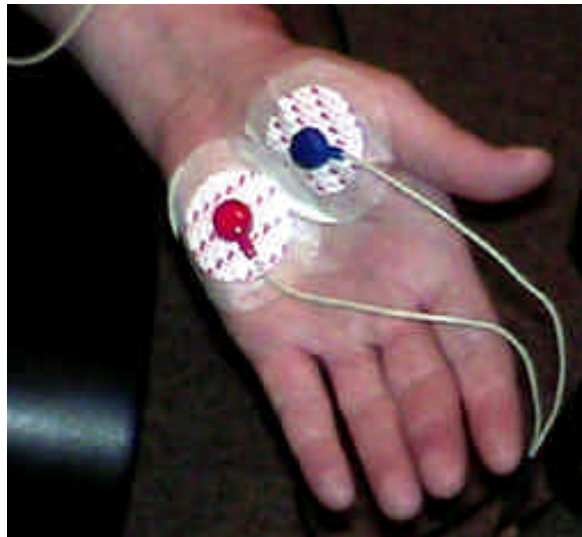


Abb. 6: Position der Elektroden zur Erfassung der Hautleitfähigkeit

Für die späteren statistischen Auswertungen wurden die physiologischen Reaktionen als prozentuale Veränderungen gegenüber dem Ausgangswert (Mittelwert der Messungen der letzten 30 s vor Geräuschbeginn = 100 %) dargestellt (Näheres unter 3.8).

3.4 Subjektive Geräuschbewertung

In der vorliegenden Studie kamen folgende Fragebögen zum Einsatz:

1.) Generelle Beurteilung

Eine allgemeine Einschätzung der Wahrnehmung unangenehmer und aktivierender Empfindungen während der Geräuscharbeitung und die allgemeine Frage, wie sehr man das Geräusch mag, wurde mit dem Fragebogen „Generelle Beurteilung“ erfasst. Die generelle Beurteilung der Geräusche bzw. der Situation erfolgte auf einer 9-stufigen Zahlenskala, in der die Zustimmung zu den Vorgaben, wie sie in Abbildung 7 dargestellt sind, zu markieren war.

Anhang 1 gibt dazu den kompletten Fragebogen für den ersten Versuchsdurchgang jedes Probanden wieder, der auch eine schriftliche Instruktion für diese Versuchsphase und zusätzliche Fragen zur Charakterisierung der Geräusche in Form einer Itemliste enthielt.

Insgesamt mag ich dieses Geräusch: sehr überhaupt nicht 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Bitte geben Sie auf der Skala von -4 bis +4 an, wie Sie sich <u>beim Hören des Geräusches fühlen:</u> sehr angenehm -4 -3 -2 -1 0 1 2 sehr unangenehm 3 +4 sehr still/ deaktiviert -4 -3 -2 -1 0 1 2 sehr aufgeregt/ aktiviert 3 +4									
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Abb.7: Fragen zur subjektiven Geräuschbewertung und Situationseinschätzung

2.) Direkter Vergleich der Geräusche

Mit dem Fragebogen „direkter Vergleich“ wurden die 3 Geräusche einer Versuchsbedingung in den Eigenschaften laut, belästigend, gefährlich, unangenehm und aktivierend beurteilt (s. Anhang 2). Wie im Beispiel gezeigt, sollten die Vpn jeweils Rangplätze für die 3 Geräusche einer Fahrbedingung vergeben.

Am aufdringlichsten ist Geräusch Nr.	
Weniger aufdringlich ist Geräusch Nr.	
Am wenigsten aufdringlich ist Geräusch Nr.	

Zur Auswertung dieser Rangurteile wurden dann pro Proband entsprechende Punktwerte addiert: Das Fahrzeug, welches von einem Probanden in einer Fahrbedingung als am lautesten, am gefährlichsten etc. bewertet wurde, bekam 3 Punkte, das zweite Fahrzeug 2 Punkte, das

letzte 1 Punkt. Für jede Bedingung und Bewertung konnte ein Fahrzeug also bei 24 Probanden zwischen 24 und 72 Punkten auf der Skala erreichen.

3.5 Versuchsablauf

Für die drei Fahrzeugtypen lagen Geräuschaufzeichnungen für alle 3 Fahrbedingungen vor (9 Geräusche). Da die einzelnen Vorbeifahrten auf der 20 m langen Teststrecke immer nur einige Sekunden dauerten, waren die Geräusche so bearbeitet worden, dass die jeweilige Vorbeifahrt mit variierenden Fahrtrichtungen immer wieder hintereinander geschnitten wurde, bis eine 2-minütige Aufnahme vorlag. Die Geräuscharbietungen erfolgten im Schalllabor des Instituts für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf. Der Schallpegel wurde für alle Kfz-Geräusche auf einen Mittelungspegel von $L_{Aeq} = 83$ dBA angeglichen, weil ja nicht Auswirkungen der Lautstärke untersucht werden sollten, sondern Wirkungsunterschiede von insgesamt sehr ähnlichen Geräuschen. Die Höhe des Schallpegels wurde so gewählt, dass sichere und deutliche physiologische Reaktionen erwartet konnten.

Die drei Geräusche einer Fahrbedingung wurden jeweils als ein Block präsentiert. Zur Vermeidung des Reihenfolgeeffektes wurde die Reihenfolge der Blöcke variiert. Die Reihenfolge der Geräusche innerhalb eines Geräuschblocks wurde ebenfalls verändert, so dass jedes Geräusch gleich oft an erster, zweiter oder dritter Stelle zu hören war. Tab. 3 listet die daraus resultierenden Variationen der Geräuschreihenfolge auf.

Tabelle 3: Geräuschreihenfolgen in den drei Serien

Reihenfolge	<i>Serie A</i>	<i>Serie B</i>	<i>Serie C</i>
1.	MittD_50	Limo_70	MittB_BLA
2.	MittB_50	MittD_70	Limo_BLA
3.	Limo_50	MittB_70	MittD_BLA
4.	MittB_70	MittD_BLA	Limo_50
5.	Limo_70	MittB_BLA	MittD_50
6.	MittD_70	Limo_BLA	MittB_50
7.	Limo_BLA	MittB_50	MittD_70
8.	MittD_BLA	Limo_50	MittB_70
9.	MittB_BLA	MittD_50	Limo_70

(MittB=Mittelklassewagen Benzinmotor, MittD=Mittelklassewagen Dieselmotor, Limo=Limousine Benzinmotor)

3.6 Stichprobenbeschreibung

An der Versuchsreihe nahmen 24 gesunde männliche, guthörende Studenten der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf im Alter von 24 bis 29 Jahren teil. Für die Teilnahme an dieser Studie erhielten die Versuchspersonen eine Aufwandsentschädigung.

Es wurden zusätzlich folgende Auswahlkriterien zu Grunde gelegt, um eine homogene Gruppe gewährleisten zu können:

- Gute Deutschkenntnisse waren Voraussetzung für die Teilnahme am Experiment.
- Die Probanden sollten in einem medizinisch unauffälligen Allgemeinzustand sein, d. h. keine körperlichen, psychischen und chronischen Erkrankungen.
- Die Probanden sollten ausgeschlafen sein.
- Vorstellung mit normaler Hörfähigkeit, also ohne am Abend vorher oder am Morgen sehr laute Musik gehört zu haben.
- Die Probanden sollten ohne Beeinträchtigung durch Alkohol, Medikamente und ohne stärkeren Konsum von Kaffee, Tee oder Nikotin zur Versuchsreihe erscheinen.
- Die pünktliche Einhaltung des vereinbarten Termins.

3.7 Voruntersuchung

In einer Voruntersuchung wurde die Hörleistung der Versuchsteilnehmer per Audiometrie getestet, um einen Einfluss verminderter Hörleistung auszuschließen. Ein Verlust von mehr als 20 dB in einer Frequenz führte zum Ausschluss von der Teilnahme. Zur Erfassung der persönlichen Daten wurden Fragebögen ausgehändigt. Jeder Proband erhielt eine Versuchspersonennummer (VP). Zur ersten Gewöhnung an die räumlichen und akustischen Versuchsbedingungen wurden die Versuchsprobanden zum Probesitzen in die ca. 8m² große, fensterlose, schwach beleuchtete und schalldichte Kammer des Instituts gebeten. Die Teilnehmer wurden dem Versuchsaufbau entsprechend verkabelt und es erfolgte die Darbietung von einigen Verkehrsgeräuschen, die nicht identisch waren mit den im Hauptversuch eingesetzten Stimuli. Nur die Lautstärke wurde bereits zur Gewöhnung der Versuchspersonen genauso eingestellt wie später im Experiment.

3.8 Versuchsdurchführung

Die Versuchsreihe wurde im Zeitraum vom Mai bis November 2001 im Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin an der Heinrich-Heine-Universität durchgeführt. Für jeweils einen Probanden war eine Einzelsitzung vorgesehen. Im Hauptversuch begaben sich die Versuchsteilnehmer in die schalldichte Kammer und einige psychologische Fragebögen wurden ihnen vorgelegt, die in diesem Rahmen nicht weiter behandelt werden. Zur Beantwortung der Fragebögen waren ca. 15 Minuten vereinbart. Danach erfolgte die Verkabelung der Probanden. Die Elektroden zur Messung der Hautleitfähigkeit wurden wie in Abschn. 3.2 beschrieben angebracht. Zuvor wurden die betreffenden Areale mit Äthylalkohol (70%) desinfiziert. Des Weiteren wurden nicht-polarisierende Elektroden und eine isotonische Elektrodenpaste verwendet. Anschließend wurde das Pulsoximeter am rechten Zeigefinger zur Bestimmung der Fingerpulsamplitude/Herzfrequenz angebracht.

In der Kammer war zusätzlich ein Mikrophon zur Registrierung von Nebengeräuschen und Beschallungszeiträumen aufgebaut. Die oben genannten Anschlüsse wurden an das Vitaportsystem und einen PC angeschlossen. Zur möglichst originalgetreuen Klangwiedergabe wurden elektrostatische Kopfhörer benutzt. Um das Geräusch möglichst realistisch auf den Probanden einwirken zu lassen, wurden die tiefen Frequenzen zusätzlich über zwei Lautsprecher (Subwoofer) abgestrahlt.

Nach Abschluss aller Vorbereitungen wurde die Tür des schalldichten Raumes verschlossen und es wurde mit der Überprüfung der Registrierungseinheit begonnen. Zur Vermeidung von Bewegungsartefakten wurden die Versuchspersonen gebeten, sich während des Versuchs möglichst wenig zu bewegen. Nach einer Ruhepause von 15 Minuten wurden den Probanden über Kopfhörer jeweils die beschriebenen 9 Aufnahmen á 2 Minuten von vorbeifahrenden Pkw dargeboten. Nach jeder Geräuschpräsentation folgte eine 4-minütige Pause (siehe Abb. 8).

Nachdem die Geräuscharbietung mit Registrierung der physiologischen Parameter abgeschlossen war, wurden die Versuchsprobanden gebeten, die 9 Fahrzeuggeräusche subjektiv zu beurteilen und eine Einschätzung ihrer Empfindung auf dem entsprechenden Fragebogen abzugeben (s. Anhang 1). Hierzu wurden die Geräusche verkürzt in derselben Reihenfolge abgespielt. Jeweils nach drei Geräuschen sollten zusätzlich die drei zuletzt gehörten Sequenzen

miteinander verglichen werden (s. Anhang 2). Anschließend begann die Beurteilung der nächsten drei Geräusche. Der Versuch war für den Probanden nach drei Durchgängen mit jeweils drei Geräuschen beendet.

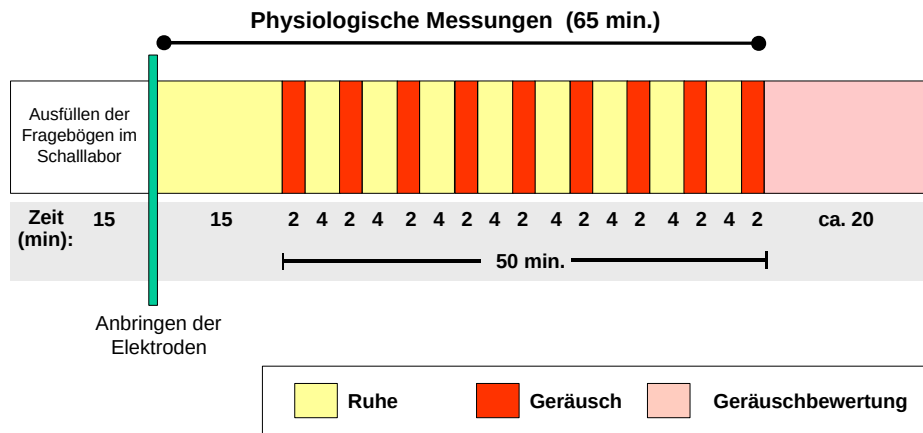


Abb. 8: Zeitlicher Ablauf des Experiments

3.9 Datenerfassung

Das Kölner VitaportTM-System (vgl. Jain et al. 1996) wurde als Hardware-Basis benutzt. Es stellt eine Messeinheit für physikalische und psychophysiologische Größen dar. Dieses Gerät wurde bereits in früheren Untersuchungen des Instituts für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin zur Erfassung physiologischer Reaktionen eingesetzt (Siegmann et al. 1999), so dass die entsprechende Software-Anpassung in der Programmiersprache SPIL (Signal Processing and Inferencing Language) zur Verarbeitung der Vitaport-Zeitreihen bereits vorlag. Insbesondere die Bestimmung der Fingeramplitude erfordert mehrere Arbeitsschritte, wie die Abbildungen 9 und 10 zeigen.

Abb. 9 zeigt zunächst einmal in analoger Darstellung und geringer zeitlicher Auflösung die aufgezeichnete Fingerpulsamplitude. In der mittleren Reihe wird die jeweilige Amplitudenhöhe angezeigt, wie sie sich aus der oberen Verlaufskurve errechnen lässt. Unten ist in diesem Beispiel die Darbietung eines einzelnen Impulsschalles dargestellt, und man sieht deutlich den unmittelbaren zeitlichen Zusammenhang zwischen diesem Signal und der darüber sichtbaren kurzzeitigen Reduzierung der Fingerpulsamplitude.

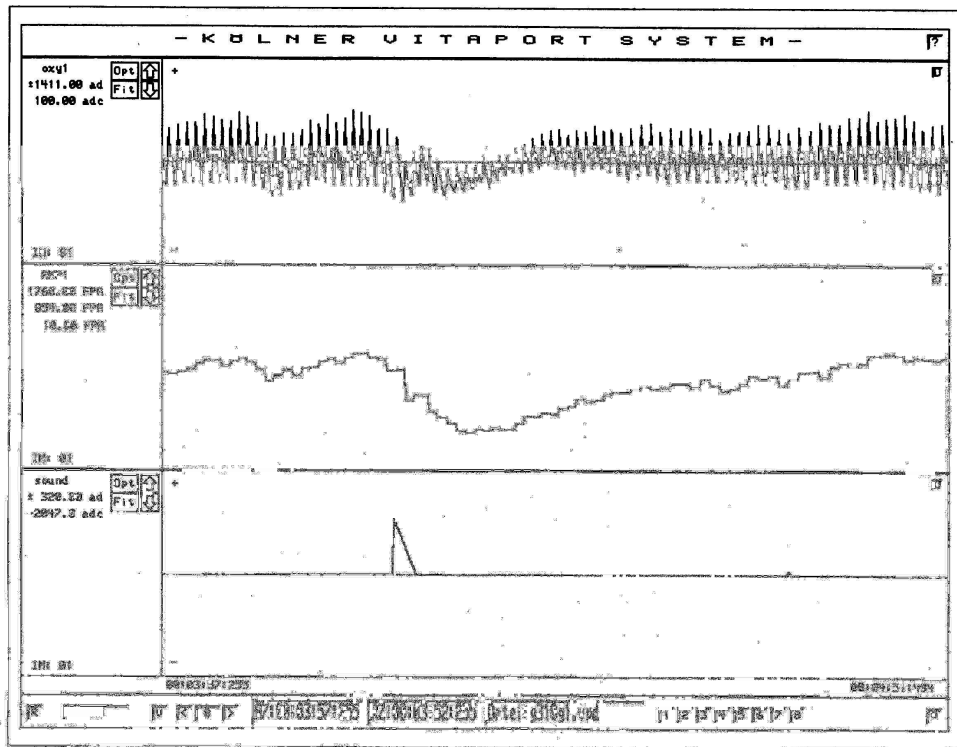


Abb. 9: Bildschirmdisplay-Ausdruck: Darstellung der FPA (oben), der Amplitudenhöhe (Mitte) und eines Schallsignals (unten) aus dem Vitaport-System (aus: Siegmann et al. 1999)

In Abb. 10 wird zunächst noch einmal ein typischer FPA-Verlauf gezeigt, diesmal in größerer zeitlicher Auflösung, und darunter die weiteren Arbeitsschritte zur Gewinnung auswertbarer Daten: In der zweiten Reihe ist zu sehen, wie die Software aus den Amplitudenhöhen jeweils die Lage der Amplituden-Minima und Maxima (Kanal „PEEK1“) für jeweils jede Fingerpulswelle bestimmt. Anschließend wird das jeweilige Maximum im Kanal „Amp 1“ im Sinne einer Treppenfunktion dargestellt, bis ein neues Maximum einen neuen Wert setzt. In der letzten Seite ist dann ein Zeitkanal optisch dargestellt, der in diesem Beispiel auf 2-s-Abstände eingerichtet wurde; d. h., hier wird alle 2 s eine Zeitmarke gesetzt zur späteren gezielten Steuerung der Daten.

In ähnlicher Weise wurden auch die Veränderungen der Hautleitfähigkeit erfasst und verarbeitet. Zur statistischen Bearbeitung wurden alle Messwerte aus dem Vitaport-System in das Softwarepaket SPSS (Statistical Package for Social Sciences) Version 11 eingelesen und statistischen Auswertungen unterzogen.

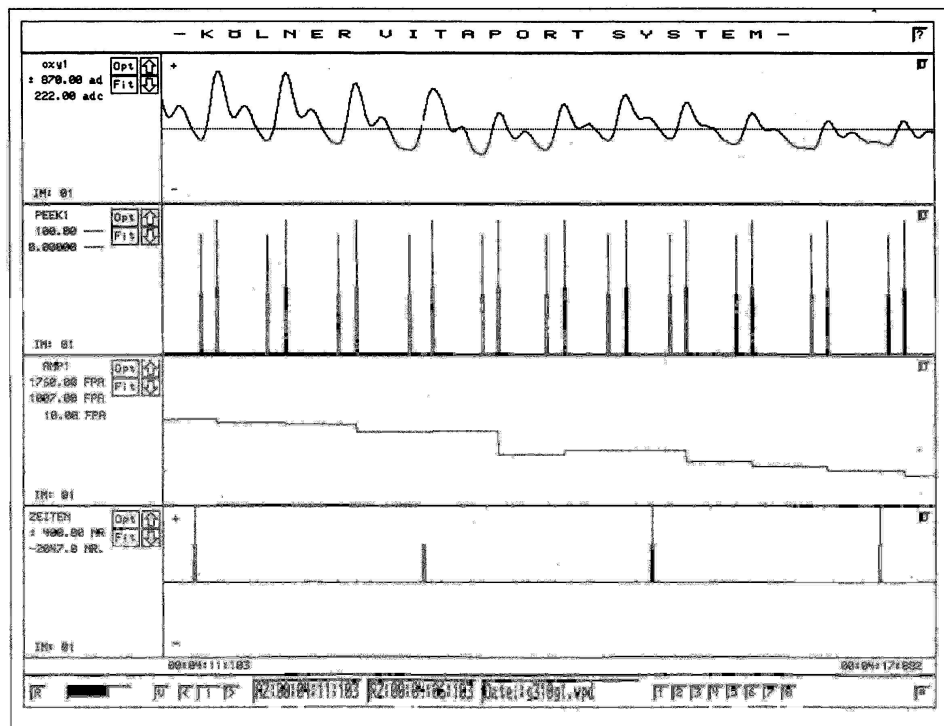


Abb. 10: Bildschirmdisplay-Ausdruck der Vitaport-Datenverarbeitung: Darstellung der FPA (oben), der Minima und Maxima („PEEK1“ 2. Reihe), der Amplitudenhöhe als Treppenfunktion („AMP1“ 3. Reihe) und des Zeitkanals (unten) (aus: Siegmann et al. 1999)

3.10 Statistische Auswertung

Die grundlegende deskriptive Auswertung der Ergebnisse besteht zunächst in der Betrachtung des Verlaufs der Mittelwerte für die physiologischen Variablen, wie er sich für die Stichprobe während der 120 s Expositionszeit pro Fahrbedingung ergibt. Die Anfangsreaktionen in den ersten 30 Sekunden wurden in 2-Sekunden-Intervallen ausgewertet, d.h. es wurden für jede Vp Mittelwerte über die FPA bzw. SCL pro 2 Sekunden berechnet. Die weiteren 90 Sekunden wurden dann in 5 Sekunden-Intervallen ausgewertet und entsprechend graphisch dargestellt. Da die beiden Variablen (Fingerpuls und Hautleitfähigkeit) von den verwendeten Messapparaturen abhängig sind und es auch zu vermehrten Variationen über die Zeit bei der selben Versuchsperson kommt, können keine Standardwerte bestimmt werden. Somit kann die Antwort auf ein Geräusch nur als prozentuale Abweichungen im Bezug zur Baseline (100% Ba-

seline = Mittelwert der Messwerte der letzten 30 Sekunden vor der jeweiligen Geräuschdarbietung) bewertet werden.

Für alle oben genannten 2- bzw. 5-Sekunden-Intervalle sowie für die Zeiträume 1.-30. Sekunde, 31.-120. Sekunde und auch 1. – 120. Sekunde wurden die Mittelwerte der Stichprobe für jedes Fahrzeug in jeder Fahrbedingung errechnet und die Unterschiede zwischen den Fahrzeugen mit Hilfe von Varianzanalysen für Messwiederholungen (SPSS 11.0, Prozedur „Allgemeines lineares Modell - Messwiederholungen“) auf statistische Signifikanz geprüft (s. Bortz 1989) zu den Grundlagen dieses Rechenverfahrens). Als signifikant werden Werte mit einer Wahrscheinlichkeit von $p \leq 0,05$ bezeichnet. Von Interesse sind dabei vor allem die größeren Zeiträume von der 1. bis 30. Sekunde und der 31. bis 120. Sekunde. Vereinzelt signifikante Unterschiede zwischen den Fahrbedingungen für ein 5-Sekunden-Intervall sind auch angesichts der großen Anzahl von durchgeführten Varianzanalysen eher als zufällig zu betrachten. Im Prinzip wäre unter diesem Gesichtspunkt auch eine Bonferroni-Korrektur des Signifikanzniveaus erforderlich, aber es geht in diesem Experiment ja nicht um eine Entscheidung über Hypothesen, sondern um eine hypothesengenerierende Sondierung der methodischen Möglichkeiten.

Im SPSS-Output für Varianzanalysen für Messwiederholungen werden verschiedene Berechnungen zur Beurteilung der Signifikanz der interessierenden Effekte ausgegeben (vgl. Bühl & Zöfel 2002, Pospeschill 1996): zum einen sog. multivariate Signifikanztests nach der Methode des allgemeinen linearen Modells, bei denen die Messwiederholungen simultan berücksichtigt werden, zum anderen eine Überprüfung des Wiederholungsfaktors mit der „klassischen“ Methode der Varianzanalyse nach Fisher. Zu letzterer werden in SPSS verschiedene Prüfgrößen ausgegeben, je nachdem, ob die Voraussetzung der Sphärizität – eine Art Prüfung der Unabhängigkeit und Varianzhomogenität der involvierten Variablen – gegeben ist oder nicht (vgl. Pospeschill 1996, S. 228). Ausschnitte aus der umfangreichen SPSS-Ergebnisausgabe werden in dieser Arbeit nur dargestellt, soweit die Ergebnisse auch statistisch signifikant sind, und generell auch nur für die größeren Zeiträume 0 - 30. und 31. – 120. Sekunde. Im Anhang werden jedoch zur Orientierung für alle 2- bzw. 5-s-Intervalle jeweils knapp die p-Werte nach der „klassischen“ Varianzanalyse zum Einfluss des Faktors „Fahrbedingung“ auf die Mittelwertunterschiede angegeben. Zeitintervalle, in denen sich die Mittelwerte zwischen den verschiedenen Fahrbedingungen signifikant unterscheiden, sind dort farbig hervorgehoben.

Die Daten zur generellen Beurteilung der Geräusche auf Linearskalen (s. Kap. 3.3) wurden auf gleiche Weise auf Signifikanz getestet. Die Rangskalierungen im direkten Vergleich der Geräusche wurden nur deskriptiv ausgewertet und mit den Resultaten der generellen Beurteilung verglichen.

4 Ergebnisse

4.1 Versuchsbedingung Kfz-Vorbeifahrtgeräusch 50 km/h,

Beschleunigung im 2. Gang

4.1.1 Fingerpulsamplitude (FPA)

Wie bereits im Kapitel 2.3 angesprochen, zeigt die Fingerpuls-Amplitude normalerweise einen prozentualen Abfall während der Beschallung verglichen mit dem Ausgangswert. Abbildung 9 zeigt die deutliche Veränderung der Fingerpuls-Amplitude während der jeweils zweiminütigen Beschallung mit Vorbeifahrtgeräuschen der drei unterschiedlichen Fahrzeuge bei 50 km/h; für die ersten 30 Sekunden sind 2-s-Intervalle dargestellt, danach 5-s-Intervalle.

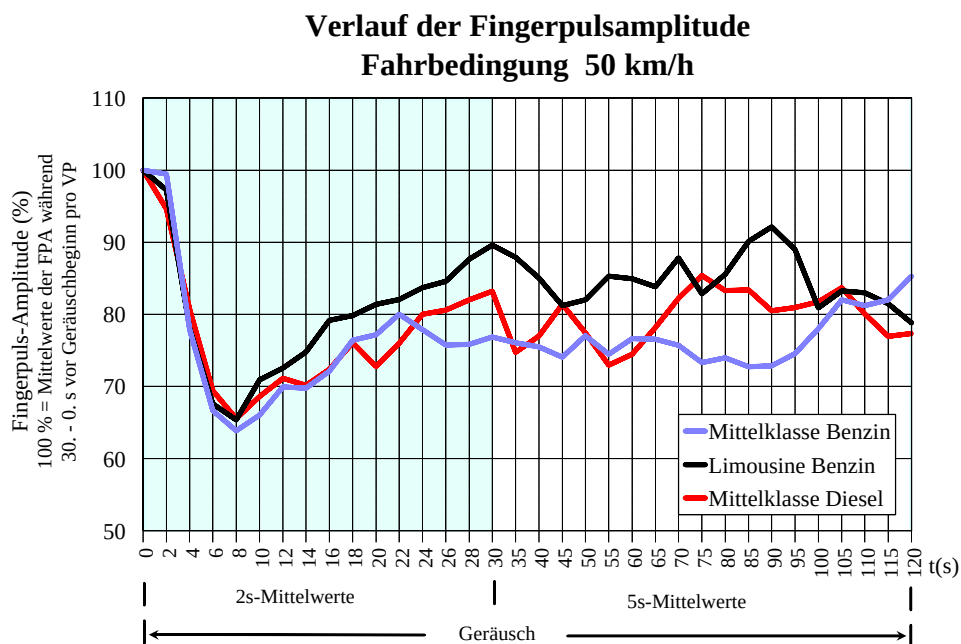


Abb. 11: Fingerpulsamplitude während 2-minütiger Beschallung mit Vorbeifahrtgeräuschen drei verschiedener Pkw (Mittelklassewagen Dieselmotor, Mittelklassewagen Benzinmotor, Limousine Benzinmotor) in der Bedingung 50 km/h, Beschleunigung im 2. Gang

Alle drei Kurven weisen einen starken Abfall bis zu 65 % des Ausgangswertes während der ersten acht Sekunden auf und bleiben während der restlichen Beschallungszeit meist innerhalb eines Bereiches von 70 bis 90 %. Die Kurve des Mittelklasse-Benziners bleibt während fast der gesamten Beschallungszeit bei einem Mittelwert der Amplitude von 70 bis 75 % des Ausgangswertes. Die Kurve der Limousine zeigt den schnellsten Anstieg zurück zum Ausgangswert. Die Werte des Diesel-Fahrzeugs bleiben während der meisten Zeit zwischen den beiden anderen Kurven.

Nach etwa 80-90 Sekunden werden die deutlichsten Unterschiede zwischen den drei Kurven sichtbar. Die Fingerpulsamplitude der Limousine kehrt zurück Richtung Ausgangswert bis zu 90%, wohingegen der Mittelklasse-Benziner auf einem Niveau von etwa 70% verbleibt. Die Werte des Diesel-Fahrzeugs liegen bei ca. 80% des Ausgangswerts. Für das Zeitintervall 80-85 Sekunden und 85-90 Sekunden sind diese Unterschiede signifikant (s. Anhang 3).

Für die aussagekräftigeren, weil größeren Zeiträume 1. – 30. oder 31. – 120. Sekunde und den gesamten Zeitraum 1. – 120. Sekunde werden die Mittelwerte und Standardabweichungen in Tab. 4 angegeben. Die Mittelwertunterschiede erweisen sich in der Varianzanalyse allerdings als nicht signifikant.

Tab. 4: Mittelwert und Standardabweichungen für die Veränderung der Fingerpulsamplitude (in % des Baseline-Wertes von 100) für die drei Fahrzeuge während der verschiedenen Zeitabschnitte des Vorbeifahrtgeräusches 50 km/h

Wagentyp Zeitintervall	Mittelklassewagen Dieselmotor		Mittelklassewagen Benzinmotor		Limousine Benzinmotor	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
<i>1. – 30. Sekunde</i>	75,93	20,86	74,86	22,72	79,67	16,81
<i>31. – 120. Sekunde</i>	79,39	19,62	76,50	21,33	84,59	19,06
<i>1. – 120. Sekunde</i>	78,45	18,22	76,03	20,61	83,32	17,31

4.1.2 Hautleitfähigkeit

Abbildung 12 zeigt die Reaktion der Hautleitfähigkeit während der 2-minütigen Beschallung in der Bedingung 50 km/h, Beschleunigung im 2. Gang. Es fällt auf, dass alle drei Kurven während der ersten Sekunden einen Anstieg über 110 % des Ausgangswerts erreichen. Die Kurven des Diesel-Fahrzeugs und der Limousine zeigen danach einen langsamen Abfall, wohingegen die Werte für den Mittelklasse-Benziner auf einem hohen Niveau verbleiben, mit einem erneuten Anstieg nach 75 Sekunden.

Tab 5 gibt die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Hautleitfähigkeitsreaktion in den Zeiträumen 1. – 30. und 31. – 120. Sekunde sowie zusammenfassend für den gesamten Zeitraum 1. – 120. Sekunde wieder. Diese Mittelwertunterschiede sind jedoch nicht signifikant. Im Detail sind die deskriptiven Ergebnisse in Anhang 4 wiedergegeben.

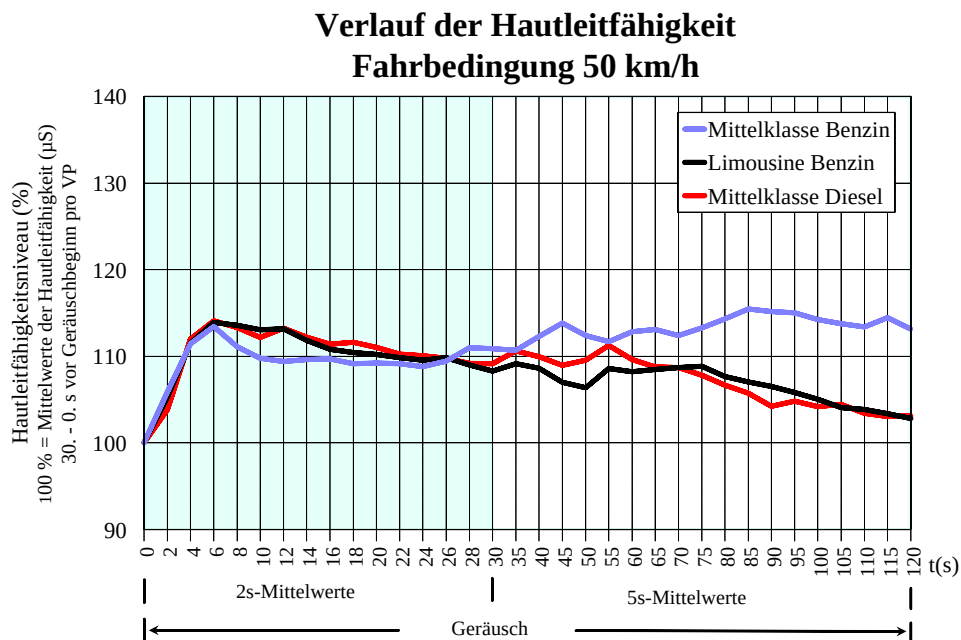


Abb.12: Hautleitfähigkeit während 2-minütiger Beschallung mit Vorbeifahrtgeräuschen drei verschiedener Pkw (Mittelklassewagen Dieselmotor, Mittelklassewagen Benzinmotor, Limousine Benzinmotor) in der Bedingung 50 km/h, Beschleunigung im 2. Gang

Tab. 5: Mittelwert und Standardabweichungen für die Veränderung der Hautleitfähigkeit (in % des Baseline-Wertes von 100) für die drei Fahrzeuge während der verschiedenen Zeitabschnitte des Vorbeifahrtgeräusches 50 km/h

Wagentyp Zeitintervall	Mittelklassewagen Dieselmotor		Mittelklassewagen Benzinmotor		Limousine Benzinmotor	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1. – 30. Sekunde	110,89	20,93	109,86	10,80	110,66	15,47
31. – 120. Sekunde	107,04	16,81	113,29	26,42	106,61	17,40
1. – 120. Sekunde	108,00	17,15	112,64	21,56	107,66	14,96

4.1.3 Generelle Beurteilung

Die Probanden wurden aufgefordert, in einer „generellen Beurteilung“ die verschiedenen Vorbeifahrtgeräusche zu bewerten. Aus den in Tab. 6 wiedergegebenen Mittelwerten sind einige Tendenzen zu entnehmen: Das Vorbeifahrtgeräusch des Diesel-Fahrzeugs wird am wenigstens gemocht, und gleichzeitig ist seine aktivierende Wirkung am geringsten.

Tab. 6: Skalen-Mittelwerte und Standardabweichungen für die generelle Beurteilung der drei Fahrzeuggeräusche in der Bedingung 50 km/h und Signifikanzniveau der MW-Unterschiede (multivariate Tests in SPSS-Prozedur „Allgemeines lineares Modell – Messwiederholungen“)

Wagentyp Urteil	Mittelklassewagen, Dieselmotor		Mittelklasse- Wagen, Ben- zinmotor		Limousine Benzinmotor		Signi- fikanz
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	p
<i>Ich mag dieses Geräusch sehr (1) ... überhaupt nicht (9)</i>	6,21	1,53	5,67	1,58	5,79	1,62	.242
<i>Ich fühle mich sehr angenehm (- 4) sehr unangenehm (+ 4)</i>	0,83	1,24	0,38	1,41	1,00	1,35	.070
<i>Ich fühle mich sehr deaktiviert (- 4) sehr aktiviert (+ 4)</i>	0,58	1,10	0,79	1,32	0,88	1,26	.595

Das Limousinengeräusch erreicht einen etwas höheren Wert als der Diesel hinsichtlich des Urteils „sich unangenehm fühlen“, und die Versuchspersonen fühlen sich bei diesem Ge-

räusch am meisten aktiviert. Der Mittelklasse-Benziner erhält relativ positive Bewertungen – das Geräusch wird am ehesten gemocht, und die Versuchspersonen fühlen sich dabei mit Abstand am angenehmsten. Die Mittelwerte liegen jedoch alle in einem engen Bereich nicht weit vom Mittelpunkt der Skalen, und entsprechend sind die Unterschiede alle nicht statistisch signifikant. Man darf wohl folgern, dass die Unterschiede zwischen den Geräuschen in dieser Fahrbedingung relativ gering und die Unterschiede daher eher zufällig sind.

4.1.4 Direkter Geräuschvergleich

Der direkte Geräuschvergleich der drei unterschiedlichen Fahrzeuge wurde direkt nach der Darstellung der drei Geräuschsituationen vorgenommen. Abb. 13 zeigt die Summenwerte der Rangplätze der drei Vorbeifahrtgeräusche für die Dimensionen laut, belästigend, gefährlich und unangenehm. Die genaue Häufigkeitsverteilung der Urteile wird in Anhang 5 wiedergegeben.

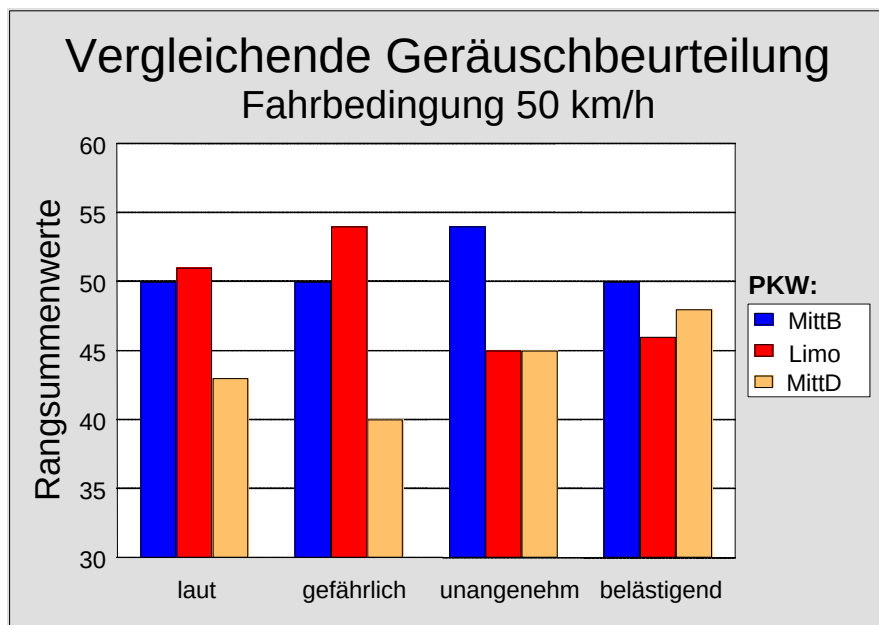


Abb. 13: Rangsummenwerte der Geräuschbeurteilung der Vorbeifahrtgeräusche drei verschiedener Pkw (Mittelklassewagen Dieselmotor, Mittelklassewagen Benzinmotor, Limousine Benzinmotor) in der Bedingung 50 km/h, Beschleunigung im 2. Gang

In dieser Bedingung sind die Unterschiede zwischen den drei Fahrzeugen nicht sehr bedeutend. Der Mittelklasse-Benziner wurde etwas öfter als unangenehm empfunden, die Limousine als etwas gefährlicher wahrgenommen. Der Diesel schneidet relativ gut ab – das Geräusch wird z. B. deutlich als weniger laut und weniger gefährlich eingestuft.

4.2 Versuchsbedingung Kfz-Vorbeifahrt 70 km/h, 3. Gang, konstante Geschwindigkeit

4.2.1 Fingerpulsamplitude (FPA)

Die Kurven der FPA zeigen nach 8 Sekunden einen deutlichen Abfall unter den Ausgangswert mit einem darauf folgenden erneuten Anstieg. (Abb. 12). Bis zur 30. Sekunde sind 2-s-Mittelwerte dargestellt, danach 5-s-Mittelwerte. Dieser Verlauf entspricht auch hier einer typischen Reaktion auf einen Schallreiz mit ausreichender Lautstärke.

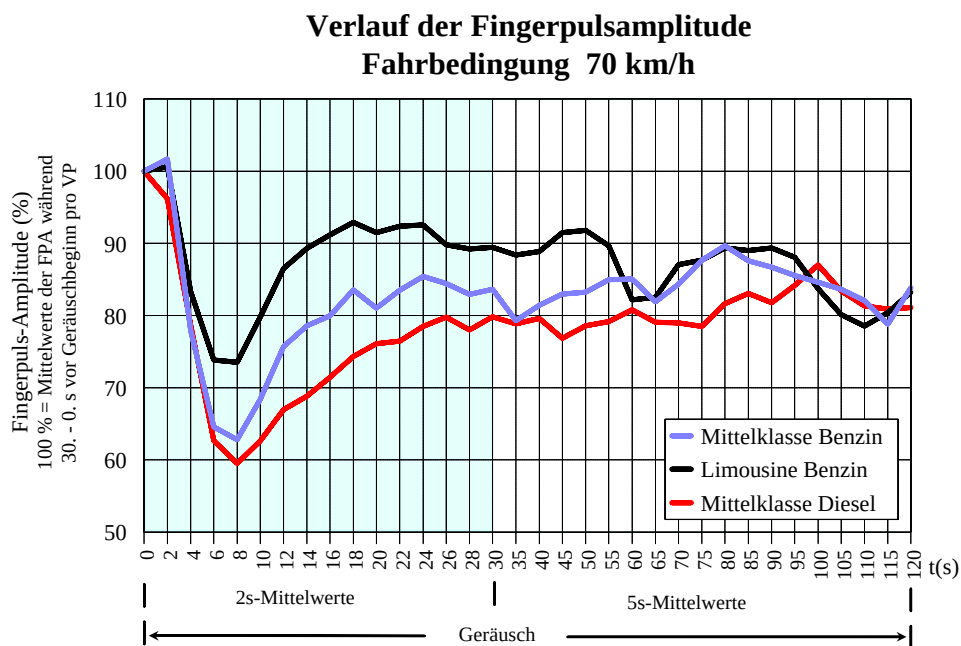


Abb. 14: Fingerpulsamplitude während 2-minütiger Beschallung mit Vorbeifahrtgeräuschen drei verschiedener Pkw (Mittelklassewagen Dieselmotor, Mittelklassewagen Benzinmotor, Limousine Benzinmotor) in der Bedingung 70 km/h, konstante Geschwindigkeit, 3. Gang

Es fällt auf, dass bei dem Vorbeifahrtgeräusch der Limousine der Amplitudenabfall deutlich geringer ist als bei den beiden anderen Fahrzeugen und dass hier bereits nach 20 Sek. bis zu 90 % des Ausgangswerts wieder erreicht werden. Die Werte für den Mittelklasse-Benziner und insbesondere für das Dieselfahrzeug bleiben während des ganzen Versuchs auf einem niedrigen Niveau. Für das Zeitintervall 8.-16. Sek. sind diese Unterschiede signifikant (s. Anhang 6). Nach ca. 60 Sekunden nähern sich alle drei Kurven einander an und bleiben bei ca. 80 % des Ausgangswerts.

Tab. 7 gibt die Mittelwerte und Standardabweichungen für die FPA-Veränderung in den Zeiträumen 1. – 30., 31. – 120. Sekunde und für den gesamten Zeitraum (1. – 120. Sekunde) wieder. Diese Mittelwertunterschiede wurden für jeden Zeitraum separat mit Varianzanalysen für Messwiederholungen überprüft. Dabei ergab sich für die Initialreaktion der FPA in den ersten 30 s ein signifikanter Effekt des Fahrzeugtyps.

Tab. 7: Mittelwert und Standardabweichungen für die Veränderung der Fingerpulsamplitude (in % des Baseline-Wertes von 100) für die drei Fahrzeuge während der 1. bis 30. und 31. bis 120. Sekunde des Vorbeifahrtgeräusches 70 km/h

Wagentyp Zeitintervall	Mittelklassewagen Dieselmotor		Mittelklassewagen Benzinmotor		Limousine Benzinmotor	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
<i>1. – 30. Sekunde</i>	74,07	21,09	79,73	16,69	87,59	22,22
<i>31. – 120. Sekunde</i>	80,66	27,26	84,00	20,60	86,04	25,03
<i>1. – 120. Sekunde</i>	78,94	24,29	82,87	18,51	86,33	23,01

Aus dem umfangreichen SPSS-Ausdruck der Ergebnisse bei dieser Rechenprozedur wird in Tab. 8 nur der Abschnitt „Tests der Innersubjekteffekte“ als Beleg wiedergegeben. Der „Innersubjekteffekt“ ist jener Teil der aufzuklärenden Varianz, der durch den Wiederholungsfaktor – in diesem Fall also die 3 unterschiedlichen Fahrzeugtypen – in allen Personen hervorgerufen wird und sich auf rechnerischem Wege z. B. von der Varianz zwischen den verschiedenen Personen trennen lässt. Es werden in SPSS verschiedene Prüfgrößen angegeben, die Korrekturen enthalten für den Fall, dass die Sphärizitätshypothese abgelehnt wird. In diesem Fall ist Sphärizität gegeben, so dass sich aus der Tabelle ein signifikantes Resultat der Varianzanalyse mit $p = .048$ ergibt.

Tab. 8: Test der Innersubjekteffekte aus der Varianzanalyse (SPSS-Prozedur Allgemeines Lineares Modell, Messwiederholungen) für die FPA bei den 3 Fahrzeuggeräuschen in Fahrbedingung 70 km/h (Zeitabschnitt 1. – 30. s)

Tests der Innersubjekteffekte						
Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
GERÄUSCH	Sphärizität angenommen	2213,333	2	1106,667	3,236	0,048
	Greenhouse-Geisser	2213,333	1,901	1164,474	3,236	0,051
	Huynh-Feldt	2213,333	2,000	1106,667	3,236	0,048
	Untergrenze	2213,333	1,000	2213,333	3,236	0,085
Fehler (GERÄUSCH)	Sphärizität angenommen	15733,240	46	342,027		
	Greenhouse-Geisser	15733,240	43,716	359,893		
	Huynh-Feldt	15733,240	46,000	342,027		
	Untergrenze	15733,240	23,000	684,054		

4.2.2 Hautleitfähigkeit

Die Hautleitfähigkeit zeigt eine deutliche Reaktion auf die Kfz-Vorbeifahrtgeräusche (Abb. 15). Bis zur 30. Sekunde sind 2-s-Mittelwerte dargestellt, danach 5-s-Mittelwerte.

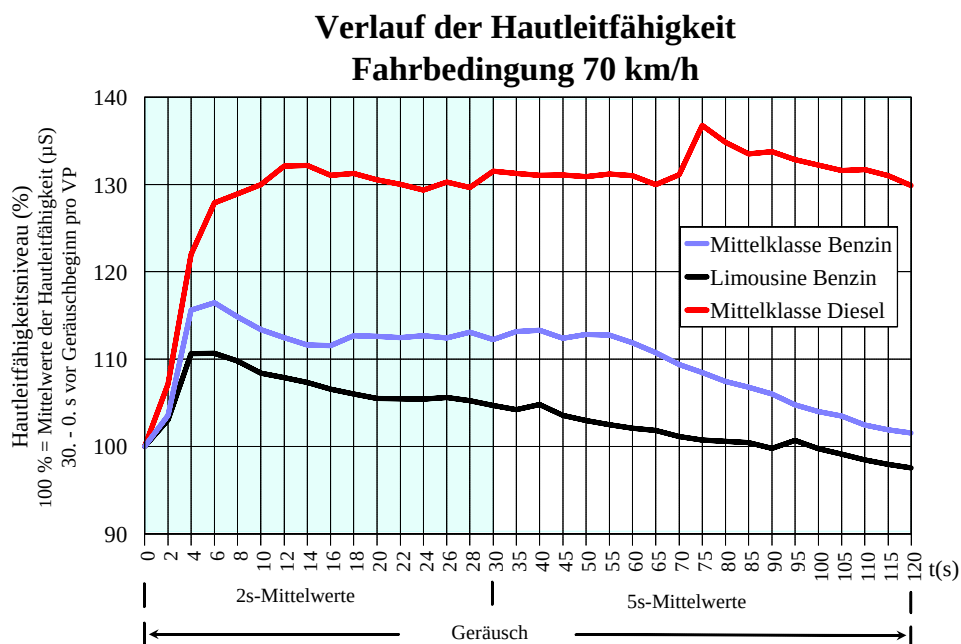


Abb. 15: Hautleitfähigkeit während 2-minütiger Beschallung mit Vorbeifahrtgeräuschen drei verschiedener Pkw (Mittelklassewagen Dieselmotor, Mittelklassewagen Benzinmotor, Limousine Benzinmotor) in der Bedingung 70 km/h, konstante Geschwindigkeit, 3. Gang

Die stärkste Reaktion findet sich bei der Geräuscharbietung des Diesel-Fahrzeugs mit einem Anstieg der Kurve auf über 130 % des Ausgangswerts. Dagegen werden für die Limousine bzw. für den Mittelklasse-Benziner nur Werte von 110 % bzw. 116 % erreicht. Die Kurven der beiden letztgenannten Fahrzeuge zeigen danach einen raschen Abfall zurück zum Ausgangswert, wohingegen die Werte für den Diesel auf einem hohen Niveau verblieben, mit einem erneuten Anstieg nach 75 Sekunden.

In Tab. 9 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen für jedes Fahrzeug in den zusammengefassten Zeitabschnitten wiedergegeben: 1. - 30. Sekunde, 31. - 120. Sekunde und schließlich 1. - 120. Sekunde. Die detaillierten Ergebnisse für die 2- bzw. 5-Sekunden-Abschnitte sind in Anhang 7 aufgelistet.

Tab. 9: Mittelwert und Standardabweichungen für die Veränderung der Hautleitfähigkeit (in % des Baseline-Wertes von 100) für die drei Fahrzeuge während der 1. bis 30., 31. bis 120. und 1. - 120. Sekunde des Vorbeifahrtgeräusches 70 km/h

Wagentyp Zeitintervall	Mittelklassewagen Dieselmotor		Mittelklassewagen Benzinmotor		Limousine Benzinmotor	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1. - 30. Sekunde	130,89	45,85	112,40	17,95	106,86	7,75
31. - 120. Sekunde	143,32	73,95	108,02	21,72	100,95	9,41
1. - 120. Sekunde	140,46	64,26	109,13	19,61	102,39	8,63

In der multivariaten Varianzanalyse erweisen sich diese Mittelwertunterschiede für jeden Zeitabschnitt als statistisch signifikant. Exemplarisch werden in Tab. 10 die Ergebnisse des Tests auf Innersubjekteffekte für den umfassendsten Zeitraum, die 1. bis 120. Sekunde, wiedergegeben. Da in diesem Fall die Nullhypothese der Sphärizität im Mauchly-Test zurückgewiesen wurde, sollte der konservative Greenhouse-Geisser-Test herangezogen werden, der eine Korrektur der Freiheitsgrade vornimmt. Auch mit diesem Test ergibt sich jedoch eine deutliche Signifikanz von $p = .007$ bzgl. der festgestellten Mittelwertsunterschiede zwischen den Fahrzeugtypen.

Tab. 10: Test der Innersubjekteffekte aus der Varianzanalyse (SPSS-Prozedur Allgemeines Lineares Modell, Messwiederholungen) für die SCL bei den 3 Fahrzeuggeräuschen in Fahrbedingung 70 km/h (Zeitabschnitt 1. – 120. s)

Tests der Innersubjekteffekte						
Quelle		Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
GERÄUSCH	Sphärizität angenommen	10600,245	2,000	5300,122	6,996	0,002
	Greenhouse-Geisser	10600,245	1,378	7693,338	6,996	0,007
	Huynh-Feldt	10600,245	1,440	7362,623	6,996	0,006
	Untergrenze	10600,245	1,000	10600,245	6,996	0,015
Fehler (GERÄUSCH)	Sphärizität angenommen	33333,274	44,000	757,574		
	Greenhouse-Geisser	33333,274	30,313	1099,649		
	Huynh-Feldt	33333,274	31,674	1052,379		
	Untergrenze	33333,274	22,000	1515,149		

4.2.3 Generelle Beurteilung

Tab. 11 zeigt die Ergebnisse für die generelle Beurteilung der drei Fahrzeuggeräusche in der Bedingung 70 km/h, 3. Gang, konstante Geschwindigkeit.

Tab. 11: Skalen-Mittelwerte und Standardabweichungen für die generelle Beurteilung der drei Fahrzeuggeräusche in der Bedingung 70 km/h und Signifikanzniveau der MW-Unterschiede (multivariate Tests in SPSS-Prozedur „Allgemeines lineares Modell – Messwiederholungen“)

Wagentyp Urteil	Mittelklasse-wagen Dieselmotor		Mittelklasse-wagen Benzinmotor		Limousine Benzinmotor		Signi-fikanz
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	p
<i>Ich mag dieses Geräusch sehr (1) überhaupt nicht (9)</i>	5,83	1,40	5,96	1,55	5,57	1,41	.428
<i>Ich fühle mich sehr angenehm (- 4) sehr unangenehm (+ 4)</i>	0,58	1,32	0,79	1,29	0,21	1,47	.211
<i>Ich fühle mich sehr deaktiviert (- 4) sehr aktiviert (+ 4)</i>	0,58	1,44	0,29	1,27	- 0,17	1,05	.092

Das Geräusch des Mittelklasse-Benziners wird am wenigstens gemocht, und die Versuchspersonen fühlen sich beim Hören am unangenehmsten. Die Limousine dagegen wird in allen Kategorien am besten bewertet. Beim Hören des Diesel-Fahrzeugs fühlen sich die Probanden

am meisten aktiviert. Bzgl. der Skala „Aktiviertheit“ sind die Unterschiede am stärksten ausgeprägt – in der Varianzanalyse für Messwiederholungen wird ein signifikantes Ergebnis mit $p = .059$ nur knapp verfehlt.

4.2.4 Direkter Geräuschvergleich

Es zeigt sich in Abb. 16, dass das Vorbeifahrtgeräusch des Diesel-Fahrzeugs als deutlich gefährlicher, unangenehmer und belästigender bewertet wird als die beiden anderen. Am positivsten wird die Limousine beurteilt, die in drei von vier Dimensionen am besten abschneidet. Insgesamt decken sich die Ergebnisse der subjektiven Bewertung mit den physiologischen Reaktionen. Tendenziell ist auch eine Übereinstimmung mit den im vorigen Abschnitt vorgestellten Ergebnissen der generellen Beurteilung gegeben. Allerdings war dort der Diesel mit Ausnahme der Aktiviertheit etwa auf gleicher Ebene mit dem Mittelklasse-Benziner. Die genaue Häufigkeitsverteilung der Antworten wird in Anhang 8 wiedergegeben.

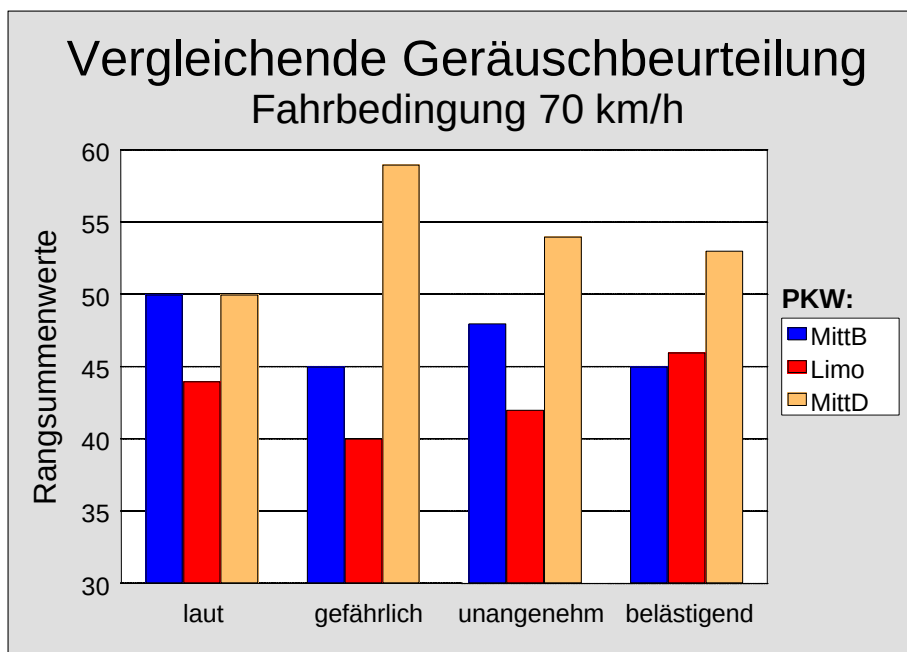


Abb. 16: Rangsummenwerte der Geräuschbeurteilung der Vorbeifahrtgeräusche drei verschiedener Pkw in der Bedingung 70 km/h, 3. Gang, konstante Geschwindigkeit

4.3 Versuchsbedingung Kfz-Vorbeifahrtgeräusch mit Bremsen-Leerlauf-Anfahren (B-L-A)

4.3.1 Fingerpulsamplitude (FPA)

Abbildung 17 zeigt die Kurven der FPA während 2-minütiger Beschallung mit Vorbeifahrtgeräuschen drei verschiedener Pkw in der Bedingung Bremsen-Leerlauf-Anfahren. In dieser Fahrbedingung ist der anfängliche Kurvenabfall der FPA bei allen Geräuschen bis zu 60-55% des Ausgangswerts deutlich auffälliger als der initiale Abfall in den beiden bisher besprochenen Fahrbedingungen.

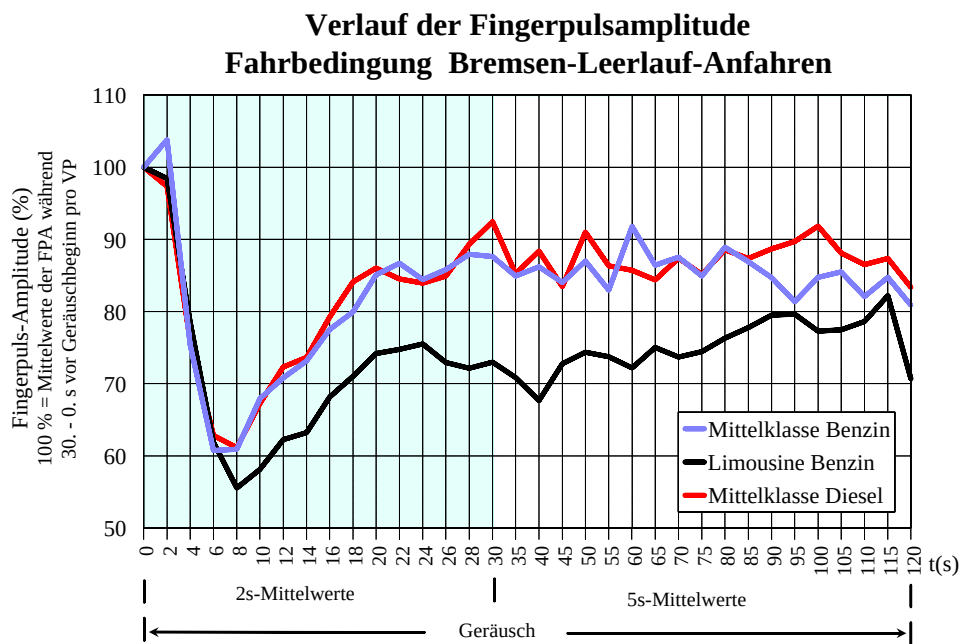


Abb. 17: Fingerpulsamplitude während 2-minütiger Beschallung mit Vorbeifahrtgeräuschen dreier verschiedener Pkw (Mittelklassewagen Dieselmotor, Mittelklassewagen Benzinmotor, Limousine Benzinmotor) in der Bedingung Bremsen-Leerlauf-Anfahren

Die stärkste Reaktion findet sich diesmal bei der Geräuscharbietung der Limousine mit einem Abfall der Kurve bis zu 55 % des Ausgangswerts. Alle drei Kurven der FPA zeigen nach 8 Sekunden einen Wiederanstieg. Allerdings bleiben die Werte der Limousine unter 80 % des Ausgangswerts. Nach ca. 35 Sekunden erreichen die Kurven des Mittelklasse-Benziners und des Diesel-Fahrzeugs 90 % des Ausgangswerts, während die Werte der Limousine auf einem Niveau von ca. 70 % verbleiben.

Die Mittelwerte für die einzelnen Zeitabschnitte sind Anhang 9 zu entnehmen. Tab. 12 gibt die Mittelwerte und Standardabweichungen der FPA in den drei Geräuschsituationen für die drei übergreifenden Zeiträume 1. – 30. s, 31. – 120. s und 1. – 120. s wieder.

Tab. 12: Mittelwert und Standardabweichungen für die Veränderung der Fingerpulsamplitude (in % des Baseline-Wertes von 100) für die drei Fahrzeuge während der 1. bis 30., 31. bis 120. und 1. – 120. Sekunde des Vorbeifahrtgeräusches B-L-A

Wagentyp Zeitintervall	Mittelklassewagen Dieselmotor		Mittelklassewagen Benzinmotor		Limousine Benzinmotor	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1. – 30. Sekunde	79,86	22,89	79,25	23,30	70,69	16,91
31. – 120. Sekunde	87,04	24,50	85,23	29,86	75,18	15,11
1. – 120. Sekunde	85,23	23,36	83,68	27,50	74,02	14,04

In der Varianzanalyse für Messwiederholungen (SPSS-Prozedur „Allgemeines lineares Modell“) ergibt sich für die FPA in der Fahrbedingung B-L-A in den multivariaten Tests ein signifikanter Effekt zwischen den verschiedenen Fahrzeugen, allerdings auch nur für den Zeitraum 1.–30. s. Tab. 13 zeigt den entsprechenden Ausschnitt aus dem SPSS-Outout.

Von den vier angebotenen Tests wird Pillai-Spur als robustester und stärkster angesehen (Bühl & Zöfel 2002, S. 409), aber im Ergebnis stimmen alle Tests überein: Der Effekt des Faktors „Fahrzeuge“ auf die FPA-Veränderungen der Vpn in den drei Geräuschen der Fahrbedingung „Bremsen – Leerlauf – Anfahrt“ ist signifikant mit $p = .044$. Trotz der großen Standardabweichung, die bei physiologischen Maßen leider oft zu beobachten ist, enthalten die Messwerte einen eindeutigen Trend.

Tab. 13: Multivariate Tests aus der SPSS-Prozedur „Allgemeines lineares Modell – Messwiederholungen“ für die FPA-Veränderungen im Zeitraum 1. – 30. s für die Fahrbedingung „Bremsen – Leerlauf – Anfahren“

Multivariate Tests						
Effekt		Wert	F	Hypothese df	Fehler df	Signifikanz
Fahrzeug	Pillai-Spur	0,247	3,600	2	22	0,044
	Wilks-Lambda	0,753	3,600	2	22	0,044
	Hotelling-Spur	0,327	3,600	2	22	0,044
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	0,327	3,600	2	22	0,044

4.3.2 Hautleitfähigkeit

Die Hautleitfähigkeit zeigt einen deutlichen Anstieg während der ersten Sekunden der Geräuscharbietung (Abb. 18).

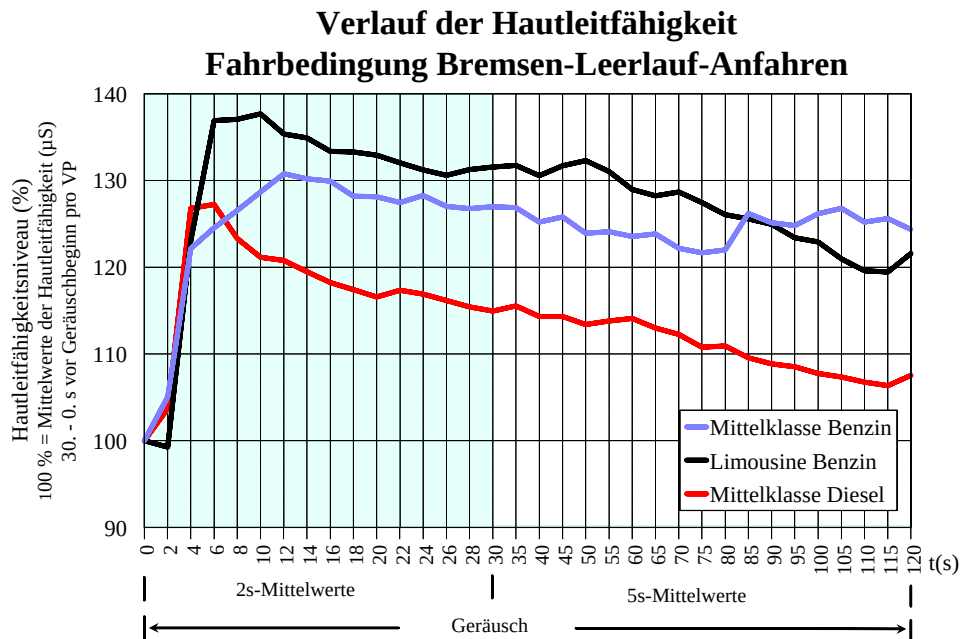


Abb. 18: Hautleitfähigkeit während 2-minütiger Beschallung mit Vorbeifahrtgeräuschen drei verschiedener Pkw (Mittelklassewagen Dieselmotor, Mittelklassewagen Benzinmotor, Limousine Benzinmotor) in der Bedingung Bremsen-Leerlauf-Anfahren

Die stärkste Reaktion findet sich bei der Geräuscharbietung der Limousine. Der Anstieg der Kurven ist deutlich stärker ausgeprägt im Vergleich zu den Kurven der Fahrbedingungen 50 km/h und 70 km/h. Danach nähern sich alle drei Verläufe langsam wieder dem Ausgangswert, wobei allerdings die Reaktion bei der Geräuscharbietung der Limousine auffällt. Bei diesem Geräusch bleiben die Werte während der meisten Zeit der Beschallung auf einem Niveau zwischen 120 und 130% und damit auf einem höheren Level als beim Mittelklasse-Benziner. Die Kurve des Diesel-Fahrzeugs zeigt den schnellsten Abfall bis hin zum Ausgangswert noch während der Geräuscharbietung.

In Tab. 14 werden wiederum die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Veränderungen der Hautleitfähigkeit in den übergreifenden Zeitabschnitten dargestellt. In komprimierter Form zeigen sich auch hier die anhand der Grafik beschriebenen Verläufe. Detaillierte Zahlenangaben zu den einzelnen 2- und 5-s-Abschnitten finden sich in Anhang 10.

Wie schon bei der FPA ergeben sich auch für die Hautleitfähigkeit in der Varianzanalyse signifikante Effekte in den multivariaten Tests, und auch hier wieder nur für die ersten 30 s. Tab. 15 gibt den entsprechenden Auszug aus dem SPSS-Ausdruck wieder. Danach besteht in dieser Anfangsphase der Geräuscharbietungen ein deutlicher Unterschied zwischen den verschiedenen Fahrzeugen ($p = .037$) in der Wirkung auf die Veränderungen der Hautleitfähigkeit.

Tab. 14: Mittelwert und Standardabweichungen für die Veränderung der Hautleitfähigkeit (in % des Baseline-Wertes von 100) für die drei Fahrzeuge während der 1. bis 30., 31. bis 120. und 1. – 121. Sekunde des Vorbeifahrtgeräusches B-L-A

Wagentyp Zeitintervall	Mittelklassewagen Dieselmotor		Mittelklassewagen Benzinmotor		Limousine Benzinmotor	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
1. – 30. Sekunde	117,53	18,68	126,19	27,49	130,60	38,79
31. – 120. Sekunde	110,96	21,29	124,70	43,97	126,50	40,32
1. – 120. Sekunde	112,51	19,87	125,08	38,62	127,59	39,45

Tab. 15: Multivariate Tests aus der SPSS-Prozedur „Allgemeines lineares Modell – Messwiederholungen“ für die SCL-Veränderungen im Zeitraum 1. – 30. s für die Fahrbedingung „Bremsen – Leerlauf – Anfahren“

Multivariate Tests						
Effekt		Wert	F	Hypothese df	Fehler df	Signifikanz
Fahrzeug	Pillai-Spur	0,269	3,857	2	22	0,037
	Wilks-Lambda	0,731	3,857	2	22	0,037
	Hotelling-Spur	0,367	3,857	2	22	0,037
	Größte charakteristische Wurzel nach Roy	0,367	3,857	2	22	0,037

4.3.3 Generelle Beurteilung

Bei der generellen Beurteilung der Fahrbedingung Bremsen-Leerlauf-Anfahren wurde das Mittelklasse-Diesel-Fahrzeug wie bereits bei der 50 km/h Situation am wenigsten gemocht und die Probanden fühlen sich bei diesem Geräusch am unangenehmsten – beides mit deutlichem Abstand zu den beiden anderen Geräuschen. Beim Fahrgeräusch des Mittelklasse-Benziner-Wagens fühlten sich die Versuchsteilnehmer am stärksten aktiviert. Tab. 16 zeigt die Auswertung für die drei verschiedenen Bewertungen.

Wie die Signifikanzniveaus der Mittelwertvergleiche (multivariate Tests in der SPSS-Prozedur „Allgemeines lineares Modell – Messwiederholungen“) zeigen, finden sich bei dieser Fahrbedingung die klarsten Unterschiede in der Bewertung der drei Fahrzeuggeräusche. Sowohl die Skala „Mögen des Geräusches“ ($p = .003$) wie die Skala „sich angenehm fühlen“ ($p = .008$) zeigen eine hohe statistische Signifikanz für den Einfluss des Fahrzeugtyps.

Tab. 16: Skalen-Mittelwerte und Standardabweichungen für die generelle Beurteilung der drei Fahrzeuggeräusche in der Bedingung B-L-A und Signifikanzniveau der MW-Unterschiede (multivariate Tests in SPSS-Prozedur „Allgemeines lineares Modell – Messwiederholungen“)

Wagentyp Urteil	Mittelklasse- wagen Dieselmotor		Mittelklasse- wagen Benzinmotor		Limousine Benzinmotor		Signi- fikanz
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	p
<i>Ich mag dieses Geräusch sehr (1) überhaupt nicht (9)</i>	7,05	1,40	5,86	1,78	5,59	1,76	.003
<i>Ich fühle mich sehr angenehm (- 4) sehr unangenehm (+ 4)</i>	1,75	1,33	1,00	1,62	0,50	1,67	.008
<i>Ich fühle mich sehr deaktiviert (- 4) sehr aktiviert (+ 4)</i>	1,08	1,08	1,42	1,10	0,79	1,14	.110

Gelöscht: 1
1

4.3.4 Direkter Geräuschvergleich

Die Bewertung der drei Vorbeifahrtgeräusche im direkten Geräuschvergleich für die Bremsen-Leerlauf-Anfahren-Situation zeigt widersprüchliche Tendenzen: Im Gegensatz zu den

klaren Ergebnissen der generellen Beurteilung bekam das Diesel-Fahrzeug zwar die höchste Punktzahl für „laut“ und „unangenehm“, aber der Unterschied zum Mittelklasse-Benziner-Fahrzeug ist in beiden Fällen gering. Der Mittelklasse-Benziner wird in dieser Bedingung in etwa gleichem Maße als gefährlich und belästigend empfunden. Die Limousine bekommt in drei von vier Vergleichen deutlich die niedrigste Punktzahl. Anhang 11 gibt die genaue Häufigkeitsverteilung für die Antworten wieder.

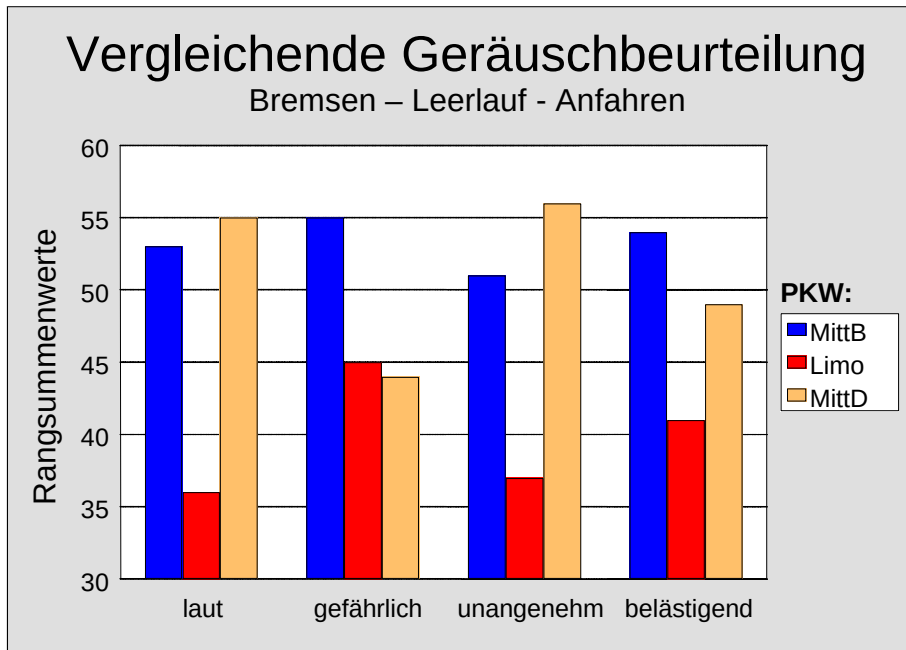


Abb. 19: Rangsummenwerte der Geräuschbeurteilung der Vorbeifahrtgeräusche drei verschiedener Pkw in der Bedingung Bremsen-Leerlauf-Anfahren

4.4 Vergleich der drei Fahrbedingungen

4.4.1 Generelle Beurteilungen

Generelle Beurteilungen eignen sich besonders gut zum Vergleich aller Geräusche, weil die Einschätzungen auf derselben Linearskala von 1 bis 9 gegeben werden. Dadurch ist es prinzipiell möglich, alle neun Geräusche insgesamt zu vergleichen, um einen besseren Überblick über Interaktionen zwischen Fahrbedingungen und Fahrzeugtypen zu bekommen. Methodisch ist bei einer solchen Betrachtung immer noch die Einschränkung gegeben, dass die Reihenfolge nicht über alle Geräusche variiert wurde, sondern die drei Geräusche einer Fahrsituation

hintereinander abgespielt wurden. Dennoch ist eine gewisse Einschätzung der Relationen zwischen den verschiedenen Fahrbedingungen möglich und sinnvoll. Deshalb sollen im Folgenden die generellen Beurteilungen, die bisher immer nur für die drei Geräusche einer Fahr-situation besprochen und verglichen wurden, nun übergreifend für alle neun Geräusche ge-meinsam verglichen werden.

Eine sehr grundsätzliche Einschätzung eines Geräusches ist die generelle Beurteilung „Ich mag dieses Geräusch“ auf einer 9-stufigen Zahlenskala von „sehr“ bis „überhaupt nicht“. Ab-bildung 20 zeigt die Situationseinschätzung für alle Geräusche in einer gemeinsamen Über-sicht.

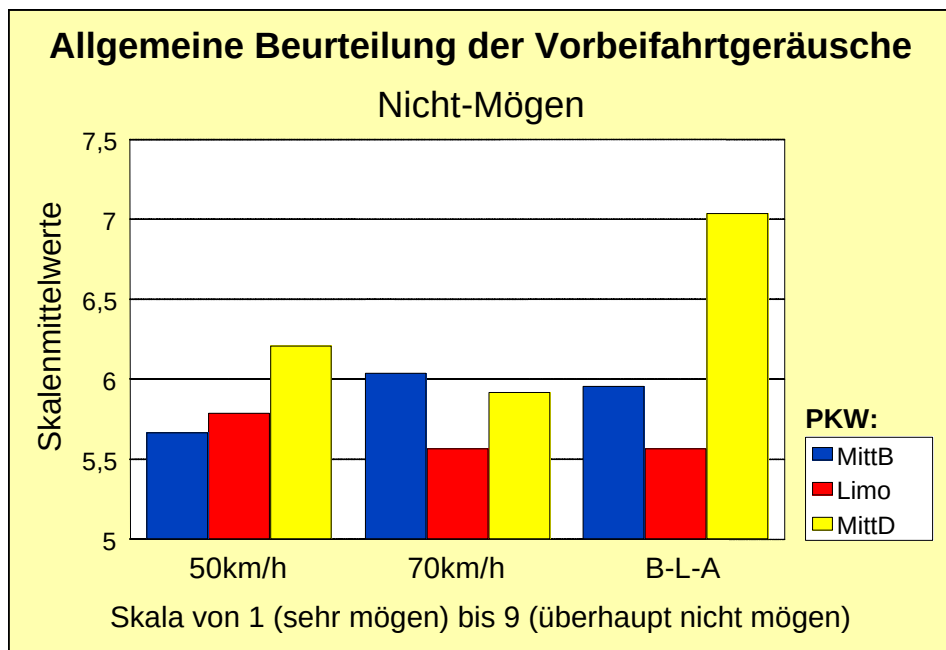


Abb. 20: Skalenmittelwerte der generellen Beurteilung „Ich mag dieses Geräusch sehr überhaupt nicht“ für alle neun Fahrzeuggeräusche

Es ist leicht ersichtlich, dass eine Interaktion zwischen den Fahrbedingungen und Fahrzeugty-pen besteht: Es gibt kein Fahrzeug, das am meisten oder wenigstens in jeder Bedingung ge-mocht wird und es gibt keine Bedingung, die die beste oder schlechteste für alle Fahrzeuge ist. Festgehalten werden kann:

- Das Vorbeifahrtgeräusch des Diesel-Fahrzeugs wird in zwei Bedingungen am wenigsten gemocht. Insbesondere fällt die B-L-A-Situation mit einer Bewertung von > 7.0 besonders ins Auge.
- Die Limousine wird in zwei Fahrsituationen am günstigsten bewertet. In der dritten Situation (50 km/h) liegt der Wert etwa ähnlich wie beim Mittelklasse-Benziner.
- Generell gesehen liegt der Mittelklasse-Benziner auf der mittleren Position. Nur in der 70 km/h Bedingung wird dieser ein wenig höher gewertet als die beiden anderen Fahrzeuge.

4.4.2 Beurteilung der subjektiven Empfindungen

Abbildung 21 und 22 zeigen die Ergebnisse für die subjektiven Beurteilungen „unangenehm“ und „aktiviert“ – beide auf einer Skala von -4 bis +4 bewertet.

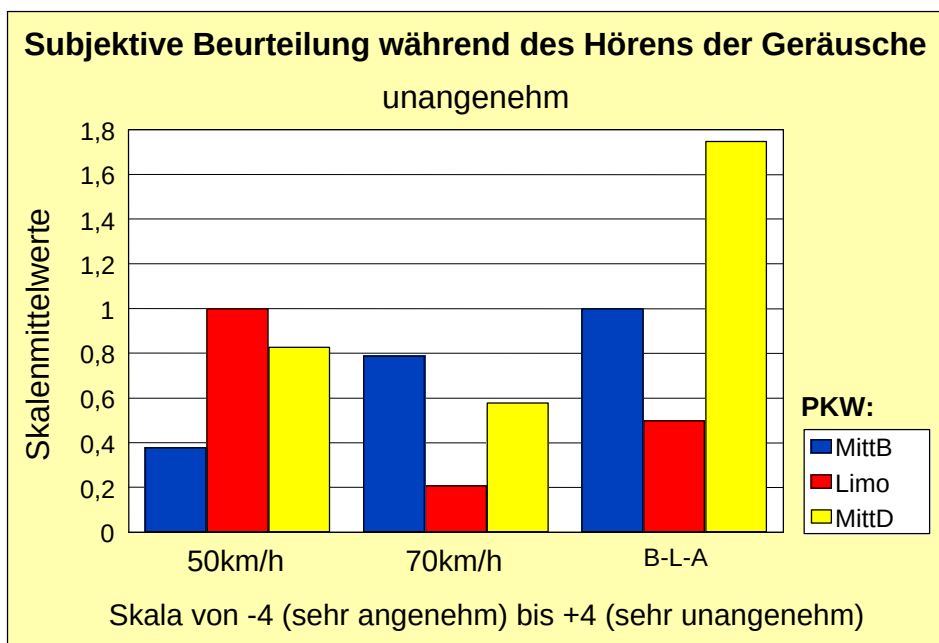


Abb. 21: Mittelwerte der generellen Beurteilung “Ich fühle mich sehr angenehm – sehr unangenehm” für alle neun Fahrzeuggeräusche

Wie Abb. 21 zeigt, fühlen sich die Probanden bei allen Geräusche unangenehm, am stärksten beim Diesel-Fahrzeug in der B-L-A-Situation, gefolgt vom Mittelklasse-Benziner in der B-L-A-Situation und der etwas überraschenden Spitzenposition der Limousine bei der 50 km/h

Bedingung. Im Großen und Ganzen sind die Relationen zwischen den verschiedenen Geräuschen bei dieser Bewertung nach dem unangenehmsten Gefühl recht ähnlich wie in der vorhergehenden Darstellung für die Abneigung gegen die Geräusche.

Abb. 22 zeigt hinsichtlich der Aktivierung einige Unterschiede: Die Fahrbedingung selbst scheint ein entscheidender Faktor zu sein, da alle Fahrzeuge hohe Bewertungen in der B-L-A-Bedingung sowie niedrige Bewertungen bei der 70 km/h Bedingung (konstante Geschwindigkeit) erhalten. Bei vergleichender Betrachtung der beiden Abbildung entsteht der Eindruck, dass die Bewertung der „Unangenehmheit“ und der „Aktivierung“ bzgl. eines Fahrzeuggeräusches schon relativ eng miteinander verbunden sind. Die größte Abweichung ist in der B-L-A-Situation zu beobachten, in der das Dieselgeräusch mit großem Abstand als unangenehmstes bewertet wird, während hinsichtlich Aktivierung der Mittelklasse-Benziner vor dem Dieselfahrzeug liegt.

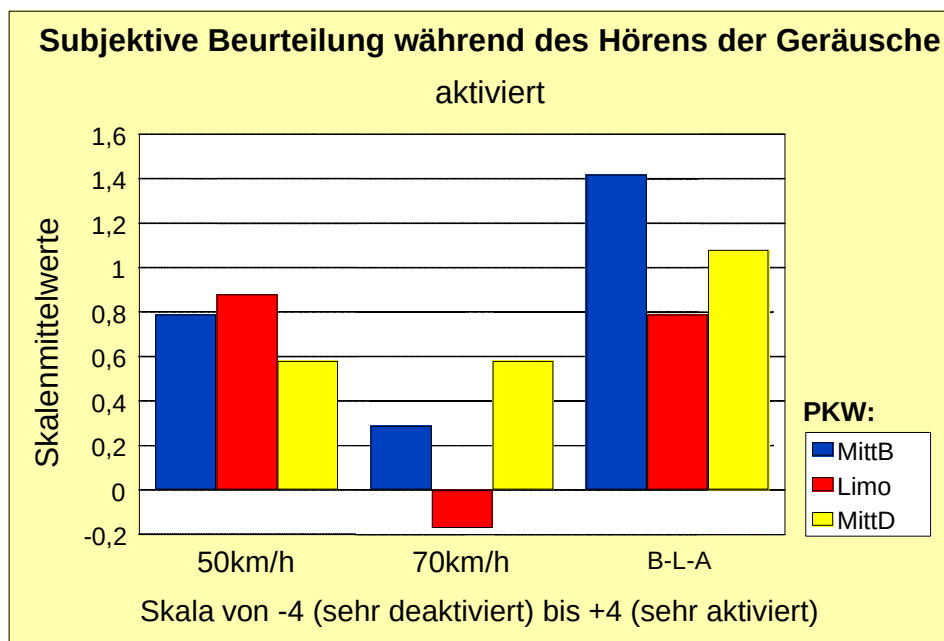


Abb. 22: Mittelwerte der generellen Beurteilung „Ich fühle mich sehr deaktiviert – sehr aktiviert“ für alle neun Fahrzeuggeräusche

4.5 Synopse aller Ergebnisse

Abschließend soll versucht werden, auf möglichst einfache Weise einen Überblick über die unterschiedlichen Bewertungen der physiologischen Reaktionen und subjektiven Beurteilungen zu geben, die in den vorherigen Kapiteln behandelt wurden. In Tab. 17 werden alle Ergebnisse entsprechend vereinfacht zusammengefasst, um Vergleiche zwischen den verschiedenen Dimensionen und Datenniveaus zu ermöglichen.

Tab. 17: Synopsis der unterschiedlichen Parameter für die physiologischen Variablen und subjektiven Bewertungen der Vorbeifahrtgeräusche dreier Fahrzeuge innerhalb dreier Fahrbedingungen

Bedingung:	50 km/h			70 km/h			B-L-A		
Wagentyp:	MittB	Limo	MittD	MittB	Limo	MittD	MittB	Limo	MittD
Physiologische Variablen									
Fingerpulsamplitude	--	-	-	--	-	---	-	---	-
Hautleitfähigkeit	-	-	-	--	-	---	--	---	-
Allgemeine Beurteilung									
das Geräusch nicht mögen	+	+	++	++	+	++	++	+	+++
sich unangenehm fühlen	+	++	++	++		+	++	+	+++
sich aktiviert fühlen	++	++	+	+		+	+++	++	++
Geräuschvergleich									
laut	++	++	+	++	+	++	+++		+++
gefährlich	++	++		+		+++	+++	+	+
unangenehm	+++	+	+	+	+	+++	++		+++
belästigend	++	++	++	+	+	+++	+++	+	++

Die Zeichen in der Tabelle sollen visuell einen Eindruck der Richtungen bzw. Stärken der Reaktionen bzw. Bewertungen vermitteln

- Bezüglich der physiologischen Parameter geben die Anzahl und der Weg der Richtungspfeiler die beobachtete physiologische Reaktion im Laufe des Experiments wieder (Abfall der FPA bzw. Anstieg der SCL).

- Im Hinblick auf die allgemeinen Beurteilungen und die Geräuschvergleiche mittels Fragebogen wird die Intensität der Antworten bezüglich der Stimuli durch 1 bis 3 „+“-Zeichen dargestellt. Diese beziehen sich auf die Richtung der Reaktion, wie sie in der Tabelle formuliert ist (also *nicht* mögen des Geräusches, sich *unangenehm* fühlen usw.). Leere Felder bedeuten, dass hier praktisch „null Reaktion“ vorliegt.

Grundlage dieser Ergebnisdarstellung sind die Bewertungen, die bereits bei der deskriptiven Vorstellung der Einzelergebnisse im Text geäußert wurden, also eine pointierte Einschätzung der vorliegenden Zahlenverhältnisse und der Resultate der Inferenzstatistik. Im Einzelfall kann eine solche Reduzierung einer Auswertung auf ein oder mehr Pluszeichen auch eine subjektive Entscheidung enthalten, aber dennoch erscheint es als interessantes Hilfsmittel, um einen Überblick über die zahlreichen, häufig divergenten Ergebnisse zu gewinnen.

Aus dieser Zusammenstellung können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Vergleicht man die Fahrbedingungen, so ruft die Fahrbedingung 50 km/h deutlich schwächere physiologische Antworten hervor als die beiden anderen Bedingungen.
- In der subjektiven „allgemeinen Beurteilung“ zeigt die B-L-A-Bedingung höhere Ausprägungen in fast allen Skalen als die beiden anderen Bedingungen; die Fahrbedingung 70 km/h erscheint als noch etwas unauffälliger als die 50-km/h-Bedingung.
- Betrachtet man Auffälligkeiten bzgl. der verschiedenen Fahrzeugtypen, so fallen bei der Limousine starke physiologische Reaktionen bei der B-L-A-Bedingung auf - sowohl bei der Fingerpuls-Amplitude wie bei der Hautleitfähigkeit. Das Dieselfahrzeug auf der anderen Seite führt zu deutlichen physiologischen Antworten bei der Fingerpulsamplitude und der Hautleitfähigkeit im Fall der 70-km/h-Bedingung. Hier haben wir klare Beispiele für die Interaktion des Fahrzeugtyps und der Fahrbedingung.
- Es fällt schwer, allgemeine Schlussfolgerungen bzgl. der einzelnen Fahrzeuge zu ziehen. Sicher kann man feststellen, dass die Limousine im Großen und Ganzen die unauffälligsten subjektiven Bewertungen erhält - lediglich in der 50 km/h Bedingung ist es nicht

das Fahrzeug mit den „besten“ Ergebnissen. Ebenso sind die physiologischen Reaktionen mit Ausnahme der B-L-A-Bedingung jeweils die schwächsten.

- Auf der anderen Seite lässt sich für das Dieselfahrzeug ablesen, dass es in der subjektiven Bewertung immer relativ schlecht abschneidet – nur selten einmal vom Mittelklasse-Benziner übertroffen – und dass dies in der 70-km/h-Situation mit sehr starken physiologischen Reaktionen korrespondiert.

5 Diskussion

Die Fragestellung dieser Untersuchung zielte generell darauf ab, ob sich mit den im Laborexperiment erhobenen psychophysiologischen Parametern Wirkungsunterschiede zwischen relativ ähnlichen Umweltgeräuschen - Fahrzeugvorbeifahrten in definierten Fahrbedingungen - feststellen lassen. Aus den dargestellten und im Abschnitt 4.4 noch einmal zusammengefassten Ergebnissen lassen sich dazu einige Schlussfolgerungen ziehen:

1) Die vorgestellten physiologischen Parameter - Fingerpulsamplitude und Hautleitfähigkeit - bestätigen sich gegenseitig in der Erfassung unterschiedlicher Intensitäten der Erregung des autonomen Nervensystems, wie sie durch die unterschiedlichen Kfz-Geräusche hervorgerufen wurden. Das heißt erstens: In einer gegebenen Fahrbedingung besteht Übereinstimmung (oder zumindest kein Widerspruch) zwischen den beiden Parametern hinsichtlich besonders starker bzw. schwacher Reaktion auf das Geräusch eines bestimmten Fahrzeugs. Zweitens reagieren beide Parameter auch ähnlich auf Unterschiede zwischen den Fahrbedingungen: So sind alle Reaktionen von relativ geringer Intensität in der Bedingung 50 km/h und am stärksten ausgeprägt in der Bedingung B-L-A, die das akustisch abwechslungsreichste Geräusch bietet.

2) In zwei Fahrsituationen (50 km/h Beschleunigung und 70 km/h konstante Geschwindigkeit) zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen den physiologischen Messungen und der subjektiven Evaluation. Zumindest im direkten Geräuschvergleich wird dasjenige Fahrzeug, das in der betreffenden Bedingung die stärksten physiologischen Reaktionen hervorruft, auch in der subjektiven Einschätzung entsprechend auffällig bewertet.

3) Eine besondere Situation ergibt sich in der Fahrbedingung Bremsen-Leerlauf-Anfahren, in der ein deutlicher Widerspruch auftritt: Das Vorbeifahrtgeräusch der Limousine ruft stärkere physiologische Antworten hervor als die Geräusche der beiden Mittelklasse-Fahrzeuge, aber gleichzeitig wird die Limousine im Geräuschvergleich am positivsten bzgl. Belästigung, angenehmen Empfinden und Lautstärke eingestuft. In der allgemeinen Beurteilung zeigt das Fahrzeug Werte nahe der Skalenmitten im Hinblick auf die Faktoren Abneigung und angenehmes bzw. aktivierendes Gefühl. Dieser offensichtliche Kontrast zwischen den starken physiologischen Antworten auf das Limousinen-Geräusch und seiner relativ positiven Bewertung durch die Fragebögen ist unerwartet und soll deshalb eingehender diskutiert werden.

In den ersten Laborexperimenten im Rahmen des SVEN-Projektes (Notbohm et al. 1993 a, b) wurde Aufnahmen von komplexen Straßenverkehrssituationen eingesetzt, und es ergab sich eine gute Übereinstimmung zwischen physiologischen Reaktionen und subjektiven Urteilen, wie es auch aufgrund der früheren in Kap. 2.4 dargestellten Laborexperimente zu erwarten war. Es stellt sich die Frage, ob evtl. die hier eingesetzten Schallreize eine andere Wirkung haben könnten als die in den früheren Versuchen eingesetzten Stimuli wie Industriegeräusche, Rosa Rauschen und zuletzt Straßenverkehrsgeräusche.

In der Tat ergab sich in einer anderen Untersuchung im Rahmen des SVEN-Projektes, die sich mit technischen Veränderungen/Modifizierungen von Vorbeifahrtgeräuschen bei Fahrzeugen beschäftigt, eine ähnliche Ergebnislage für ein spezifisches Geräuschpaar (Gärtner et al. 2003 a, b), nämlich stärkere physiologische Reaktionen und gleichzeitig positive subjektive Einschätzungen für ein computertechnisch modifiziertes Geräusch im Vergleich zum Originalgeräusch. Aus zufälligen Kommentaren der Teilnehmer ergab sich dort unter anderem, dass das aktivierendere Geräusch fälschlicherweise als ein leistungsfähiges Sportfahrzeug wahrgenommen wurde. Wie bereits anfangs erwähnt, reflektieren die physiologischen Maßnahmen nur die Intensität von sympathischer Aktivierung und sind nicht gezwungenermaßen parallel zu sehen mit der individuellen Bewertung des Geräusches. Der kognitive Prozess von Geräuscheinschätzung wird durch zusätzliche Faktoren wie Geräuschsensitivität, Erwartungen zur Situation, Einstellungen zur Geräuschquelle, persönliche Erfahrungen, Erinnerungen usw. beeinflusst. So scheint es, dass sympathische Aktivierung und kognitive Einschätzungen der Wertigkeit je nach Konstellation unabhängige Dimensionen sind, die in der gemeinsamen Betrachtung trotzdem geeignet sind, die wahrgenommene Geräuschqualität zu beschreiben.

Warum zeigt sich nun diese Unabhängigkeit zwischen den beiden Dimensionen körperliche Aktivierung und kognitive Wertung so stark in der B-L-A-Situation? Aus den eben erwähnten Kommentaren von Versuchsteilnehmern lässt sich folgern, dass das Geräusch eines einzelnen vorbeifahrenden Fahrzeugs relativ zweideutig ist. Sowohl Industrie- wie Verkehrsgeräusche werden wahrscheinlich immer mit Unruhe, Gefahr, Luftverschmutzung und anderen Aspekten täglichen Stressses assoziiert. Es erscheint kaum möglich, sich eine Verkehrsgeräusch-Situation vorzustellen, die mit hoher Aktivierung, aber mit einem extrem positiven Wert erlebt wird. Autos dagegen sind nicht nur ein Ärgernis, sondern auch nützliche Hilfen, Wertgegenstände oder Statussymbole – und zumindest beim eigenen oder bei einem „Traumauto“ wird die Wahrnehmung des Autogeräusches mit Sicherheit durch die eigene Einstellung beeinflusst. Im vorliegenden Experiment hatte die Limousine den leistungsstärksten Motor, und die Anfahrt aus dem Leerlauf ist sicher eine optimale Situation, um das „sattere“ oder „kräftigere“ Geräusch eines solchen Motors zur Geltung zu bringen. Zu beachten ist auch, dass es sich bei den Vpn um junge Männer unter 30 Jahren handelte, die sich vielleicht besonders stark von solchen kraftvollen Motorgeräuschen angesprochen fühlen. Zur Überprüfung dieser Erklärung wäre es daher sehr interessant, die physiologische und psychologische Wirkung dieser Geräusche auf weibliche Vpn und auch auf deutlich ältere Personen beiderlei Geschlechts zu untersuchen.

Zur Fragestellung der Arbeit ist grundsätzlich festzustellen, dass sich das verwendete Instrumentarium als geeignet erwiesen hat, um auch in den hier vorgenommenen recht diffizilen Vergleichen zwischen Vorbeifahrtgeräuschen unterschiedlicher Fahrzeuge in standardisierten Fahrbedingungen und bei angeglichenen Schallpegeln zu interessanten Ergebnissen zu kommen. Zweifellos ist es aber erforderlich, die Zusammenhänge zwischen physiologischen Maßen, erfragten subjektiven Reaktionen und objektiven akustischen Eigenschaften der Geräusche weiter zu untersuchen, um sie besser zu verstehen. Zum einen spielen natürlich die Geräuschcharakteristika selbst eine große Rolle; z. B. erwies sich die Vorbeifahrt mit 50 km/h als nicht ausreichend, um größere Reaktionsunterschiede zwischen den Fahrzeugtypen hervorzurufen, während sich die Situation in der Bedingung B-L-A ganz anders darstellte. Zum anderen ist der Zusammenhang zwischen den eingesetzten Messinstrumenten und dem Zielkriterium „Geräuschqualität“ weiter herauszuarbeiten. Die Feststellung, dass physiologische Aktivierung und subjektive Bewertung hierbei zwei unterschiedliche Dimensionen darstellen, sollte im methodischen Vorgehen Niederschlag finden. So sollten zukünftige Laborexperimente auch ausführliche standardisierte Interviews mit den Probanden beinhalten, um ihre

Empfindungen und Einstellungen gründlicher untersuchen zu können. Bei diesem Experiment blieb es unklar, welche messbaren akustischen Größen mit den gefundenen Tendenzen in den Reaktionen der Vpn übereinstimmen könnten. Mit einer weiteren Verbesserung der Kombination psychophysiologischer Methoden sollte weiter angestrebt werden, relevante Zusammenhänge zwischen Wirkungsvariablen und akustischen Parametern zu finden, die dem Konzept der „Geräuschqualität von Kfz-Vorbeifahrten“ Substanz verleihen.

6 Zusammenfassung

Die Verbesserung der Geräuschsituation im Fahrzeuginnenraum von Pkw unter dem Oberbegriff „Geräuschqualität“ hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Diese Tatsache wirft die Frage auf, ob sich Optimierungen der Geräuschqualität auch hinsichtlich Fahrzeugaußengeräuschen realisieren lassen und mit welchen Methoden diese wahrgenommene Geräuschqualität zu erfassen ist.

Dazu wurden in der vorliegenden experimentellen Arbeit mit 24 männlichen Versuchspersonen die subjektive Bewertung von Kfz-Vorbeifahrtgeräuschen und die hervorgerufenen physiologischen Reaktionen analysiert. Es handelte sich dabei um jeweils 2-minütige Aufnahmen von Fahrzeuggeräuschen dreier unterschiedlicher Wagentypen unter drei verschiedenen Fahrbedingungen.

Die Experimente wurden im Schalllabor des Institut für Arbeits- und Sozialmedizin der Universität Düsseldorf von Mai bis November 2001 im Rahmen des EU-Forschungsprojektes SVEN durchgeführt. Während der Beschallung wurden die Fingerpulsamplitude (FPA) mit Berechnung der Herzfrequenz (HF) und die Hautleitfähigkeitsreaktion (SCR) aufgezeichnet. Zusätzlich wurden die gehörten Vorbeifahrtgeräusche mit Hilfe von Fragebögen bewertet.

Im Vergleich der Vorbeifahrtgeräusche erweist sich das verwendete Instrumentarium insgesamt als geeignet, um zu aussagekräftigen Ergebnissen zu gelangen. Die physiologischen Parameter bestätigten sich gegenseitig in der Erfassung unterschiedlicher Intensitäten der Erregung des autonomen Nervensystems, wie sie durch die unterschiedlichen Kfz-Geräusche hervorgerufen wurden. In zwei Fahrsituationen (50 km/h Beschleunigung und 70 km/h konstante Geschwindigkeit) zeigte sich eine gute Übereinstimmung zwischen den physiologischen Messungen und der subjektiven Evaluation.

Der offensichtliche Kontrast in der Fahrbedingung Bremsen-Leerlauf-Anfahren zwischen den starken physiologischen Antworten auf das Limousinen-Geräusch und seiner relativ positiven Bewertung in den Fragebögen war unerwartet und ist intensiver zu diskutieren. Als Erklärung bietet sich an, dass die physiologische Aktivierung in diesem Fall durch eine entsprechende kognitive Bewertung des Geräusches positiv wahrgenommen wird.

Es empfiehlt sich, weitere Versuchsreihen durchzuführen, um die beteiligten Faktoren bei der Wahrnehmung der Geräuschqualität von Kfz-Vorbeifahrtgeräuschen besser zu verstehen und auch relevante Zusammenhänge mit akustischen Parametern zu finden, sodass das Konzept der Geräuschqualität auch bei Kfz-Außengeräuschen Substanz erhält.

7 Literatur

- Andren, L.; Lindstedt, G.; Björkman, M.; Borg, K.O.; Hansson, L. (1982): Effect of noise on blood pressure and 'stress' hormones. factor in the development. Clin. Sci. (Suppl.) 62, 137-141
- Andren, L.; Hansson, L.; Eggertsen, R.; Hedner, T.; Karlberg, B.E. (1983): Circulatory effects of noise. Acta Med. Scand. 213, 31-35
- Boucsein, W. (1988): Elektrodermale Aktivität. Berlin: Springer
- Bednarzyk, M. (1999): Qualitätsbeurteilung der Geräusche industrieller Produkte. Der Stand der Forschung, abgehandelt am Beispiel der Kfz-Innenraumgeräusche. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 396. Düsseldorf: VDI
- Bortz, J. (1989): Statistik. 3. neu bearbeitete Auflage. Heidelberg: Springer
- Bühl, A.; Zöfel, P. (2002): SPSS 11 Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. 8. Aufl. München: Pearson Studium
- Fahrenberg, J.; Walschburger, P.; Foester, F.; Myrtek, M.; Müller, W. (1979): Psychophysiologische Aktivierungsforschung. München: Minerva
- Fowles, D.C. (1986): The endocrine system and electrodermal activity. In Coles, M.G.H., Donchin, E. & Porges, S.W. (Eds.), Psychophysiology (pp. 51-96). New York: Guilford.
- Gärtner, C.; Notbohm, G.; Schwarze, S. (2003 a): Die Geräuschqualität von modifizierten Kfz-Vorbeifahrtgeräuschen im Urteil von Versuchspersonen. Fortschritte der Akustik DAGA '03. 29. Deutsche Jahrestagung für Akustik, 19.-21.3.2003, Aachen. DEGA: Oldenburg. CD-ROM
- Gärtner, C.; Notbohm, G.; Schwarze, S. (2003 b): Perception of sound quality of vehicle-pass-by noises after technical modification. European Acoustics Association (EAA): Proceedings of Euronoise - 5th European Conference on Noise Control, 19.-21.5.2003, Naples, Italy. Paper 135, CD-ROM (ISBN 88-88942-00-9)
- Genuit, K. (1988): Kunstkopf-Messtechnik – Ein neues Verfahren zur Geräuschdiagnose und -analyse. Z. Lärmbekämpf. 35, 105-
- Genuit, K. (1991): Gehörgerechte Lärmbewertung. In: Fortschritte der Akustik, Kongressband der DAGA '91, Teil A, 75-92. Bad Honnef: DPG-GmbH
- Genuit, K.; Blauert, J.; Bodden, M.; Jansen, G.; Schwarze, S.; Mellert, V.; Remmert, H. (1997): Entwicklung einer Messtechnik zur physiologischen Bewertung von Lärmeinwirkungen unter Berücksichtigung der psychoakustischen Eigenschaften des menschlichen Gehörs. FB 774. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- Griefahn, B. (1993): Vaskuläre Reaktionen. Wirkungsmechanismus – intervenierende Variablen – Einfluss der Hauttemperatur. Z. Lärmbekämpf. 40, 123 - 128

- Jain, A.; Martens, W.L.J.; Mutz, G.; Weiß, R.K.; Stephan, E. (1996): Towards a comprehensive technology and analysis of multiple physiological parameters within their behavioral and environmental context. In: Fahrenberg, J.; Myrtek, M. (eds.): Ambulatory assessment. Computer-assisted psychological and psychophysiological methods in monitoring and field studies. Seattle: Hogrefe & Huber. WWW publication: www.uni-koeln.de/phil-fak/psych/methoden/jain/a_fahren.html
- Jansen, G. (1984): Psychosomatische Lärmwirkungen und Gesundheit: Z. Arb.wiss. 38 (10NF), 205-210
- Jansen, G. (1986): Zur „erheblichen Belästigung“ und „Gefährdung“ durch Lärm. Z. Lärmbekämpf. 33,2 - 7
- Jansen, G.; Thutewohl, W. (1968): Zur Bestimmung vegetativer Schallreaktionen. Kampf dem Lärm, 1, 1-4
- Jansen, G.; Notbohm, G. (1994): Lärm. In: Wichmann, H.E.; Schlipköter, H.W.; Fülgraff, G. (Hrsg.): Handbuch der Umweltmedizin. Landsberg: ecomed 1982. 3. Erg.Lfg. 1/94, Kap. VII-1
- Jansen, G.; Rehm, S.; Griefahn, B.; Gros, E. (1978): Wirkungen von Lärm auf besondere Personengruppen. Forschungsbericht. Berlin: Umweltbundesamt
- Jansen, G.; Griefahn, B.; Gros, E.; Rehm, S. (1981): Methodische Überlegungen zur Aussagefähigkeit der Fingerpulsamplitudenmessung im Rahmen der psychophysiologischen Diagnose von Lärmwirkungen. Z. Lärmbekämpf. 28, 95-104
- Jekosch, U.; Blauert, J. (2005): Schritte zu einer vereinheitlichten Theorie der Qualität von Geräuschen. Z. Lärmbekämpf. 52, 78 - 81
- Jennings, J.R., Tahmoush, A.J.; Redmond, D.P. (1980): Non- invasive measurement of peripheral vascular activity. In: Martin, I. & Venables, P. H. (Eds.), Techniques in psychophysiology. Chichester: Wiley; 69-37
- Krebber, W.; Genuit, K.; Sottek, R. (2002): Lärmbelästigung durch Straßenverkehr - (k)ein Sound Quality Thema? In: Fortschritte der Akustik - DAGA '02, S. 82 - 83, CD-ROM. 28. Dt. Jahrestag für Akustik, Bochum. Oldenburg: DEGA
- Notbohm, G.; Schwarze, S.; Jansen, G. (1992): Noise evaluation based on binaural hearing. Proc. 14th Int. Congr. Acoustics ICA, Beijing, China 3 – 10 Sep. 1992. Vol. 3, H2-3
- Notbohm, G.; Schwarze, S. (2002): Physiologische Reaktionen als Indikator der Geräuschqualität von Straßenverkehr. Fortschritte der Akustik DAGA '02, S. 328 - 329, CD-ROM. 28. Deutsche Jahrestagung für Akustik, Bochum. Oldenburg: DEGA
- Notbohm, G.; Gärtner, C.; Schwarze, S. (2003): Psycho-physiologische Bewertung der Geräuschqualität von Straßenverkehrsgeräuschen. Z. Lärmbekämpf. 50, 75 – 81
- Pospeschill, M. (1996): Praktische Statistik. Weinheim: Psychologie Verlags Union
- Pschyrembel (1994), Klinisches Wörterbuch, 257. Auflage, S. 839-840. Berlin; New York: de Gruyter

- Schandry, R. (1996): Lehrbuch der Psychophysiologie. Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens. Weinheim: Psychologie Verlag Union
- Schick, A. (1994): Zur Geschichte der Bewertung von Innengeräuschen in Personenwagen. Z. Lärmbekämpf. 41, 61 – 68
- Schwarze, S. (1991): Langjährige Lärmbelastung und Gesundheit. Schriftenreihe Forschung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Fb 636. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- Schwarze, S.; Notbohm, G.; Jansen, G. (1993a): Die Bedeutung des binauralen Hörens für die Stärke der physiologischen Reaktion auf Geräusche. Z. Lärmbekämpf. 40, 151 – 160
- Schwarze, S.; Notbohm, G.; Jansen, G. (1993b): The influence of binaural hearing on physiological responses. Proc. 6th Int. Congr. Noise as a Health Problem "Noise & Man '93", Nice, France, 5-9 Jul. 1993, Vol. 2, 497 - 500
- Schwarze, S.; Notbohm, G.; Gärtner, C. (2004): Psychophysiologische Bewertung von Verkehrslärm in Stadtstraßen in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte. Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Arbeits- und Umweltmedizin – 44. Jahrestagung DGAUM, 21.-24.4.2004, Innsbruck. CD-ROM
- Siegmann, S.; Brinkmann, H.; Faust, M.; Kellersmann, M.; Köckemann, R.; Linnemeier, A.; Notbohm, G.; Rheingans, J.; Richter, L.; Seifert, M.; Siegmund, K.; Weber, K.; Borsch-Galetke, E (1999): Extraaurale Reaktionen bei Belastung mit hochenergetischen Impulsschallen. Z. Lärmbekämpf. 46 88 – 102
- Västfjäll, D.; Gulbol, M.A.; Kleiner, M.; Gärling, T. (2002): Affective evaluations of and reactions to exterior and interior vehicle auditory quality. J Sound Vibr. 255, 501-518

Anhang

Anhang 1: Fragebogen zur generellen Beurteilung

VP Nr. ____

Vor Beginn auszufüllen:

Bitte geben Sie auf der Skala von -4 bis +4 an, wie Sie sich jetzt gerade fühlen

sehr unangenehm								sehr angenehm
-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
sehr still/ deaktiviert								sehr aufgeregt/ aktiviert
-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4

Einführung

Sie werden jetzt noch einmal die 9 Fahrzeuggeräusche in derselben Reihenfolge hören, aber nur jeweils 2 Minuten lang.

Während Sie das Geräusch hören, geben Sie bitte eine Einschätzung Ihrer Empfindung auf dem folgenden Fragebogen ab. Sie finden dort mehrere Skalen; jede Skala wird durch ein Eigenschaftswort bezeichnet.

Kreisen Sie die Zahl ein, die nach Ihrem Empfinden dem Geräusch entspricht.

Wenn Sie zum Beispiel finden, dass es nicht laut ist, markieren Sie die z. B. die Zahl 2; wenn Sie das Geräusch aber als sehr laut empfinden, können Sie die Nummer 7, 8 oder 9 umkreisen. Achten Sie bitte darauf, Einschätzungen vorzunehmen, die Sie wirklich für angemessen halten.

Beispiel:

	überhaupt nicht								in höchstem Maße
laut	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Beurteilen Sie spontan und aus dem "Bauch heraus". Bitte prägen Sie sich die Geräusche gut ein, da Sie sie anschließend miteinander vergleichen sollen.

Wenn Sie den Bogen komplett ausgefüllt haben, legen Sie ihn einfach beiseite. Der nächste Fragebogen auf der Klemmunterlage ist für das nächste Geräusch bestimmt.

Jeweils **nach drei Geräuschen** kommt noch ein anderer Fragebogen, in dem Sie aufgefordert werden, die drei zuletzt gehörten Geräusche miteinander zu vergleichen.

Anschließend beginnt die Beurteilung der nächsten 3 Geräusche. Nach drei Durchgängen mit jeweils drei Geräuschen ist das Experiment beendet.

Bitte schauen Sie sich die nachfolgenden Muster der beiden Fragebögen an.

Wenn Sie noch Fragen haben, wenden Sie sich bitte an den Versuchsleiter.

Geräusch Nr. _____

VP Nr. _____

Bewerten Sie, wie Sie das Geräusch empfunden haben, indem Sie eine Zahl von 1 bis 9 mit einem Kreis markieren, wobei 1 überhaupt nicht und 9 in höchstem Maße bedeutet.

Beispiel:

	<i>überhaupt nicht</i>							<i>in höchstem Maße</i>		
unangenehm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
belästigend		1	2	3	4	5	6	7	8	9
laut		1	2	3	4	5	6	7	8	9
angenehm		1	2	3	4	5	6	7	8	9
rauh		1	2	3	4	5	6	7	8	9
sportlich		1	2	3	4	5	6	7	8	9
gefährlich		1	2	3	4	5	6	7	8	9
aufdringlich		1	2	3	4	5	6	7	8	9
akzeptabel		1	2	3	4	5	6	7	8	9

Aufmerksamkeit fordernd	1	2	3	4	5	6	7	8	9
kontinuierlich	1	2	3	4	5	6	7	8	9
hallend	1	2	3	4	5	6	7	8	9
groß	1	2	3	4	5	6	7	8	9
brüllend	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pulsierend	1	2	3	4	5	6	7	8	9
bassig	1	2	3	4	5	6	7	8	9
aggressiv	1	2	3	4	5	6	7	8	9
mechanisch	1	2	3	4	5	6	7	8	9
teuer	1	2	3	4	5	6	7	8	9
alarmierend	1	2	3	4	5	6	7	8	9
überraschend	1	2	3	4	5	6	7	8	9
dröhnend	1	2	3	4	5	6	7	8	9
tonhaft	1	2	3	4	5	6	7	8	9
scharf	1	2	3	4	5	6	7	8	9
kraftvoll	1	2	3	4	5	6	7	8	9

	<i>sehr</i>							<i>überhaupt nicht</i>	
Insgesamt mag ich dieses Geräusch	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Bitte geben Sie auf der Skala von -4 bis +4 an, wie Sie sich beim Hören des Geräusches fühlen

<i>sehr angenehm</i>							<i>sehr unangenehm</i>		
-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	
<i>sehr still/ deaktiviert</i>							<i>sehr aufgeregt/ aktiviert</i>		
-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	

Anhang 2: Fragebogen zum direkten Geräuschvergleich

Geräuschvergleich Nr. _____ & _____ & _____ VP Nr. _____

Bitte hören Sie sich die drei soeben gehörten Geräuschsituationen noch einmal an und vergleichen Sie diese miteinander.

Bringen Sie bitte die Geräusche in eine Reihenfolge, welche die Stärke der ausgelösten Empfindung wiedergibt. Tragen Sie für das zuerst dargebotene Geräusch eine 1 in das zutreffende Kästchen ein, für das zweite eine 2 und für das zuletzt gehörte eine 3.

Beispiel:

Am aufdringlichsten ist Geräusch Nr.	
Weniger aufdringlich ist Geräusch Nr.	
Am wenigsten aufdringlich ist Geräusch Nr.	

Nun zur Beurteilung:

Welches Geräusch ist für Sie am lautesten?

Am lautesten ist Geräusch Nr.	
Weniger laut ist Geräusch Nr.	
Am wenigsten laut ist Geräusch Nr.	

Welches Geräusch ist für Sie am gefährlichsten?

Am gefährlichsten ist Geräusch Nr.	
Weniger gefährlich ist Geräusch Nr.	
Am wenigsten gefährlich ist Geräusch Nr.	

Welches Geräusch ist für Sie am unangenehmsten?

Am unangenehmsten ist Geräusch Nr.	
Weniger unangenehm ist Geräusch Nr.	
Am wenigsten unangenehm ist Geräusch Nr.	

Welches Geräusch ist für Sie am belästigendsten?

Am belästigendsten ist Geräusch Nr.	
Weniger belästigend ist Geräusch Nr.	
Am wenigsten belästigend ist Geräusch Nr.	

Anhang 3: Messwerte der FPA bei 50 km/h

Zeitintervall	N	MittB		Limo		MittD		Signifikanz p=
		Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	
% 0-2 s	24	99,42	17,25	97,23	19,31	94,61	18,61	0,66
% 2-4 s	24	77,80	16,94	77,96	17,56	80,62	21,74	0,84
% 4-6 s	24	66,62	19,15	67,57	18,29	69,38	23,80	0,89
% 6-8 s	24	63,83	22,05	65,38	19,54	65,55	27,23	0,96
% 8- 10 s	24	66,00	21,26	70,91	20,75	68,60	26,97	0,76
% 10-12 s	24	69,94	22,56	72,55	20,27	71,14	26,68	0,93
% 12-14 s	24	69,73	25,89	74,78	20,90	70,13	24,50	0,72
% 14-16 s	24	72,10	26,43	79,15	21,76	72,36	25,13	0,53
% 16-18 s	24	76,41	26,93	79,84	21,02	76,06	23,01	0,83
% 18-20 s	24	77,15	32,94	81,38	22,08	72,76	21,53	0,52
% 20-22 s	24	80,00	36,13	82,05	21,04	75,95	23,11	0,74
% 22-24 s	24	77,89	32,03	83,70	20,16	79,99	24,38	0,74
% 24-26 s	24	75,75	29,24	84,58	22,43	80,57	24,05	0,49
% 26-28 s	24	75,81	27,81	87,64	20,89	82,02	21,66	0,23
% 28-30 s	24	76,85	25,43	89,59	22,08	83,18	23,65	0,19
% 30-35 s	24	76,06	26,18	87,90	21,83	74,72	22,95	0,11
% 35-40 s	24	75,47	26,77	85,02	20,92	76,98	21,41	0,31
% 40-45 s	24	74,05	25,12	81,22	17,88	81,38	23,47	0,44
% 45-50 s	24	77,03	28,45	82,02	18,18	77,42	22,56	0,72
% 50-55 s	24	74,44	28,80	85,28	21,77	72,95	23,22	0,18
% 55-60 s	24	76,65	25,92	84,93	24,12	74,46	24,07	0,31
% 60-65 s	24	76,56	25,58	83,83	25,67	78,17	24,03	0,58
% 65-70 s	24	75,70	24,31	87,81	26,90	82,22	24,13	0,26
% 70-75 s	24	73,29	21,18	82,83	24,37	85,36	25,91	0,19
% 75-80 s	24	73,96	18,70	85,54	23,31	83,28	21,95	0,15
% 80-85 s	24	72,72	18,56	90,13	30,49	83,39	19,67	0,04
% 85-90 s	24	72,85	19,73	92,12	33,39	80,48	23,74	0,04
% 90-95 s	24	74,54	22,74	88,97	29,17	80,95	25,40	0,16
% 95-100 s	24	78,01	23,00	80,89	23,63	81,73	25,49	0,85
% 100-105 s	24	82,00	31,25	83,23	24,92	83,71	28,08	0,98
% 105-110 s	24	81,22	34,97	82,99	26,72	80,06	24,26	0,94
% 110-115 s	24	82,01	34,82	81,48	24,54	76,96	22,39	0,79
% 115-120 s	24	85,28	37,28	78,81	26,33	77,36	22,86	0,61

(MittB=Mittelklassewagen Benzinmotor, MittD=Mittelklassewagen Dieselmotor, Limo=Limousine Benzinmotor)

Anhang 4: Messwerte der Hautleitfähigkeit bei 50 km/h

Zeitintervall	N	MittB		N	Limo		N	MittD		Signifikanz p=
		Mittelwert	SD		Mittelwert	SD		Mittelwert	SD	
% 0-2 s	22	105,88	10,53	24	105,29	12,20	24	103,81	9,98	0,80
% 2-4 s	22	111,43	14,20	24	111,52	18,66	24	111,99	20,55	0,99
% 4-6 s	22	113,43	14,70	24	113,89	20,08	24	114,10	23,61	0,99
% 6-8 s	22	111,11	11,79	24	113,57	18,04	24	113,33	23,01	0,88
% 8-10 s	22	109,77	10,96	24	113,06	18,67	24	112,19	21,31	0,81
% 10-12 s	22	109,40	10,10	24	113,15	18,43	24	113,25	23,39	0,72
% 12-14 s	22	109,63	10,74	24	111,82	17,11	24	112,21	22,66	0,87
% 14-16 s	22	109,68	11,17	24	110,82	16,37	24	111,40	21,83	0,94
% 16-18 s	22	109,14	11,50	24	110,43	16,55	24	111,61	22,57	0,89
% 18-20 s	22	109,20	12,16	24	110,23	16,23	24	111,04	22,52	0,94
% 20-22 s	22	109,13	12,75	24	109,85	15,98	24	110,24	21,86	0,98
% 22-24 s	22	108,81	13,08	24	109,56	15,98	24	110,07	22,09	0,97
% 24-26 s	22	109,43	13,50	24	109,84	15,97	24	109,78	21,70	1,00
% 26-28 s	22	111,01	15,65	24	109,00	15,85	24	109,19	21,02	0,92
% 28-30 s	22	110,87	15,83	24	108,28	15,54	24	109,15	20,26	0,88
% 30-35 s	22	110,69	16,18	24	109,15	16,96	24	110,62	20,12	0,95
% 35-40 s	22	112,30	20,85	24	108,63	15,91	24	109,96	19,27	0,80
% 40-45 s	22	113,82	25,39	24	107,01	16,04	24	108,94	18,90	0,51
% 45-50 s	22	112,38	25,31	24	106,38	16,16	24	109,56	19,74	0,62
% 50-55 s	22	111,69	26,01	24	108,59	16,40	24	111,26	20,60	0,86
% 55-60 s	22	112,84	24,93	24	108,23	15,56	24	109,63	19,64	0,73
% 60-65 s	22	113,10	32,42	24	108,48	16,33	24	108,78	18,94	0,76
% 65-70 s	22	112,38	30,55	24	108,71	18,91	24	108,71	18,97	0,83
% 70-75 s	22	113,29	29,12	24	108,83	21,72	24	107,82	18,59	0,70
% 75-80 s	22	114,33	28,53	24	107,65	22,48	24	106,66	18,21	0,49
% 80-85 s	22	115,46	28,52	24	107,04	22,08	24	105,73	17,51	0,31
% 85-90 s	22	115,17	28,92	24	106,53	22,14	24	104,24	17,24	0,25
% 90-95 s	22	115,02	29,24	24	105,80	22,16	24	104,80	15,93	0,26
% 95-100 s	22	114,25	29,04	24	105,04	22,02	24	104,19	15,98	0,26
% 100-105 s	22	113,76	29,43	24	104,08	21,67	24	104,46	16,96	0,28
% 105-110 s	22	113,39	29,59	24	103,86	21,97	24	103,41	16,34	0,27
% 110-115 s	22	114,45	32,82	24	103,38	21,48	24	103,06	16,30	0,21
% 115-120 s	22	113,12	31,79	24	102,84	20,67	24	103,12	16,64	0,26

(MittB=Mittelklassewagen Benzinmotor, MittD=Mittelklassewagen Dieselmotor, Limo=Limousine Benzinmotor)

Anhang 5: Geräuschvergleich bei Fahrbedingung 50 km/h

(jeweils Anzahl der Nennungen für jede Vorgabe und errechneter Punktwert)

<i>laut</i>				
	am meisten	weniger	am geringsten	Punkte
Mittelklasse Benziner	8	10	6	50
Limousine Benziner	10	7	7	51
Mittelklasse Diesel	6	7	11	43
<i>gefährlich</i>				
	am meisten	weniger	am geringsten	Punkte
Mittelklasse Benziner	8	10	6	50
Limousine Benziner	11	8	5	54
Mittelklasse Diesel	5	6	13	40
<i>unangenehm</i>				
	am meisten	wniger	am geringsten	Punkte
Mittelklasse Benziner	10	10	4	54
Limousine Benziner	8	5	11	45
Mittelklasse Diesel	6	9	9	45
<i>belästigend</i>				
	am meisten	weniger	am geringsten	Punkte
Mittelklasse Benziner	7	12	5	50
Limousine Benziner	9	4	11	46
Mittelklasse Diesel	8	8	8	48

Anhang 6: Messwerte der FPA bei 70 km/h

Zeitintervall	N	MittB		Limo		MittD		Signifikanz p=
		Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	
% 0-2 s	24	101,69	19,01	100,60	23,32	96,19	20,14	0,63
% 2-4 s	24	77,88	17,09	83,29	21,82	78,62	20,27	0,59
% 4-6 s	24	64,57	17,38	73,83	26,21	62,66	19,21	0,16
% 6-8 s	24	62,80	18,00	73,55	26,28	59,52	21,54	0,08
% 8-10 s	24	68,41	18,97	79,77	25,66	62,65	24,93	0,04
% 10-12 s	24	75,72	19,50	86,52	27,63	66,99	25,75	0,03
% 12-14 s	24	78,59	21,88	89,29	30,09	68,83	25,98	0,03
% 14-16 s	24	79,97	22,36	91,17	31,19	71,44	26,16	0,04
% 16-18 s	24	83,57	22,91	92,89	31,64	74,32	25,91	0,07
% 18-20 s	24	81,01	23,09	91,48	28,22	76,13	26,45	0,12
% 20-22 s	24	83,49	23,33	92,38	26,35	76,44	25,80	0,10
% 22-24 s	24	85,41	22,94	92,57	23,53	78,50	25,19	0,13
% 24-26 s	24	84,44	22,94	89,79	26,38	79,78	25,59	0,39
% 26-28 s	24	82,95	24,76	89,22	29,16	78,03	26,51	0,36
% 28-30 s	24	83,65	26,06	89,46	31,33	79,85	28,88	0,51
% 30-35 s	24	79,31	25,68	88,39	35,23	78,87	29,62	0,48
% 35-40 s	24	81,44	26,90	88,88	28,73	79,63	28,81	0,49
% 40-45 s	24	82,98	25,62	91,50	28,54	76,88	27,64	0,18
% 45-50 s	24	83,24	28,23	91,80	28,98	78,57	33,71	0,32
% 50-55 s	24	84,95	23,19	89,69	31,95	79,17	38,84	0,52
% 55-60 s	24	85,04	25,98	82,19	24,19	80,79	35,06	0,87
% 60-65 s	24	81,90	23,66	82,53	25,23	79,06	26,21	0,88
% 65-70 s	24	84,33	24,07	87,04	30,24	78,97	28,37	0,59
% 70-75 s	24	87,69	26,44	87,66	29,55	78,51	28,03	0,43
% 75-80 s	24	89,68	24,58	89,34	31,33	81,62	37,19	0,61
% 80-85 s	24	87,58	25,81	88,99	33,44	83,04	38,40	0,81
% 85-90 s	24	86,71	27,55	89,35	32,45	81,80	30,33	0,68
% 90-95 s	24	85,53	26,67	88,07	30,13	84,16	34,11	0,90
% 95-100 s	24	84,62	24,64	83,72	27,37	87,01	38,25	0,93
% 100-105 s	24	83,63	23,14	80,13	29,18	83,40	35,38	0,90
% 105-110 s	24	82,07	22,69	78,56	26,91	81,33	32,75	0,90
% 110-115 s	24	78,80	19,61	80,42	27,13	80,89	31,33	0,96
% 115-120 s	24	83,84	20,69	83,24	30,64	81,10	32,95	0,94

(MittB=Mittelklassewagen Benzinmotor, MittD=Mittelklassewagen Dieselmotor, Limo=Limousine Benzinmotor)

Anhang 7: Messwerte der Hautleitfähigkeit bei 70 km/h

Zeitintervall	N	MittB		Limo		MittD		Signifikanz p=
		Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	
% 0-2 s	24	104,08	8,37	100,97	10,70	103,88	11,88	0,52
% 2-4 s	24	116,48	21,14	111,45	18,19	117,29	23,13	0,58
% 4-6 s	24	119,39	25,18	117,62	31,52	118,01	21,76	0,97
% 6-8 s	24	120,98	31,25	117,38	33,36	116,62	19,77	0,85
% 8-10 s	24	120,88	31,16	118,90	42,57	114,73	18,55	0,80
% 10-12 s	24	121,35	31,99	117,16	38,72	114,28	17,85	0,73
% 12-14 s	24	120,64	30,84	115,87	36,59	113,18	17,23	0,67
% 14-16 s	24	120,61	33,38	114,72	35,09	112,43	16,59	0,62
% 16-18 s	24	119,42	31,90	114,13	35,60	112,70	16,87	0,71
% 18-20 s	24	119,18	33,74	113,79	35,57	112,09	16,80	0,69
% 20-22 s	24	118,82	33,83	112,83	34,41	112,96	18,32	0,73
% 22-24 s	24	120,00	36,69	112,16	33,40	112,96	18,98	0,62
% 24-26 s	24	119,57	34,73	112,55	32,68	112,23	18,05	0,62
% 26-28 s	24	119,45	36,20	113,56	32,73	111,72	17,34	0,65
% 28-30 s	24	119,98	35,81	113,29	32,19	111,13	16,75	0,56
% 30-35 s	24	120,74	35,64	113,51	31,66	111,69	17,48	0,53
% 35-40 s	24	120,06	33,50	112,81	30,62	111,55	19,40	0,54
% 40-45 s	24	119,57	37,05	111,51	29,87	110,04	18,62	0,49
% 45-50 s	24	117,86	34,44	110,85	29,64	109,34	17,79	0,54
% 50-55 s	24	117,81	36,07	109,82	27,86	109,36	17,58	0,51
% 55-60 s	24	117,02	36,50	108,91	26,50	108,81	17,48	0,51
% 60-65 s	24	117,84	37,93	107,64	25,45	109,21	17,54	0,41
% 65-70 s	24	116,39	36,15	107,43	24,16	108,79	18,31	0,47
% 70-75 s	24	115,43	34,92	109,06	23,22	108,20	17,11	0,58
% 75-80 s	24	115,96	38,14	108,10	22,92	108,65	17,50	0,55
% 80-85 s	24	120,76	57,82	109,08	21,76	107,43	17,01	0,40
% 85-90 s	24	118,28	51,50	108,82	20,42	106,60	17,33	0,44
% 90-95 s	24	119,39	51,71	109,02	20,01	106,37	18,01	0,37
% 95-100 s	24	121,11	65,18	108,44	19,63	104,94	16,32	0,35
% 100-105 s	24	121,89	74,31	107,71	19,72	104,73	16,45	0,38
% 105-110 s	24	120,60	73,47	107,00	18,70	104,45	16,97	0,41
% 110-115 s	24	120,85	74,85	106,22	18,82	104,31	16,23	0,39
% 115-120 s	24	119,31	68,71	106,60	20,73	104,62	16,95	0,44

(MittB=Mittelklassewagen Benzinmotor, MittD=Mittelklassewagen Dieselmotor, Limo=Limousine Benzinmotor)

Anhang 8: Geräuschvergleich bei Fahrbedingung 70 km/h

(jeweils Anzahl der Nennungen für jede Vorgabe und errechneter Punktwert)

<i>laut</i>				
	am meisten	weniger	am geringsten	Punkte
Mittelklasse Benziner	8	10	6	50
Limousine Benziner	8	4	12	44
Mittelklasse Diesel	8	10	6	50
<i>gefährlich</i>				
	am meisten	weniger	am geringsten	Punkte
Mittelklasse Benziner	7	7	10	45
Limousine Benziner	3	10	11	40
Mittelklasse Benziner	14	7	3	59
<i>unangenehm</i>				
	am meisten	weniger	am geringsten	Punkte
Mittelklasse Benziner	6	12	6	48
Limousine Benziner	8	2	14	42
Mittelklasse Diesel	10	10	4	54
<i>belästigend</i>				
	am meisten	weniger	am geringsten	Punkte
Mittelklasse Benziner	5	11	8	45
Limousine Benziner	5	4	11	46
Mittelklasse Diesel	10	9	5	53

Anhang 9: Messwerte der FPA bei Bremsen-Leerlauf-Anfahren

Zeitintervall	N	MittB		Limo		MittD		Signifikanz p=
		Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	
% 0-2 s	24	103,79	19,72	98,43	20,78	97,35	21,39	0,51
% 2-4 s	24	75,40	25,60	78,58	19,98	75,93	20,71	0,87
% 4-6 s	24	60,76	20,29	61,88	18,49	62,82	17,39	0,93
% 6-8 s	24	60,91	19,62	55,54	17,75	61,16	20,07	0,52
% 8-10 s	24	67,92	24,05	58,15	17,33	67,25	19,95	0,19
% 10-12 s	24	70,82	27,08	62,27	18,68	72,30	22,65	0,27
% 12-14 s	24	73,17	27,17	63,25	20,15	73,66	25,06	0,25
% 14-16 s	24	77,52	30,45	68,16	20,00	79,24	27,07	0,29
% 16-18 s	24	79,93	30,99	71,05	22,22	84,10	27,28	0,24
% 18-20 s	24	85,10	32,08	74,20	22,21	86,02	28,83	0,27
% 20-22 s	24	86,69	30,35	74,74	23,19	84,52	32,26	0,32
% 22-24 s	24	84,43	28,58	75,51	24,50	83,95	33,63	0,49
% 24-26 s	24	85,82	28,15	72,93	24,44	84,89	31,64	0,22
% 26-28 s	24	87,91	27,41	72,14	23,01	89,31	31,82	0,06
% 28-30 s	24	87,61	29,76	72,98	21,53	92,44	33,61	0,06
% 30-35 s	24	84,91	31,41	70,85	22,21	85,23	34,88	0,17
% 35-40 s	24	86,21	33,58	67,69	19,58	88,35	31,10	0,03
% 40-45 s	24	84,02	43,08	72,77	23,19	83,44	30,82	0,43
% 45-50 s	24	87,01	41,16	74,37	21,22	91,00	30,91	0,18
% 50-55 s	24	82,96	38,19	73,74	20,11	86,35	31,43	0,35
% 55-60 s	24	91,78	46,15	72,18	20,96	85,73	26,73	0,12
% 60-65 s	24	86,42	37,14	75,05	16,43	84,40	25,85	0,32
% 65-70 s	24	87,51	33,73	73,68	17,82	87,39	22,92	0,11
% 70-75 s	24	84,90	35,61	74,45	20,19	85,15	23,98	0,31
% 75-80 s	24	88,89	36,03	76,31	20,96	88,56	27,18	0,23
% 80-85 s	24	86,90	32,97	77,79	23,05	87,33	27,20	0,42
% 85-90 s	24	84,67	31,08	79,49	24,94	88,70	30,36	0,55
% 90-95 s	24	81,38	31,04	79,61	19,89	89,70	29,29	0,40
% 95-100 s	24	84,72	31,83	77,30	19,66	91,81	26,56	0,17
% 100-105 s	24	85,47	32,16	77,48	21,64	88,11	28,03	0,39
% 105-110 s	24	82,08	22,97	78,62	23,55	86,52	25,00	0,52
% 110-115 s	24	84,75	23,63	82,22	23,79	87,35	27,57	0,78
% 115-120 s	24	80,86	27,93	70,69	18,23	83,37	26,85	0,18

(MittB=Mittelklassewagen Benzinmotor, MittD=Mittelklassewagen Dieselmotor, Limo=Limousine Benzinmotor)

Anhang 10: Messwerte der Hautleitfähigkeit bei Bremsen-Leerlauf-Anfahren

Zeitintervall	N	MittB		Limo		MittD		Signifikanz p=
		Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	
% 0-2 s	24	105,06	8,33	99,27	4,47	103,70	9,18	0,03
% 2-4 s	24	122,13	20,96	123,05	19,49	126,79	24,68	0,74
% 4-6 s	24	124,55	23,45	136,89	39,98	127,23	24,00	0,34
% 6-8 s	24	126,53	29,34	137,05	43,26	123,31	21,17	0,32
% 8-10 s	24	128,67	30,09	137,66	48,49	121,16	19,58	0,27
% 10-12 s	24	130,76	32,01	135,33	45,00	120,79	19,18	0,32
% 12-14 s	24	130,17	30,74	134,89	44,90	119,48	18,83	0,27
% 14-16 s	24	129,91	32,74	133,37	43,81	118,24	18,08	0,26
% 16-18 s	24	128,19	31,14	133,27	45,68	117,41	17,73	0,25
% 18-20 s	24	128,13	32,82	132,89	45,57	116,56	17,22	0,24
% 20-22 s	24	127,43	32,91	132,02	44,96	117,36	18,92	0,32
% 22-24 s	24	128,26	35,66	131,22	44,54	116,90	19,05	0,33
% 24-26 s	24	127,02	34,01	130,60	43,67	116,18	18,51	0,31
% 26-28 s	24	126,76	35,54	131,26	45,37	115,41	18,27	0,28
% 28-30 s	24	126,98	35,10	131,56	46,34	114,93	18,32	0,25
% 30-35 s	24	126,85	35,09	131,71	45,94	115,54	20,50	0,28
% 35-40 s	24	125,21	33,11	130,54	42,36	114,33	21,18	0,24
% 40-45 s	24	125,79	36,61	131,70	45,00	114,31	23,57	0,25
% 45-50 s	24	123,90	34,44	132,27	45,94	113,38	22,16	0,19
% 50-55 s	24	124,10	35,93	131,04	46,44	113,80	22,36	0,26
% 55-60 s	24	123,54	36,21	128,98	43,19	114,08	22,68	0,34
% 60-65 s	24	123,82	37,38	128,22	43,69	112,99	22,45	0,32
% 65-70 s	24	122,18	35,90	128,65	46,33	112,25	22,36	0,30
% 70-75 s	24	121,67	35,20	127,44	43,81	110,77	21,47	0,25
% 75-80 s	24	122,00	38,63	126,05	41,05	110,92	21,91	0,31
% 80-85 s	24	126,19	57,63	125,55	40,19	109,56	22,27	0,32
% 85-90 s	24	125,12	51,03	124,93	39,30	108,85	22,15	0,27
% 90-95 s	24	124,78	51,97	123,41	36,73	108,52	22,31	0,28
% 95-100 s	24	126,16	65,05	122,91	34,47	107,74	21,58	0,32
% 100-105 s	24	126,77	74,15	120,96	33,83	107,33	21,54	0,37
% 105-110 s	24	125,19	73,40	119,61	33,99	106,75	21,43	0,41
% 110-115 s	24	125,61	74,59	119,44	35,56	106,37	21,20	0,39
% 115-120 s	24	124,34	68,47	121,59	35,01	107,54	23,17	0,41

(MittB=Mittelklassewagen Benzinmotor, MittD=Mittelklassewagen Dieselmotor, Limo=Limousine Benzinmotor)

Anhang 11: Geräuschvergleich bei Fahrbedingung Bremsen-Leerlauf-Anfahren

(jeweils Anzahl der Nennungen für jede Vorgabe und errechneter Punktwert)

<i>laut</i>				
	am meisten	weniger	am geringsten	Punkte
Mittelklasse Benziner	9	11	4	53
Limousine Benziner	2	8	14	36
Mittelklasse Diesel	13	5	6	55
<i>gefährlich</i>				
	am meisten	weniger	am geringsten	Punkte
Mittelklasse Benziner	11	9	4	55
Limousine Benziner	7	7	10	45
Mittelklasse Benziner	6	8	10	44
<i>unangenehm</i>				
	am meisten	weniger	am geringsten	Punkte
Mittelklasse Benziner	7	13	4	51
Limousine Benziner	4	5	15	37
Mittelklasse Diesel	13	6	5	56
<i>belästigend</i>				
	am meisten	weniger	am geringsten	Punkte
Mittelklasse Benziner	10	10	4	54
Limousine Benziner	5	7	12	41
Mittelklasse Diesel	9	7	8	49

Lebenslauf

Scherwin Talimi
Lütticher Straße 39
40547 Düsseldorf

Familienstand: ledig

Staatsangehörigkeit: deutsch

Konfession: islamisch

Geburtsdatum: 03.01.1974

Geburtsort: Köln

Familie

Mutter: Keyhan Talimi, Oberstudienrätin

Vater: Dr. med. Esmail Talimi, Urologe

Geschwister: Dr. med. Semira Talimi, Internistin
Salomeh Talimi, Internistin

Schulausbildung:	1980 – 1983	Grundschule in Beckum
	1983 – 1984	Gemeinschaftsgrundschule Holzbüttgen
	1984 – 1990	Marie-Curie-Gymnasium, Neuss
	1990 – 1994	Albert-Einstein-Gymnasium, Kaarst

Studium:	Oktober 1994	Studienfach Mathematik, Köln
	April 1995	Studienfach Medizin an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf Physikum im März 1999 1. Staatsexamen im März 2001 2. Staatsexamen im März 2002 3. Staatsexamen im Mai 2003

Famulaturen:	Aug. - Okt. 1999	Chirurgie, Prof. Dr. med. Husemann Dominikus-Krankenhaus, Düsseldorf
	Feb. - März 2000	Urologie / Praxis Dr. med. Talimi, Neuss
	Sept. - Okt. 2000	Urologie, Dr. med. Caspers Paracelsus Klinik Golzheim, Düsseldorf
	Juli - Aug. 2001	Institut für Arbeits- und Sozialmedizin Prof. Dr. med. Borsch-Galetke Universitätsklinikum Düsseldorf
	September 2001	Gynäkologie und Geburtshilfe Prof. Dr. med. Bender Universitätsklinikum Düsseldorf
Praktisches Jahr:	April-Aug. 2002	Urologie, Prof. Dr. med. Schindler Klinikum Krefeld
	Aug.-Nov. 2002	Chirurgie, Prof. Dr. med. Carrel Universitätsklinik für Herz- und Gefäß-Chirurgie am Inselspital Bern, Schweiz
	Dez.02-März 03	Innere Medizin, Prof. Dr. med. Frieling / Prof. Dr. med. Klues Klinikum Krefeld
Arzt im Praktikum:	Juli-Dez. 2003	Klinik für Urologie und Kinderurologie Prof. Dr. med. Schindler Klinikum Krefeld
	Jan.-Dez. 2004	Klinik für Abdominal-, Viszeral- und Thoraxchirurgie Prof. Dr. med. Husemann Dominikus-Krankenhaus, Düsseldorf
Assistenzarzt:	seit Januar 2005	Klinik für Urologie und Kinderurologie Prof. Dr. med. Wagner St. Josefshospital Uerdingen

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. med. S. Schwarze und Herrn Dipl.-Psych. Gert Notbohm, die mir während der gesamten Zeit hilfreich und fördernd mit Rat und Tat zur Seite standen.

Den Kollegen Jan Schönewolf und Gregor Zodrow gilt ein besonderes Dankeschön für ihre Unterstützung während der experimentellen Phase meiner Dissertation.

Bedanken möchte ich mich auch bei den Mitarbeitern des Instituts für Arbeitsmedizin für ihre freundliche und konstruktive Hilfe und Mitarbeit.

Ich danke meiner Familie, insbesondere meiner Schwester Salomeh Talimi und Anne Lindenschmidt, die mir während der Dissertation eine große Hilfe waren.

ABSTRACT

Scherwin Talimi

Psychophysiologische Bewertung von KFZ-Vorbeifahrtgeräuschen anhand von Fingerpulsamplitude und Hautleitfähigkeit sowie subjektiver Beurteilung

Die Verbesserung der Geräuschsituation im Fahrzeuginnenraum von Pkw unter dem Oberbegriff „Geräuschqualität“ hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Diese Tatsache wirft die Frage auf, ob sich Optimierungen der Geräuschqualität auch hinsichtlich Fahrzeugaußengeräuschen realisieren lassen und mit welchen Methoden diese wahrgenommene Geräuschqualität zu erfassen ist.

Dazu wurden in der vorliegenden experimentellen Arbeit mit 24 männlichen Versuchspersonen die subjektive Bewertung von Kfz-Vorbeifahrtgeräuschen und die hervorgerufenen physiologischen Reaktionen analysiert. Es handelte sich dabei um jeweils 2-minütige Aufnahmen von Fahrzeuggeräuschen von drei unterschiedlichen Wagentypen unter drei verschiedenen Fahrbedingungen. Die Experimente wurden im Schalllabor des Instituts für Arbeits- und Sozialmedizin der Universität Düsseldorf von Mai bis November 2001 im Rahmen des EU-Forschungsprojektes SVEN durchgeführt. Während der Beschallung wurden als wichtigste Parameter die Fingerpulsamplitude (FPA) und die Hautleitfähigkeitsreaktion (SCR) aufgezeichnet. Zusätzlich wurden die gehörten Vorbeifahrtgeräusche mit Hilfe von Fragebögen bewertet.

In der vergleichenden Betrachtung der Ergebnisse erweist sich das verwendete Instrumentarium insgesamt als geeignet, um zu aussagekräftigen Ergebnissen zu gelangen. Die physiologischen Parameter bestätigten sich gegenseitig in der Erfassung unterschiedlicher Intensitäten der Erregung des autonomen Nervensystems, wie sie durch die unterschiedlichen Kfz-Geräusche hervorgerufen wurden. In zwei Fahrsituationen (50 km/h, 2. Gang, Beschleunigung und 70 km/h, 3. Gang, konstante Geschwindigkeit) zeigte sich eine gute Übereinstimmung zwischen den physiologischen Messungen und der subjektiven Evaluation. In der dritten Fahrbedingung „Bremsen-Leerlauf-Anfahren“ waren die Ergebnisse widersprüchlich.

Der offensichtliche Kontrast in dieser Fahrbedingung zwischen den starken physiologischen Antworten auf das Limousinen-Geräusch und seiner relativ positiven Bewertung in den Fragebögen war unerwartet und ist intensiver zu diskutieren. Als Erklärung bietet sich an, dass in diesem Fall die physiologische Aktivierung in Verbindung mit der entsprechenden kognitiven Bewertung auf eine positive Einstellung zu diesem Geräusch hindeutet.

Es empfiehlt sich, weitere Versuchsreihen durchzuführen, um die beteiligten Faktoren bei der Wahrnehmung der Geräuschqualität von Kfz-Vorbeifahrtgeräuschen besser zu verstehen und auch relevante Zusammenhänge mit akustischen Parametern zu finden, so dass das Konzept der Geräuschqualität auch bei Kfz-Außengeräuschen Substanz erhält.