

**Aus dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin
des Universitätsklinikums der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Komm. Direktorin: Prof. Dr. med. Sieglinde Schwarze**

**Die Geräuschqualität von modifizierten
Pkw-Vorbeifahrtgeräuschen im Urteil
von Versuchspersonen**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

**Der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
vorgelegt von**

Josef Reza Röttges

2008

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

gez.: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. B. Nürnberg
Dekan

Referentin: Prof. Dr. med. S. Schwarze
Korreferent: Univ.-Prof. Dr. med. J. Schipper

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 Einleitung	5
2 Theoretischer Hintergrund und Fragestellung	7
2.1 Physikalische Grundlagen des Schalls	7
2.2 Frequenz, Ton, Klang und Geräusch	9
2.3 Der Hörvorgang	11
2.4 Psychoakustik	14
2.5 Aurale und extraaurale Lärmwirkungen	15
2.5.1 Aurale Lärmwirkungen	16
2.5.2 Extraaurale Lärmwirkungen	17
2.5.2.1 Physiologische Lärmwirkungen im Bereich des vegetativen Nervensystems	17
2.5.2.2 Chronische Lärmwirkungen	18
2.5.2.3 Subjektive Lärmempfindung	19
2.5.2.4 Psychosoziale Auswirkungen	20
2.5.2.5 Ökonomische Auswirkungen	21
2.6 Besondere Aspekte des Verkehrslärms	21
2.7 Besondere Aspekte des Lärms von Kraftfahrzeugen	22
2.8 Fragestellung	25
3 Physiologische Messparameter	26
3.1 Pulsoximetrie	26
3.1.1 Grundlagen	26
3.1.2 Artefakte	27
3.2 Herzfrequenz	28
3.3 Elektromyogramm (EMG)	28
3.3.1 Grundlagen	28
3.3.2 EMG im Versuch	30
3.3.3 Artefakte	31
3.4 Elektrodermale Aktivität (Hautleitfähigkeit)	31
3.4.1 Grundlagen	31
3.4.2 Funktion der Haut	32
3.4.3 Messung der Hautleitfähigkeit im Versuch	36
3.3.4 Artefakte	37
4 Versuchsdurchführung und Methodik	39
4.1 Stichprobenbeschreibung	39
4.2 Versuchsdurchführung	39
4.2.1 Audiometrietermin (1. Termin)	40
4.2.2 Hauptversuch (2. Termin)	40
4.2.2.1 Vorbereitung (ca. 45 Minuten)	40

4.2.2.2 Geräuscharbeitung (ca. 70 Minuten)	42
4.2.2.3 Beschreibung der Versuchsgeräusche in Block A	42
4.2.2.4 Subjektive Bewertung (ca. 20 Minuten)	45
4.3 Analyse der physiologischen Daten	45
4.4 Analyse der Daten der subjektiven Bewertung	48
4.5 Statistische Auswertung	49
5 Ergebnisse	50
5.1 Versuchsbedingung 50s versus 50m: Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigem Diesel-Motor im Vergleich zum modifizierten Motor	50
5.1.1 Fingerpulsamplitude (FPA) in der Versuchsbedingung 50s versus 50m	50
5.1.2 Herzfrequenz in der Versuchsbedingung 50s versus 50m	52
5.1.3 Elektrische Muskelaktivität in der Versuchsbedingung 50s versus 50m	53
5.1.4 Hautleitfähigkeit (SCL) in der Versuchsbedingung 50s versus 50m	55
5.1.5 Vergleichende Geräuschbewertung in der Versuchsbedingung 50s versus 50m	56
5.1.6 Generelle Geräuschbeurteilung in der Versuchsbedingung 50s versus 50m	57
5.2 Versuchsbedingung 70s versus 70m: Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigen Reifen im Vergleich zu modifizierten Reifen	58
5.2.1 Fingerpulsamplitude (FPA) in der Versuchsbedingung 70s versus 70m	58
5.2.2 Herzfrequenz (HF) in der Versuchsbedingung 70s versus 70m	59
5.2.3 Elektrische Muskelaktivität (EMG) in der Versuchsbedingung 70s versus 70m	61
5.2.4 Hautleitfähigkeit (SCL) in der Versuchsbedingung 70s versus 70m	62
5.2.5 Vergleichende Geräuschbewertung in der Versuchsbedingung 70s versus 70m	63
5.2.6 Generelle Geräuschbeurteilung in der Versuchsbedingung 70s versus 70m	64
5.3 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse	65
5.3.1 Vergleich der generellen Beurteilungen	65
5.4 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse	67
6 Diskussion	70
7 Zusammenfassung	76
8 Literatur	78
9 Abbildungsverzeichnis	82
10 Anhang	85
11 Lebenslauf	103
Abstract	105

1 Einleitung

Die Feinstaubproblematik, wie sie 2005 in den Medien diskutiert wurde, ist ein erneuter Beweis für die immer stärker werdenden Folgen einer zunehmend industrialisierten Welt. Vor allem in Ballungsgebieten wie zum Beispiel in Düsseldorf oder in Dortmund wurden durch das vermehrte Aufkommen von motorisierten Fahrzeugen Feinstaubgrenzwerte überschritten. Es ist damit zu rechnen, dass die Anwohner in hoch belasteten Gebieten auf lange Sicht gesundheitliche Schäden davontragen werden.

Ein weiterer, schon seit vielen Jahren beklagter Aspekt des vermehrten Verkehrsaufkommens ist der damit verbundene Straßenverkehrslärm, der auch in der Öffentlichkeit wegen befürchteter Folgen für Gesundheit und Wohlbefinden heftig diskutiert wird. Nach Ortscheid & Wende (2006) macht der Straßenverkehrslärm seit Jahrzehnten mit Abstand den größten Teil des Umweltlärms aus. Insbesondere in größeren Städten, zur Rushhour, an großen Kreuzungen oder Hauptverkehrsstraßen ist die Lärmbelastung außerordentlich hoch. Am Beispiel Straßenverkehr wird deutlich, wie wichtig es ist, die negativen Auswirkungen, die Zivilisation und Industrialisierung in der Gesellschaft nach sich ziehen, rechtzeitig zu erkennen, um Lösungen bzw. Kompromisse zum Schutze der Umwelt und der Gesundheit des Menschen zu entwickeln. Zwar bewirkten Lärmbekämpfungsmaßnahmen wie Pegelminderung am einzelnen Fahrzeug, Umgehungsstraßen, Geschwindigkeitsbegrenzungen, Kreisverkehrssysteme oder „grüne Pfeile“ eine Minderung der Lärmbelastung. Doch stehen diese im Wettlauf mit dem wachsenden Fahrzeugaufkommen.

Neuere Ansätze sehen mittlerweile die Lösung nicht nur in der Schallpegelreduzierung, sondern auch in der Optimierung der Geräuschqualität (Krebber et al. 2002). Studien haben gezeigt, dass zum Beispiel im Kfz-Innenraum die Geräuschqualität sowohl von akustischen als auch von nicht-akustischen Faktoren abhängt (Bednarzyk 1999).

Die Autoindustrie versucht seit Jahren unter Einbeziehung von Forschungsergebnissen die Qualität der Geräusche im Fahrzeuginnenraum zu optimieren. Dabei steht nicht mehr die Geräuschminimierung im Vordergrund. Neben guten Fahreigenschaften ist auch der „Sound“ eines Wagens wichtig. Dieser muss – je nach Präferenz des Käufers – mal sportlich-kraftvoll oder auch luxuriös-angenehm klingen. So gibt es beispielsweise seit 2002 das sogenannte „System Active Noise Control“ (ANC) auf dem Markt. Ein Lautsprecher erzeugt dabei an der

Ansauganlage einen Gegenschall, wodurch, mittels des physikalischen Prinzips der Interferenz, ein neuer Ton entsteht und damit das Motorengeräusch verändert. So können die Automobilhersteller das Geräusch gezielt gestalten und den Wünschen der Kunden entsprechend modifizieren.

In dem europäischen Verbundprojekt SVEN (Sound Quality of Vehicle Exterior Noise), an dem sieben Projektpartner aus den Bereichen Akustik, Psychologie, Medizin, Technik und Automobilkonstruktion aus fünf Ländern beteiligt waren, sollten Möglichkeiten zur Verbesserung der Geräuschqualität für Kfz-Außengeräusche entwickelt werden. Aufgabe des Instituts für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin (IASM) der Heinrich-Heine Universität Düsseldorf als einem der Projektpartner war es, das subjektive Phänomen der erlebten Geräuschqualität mit psychoakustischen und psychophysiologischen Methoden zu beschreiben.

In der ersten Versuchsreihe (SVEN 1) wurden spezifische Deskriptoren für die erlebten Geräuschqualitäten anhand von Straßenverkehrslärm herausgearbeitet (Notbohm et al. 2003b).

In der zweiten Versuchsreihe (SVEN 2) stand die psychophysiologische Bewertung von einzelnen Pkw-Vorbeifahrtgeräuschen im Vordergrund (Notbohm et al 2003a).

Zielsetzung der dritten Projektphase (SVEN 3), die die Basis dieser Arbeit ist, war die Überprüfung des in SVEN 1 und SVEN 2 entwickelten Konzepts. Hier wurden serienmäßige Pkw-Vorbeifahrtgeräusche, deren Geräuschqualität mit technischen Methoden nachträglich wieder verschlechtert wurde, verwendet und im Hinblick auf ihre psychophysiologische Bewertung analysiert.

2 Theoretischer Hintergrund und Fragestellung

2.1 Physikalische Grundlagen des Schalls

Die in dieser Arbeit verwendeten Pkw-Vorbeifahrt-Geräusche werden gemeinhin als unerwünschter und belästigender Schall, also als Lärm, aufgefasst. Um den schädigenden Effekt von Lärm auf Mensch und Umwelt nachvollziehen zu können, werden im Folgenden die physikalischen Grundsätze des Schalls und die Auswirkungen von Lärm kurz beschrieben. Schwingungen von Molekülen eines elastischen Stoffes, wie z. B. Luft, die sich wellenförmig ausbreiten, bezeichnet man als Schall. Durch die Beschleunigung der benachbarten Luftmoleküle wird dabei Energie an die Umgebung abgegeben. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls variiert je nach Umgebungsmedium. In Luft beträgt sie bei 0°C 331m/sec, bei 20°C 343 m/sec.

Aufgrund der Molekülschwingungen entstehen Zonen dichter und weniger dicht gepackter Teilchen. Der Druck ist in diesen Zonen entsprechend erhöht bzw. erniedrigt. Dadurch kommt es zu einer minimalen Veränderung des sonst herrschenden Luftdrucks, den man als *Schalldruck* bezeichnet (Abb. 1). Den Schalldruck kann man mit Hilfe von Messmikrofonen erfassen und seinen Zeitverlauf aufzeichnen.

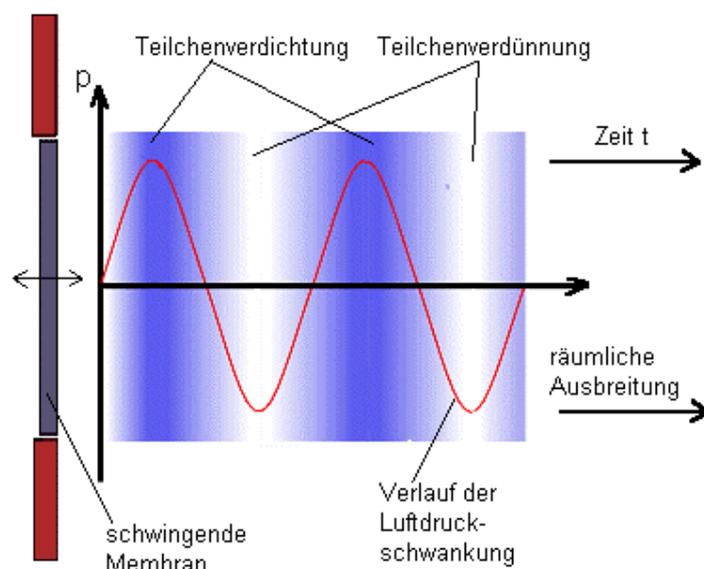


Abb. 1: Darstellung des Verlaufs der Schalldruckamplitude in Abhängigkeit von der Teilchendichte
Quelle: http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus/

Wie jeder andere Druck wird der Schalldruck in Newtonmeter N/m^2 (= Pa) angegeben. In der Akustik wird der gemessene Schalldruck zu einem Bezugsschalldruck von $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$

(entspricht dem Schalldruck an der Hörschwelle bei 1 kHz) in Bezug gesetzt, logarithmiert, quadriert und mit 10 multipliziert.

$\begin{aligned} \text{Schalldruckpegel } L &= 10 \cdot \log (p_x/p_0)^2 \text{ [dB]} \\ &= 20 \cdot \log (p_x/p_0) \end{aligned}$
--

Man erhält den *Schalldruckpegel*. Dieser wird in Dezibel (dB) angegeben (Abb. 2).

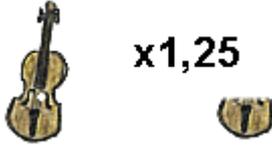
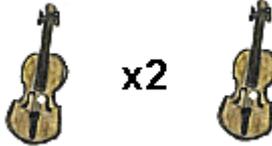
Lautstärke- änderung	Schallpegel- unterschied	Anzahl gleicher Schallquellen	Schalldruck- änderung
Grundlaut- stärke	-	 x1	x 1
eben hörbar lauter	+ 1dB	 x1,25	x 1,1
hörbar lauter	+ 3 dB	 x2	x 1,4
doppelt so laut wie die Grundlautstärke	+ 10 dB	 x10	x 3
viermal so laut wie die Grundlautstärke	+20 dB	 x100	x 10

Abb. 2: Vergleich Schallpegel zum Schalldruck
Quelle: http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus/

Eine andere Maßeinheit zur Messung von Schall ist der *Schallintensitätspegel*. Er bezeichnet die pro Zeiteinheit durch eine Flächeneinheit hindurchtretende Schallenergie. Dabei ist die Schallintensität I proportional zum Quadrat des Schalldruckes $I \sim p^2$. Dabei ist I die gemessene Schallintensität [W/m^2] und $I_0 = 10^{-12} W/m^2$ die Bezugsschallintensität an der Hörschwelle bei 1 kHz (Hoffmann & von Lüpke 1993):

$$\text{Schallintensitätspegel } L = 10 \cdot \log I/I_0 \text{ [dB]}$$

Da Schallintensität und Schalldruck einander proportional sind $[(p_x/p_0)^2 \sim I/I_0]$, führen beide Messmethoden zum gleichen Ergebnis. Man spricht deshalb vereinfachend vom Schallpegel.

Bei einer Verdopplung der Schallenergie, wenn also statt einer Maschine zwei Maschinen betrieben werden, steigt der Schallpegel um 3 dB. Dasselbe ist der Fall, wenn statt 30 Maschinen 60 Maschinen betrieben werden. Bei einer Verzehnfachung der Anzahl der Schallquellen steigt der Schallpegel um 10 dB. Ein Anstieg um 20 dB entspricht einer Verhundertfachung des Schallpegels (hundert mal so viele Schallquellen).

Die Abbildung 3 soll einen Eindruck davon vermitteln, welche Geräuschsituationen ungefähr mit welchen Schallpegeln verbunden sind.

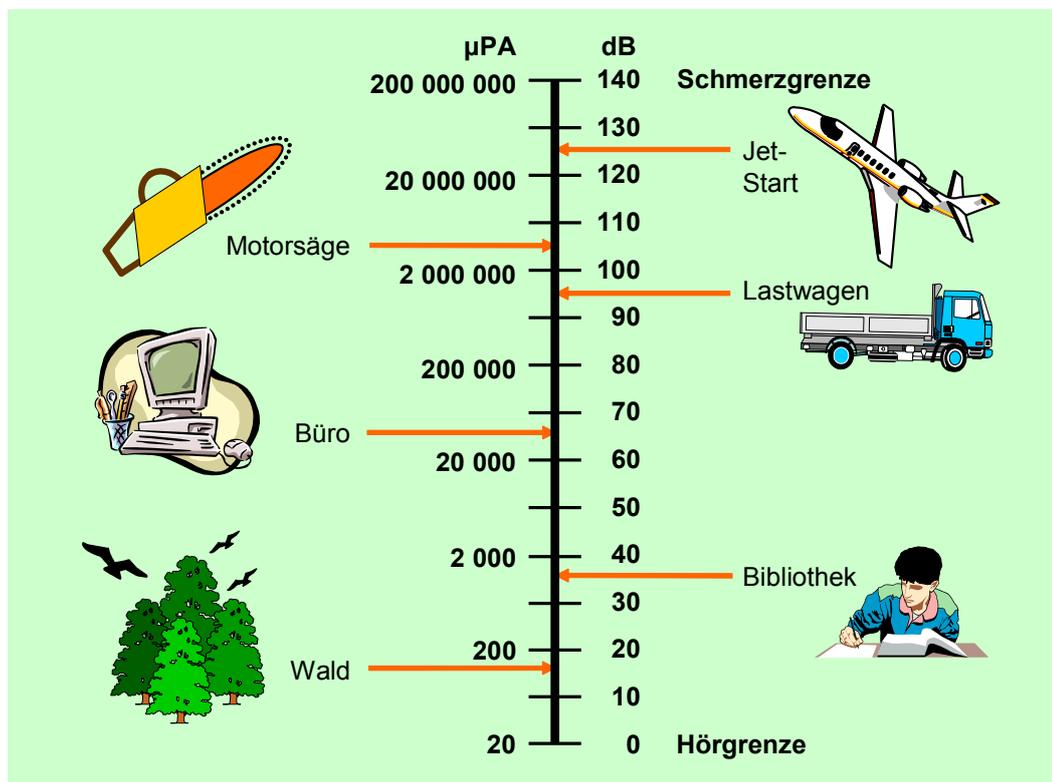


Abb. 3: Hörbereich mit Beispielen (Quelle: IASM)

2.2 Frequenz, Ton, Klang und Geräusch

Die Häufigkeit eines periodischen Vorgangs (z. B. einer Schwingung) pro Zeiteinheit wird als *Frequenz* bezeichnet. Beim Schall wird die Frequenz in *Hertz* (Hz) angegeben:

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ Schwingung/Sekunde}$$

Je höher die Frequenz, umso höher ist der Ton.

- Als *Ton* bezeichnet man eine Sinusschwingung mit nur einer Frequenz (einfache Schallwelle). Reine Töne sind im Alltag praktisch nie vorhanden. Viel häufiger kommen Schallereignisse mit mehreren Frequenzen vor. Diese bezeichnet man als *Klänge* bzw. *Geräusche*.
- Ein *Klang* besteht aus mehreren Frequenzen mit einem Grundton und mehreren Obertönen als ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz.
- Bei *Geräuschen* handelt es sich um Schallereignisse mit sehr vielen bzw. allen Frequenzen des Hörbereichs. Eine Periodizität ist während des Zeitverlaufs nicht mehr zu erkennen (siehe Abb. 4).

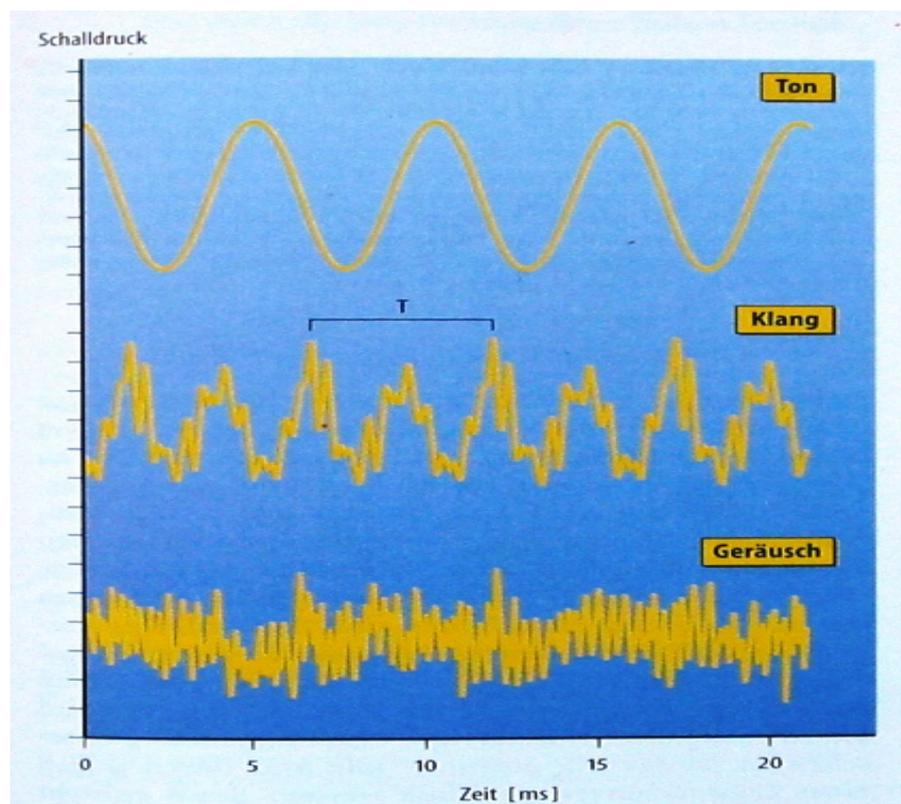


Abb. 4: Zeitverlauf des Schalldrucks bei einem Ton, einem Klang und einem Geräusch. Die Periodendauer T der Grundfrequenz ist beim Klang eingezeichnet.

Quelle: Schmidt, Thews (1995), *Physiologie des Menschen*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 26. Auflage

2.3 Der Hörvorgang

Da die Weiterleitung und -verarbeitung von Schall für diese Arbeit von besonderer Bedeutung sind, sollen diese Vorgänge an dieser Stelle kurz erläutert werden. Schallwellen treffen auf die Ohrmuschel und werden dort durch den äußeren Gehörgang weiter auf die Membrana tympani geleitet. Diese fest mit dem ersten Gehörknöchelchen, dem Hammer, verwachsene Membran schwingt je nach Frequenz und Intensität des Schalls. Über die drei Gehörknöchelchen (Malleus → Incus → Stapes) setzt der Schall seinen Weg über die Fußplatte des Steigbügels zum ovalen Fenster fort. Durch die kleiner werdenden Membranflächen vom Trommelfell bis zum ovalen Fenster sowie durch den im Vergleich zum Hebelarm des Ambosses längeren Hebelarm des Hammers wird der Schall bis zu 20-fach verstärkt. Der M. tensor tympani und der M. stapedius halten hierbei die drei Gehörknöchelchen in Spannung und verhindern ihre Überstimulation.

Am ovalen Fenster gelangen die Schallwellen über die Perilymphe die Vorhofstreppe „hinauf“, gehen an der Schneckenspitze (*Helicotrema*) in die Paukentreppe über und verebben schließlich „auf dem Weg nach unten“ am runden Fenster (Abb. 5). Durch diese Bewegung wird indirekt die Endolymphe in der häutigen Schnecke bewegt, so dass die Basilarmembran ausgelenkt wird. Bei dieser Bewegung werden die Sinneszellen des Corti-Organs erregt, allerdings auf unterschiedliche Weise. Durch die Auslenkung der Basilarmembran kommt es zu einer Relativbewegung in Bezug zur Membrana tectoria. Diese berührt die Stereozilien der äußeren Haarzellen, die sich ihrerseits aktiv kontrahieren können. Sie wirken somit als Signalverstärker und können die lokalen Auslenkungen der Basilarmembran etwa 1.000-fach verstärken. Erst die auf diese Weise verstärkte Bewegung führt zu einer Erregung der inneren Haarzellen. Da das Proteingewebe der Basilarmembran unterschiedlich dicht bzw. dick ist, woraus unterschiedliche physikalische Eigenschaften resultieren, kommt es zu einer Auffächerung der Frequenzen eines Schallereignisses: das Schwingungsmaximum für hohe Töne liegt am Anfang der Basilarmembran in der Nähe des ovalen Fensters, während tiefe Töne in Richtung *Helicotrema* abgebildet werden.

Die Auslösung des Aktionspotentials der Haarzelle wird als Erregung an die Fasern der bipolaren Ganglienzellen, die die Haarzellen an ihrer Basis umschließen, weitergegeben (Ganglion spirale cochleae; 1. Neuron der Hörbahn).

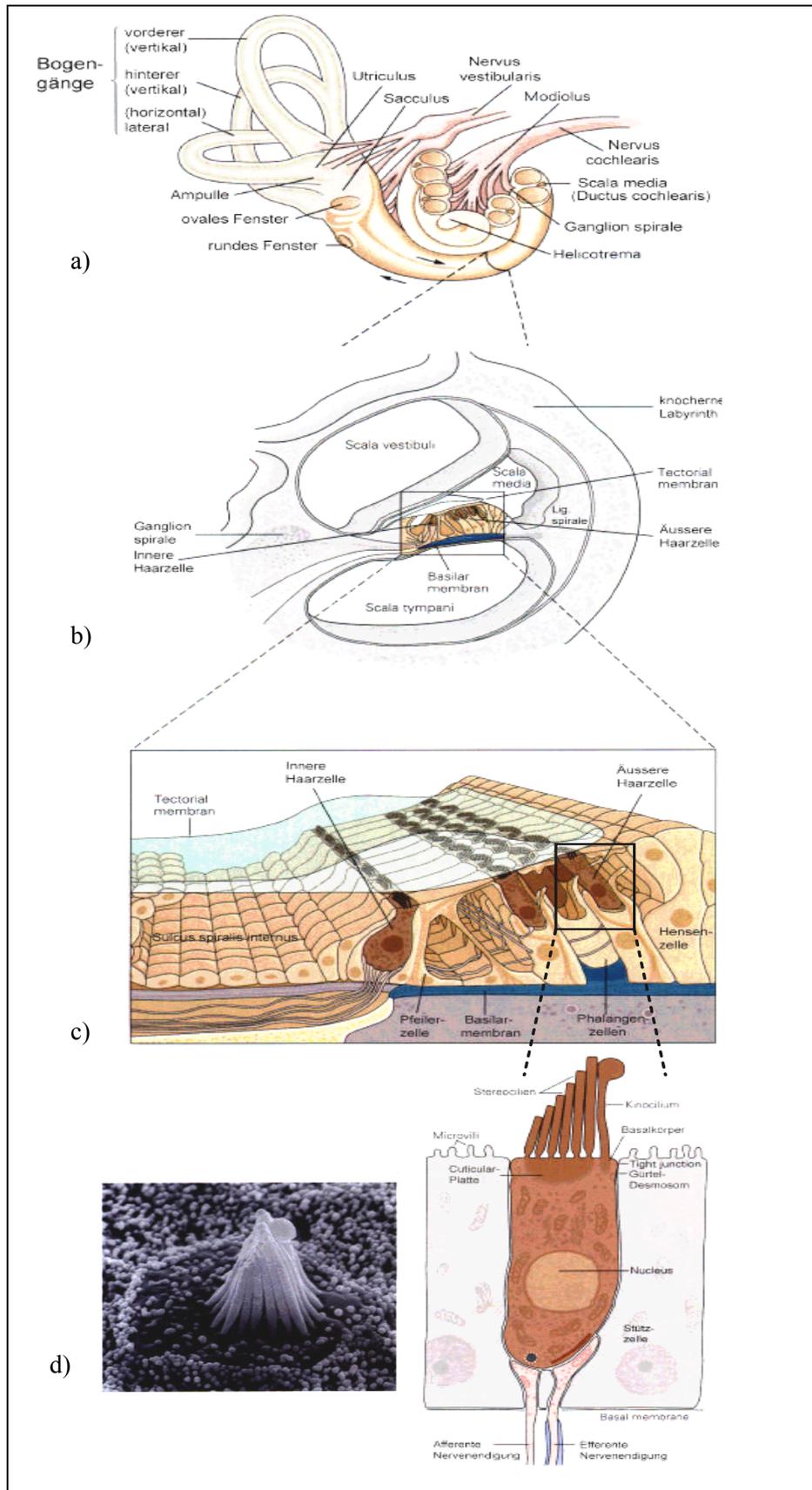


Abb. 5: a) Cochlea und Bogengänge, b) Schnitt durch Cochlea, c) Corti-Organ, d) Haarzelle im Rasterelektronenmikroskop, e) Aufbau einer Haarzelle
 Quelle: www.anatom.uni-tuebingen.de/docs/MolHistoWS2006/YYOhrInnenohr.pdf

Das Ganglion spirale cochleae liegt in der Wand der Cochlea, in der Nervenfasern zu einem Bündel zusammengefasst werden. Sie ziehen dann weiter zum Stammhirn, wobei ein Teil zum vorderen Kern (*Nucleus cochlearis ventralis*), der andere Teil zum hinteren Kern (*Nucleus cochlearis dorsalis*) zieht. Hier werden die Fasern mit dem folgenden Neuron (2. Neuron der Hörbahn) synaptisch umgeschaltet (Abb. 6) und bereits hier wird die akustische Information bearbeitet. So kann z. B. schon an dieser Stelle eine Frequenztrennung erfolgen, die zu einer Verbesserung der Schärfe des Höreindrucks führt (laterale Inhibition).

Vom vorderen Kern des Nucleus cochlearis wiederum ziehen Bahnen (*Stria acustica ventralis*) zur gleichen als auch zur gegenüberliegenden Seite des Olivenkomplexes (*Nucleus medialis et lateralis*). Das bedeutet, dass die Nervenzellen des Olivenkomplexes Informationen von beiden Ohren erhalten. Somit besteht an dieser Stelle erstmalig die Möglichkeit, akustische Signale der beiden Ohren miteinander zu vergleichen. Hier werden z. B. Laufzeitunterschiede zwischen den Fasern beider Innenohren ausgewertet, um eine räumliche Orientierung zu ermöglichen. Eine hintere und eine intermediäre Bahn entspringen dem hinteren Kern, kreuzen auf die andere Seite und erreichen schließlich den *seitlichen Schleifenkern*.

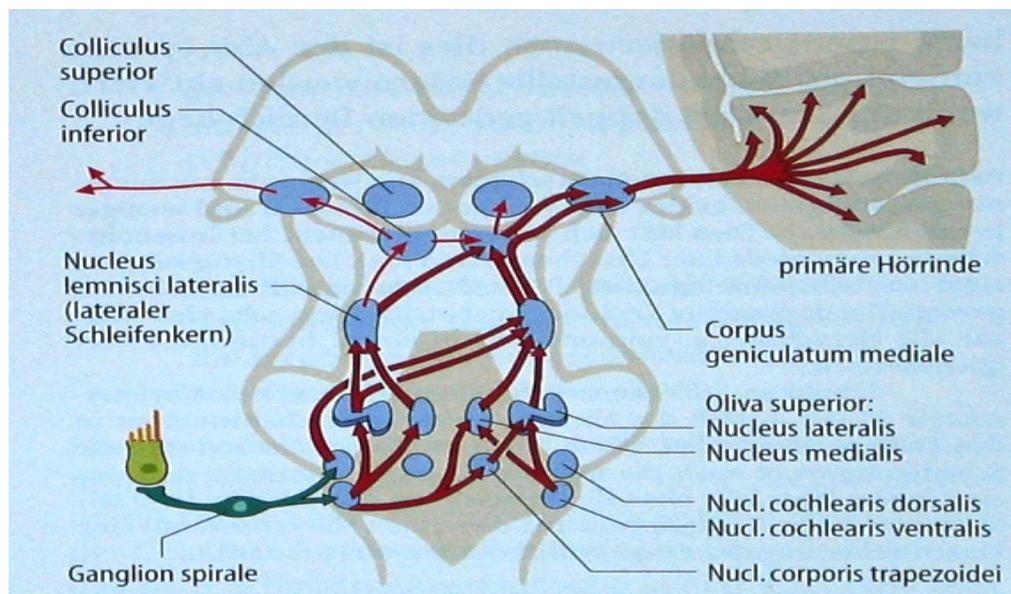


Abb. 6: Schematisierte Darstellung der Hörbahn. Dargestellt sind nur die von einer Seite ausgehenden Bahnen. Um die binauralen Verschaltungen in der oberen Olive anzudeuten, wurden jedoch vom rechten Nucleus cochlearis ventralis ausgehende Bahnen berücksichtigt. Rücklaufende Kollaterale und Interneurone in den Kernen sind nicht eingezeichnet.

Quelle: Schmidt, Thews (1995). *Physiologie des Menschen*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 26. Auflage

Von dort ziehen die Fasern durch das Mittelhirn, wo sie im *Colliculus inferior* erneut umgeschaltet werden. Durch Austausch von Fasern der Gegenseite kann das Richtungshören weiter verbessert werden. Danach gelangt die akustische Information zum Thalamus, in welchem sie im *Corpus geniculatum mediale* umgeschaltet wird. In diesem Bereich werden Fasern zu den vegetativen Zentren abgezweigt, die für die Auslösung der extraauralen physiologischen Reaktionen zuständig sind. Vom *Corpus geniculatum mediale* ziehen die Fasern der Hörbahn schließlich zur primären Hörrinde (Brodmann-Areal 41) im oberen Temporallappen (*Heschl-Windung* in der Tiefe der *Sylvi-Fissur*).

Die primäre Hörrinde ist von der sekundären Hörrinde (Brodmann-Areal 42) umgeben. Die Aufgabe des sekundären auditorischen Kortex liegt in der Analyse der unterschiedlichen Klänge, z. B. dem „Lauschen“, der Unterdrückung nicht angebrachter motorischer Reaktionen oder dem Kurzzeitgedächtnis zum Vergleich der Töne.

2.4. Psychoakustik

Als Teilgebiet der Psychophysik befasst sich die Psychoakustik damit, auf welche Art und Weise die vom Hörorgan registrierten akustischen Signale zu bewussten Schallwahrnehmungen verarbeitet werden. Dabei beschreibt diese Disziplin, welcher Zusammenhang zwischen den physikalischen Eigenschaften des Schallsignals und den daraus resultierenden Hörempfindungen besteht. Die Psychoakustik fasst das Gehör als signaltheoretisches Modell auf (Abb. 7): Das Gehör reagiert auf eine definierte physikalische Größe (Reiz) als *Einganggröße* mit einer *Ausgangsgröße* in Form einer Empfindung, die nicht allein durch den gemessenen Schallpegel bestimmt wird. Beispielsweise ließ sich in Versuchen zeigen, dass die Lautstärkeempfindung einer Person auch von der Dauer eines Geräusches abhängt. So wird ein kurzes Knacken bestimmter Amplitude als leiser empfunden als ein anhaltendes Schallereignis gleicher Lautstärke (von Bekesy 1960). Diese wahrgenommene Lautstärke wird in der Psychoakustik als **Lautheit** bezeichnet und auch messtechnisch erfasst. In der Regel korreliert die Lautheit stärker mit der subjektiv empfundenen Lästigkeit als ein A-bewerteter Schallpegel (vgl. Schick 1990, 1997). Die Lästigkeit eines Geräusches kann sicher als wesentlichster Aspekt in der subjektiven Wahrnehmung und Bewertung von Lärm bezeichnet werden.

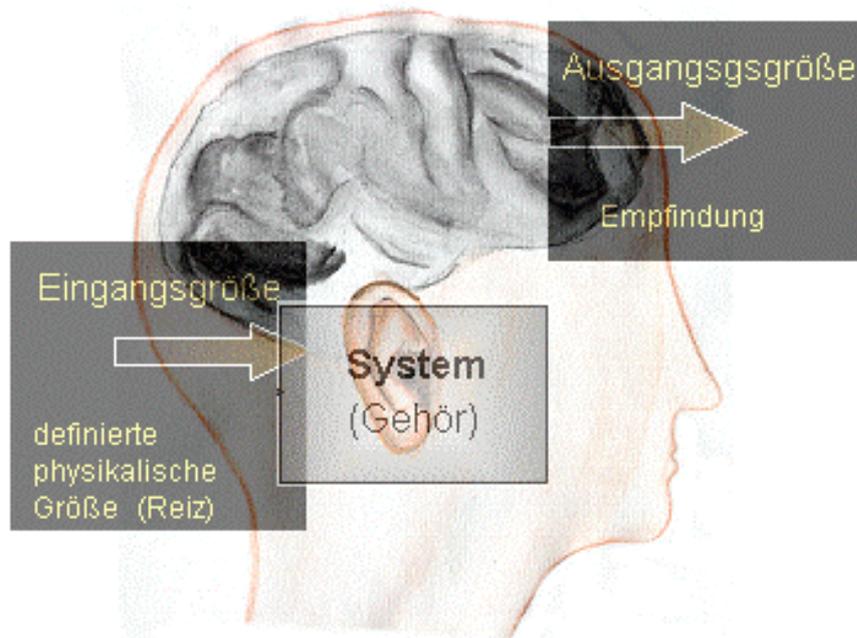


Abb. 7: Das Gehör als signaltheoretisches Modell
 Quelle: http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus

In der psychoakustischen Forschung wurden neben der Lautheit noch weitere Faktoren als relevant für die Lästigkeitsempfindung nachgewiesen (Zwicker 1991):

- Einfluss von Tages- bzw. Nachtzeit
- Schärfe des Geräusches als besondere Betonung höherer Frequenzen im Spektrum
- zeitliche Variation des Geräusches
- Einfluss tonaler Komponenten

Zusätzlich zu diesen eher geräuschbezogenen Aspekten fließen auch noch situations- und personenbezogene Aspekte in die Bewertung einer Schallsituation ein, wie im Abschn. 2.5.2.3 weiter ausgeführt wird. Damit wird aber schon deutlich, dass zur Analyse der subjektiven Bewertung eines Geräusches Daten auf verschiedensten Ebenen zu erheben sind. Im vorliegenden Versuch wurden daher zum einen die physiologischen Messparameter aufgezeichnet und zum anderen subjektive Empfindungen und Bewertungen mittels Fragebögen erfasst.

2.5 Aurale und extraaurale Lärmwirkungen

Wegen der besonderen Art der Verarbeitung von Schallinformationen und der Art der Verknüpfung mit verschiedenen Zentren im ZNS sind neben der direkten Wirkung auf das Gehör (aurale Lärmwirkung) und der Abbildung des Gehörten in der Hörrinde aufgrund der Beeinflussung im Thalamus/Hypothalamus auch zahlreiche Wirkungen auf andere Bereiche des

menschlichen Organismus zu berücksichtigen, die über die bloße Vermittlung eines gesetzten Sinnesreizes hinaus gehen (extraaurale Lärmwirkungen). Folgende Wirkungsbereiche von Lärm werden unterschieden:

- Gehör
- vegetatives Nervensystem
- Schlaf
- Leistung
- Psyche
- Kommunikation
- akustische Orientierung

2.5.1 Aurale Lärmwirkungen

Das Gehör des Menschen ist in erster Linie für die Übermittlung von Informationen ausgelegt, sei es für sprachliche Kommunikation, sei es für Warnsignale. Hierfür genügt ein mittlerer Schallpegelbereich. Hohe Schallpegel können das Gehör nachhaltig schädigen. Die Gefährdung beginnt ab einer Größenordnung von 80 dB(A). Das Schädigungspotential hängt in erheblichem Maße von der Einwirkungsdauer ab. Während in einem Beurteilungspegelbereich ab 80 dB(A) eine mehrere Jahrzehnte währende Einwirkung erforderlich ist, um das Gehör zu schädigen, genügen bei Beurteilungspegeln ab 90 dB(A) schon einige Jahre. Als Faustregel gilt, dass bei einer Pegelerhöhung um 3 dB sich die Einwirkungszeit halbiert, um schädigungsäquivalent zu sein.

Die Gehörschädigung entwickelt sich unabhängig von der subjektiven Einstellung zur Geräuschquelle. Hohe Beurteilungspegel am Arbeitsplatz sind genauso schädlich wie Lärm in Diskotheken, von tragbaren Musikabspielgeräten oder von lauten Arbeitsmaschinen, die beim Heimwerken zum Einsatz kommen. Ein außerordentlich hohes Gefährdungspotential haben Knalle und Explosionen. Ein einziger Silvesterknaller, der an einem Kinderohr detoniert, kann das Gehör für ein ganzes Leben schädigen. Man schätzt heute, dass ca. 14 Mio. Bundesbürger (15 % der Bevölkerung) Schäden des Gehörs durch Lärm haben. Als unangenehme Begleiterscheinung können Ohrgeräusche (Tinnitus) entstehen. Man schätzt, dass fast 3 Mio. Bundesbürger (ca. 4 % der Bevölkerung über 10 Jahre) an Tinnitus leiden (<http://www.tag-gegen-laerm.de>). Seit 40 Jahren ist die Lärmschwerhörigkeit die am häufigsten entschädigte Berufskrankheit. Besonders betroffen sind Berufstätige in der Metall- und Textilindustrie und im Tiefbau. Lärmschutz kann durch Emissions- (Reduzierung der Schallerzeugung und –ab-

strahlung) und Immissionsminderung (Schallwände, persönlicher Gehörschutz) erreicht werden.

2.5.2 Extraaurale Lärmwirkungen

Für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit sind im Wesentlichen die physiologischen/vegetativen und die psychischen Lärmwirkungen relevant.

2.5.2.1 Physiologische Lärmwirkungen im Bereich des vegetativen Nervensystems

Über die Miterregung vegetativer Areale im Hypothalamus kommt es zu zahlreichen Reaktionen, die sich als akute Lärmwirkungen zuverlässig nachweisen lassen. Die Abbildung 8 zeigt, dass der Hauptvermittler dieser Reaktionen das sympathische Nervensystem ist.

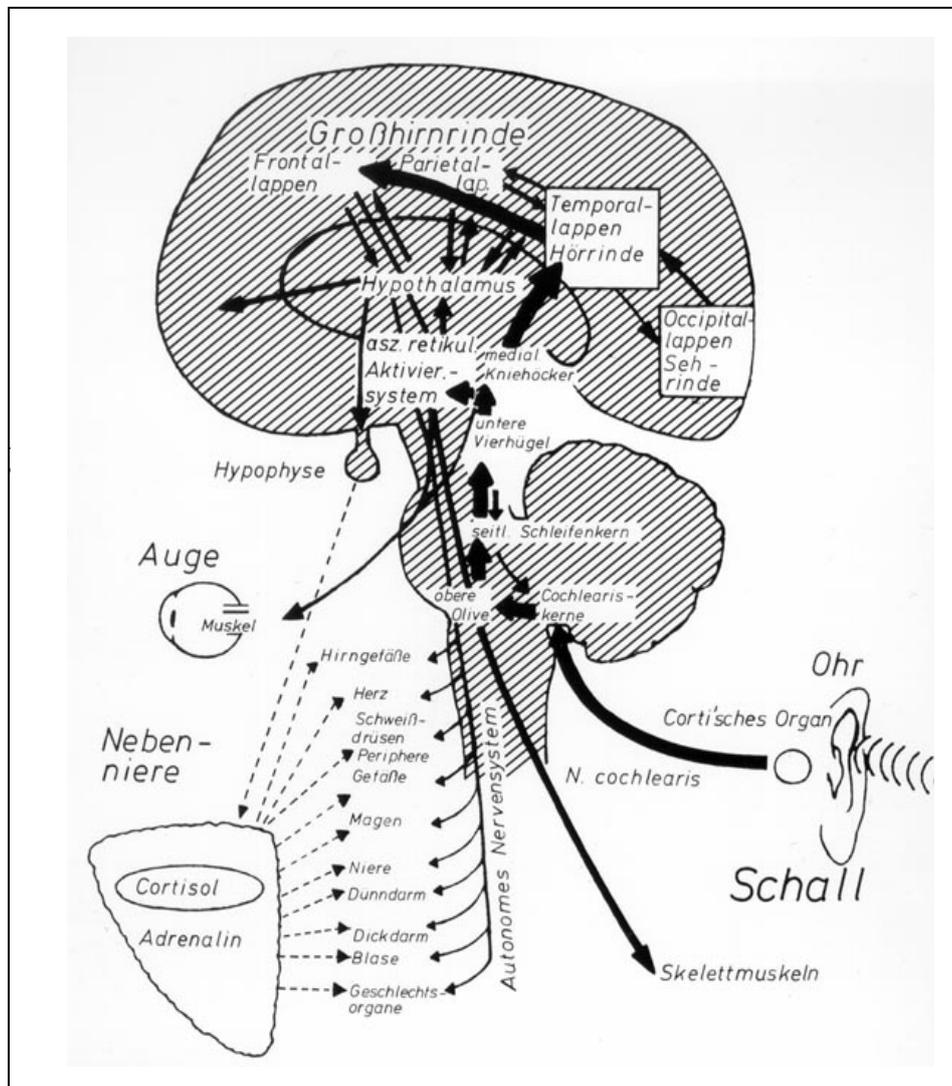


Abb. 8: Entstehung extraauraler Lärmwirkungen (Quelle: IASM)

Betrachtet man diese Reaktionen in ihrer gesamten Wirkung so wird deutlich, dass sich diese sympathisch vermittelten Reaktionen nahezu am ganzen Körper nachweisen lassen (Abb. 9). Seit Anfang des letzten Jahrhunderts werden diese Lärmwirkungen systematisch erforscht. Die nachgewiesenen Reaktionen, die aufgrund ihres Musters auch als Stressreaktionen bezeichnet werden, sind im Prinzip immer gleich: Beispielhaft seien hier genannt Blutdruckanstieg, Pupillenerweiterung, Ausschüttung von Katecholaminen, verminderte Magensaft- und Speichelproduktion, Anstieg der Atem- und Herzfrequenz, Veränderungen des Hirnstrombildes, der Muskelaktivität und des elektrischen Hautwiderstands, Verminderung der peripheren Durchblutung etc. Diese Reaktionen können als Ausdruck ihres nicht dem Willen unterliegenden vegetativen Ursprungs auch im Schlaf nachgewiesen werden. Sie können jedoch je nach Informationsgehalt des Schallreizes verstärkt oder vermindert werden.

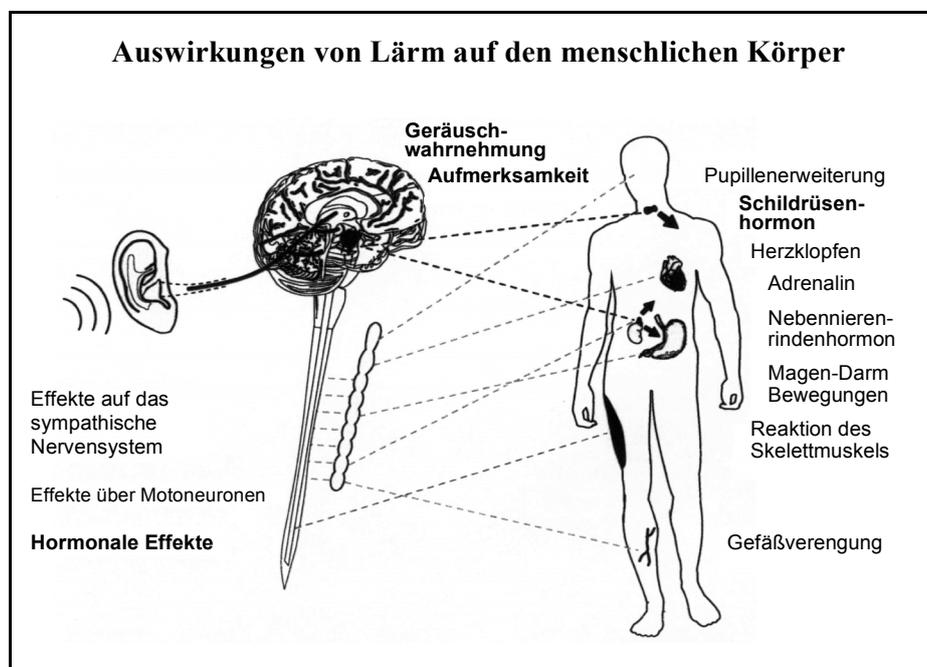


Abb. 9: Beispiele extraauraler Lärmwirkungen (Quelle: IASM)

2.5.2.2 Chronische Lärmwirkungen

Da die Auslösung akuter, Sympathikus vermittelter Reaktionen langfristig den Organismus verstärkt beansprucht und verschleißt, wird vermutet, dass bei chronischer Belastung Schäden des Herz-Kreislauf-Systems entstehen können mit dem Risiko der Entwicklung von hohem Blutdruck oder Herzinfarkt. Das Risiko von lärmbedingten Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems wird als besonders besorgniserregend angesehen. Während bei sehr hohen Schallpegeln, wie sie bei Arbeitslärm vorkommen können, die Begünstigung der Entwicklung eines Hypertonus als sehr wahrscheinlich beurteilt wird, wird die Mitverursachung von Herzinfarkt

durch Straßenverkehrslärm mit deutlich geringeren Schallpegeln noch kontrovers eingeschätzt (Schwarze 1996; Babisch et al. 2003).

2.5.2.3 Subjektive Lärmempfindung

Im Gegensatz zu den vegetativen Reaktionen hängt die Beeinflussung der Psyche und die subjektive Beurteilung eines Schallreizes sehr stark von der individuellen Situation des Betroffenen ab. Schall wird erst dann zu Lärm, wenn er den Menschen und die Umwelt bewusst oder unbewusst stört bzw. belastet. Jeder Mensch beurteilt Geräusche nach seiner momentanen Situation und seinen persönlichen Vorlieben (Abb. 10).

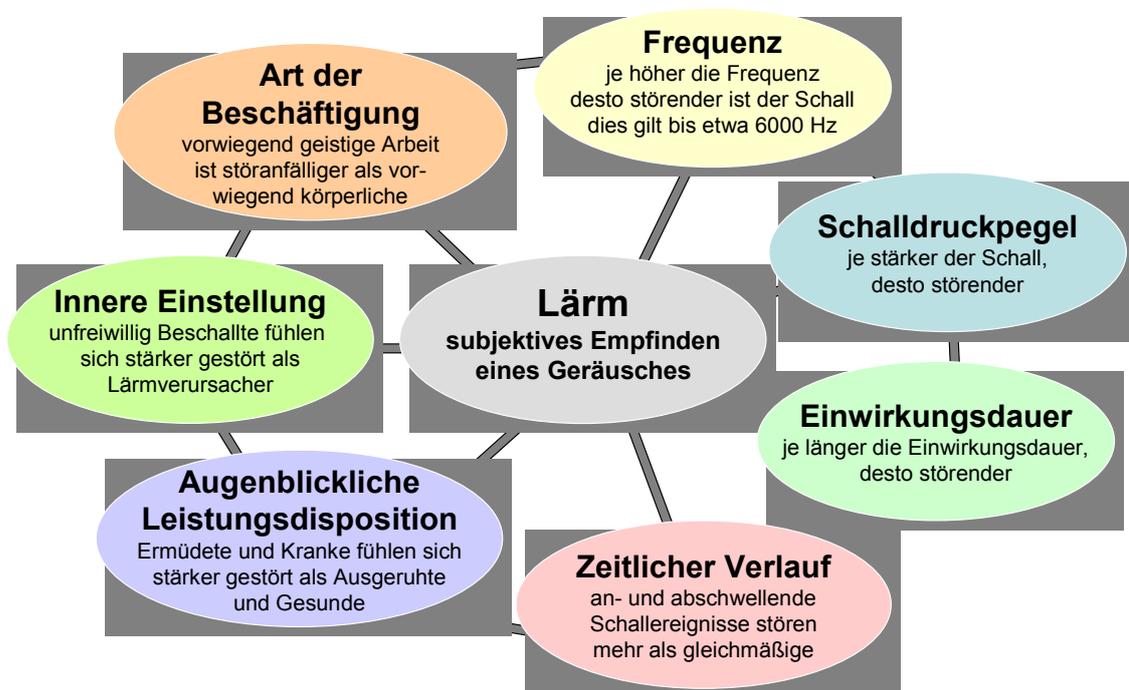


Abb. 10: Einflussfaktoren von Lärm

Die Wahrnehmung eines Geräusches bzw. die subjektive Betroffenheit durch Lärm hängt z. B. von folgenden Faktoren ab (Jansen et al. 1999):

- **akustische Geräuschmerkmale:** zeitlicher Verlauf, Dauer, Lautstärke (vgl. Abschn. 2.4)
- **Geräuschart:** Verkehr, Natur, Musik, Sprache, ...
- **Zeitpunkt des Auftretens:** tagsüber, nachts, im Schlaf, beim Fernsehen, ...
- **Ortsüblichkeit:** Gewerbegebiet, Wohngebiet, ...
- **Informationshaltigkeit und Bedeutung:** schreiendes Baby, tropfender Wasserhahn, ...
- **Geräuschempfindlichkeit der Betroffenen:** müde, gereizt, ausgeglichen, erholt, ...

- **Einstellung zur Geräuschquelle:** unvermeidbar/vermeidbar, sinnvoll/unsinnig, ...
- **Gesundheitszustand:** geschwächt, reizbar, erschöpft

Aus der folgenden Abbildung (Abb. 11) geht sehr anschaulich hervor, dass das Phänomen Lärm erst im Gehirn aufgrund der subjektiven Bewertung von Schall entsteht.

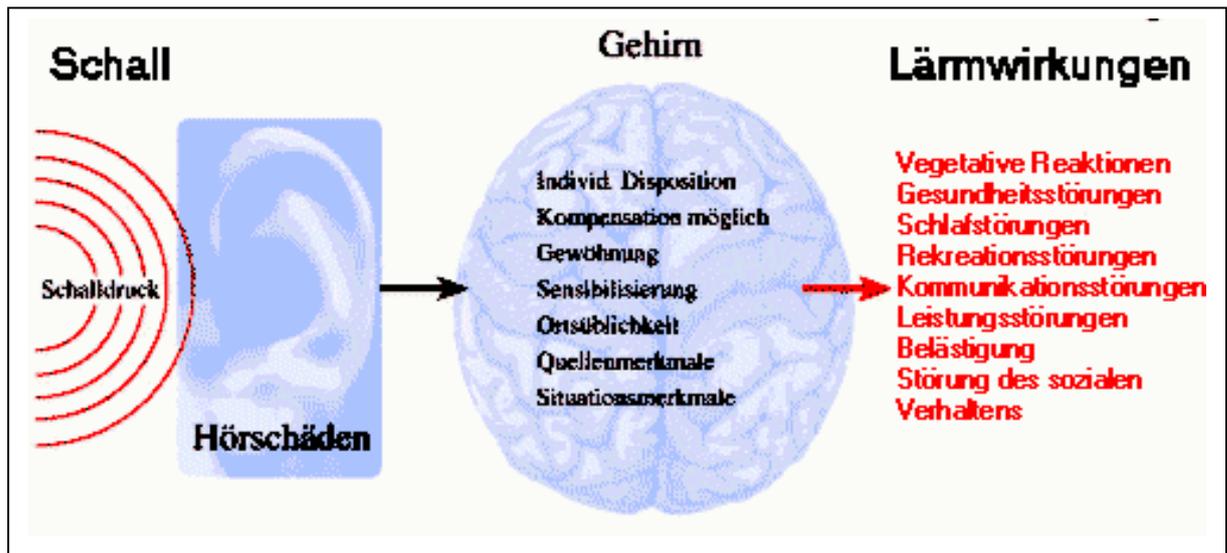


Abb. 11: Aus Schall wird Lärm
(Quelle: http://www.bayern.de/lfu/laerm/l-ausst/index_uebersicht.htm)

2.5.2.4 Psychosoziale Auswirkungen

Eine langfristige Belastung mit Umweltlärm zieht auch Folgen im psychosozialen Bereich nach sich. Hier lassen sich folgende Bereiche nennen (Guski 1987, Lercher 1998):

- Schlafstörungen bzw. Verschlechterung der Schlafqualität
- Einschränkung von Erholung und Entspannung
- Konzentrationsstörung
- Zunahme der Fehleranfälligkeit
- schlechte Laune, Ärger
- Medikamentenmehrkonsum
- Verminderung zwischenmenschlicher Kommunikation
- Anhebung der Stimme
- Veränderung des Lüftungsverhaltens in Innenräumen
- Beeinträchtigung des Lebensgefühls
- Bildung von Ghettos in lärmbelasteten Stadtbezirken
- Abnahme häuslicher Geselligkeit

2.5.2.5 Ökonomische Auswirkungen

Schließlich lassen sich auch ökonomische Auswirkungen von Umweltlärm feststellen. Dazu zählen u. a. auch der Anstieg von Krankheitskosten (z. B. Schlafmittel, Arztbesuche) und zunehmend psychosomatische Störungen bei Kindern und Jugendlichen. Weiterhin kann es aufgrund erhöhter Lärmexposition zur Wertminderung von Grundstücken oder Häusern bzw. zur Mietminderung kommen.

2.6 Besondere Aspekte des Verkehrslärms

Tagtäglich sind wir privat und beruflich einer teils gewollten, teils ungewollten Geräuschkulisse ausgesetzt (z. B. Baustellenlärm, Freizeitlärm, Fluglärm, Nachbarschaftslärm, Industrielärm, Schienenlärm, Straßenlärm, etc.). Dabei ist der Straßenverkehrslärm in den Industrieländern bei weitem die stärkste Quelle der Lärmbelastung. Dies spiegelt sich auch in den Daten zur Lärmbelastigung wieder. Abb. 12 zeigt die jeweiligen Anteile für die neuen und die alten Bundesländer im Vergleich (Daten aus Ortscheid & Wende 2006).

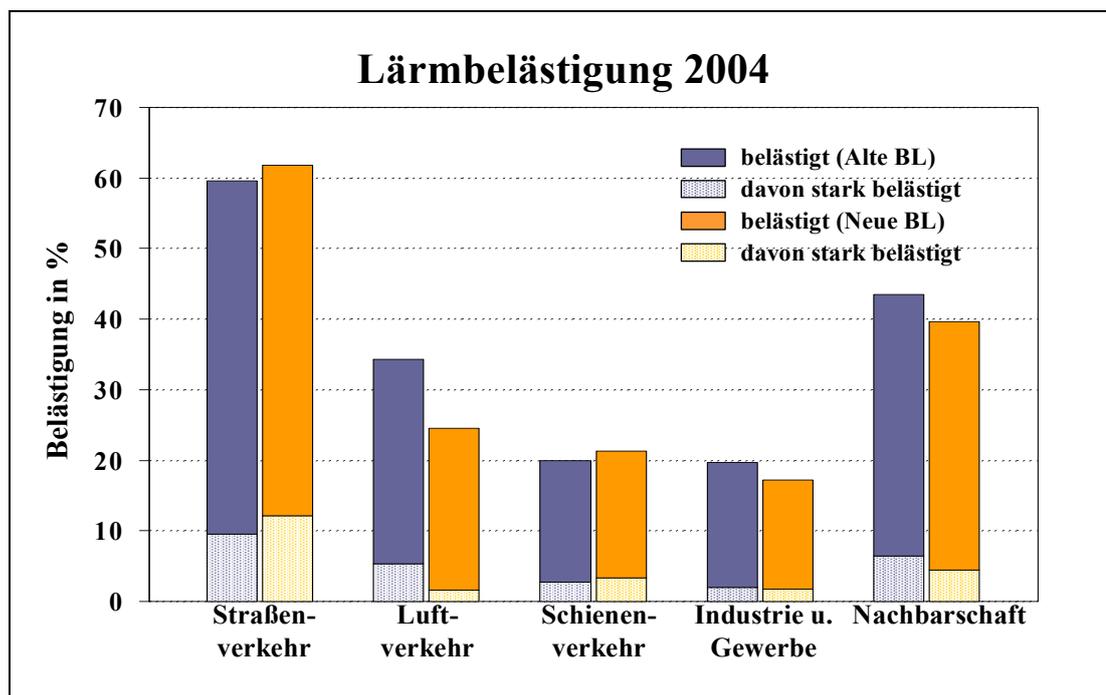


Abb. 12: Belästigung durch Umweltlärm - Vergleich zwischen alten und neuen Bundesländern für verschiedene Geräuschquellen

Der Straßenverkehrslärm setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen. Die wichtigsten Quellen sind folgende:

- *Motorgeräusche:* Durch die Rotation von Motorbestandteilen werden Schwingungen auf die Karosserie übertragen und es entsteht Luftschall. Im innerstädtischen Stadtverkehr bei niedriger Geschwindigkeit und hoher Motordrehzahl überwiegt dieser Geräuschanteil.
- *Fahrbahn- und Reifengeräusche:* Sowohl die Rauigkeit der Fahrbahn als auch das Reifenprofil versetzen das Fahrzeug samt Reifen in Schwingungen und diese strahlen dabei Luftschall ab. Ferner erzeugt die komprimierte Luft unter dem Reifenprofil Geräusche; vor allem ab einer Geschwindigkeit von ca. 40 km/h. Die Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche beeinflusst die Lärmabstrahlung. Besonders laut ist Kopfsteinpflaster, während Splittmastix und Drain-Asphalt den Lärm reduzieren.
- *Aerodynamik:* Aufgrund der Karosseriebeschaffenheit kommt es bei höherer Geschwindigkeit zu Luftaufwirbelungen, die Lärm erzeugen.
- *Akustische Signale:* Im Straßenverkehr sind akustische Signale wie Klingeln, Hupen, Sirenen allgegenwärtig und lassen sich im Zuge der Verkehrssicherheit nicht vollkommen vermeiden.

2.7 Besondere Aspekte des Lärms von Kraftfahrzeugen

Die drei Hauptlärmquellen bei Kraftfahrzeugen sind im Allgemeinen *Auspuff*, *Motor* und *Reifen*. Daneben gibt es eine Reihe weiterer Faktoren, die z. T. auch von individuellen Verhaltensweisen abhängen:

- Reifenprofil und Reifendruck
- Fahrgeschwindigkeit (das Rollgeräusch steigt mit dem Logarithmus der Geschwindigkeit)
- Art der Fahrzeuge (Lkw, Pkw, Krafträder)
- Menge der Fahrzeuge (Verkehrsstärke)
- Alter der Fahrzeuge (bestimmt Motorlautstärke)
- Radlast
- Karosserieform (Aerodynamik, Resonanzfrequenzen)
- individueller Fahrstil
- Schallreflektierende Randbebauung (akustischer Trog, stehende Wellen, Vegetation)
- Bodenaufbau (Bodenschwingungen, Körperschalleinleitung in die umliegenden Gebäude)

Ein beträchtlich hoher Anteil des Straßenverkehrslärms wird durch Lastkraftwagen verursacht. Ein einzelner Lkw verursacht z. B. bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h genauso viel Lärm wie zwanzig Pkw. Ähnliches gilt für das Verhältnis zwischen herkömmlichen und lärmarmen Lkws. Subjektiv noch belastender sind das Röhren und Dröhnen von Motorrädern. Der Geräuscentwicklung nach entsprechen sie mittleren Lkws, von der Belästigungswirkung her können sie sogar mit schweren Lkws mithalten bzw. diese übertreffen.

Die Fahrzeugart, die Betriebsart und die Fahrbahneigenschaften bedingen, dass die jeweiligen Fahrzeugtypen unterschiedlich laut sind. Dabei sind das Antriebs- und das Rollgeräusch die Hauptquellen des erzeugten Schallpegels (Abb. 13). Diesem Aspekt wurde deshalb bei den in dieser Studie verwandten modifizierten Geräuschen von Motor und Reifen im Besonderen Rechnung getragen.

Das Antriebsgeräusch setzt sich aus dem Motorlärm, seiner Nebenaggregate mit Ansaugsystem und der Auspuffanlage zusammen. Die Höhe des Antriebsgeräusches hängt bei mittleren Geschwindigkeiten überwiegend von der Motordrehzahl und -belastung und nicht von der Fahrgeschwindigkeit ab.

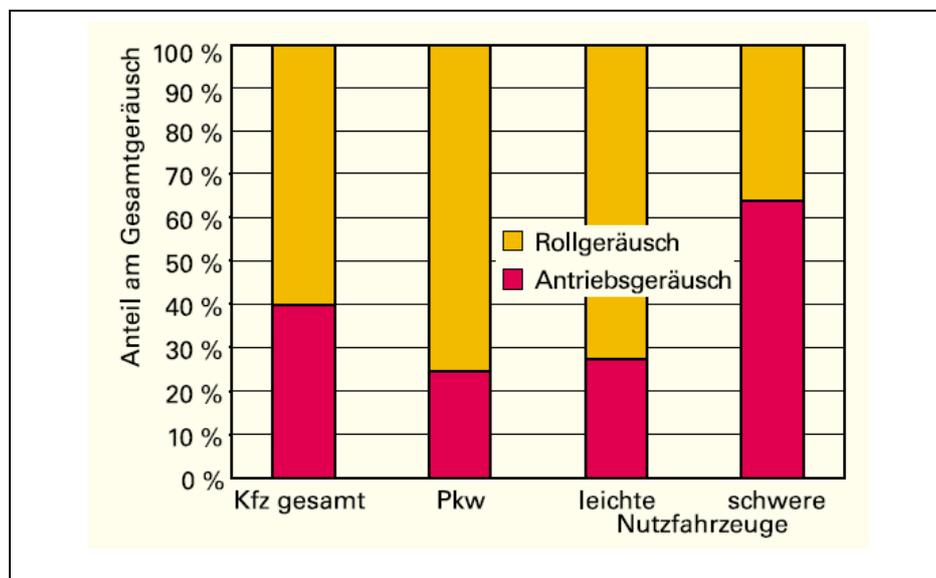


Abb. 13: Anteile Roll- und Antriebsgeräusch auf einer Hauptverkehrsstraße im Stadtkern (Quelle: www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/381/06.pdf)

Daneben haben natürlich auch die Fahrweise, die Verkehrssituation und die jeweilige technische Ausstattung des Fahrzeugs Einfluss auf die Lautstärke des Antriebsgeräusches. Beim Anfahren, bei der Beschleunigung und bei geringer Fahrgeschwindigkeit dominieren die Geräusche

sche des Motors. Der Reifenlärm gewinnt ab einer Geschwindigkeit von 50 km/h an Bedeutung und ist bei 80 km/h der wichtigste Lärm erzeugende Faktor. Erst bei höheren Geschwindigkeiten (beim Pkw ab 130 km/h, beim Kleintransporter bereits ab 80 km/h) kommen die aerodynamischen Geräusche hinzu.

Ob jedoch das Motor- oder das Reifengeräusch im Vordergrund steht, beruht auch auf der Wahl des Ganges: Bei hohen Gängen ist der Motor leiser und der Reifenlärm überwiegt (Abb. 14). Durch den abrollenden Reifen auf der Fahrbahnoberfläche kommt es an der Kontaktfläche Reifen/Fahrbahn zu mechanischen Schwingungen und aerodynamischen Prozessen, die das typische „Reifen-Fahrbahn-Geräusch“ verursachen. Durch das Abrollen des Reifens wird Luft vorne angesaugt, anschließend zwischen Reifen und Fahrbahn stark komprimiert und dann ruckartig abgelassen. Diesen Prozess bezeichnet man als „Air pumping“.

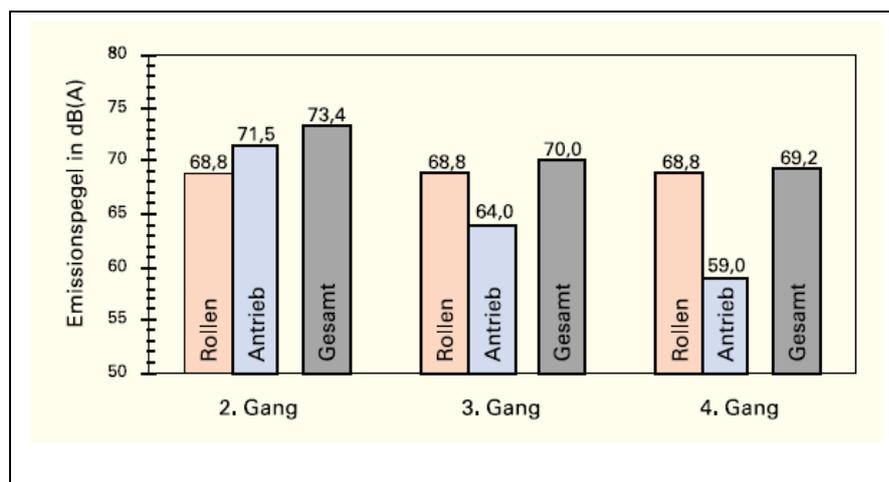


Abb. 14: Anteile von Roll- und Antriebgeräusch bei 50 km/h in Abhängigkeit vom gewählten Gang (Quelle: <http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de>)

Die Zukunft der Geräuschminderung von Straßenverkehrslärm liegt in der Entwicklung lärmärmer Reifen. Das Umweltbundesamt hat bereits, wie auf anderen Sektoren auch, das bekannte Umweltzeichen „Blauer Engel“ für „*lärmarme und kraftstoffsparende Kraftfahrzeugreifen*“ (<http://www.blauer-engel.de>) eingeführt. Derzeit nutzen die Reifenhersteller das Umweltzeichen aber nicht, obwohl viele Reifen die nötigen Bedingungen sehr wohl erfüllen. Wie bei den Fahrzeugtypen unterliegen auch die Reifen einer europäischen Richtlinie, die die Grenzwerte der Rollgeräusche gesetzlich regelt (für Pkw-Reifen derzeit bei 74 dB(A)). Ein weiteres Absenken des Grenzwertes wird derzeit diskutiert.

2.8 Fragestellung

Schwarze et al. (1993) konnten in einem Vergleich zwischen konventionell und binaural aufgezeichneten Industriegeräusche aufzeigen, dass sich mit Hilfe psychophysiologischer Methoden auch schon geringe Unterschiede in der akustischen Geräuschwirkung feststellen und verifizieren lassen. Etwa zehn Jahre später wurden im Rahmen des EU-Verbundprojekts SVEN spezifische Deskriptoren für die erlebten Geräuschqualitäten von Straßenverkehrslärm ermittelt (Notbohm et al. 2003b). Diese wurden danach auch in der zweiten Versuchsreihe dieses Verbundprojektes bei Vorbeifahrtgeräuschen einzelner Kfz für die Erfassung der psychophysiologischen Bewertung eingesetzt (Notbohm et al. 2003a). Zentrale Erkenntnis dieser beiden Projekte war, dass sich die physiologischen Reaktionen und die subjektiven Bewertungen kongruent verhielten. Geräusche, die negativer bewertet wurden, lösten parallel dazu auch stärkere physiologische Antwortreaktionen aus.

Um diese Gleichsinnigkeit der Antwortmuster zu überprüfen, wurde in der vorliegenden Untersuchung des SVEN-Verbundprojektes der Versuchsaufbau so gewählt, dass Vorbeifahrtgeräusche eines serienmäßigen Pkws, der mit den psycho-akustisch optimierten Komponenten ausgerüstet war, nachträglich wieder akustisch modifiziert wurden.

Die Modifikationen erstreckten sich auf die für die jeweilige Geschwindigkeit spezifischen Lärmquellen. Für eine Vorbeifahrtgeschwindigkeit von 50 km/h wurde der Motorenlärm, für 70 km/h der Reifenlärm verändert. Die Geräusche wurden von den Akustikern so modifiziert, dass sie deutlich schärfer und rauer klangen. Vor diesem Hintergrund wurde die Hypothese formuliert, dass bei gleichem Schallpegel die modifizierten Geräusche zu stärkeren physiologischen Reaktionen führen und aufgrund ihres raueren, schärferen Klangbildes von den Probanden subjektiv schlechter bewertet werden als die optimierten serienmäßigen Geräusche.

Um die Vergleichbarkeit mit den vorangegangenen Experimenten zu gewährleisten, sollte methodisch das gleiche Vorgehen gewählt werden: Registrierung der physiologischen Antwortreaktionen mittels Elektromyogramm, Fingerpulsamplitude und Hautleitfähigkeit als Messparameter aufgezeichnet und Erfassung der subjektiv erlebten Geräuschqualität mit Hilfe von Fragebögen (Adjektivliste, Paarvergleich).

3 Physiologische Messparameter

Zur Erfassung der physiologischen Reaktionen auf die Pkw-Vorbeifahrt-Geräusche wurden die periphere Volumenpulsation als Maß der peripheren Durchblutung, davon abgeleitet die Herzfrequenz, sowie das Elektromyogramm und die Hautleitfähigkeit registriert. Wie schon seit Jahrzehnten untersucht und bekannt, zeigen diese physiologischen Größen sehr zuverlässig an, ob durch einen externen Stimulus das vegetative Nervensystem in Richtung verstärkter Ergotropie bzw. Sympathikotonie gereizt wird.

3.1 Pulsoximetrie

3.1.1 Grundlagen

Bei der Pulsoximetrie handelt es sich um ein kontinuierliches, zuverlässiges und nicht invasives Monitoringverfahren zur Messung der arteriellen Sauerstoffsättigung, mit dem außerdem die periphere Volumenpulsation der peripheren Gefäße erfasst werden kann (Abb. 15).

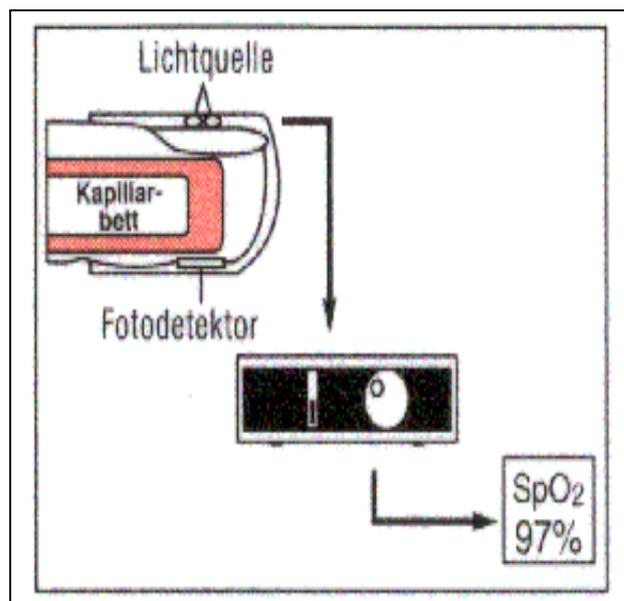


Abb. 15: Pulsoximeter

In diesem Experiment wurde das Gerät „OxyshuttleTM Pulsoximeter“ der Firma Critikon verwendet. Die Methode ist relativ einfach und für den Probanden praktisch nicht belastend. Ein Photosensor wird mit einem Clip an der Fingerbeere oder am Ohrläppchen befestigt. Der Photosensor enthält zwei Elemente mit lichtausstrahlenden Dioden (LEDs), die einem Fotodetektor gegenüberliegen. Das von den LEDs ausgestrahlte Licht mit den Wellenlängen 660 und 925 nm (rotes und infrarotes Licht) durchdringt das Gewebe der Fingerbeere. Die beiden Farben des Lichtes entsprechen der Farbe von arteriellem und venösem Blut und werden also

unterschiedlich absorbiert. Der gegenüberliegende Fotodetektor misst die Intensität des durchscheinenden Lichts für jede der beiden Wellenlängen und sendet das Signal an das Puls-oximeter weiter.

Den gemessenen Sauerstoffsättigungswert bezeichnet man als SpO_2 . Unter Sauerstoffsättigung versteht man den Anteil des roten Blutfarbstoffs (*Hämoglobin*), der mit Sauerstoff beladen ist. Sauerstoff ist in den roten Blutkörperchen (*Erythrozyten*) an das Hämoglobin gebunden. Ein Teil des von der Lichtquelle ausgestrahlten Lichts wird vom Hämoglobin „geschluckt“. Diesen Vorgang bezeichnet man als *Extinktion*; er wird vom Fotodetektor gemessen. Die bevorzugte Extinktion des gesamten Hämoglobins liegt bei einer Wellenlänge um 925 nm, diejenige des Oxyhämoglobins um 660 nm. D. h. je mehr Licht der Wellenlänge von 660 nm absorbiert wird, desto mehr sauerstoffbeladenes Hämoglobin ist im Kapillarbett vorhanden. Setzt man die während einer Pulswelle (arterielle Perfusion des Kapillarbettes) gemessenen Extinktionswerte des Gesamthämoglobins und des Oxyhämoglobins zueinander ins Verhältnis, kann man den Anteil des sauerstoffgesättigten arteriellen Blutes am Gesamthämoglobin berechnen.

Sozusagen als Nebenprodukt der Messung der Sauerstoffsättigung lassen sich indirekt auch Aussagen über die Größe der Durchblutung an der Fingerbeere machen, auf die der Photosensor des Pulsoximeters aufgesetzt wurde. Der jeweilige Grad der Absorption ist abhängig vom Anteil der entsprechenden Blutart im Gewebe. So kann durch die zeitliche Analyse des durch das Gewebe dringenden Lichtes der pulsatile Fluss als photoplethysmographische Kurve erfasst werden und stellt damit ein indirektes Maß der peripheren Durchblutung dar.

3.1.2 Artefakte

Bei der Pulsoximetrie kann man grob drei Fehlerquellen unterscheiden:

- *Bewegungsartefakte* durch Bewegen des Zeigefingers während des Versuchs.

Die Versuchspersonen wurden daher instruiert, die Finger so wenig wie möglich zu bewegen.

- *Unzureichende Perfusion* bei Zentralisation (Schock), peripherer Vasokonstriktion (verengte Gefäße z. B. bei Kälte), Low-Output-Syndrome (Linksherzversagen) oder Nagellack. Voraussetzung für den Beginn des Versuches war es, dass die Versuchsperson ausreichend gewärmte Finger hatte. Gegebenenfalls wurden die Hände einige

Minuten im warmen Wasser gebadet, um eine ausreichende periphere Perfusion zu gewährleisten.

- *Intoxikationen* zeigen falsch hohe Werte an, z. B. bei Rauchern, Kohlenmonoxidvergiftung, Rauchgasinhalation, Nitritvergiftungen, Zyanidintoxikationen, Suizidversuch mit Autoabgasen.

An der vorliegenden Studie nahmen keine Raucher teil, da dies ein Ausschlusskriterium war.

3.2 Herzfrequenz

Ein weiteres Nebenprodukt der Pulsoximetrie ist die indirekte Erfassung der Herzfrequenz. Sie ergibt sich aus den unterschiedlichen „Durchblutungsphasen“ von Systole und Diastole. Aus dem Zeitintervall (Interbeat-Intervall) zwischen Systole und Diastole kann die Anzahl der Schläge pro min errechnet werden. Da der beat-to-beat-Abstand sehr stark variiert, werden die Messsignale über 5 sec gemittelt. Die Zahl der Herzschläge pro Minute ist in der Stressforschung wohl immer noch der beliebteste und am häufigsten verwendete Indikator zur Erfassung sympathischer Aktivierung. Fast jede psychische und/oder physische Anforderung wird von einer Herzfrequenzänderung begleitet. Die Herzfrequenz hängt dabei u. a. sowohl von sympathischen als auch von parasympathischen Einflüssen ab. Unter Ruhebedingungen überwiegt der parasympathische Einfluss über kardiale Anteile des Nervus vagus. Bei Stress bzw. Belastung nimmt die Sympathikus-Aktivität zu und der Vagus-Tonus wird abgeschwächt. Es kommt zu einer Beschleunigung der Herzfrequenz. Im ZNS sind das Vasomotoren-Zentrum und der dorsale motorische Vagus Kern, die beide in der Medulla oblongata liegen, für die Regulierung der Herzfrequenz zuständig. Sie erhalten sowohl Impulse von peripheren Rezeptoren als auch von übergeordneten zentralnervösen Zentren, hier vor allem vom Hypothalamus (Schandry 1998).

3.3 Elektromyogramm (EMG)

3.3.1 Grundlagen

Mit Hilfe des Elektromyogramms wird die elektrische Muskelaktivität der durch das somatische Nervensystem willkürlich innervierten Skelettmuskulatur gemessen. Diese besteht aus parallel laufenden Muskelfasern, die für die Kontraktion des Muskels verantwortlich sind. Etwa 20 bis 60 Muskelfasern sind in einem Primärbündel zu gemeinsamer Funktion zusam-

mengeschlossen. Die Sehnen der einzelnen Muskelfasern vereinigen sich zu einer einheitlichen Sehne des Primärbündels und übertragen die Kontraktionskräfte auf das Skelettsystem. Entscheidend für die Kontraktion sind die Motoneurone (Abb. 16), die aus dem Vorderhorn des Rückenmarks zum Muskel ziehen und diesen innervieren. Das Motoneuron und das von ihm innervierte Kollektiv von Muskelfasern wird als *motorische Einheit* bezeichnet. Dabei variiert die Zahl der Muskelfasern einer motorischen Einheit: In Muskeln, die der Feinmotorik dienen (z. B. äußere Augenmuskeln), gehören 5-10 Muskelfasern zur Einheit, während bei der Grobmotorik (z. B. *M. quadriceps femoris*) ein Motoneuron gleich 500 bis 2000 Muskelfasern innerviert.

Es gibt zwei Phänomene, die eine Erhöhung der Muskelspannung hervorrufen können:

- Anstieg der Entladungsfrequenz
- Erhöhung der Anzahl der aktiven motorischen Einheiten.

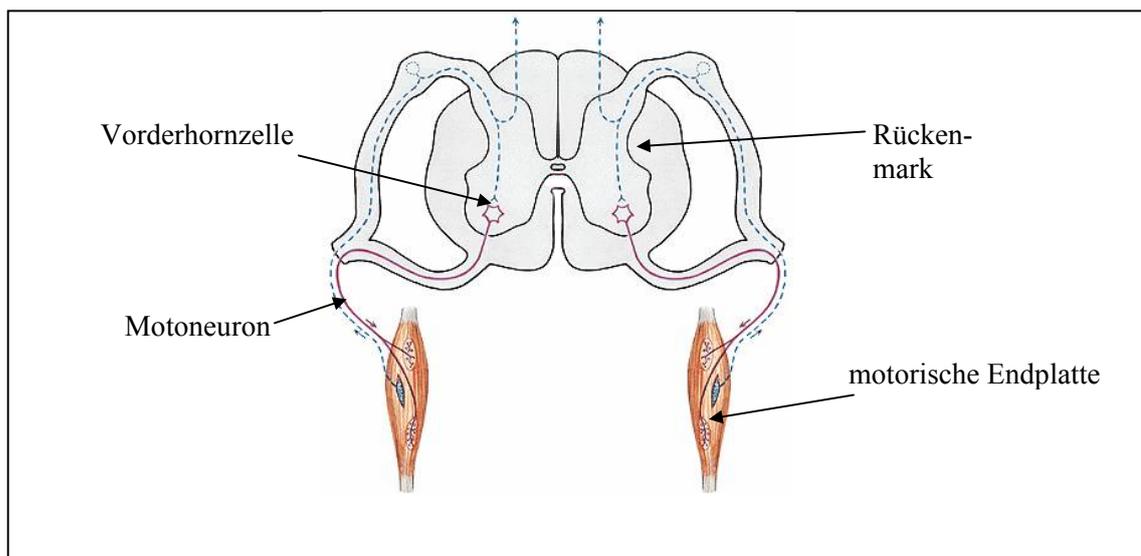


Abb. 16: Motorische Einheit

(Quelle: modifiziert aus Sobotta CD-ROM: Atlas der Anatomie des Menschen, Urban & Schwarzenberg, 1997)

Beide Prozesse haben einen Einfluss auf die Potentialverhältnisse zwischen den Elektroden und führen zu einer Amplituden- bzw. Frequenzerhöhung des bioelektrischen Signals.

Grundsätzlich wird die quergestreifte Muskulatur von der Willkürmotorik gesteuert und vom somatischen Nervensystem innerviert. Es wurde jedoch bereits in früheren Forschungsergebnissen (Fahrenberg 1980) festgestellt, dass eine direkte Beziehung zwischen unwillkürlichen Reaktionen, z. B. im Zuge psychischer Belastung oder emotionaler Erlebnisse, und der Spannung der Muskeln besteht. Aus diesem Grunde stellt die Messung und Aufzeichnung der elek-

trischen Muskelaktivität eine bedeutende psychophysiologische Methode dar. Für den Zusammenhang zwischen psychophysischer Aktiviertheit und der Muskelspannung kann die *Formatio reticularis* als übergeordnetes Zentrum angesehen werden. Von dort gehen Signale sowohl von hemmenden als auch von erregenden Regionen aus, wobei letztere zusätzlich durch Einflüsse von Kollateralen der sensorischen Afferenzen und motorischen Efferenzen mitaktiviert werden.

3.3.2 EMG im Versuch

Bei der durchgeführten Studie wurden zur EMG-Ableitung Oberflächenelektroden verwendet, die auch bei der Elektrokardiographie (EKG) Verwendung finden. Von einer motorischen Einheit werden immer mehrere Fasern erregt. Daher können mit den Elektroden kaum einzelne Muskelfaserimpulse gemessen werden, weil eine Elektrode auf der Haut immer viele Muskelaktionspotentiale von verschiedenen Muskelzellen gleichzeitig registriert. Die in der medizinischen Elektromyographie für diagnostische Zwecke häufig verwendeten Nadelelektroden ermöglichen zwar eine genauere Lokalisation des aktiven Areals, sind aber für den Probanden wesentlich störender und unter Umständen auch schmerzhaft, weshalb bei dieser Studie auf diese Art der Ableitung verzichtet wurde. Um ein möglichst genaues EMG abzuleiten, sollten die Elektroden gezielt auf einem einzigen Muskelbauch aufgeklebt werden. Eventuell störende Haare wurden mit einem Nassrasierer entfernt. Der Proband wurde gebeten, seinen linken Unterarm anzuspannen, so dass man den Muskelbauch des *M. flexor carpi radialis* gut tasten konnte. Dann wurden die Elektroden entlang des Muskelbauchs positioniert (siehe Abb. 17). (nach Schandry 1998)

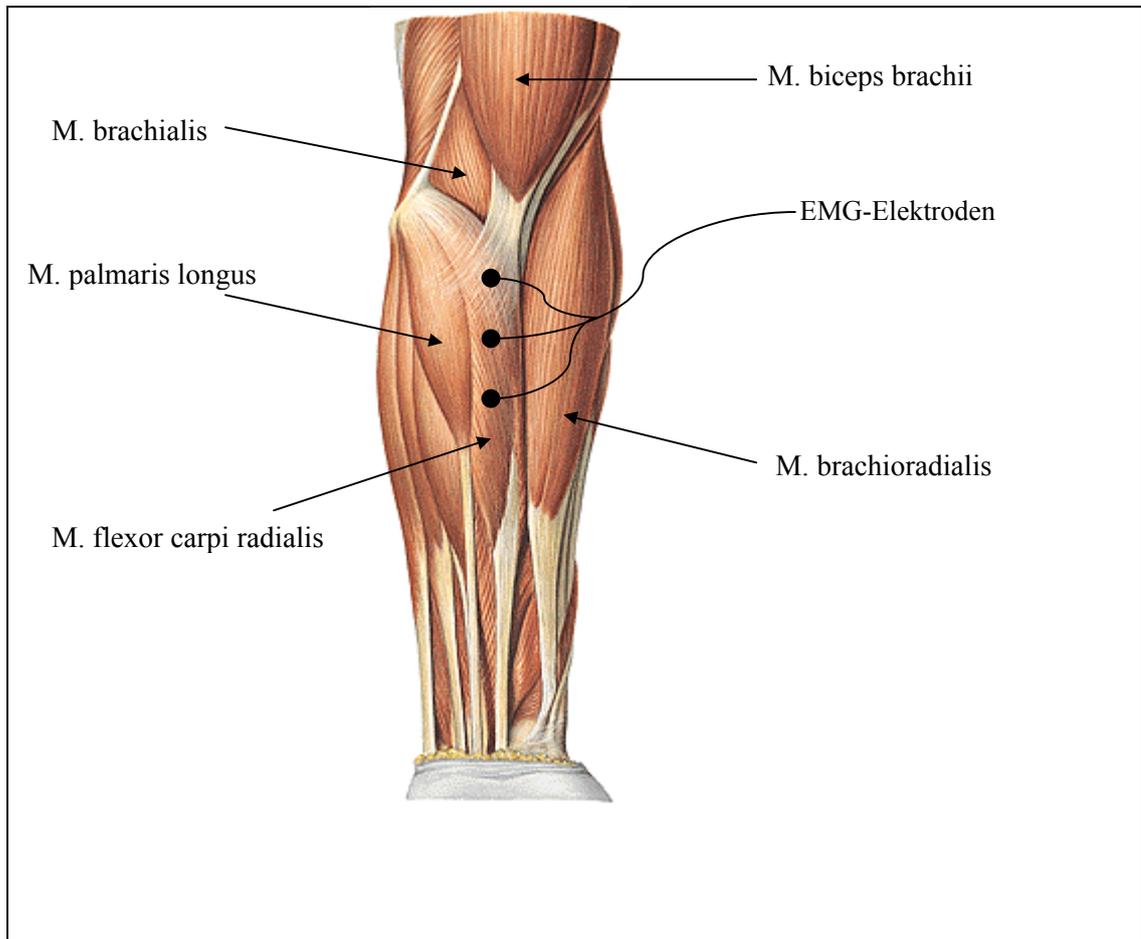


Abb. 17: Muskeln des linken Unterarms
 (Quelle: modifiziert aus Sobotta CD-ROM (1997). *Atlas der Anatomie des Menschen*. München, Wien, Baltimore: Urban & Schwarzenberg)

3.3.3 Artefakte

Auch bei der EMG-Aufzeichnung ist mit Artefakten zu rechnen.

- *Bewegungsartefakte*, die bei der Aufzeichnung als Spitzen mit hoher Amplitude zu erkennen und nur schwer zu verhindern sind. Diese wurden hinterher visuell kontrolliert und gezielt aus den aufgezeichneten Daten entfernt.
- *Netzeinstreuungen*, die beim EMG nur sehr schwer zu unterdrücken sind. Man kann sie aber durch sorgfältiges Erden der Versuchsperson und der Gerätschaften reduzieren.

3.4 Elektrodermale Aktivität (Hautleitfähigkeit)

3.4.1 Grundlagen

Als elektrodermale Aktivität (EDA) werden messbare Änderungen der bioelektrischen Eigenschaften der Haut bezeichnet. Diese Veränderungen sind durch psychische Faktoren beein-

flussbar. Sie sind seit Ende des 19. Jahrhunderts bekannt, bereits 1888 gelang Féré der erste Nachweis einer Änderung des Hautwiderstandes (Boucsein 1988).

Die Nomenklatur zur Benennung elektrodermaler Phänomene wurde von der „Society for Psychophysiological Research“ festgelegt: S steht für skin (Haut) und C für conductance (Leitfähigkeit). Es wird zwischen tonischen L (level) und phasischen R (response) Reaktions-Modi unterschieden (Eine ausführlichere Darstellung findet sich bei Boucsein (1988)). Bioelektrische Hautphänomene können endosomatisch oder exosomatisch erfasst werden.

Bei der endosomatischen Messung wird ein in der Haut selbst generiertes Potential (SP= Skin Potential; SPL=...Level; SPR=...Response) registriert. Bei der exosomatischen Messung wird von außen entweder eine Gleich- oder eine Wechselspannung angelegt. Bei dem Gleichspannungsverfahren (auch Konstantstromverfahren) kann die Hautleitfähigkeit (SCL = Skin Conductance Level; SCR = Skin Conductance Response) oder der Hautwiderstand erfasst werden. Bei dem Wechselspannungsverfahren kann die Hautadmittanz, die Wechselstromleitfähigkeit, oder die Hautimpedanz, der Wechselstromwiderstand, erfasst werden (Boucsein 1988). Üblicherweise wird heute die Hautleitfähigkeit erfasst (Vossel & Zimmer 1998).

(http://www.ub.uni-konstanz.de/kops/volltexte/1999/68/pdf/68_1.pdf)

In der Psychophysiologie des autonomen Systems spielt die elektrodermale Aktivität (EDA) eine bedeutsame Rolle. Die mit Hilfe der EDA registrierten Impulse beschreiben Leitfähigkeits- und Potentialänderungen der Haut und weisen eine deutliche Korrelation mit psychischen Prozessen auf (Féré 1888, Tarchanoff 1880, Edelberg 1972).

3.4.2 Funktion der Haut

Den wichtigsten Faktor für die Funktionalität der EDA stellt die Haut (*Integumentum commune*) dar. Sie dient sowohl als Trennschicht als auch als Bindeglied zwischen Umwelt und Körper. Es handelt sich bei der Haut um das oberflächengrößte Organ mit einer Gesamtfläche, die je nach Körpergewicht und -größe zwischen 1,5-2 m² variieren kann. Ihre wesentlichen Funktionen sind:

- Schutz des Organismus vor physikalischen, chemischen und immunologischen Einflüssen,
- Anpassungsvorgänge, wie die Wärmeregulation und die mit ihr verbundene Wasseraufnahme bzw. -abgabe,
- Aufnahme von Sinnesreizen aus der Umwelt.

Anatomisch wird die Haut in drei Schichten eingeteilt: Oberhaut (*Epidermis*), Lederhaut (*Korium*) und Unterhaut (*Subcutis*). Epidermis und Korium wiederum werden als *Cutis* zusammengefasst (Abb. 18).

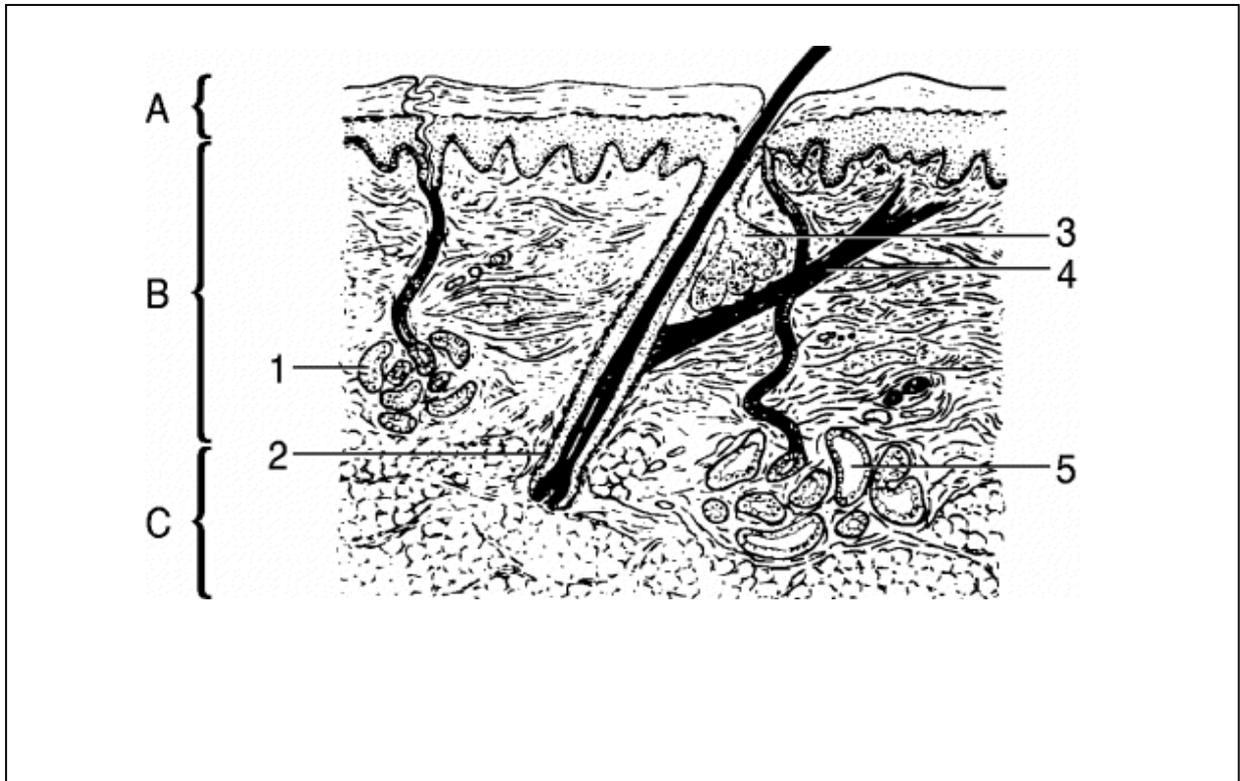


Abb. 18: Aufbau der Haut

A: Epidermis, B: Korium, A+B: Cutis, C: Subcutis, 1: ekrine Schweißdrüsen (Knäueldrüsen), 2. Haartasche mit Haar, 3. Talgdrüse, 4. Musculus arrector pili, 5. apokrine Schweißdrüsen (Duftdrüsen) (Quelle: © 1997 Walter de Gruyter Pschyrembel 258. Auflage)

Entscheidend für die Hautleitfähigkeit ist die gefäßlose, äußerste Hautschicht, die *Epidermis* (Abb. 19). Sie besteht aus mehrschichtig verhorntem Plattenepithel (ektodermaler Herkunft). An Stellen, die stärkerer mechanischer Belastung exponiert sind, wie an den Fußsohlen und den Handinnenflächen, ist die Epidermis wesentlich dicker (ca. 4 mm).

In der untersten Schicht der Epidermis befindet sich die Basalzellschicht (*Stratum basale*), das aus prismatischen Zellen besteht und mit Protoplasmafüßchen in der subepidermalen Basalmembran verankert ist. In dieser Schicht befinden sich die melaninhaltigen Melanozyten.

Die darüber liegende Stachelzellenschicht (*Stratum spinosum*) und das Stratum basale werden auch als Keimschicht (*Stratum germinativum*) bezeichnet, da hier die Regeneration für die an der Epidermisoberfläche abgestoßenen verhornten Hautzellen erfolgt. Die Zellteilung findet dabei hauptsächlich im Stratum basale statt.

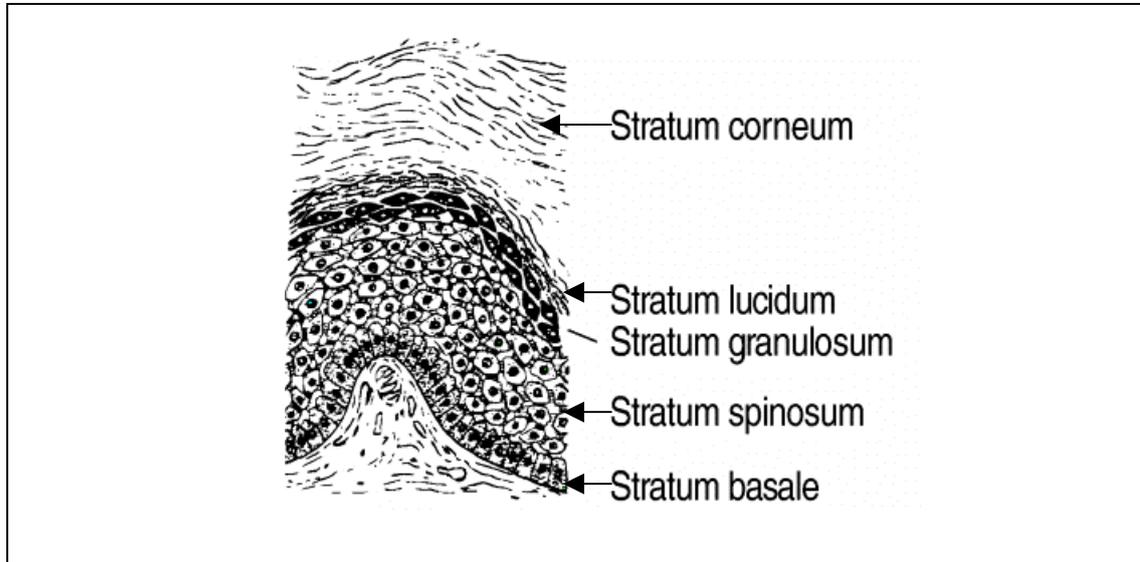


Abb. 19: Aufbau der Epidermis (Quelle: © 1997 Walter de Gruyter Pschyrembel 258. Auflage)

In der Körnerzellenschicht (*Stratum granulosum*), in der die Vorstufen der Hornsubstanz gebildet werden, befinden sich abgeplattete Zellen mit stark lichtbrechenden basophilen Keratohyalinkörnchen. Die Glanzschicht (*Stratum lucidum*), die nur an dicken Epidermisstellen wie an der Hohlhand bzw. Fußsohle ausgebildet ist, nimmt gemeinsam mit der über ihr liegenden Hornschicht (*Stratum corneum*) an der Wasserabgabe an die Umgebung teil. Die oberste Schicht, das Stratum corneum, besteht aus platten, verhornten, kernlosen, abgestorbenen Zellen, die sich nach und nach abschilfern, um so Platz für die darunter liegenden heranreifenden Zellen zu schaffen. Da die Epidermis selbst gefäßlos ist, erfolgt die Ernährung über die Blutkapillaren der Papillen, die sich zwischen den Haftkämmen des Koriums befinden.

Die Schweißdrüsen befinden sich in den unteren Hautschichten (siehe Abb. 18). Für die EDA von primärem Interesse sind die *ekkrinen* Schweißdrüsen, während die *apokrinen* Schweißdrüsen, die an eng begrenzten, behaarten Körperoberflächen zu finden sind, hormonell angeregt werden und Körperflüssigkeit (Duftstoffe) absondern. Ekkrine Schweißdrüsen sind nicht am ganzen Körper gleich verteilt. In Bereichen intensiverer Schweißproduktion, wie Hand- und Fußinnenflächen, sind mehr Schweißdrüsen (über 2000/cm²) als an den Extremitäten und am Rumpf (100-200/cm²) zu finden. Der Schweiß wird im *sekretorischen Teil* der ekkrinen

Drüsen, im Übergangsbereich Dermis-Subcutis, gebildet, geht in den Ausführungsgang (*Ductus*) über und endet schließlich auf der Hautoberfläche. Das Aufsteigen der Flüssigkeit wird durch Kontraktionen von kleinen Muskelzellen in der Haut, sogenannte *Myoepithelzellen*, begünstigt. Die Schweißsekretion (*Perspiration*) wird durch cholinerge Fasern des Sympathikus aktiviert. Die Schweißzentren liegen im Zwischenhirn (*Diencephalon*), im verlängerten Mark (*Medulla oblongata*) und in der Seitensäule des Rückenmarks (*Columna lateralis*) im Bereich des Cervikalmarksegment C₈ bis hin zum Lumbalmarksegment L_{1/2}.

Der Schweiß besteht zu 99 % aus Wasser. Seine weiteren Bestandteile sind Kochsalz, Cholesterin, Harnstoff, Immunglobuline, Fettsäuren und bei schwerer körperlicher Arbeit eventuell auch Milchsäure. Am Tag werden vom Körper temperaturunabhängig (*Perspiratio insensibilis*) über die Haut und auch Schleimhaut (vor allem bei der Atmung) durch Verdunstung und Diffusion ca. 1 bis 2 Liter (etwa 0,5 ml/h pro kg Körpergewicht) abgegeben. Die Schweißsekretion kann auf bis zu 1,5 l/h bei körperlicher Betätigung ansteigen (*Perspiratio sensibilis*). Es werden zwei Arten von *Perspiratio sensibilis* unterschieden:

- Bei körperlicher Arbeit oder allgemein unzureichender Wärmeabgabe kommt es zur Überhitzung. Durch vermehrtes Schwitzen versucht der Körper, die Temperatur zu regulieren. Diesen Vorgang bezeichnet man als *thermisches Schwitzen*.
- Das *emotionale Schwitzen* tritt vor allem bei Anspannung psychischer und emotionaler Art auf (z. B. Angstschweiß).

Für die EDA sind die Schweißdrüsen bzw. der Schweiß von sehr großer Bedeutung. An den Stellen, an denen sich sehr viele Schweißdrüsen (z. B. Handinnenfläche) befinden, ist auch die Hautleitfähigkeit am größten. Bei Menschen mit fehlender Anlage von ekkrinen Schweißdrüsen (*Anhidrose*), bei Durchtrennung der Schweißdrüseninnervation oder bei einer durch Medikamente induzierten Blockade der Erregungsübertragung (z. B. Atropin) können dementsprechend keine Hautleitfähigkeitsreaktionen (*SCR = Skin Conductance Response*) registriert werden.

Werden zwei Elektroden niedriger elektrischer Spannung auf die Haut (z. B. Handinnenfläche) aufgetragen, stellt man fest, dass der dort gemessene Strom zeitlich nicht konstant bleibt. Bei tiefer Inspiration (Einatmung), Einwirkungen von Stressreizen oder mentaler Tätigkeit weicht er vom Ruhewert ab. Dies hat gleichzeitig zur Folge, dass sich die *exosomatischen* Größen wie Hautleitfähigkeit bzw. Hautwiderstand (definiert als Reziprok der Hautleitfähig-

keit) ändern, wobei es einen linearen Zusammenhang zwischen der Hautleitfähigkeit und der Anzahl aktiver Schweißdrüsen gibt. Auch wenn trotz umfangreicher Forschungsarbeit die physiologischen Grundlagen dieser elektrodermalen Aktivitäten noch nicht vollständig geklärt sind, so gibt es dennoch zwei Erklärungsansätze:

- Durch die mit Schweiß benetzte und dadurch gut leitende Hautoberfläche kann ein größerer Strom fließen, was einen Anstieg der Hautleitfähigkeit zur Folge hat. In Experimenten wurde festgestellt, dass schon etwa eine Sekunde vor einer messbaren Oberflächenfeuchtigkeit eine Leitfähigkeitsreaktion stattfindet (Adams 1966). Man erklärt sich dieses Phänomen damit, dass es zu einer Durchfeuchtung der obersten Hautschicht, vor allem des Stratum corneums, kommt.
- Ein anderer theoretischer Erklärungsansatz nimmt Bezug auf die Schweißdrüsengänge, die sich durch die gut leitende Dermis und die schlechter leitende Epidermis ziehen. Nach Aktivierung der Schweißdrüse füllt sich der Ausführungsgang mit Schweiß und bildet somit eine Verbindung zwischen der Hautoberfläche und der Dermis.

3.4.3 Messung der Hautleitfähigkeit im Versuch

Die Messung der Hautleitfähigkeit wurde an der linken Hand durchgeführt (siehe Abb. 20). Die Wahl der nicht-dominanten Hand (also die linke Hand bei Rechtshändern) war aufgrund der dünneren Hornschicht von Vorteil. Von entscheidender Bedeutung war, dass der Proband warme Hände hatte. War dies nicht der Fall, so wurden die Hände einige Minuten in eine Schüssel mit warmem Wasser gehalten. Anschließend wurden die Ableitorte (Thenar und Hypothenar) mit *Dibromol-Spray*, einem Feindesinfektionsmittel, von eventuell störenden Faktoren wie Fett, Schmutz oder Schweiß gereinigt.

Dann wurden die Elektroden mit Hilfe einer Elektrodenpaste auf die Haut geklebt. Der Proband wurde instruiert die Hand während des gesamten Versuches möglichst nicht zu bewegen, um ein eventuelles Ablösen der Elektroden zu vermeiden.

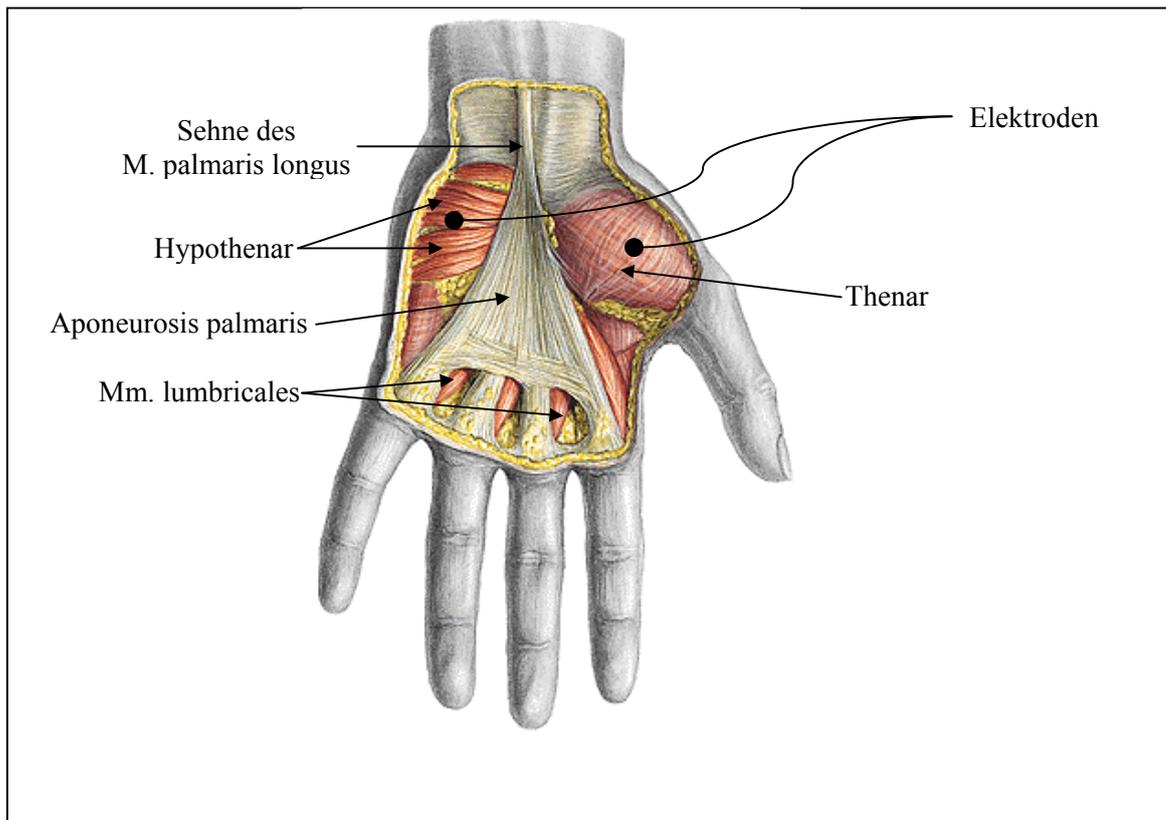


Abb. 20: Muskeln der linken Hand und Positionierung der Elektroden zur Messung der Hautleitfähigkeit (Quelle: modifiziert aus Sobotta CD-ROM (1997). *Atlas der Anatomie des Menschen*. München, Wien, Baltimore: Urban & Schwarzenberg)

Bei den Elektroden handelte es sich um nicht-polarisierende Elektroden, da es sonst zu langsamen Verschiebungen des registrierten Signals gekommen wäre, die den interessierenden, physiologischen Prozess überlagert hätten (nach Schandry 1998).

3.4.4 Artefakte

- *Bewegungsartefakte* spielen bei der Messung auch hier eine sehr störende Rolle. Zur Reduzierung dieser Bewegungen wurde die Hand der Versuchsperson, von der abgeleitet wurde, bequem und leicht gekrümmt, in ihrer natürlichen Ruhestellung auf einem weichen Kissen abgelegt.
- Auch die *Atmung* hat einen Einfluss auf die Hautleitfähigkeit. Sehr tiefe Atemzüge und das Anhalten des Atems führen zu einer phasischen Erhöhung des Leitwerts. Da die Atmung beim Versuch nicht gleichzeitig mitregistriert wurde, ist es schwer, atmungsbedingte Schwankungen von z. B. psychisch ausgelösten EDA-Reaktionen zu unterscheiden.

- Eine lokale Hautreizung (mechanisch, elektrisch oder thermisch) kann ebenfalls zur Verfälschung des Hautleitwerts führen. Diese sogenannten *Ebbecke-Wellen* (nur wenige Sekunden) kann man nur schwer von psychisch bedingten EDA-Reaktionen abgrenzen. Um diese Fehlerquelle auszuschließen, wurde dafür gesorgt, dass in der Schallkammer eine konstante Temperatur und Luftfeuchtigkeit herrschte. Es wurde bewusst darauf verzichtet, die Elektroden zusätzlich mit Klebeband zu befestigen, um das Risiko einer mechanischen Reizung so gering wie möglich zu halten. (nach Schandry 1998).

4 Versuchsdurchführung und Methodik

4.1 Stichprobenbeschreibung

Die Versuchspersonen (VP) für diese Untersuchung wurden über einen Aushang (siehe A1) an der Heinrich-Heine-Universität (HHU) Düsseldorf angeworben. Insgesamt 24 Personen wurden zur Teilnahme an dieser Studie ausgewählt. Sie erhielten eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 30 Euro.

Um die Stichprobe so homogen wie möglich zu halten, wurden folgende Auswahlkriterien zu Grunde gelegt:

- männlich
- Alter zwischen 20 und 30 Jahren
- möglichst Nicht- bzw. Wenigraucher
- sehr gute Deutschkenntnisse bzw. Deutsch als Muttersprache
- keine körperlichen und psychischen Beschwerden/Erkrankungen
- bestandener Hörtest (siehe unten)
- keine Medikamenteneinnahme zum Zeitpunkt des Versuchs
- kein Schlafdefizit, gute Fitness
- keine Lärmexposition (z. B. Walkman Hören, Fahren mit offenem Verdeck) im Vorfeld des Versuches
- kein Konsum von koffein- oder teehaltigen Getränken bis zu 2 Stunden vor Versuchsbeginn

Die Versuchspersonen willigten zur freiwilligen Teilnahme ein. In die Datenverarbeitung wurden keine personenbezogenen Angaben einbezogen, aus denen auf die Identität der Probanden geschlossen werden konnte (siehe A2 - A3). Die Probanden waren im Durchschnitt 23,75 Jahre alt. Die meisten (87,5 %) kamen aus Städten mit einer Gesamteinwohnerzahl über 100.000. 8,3 % lebten in Städten mit bis zu 100.000 Einwohnern, 4,2 % in Städten mit weniger als 20.000 Einwohnern.

4.2 Versuchsdurchführung

Der Versuch fand in der Zeit vom 20. Januar 2003 bis 06. Februar 2003 im Schalllabor des Instituts für Arbeits- und Sozialmedizin der HHU Düsseldorf statt (Gebäude 23.12 Ebene 00 Raum 24). Es wurden mit den Probanden zwei Termine vereinbart:

4.2.1 Audiometrietermin (1. Termin)

Zunächst wurde bei jedem Probanden eine Audiometrie durchgeführt, um zu gewährleisten, dass keine Hörminderung vorlag. Ausschlusskriterium war ein Hörverlust von 20 dB(A) Luftleitung und mehr in zwei benachbarten Frequenzen. Um den Probanden auf den Versuch vorzubereiten, wurde er anschließend in den Versuchsraum gebeten. Hierbei handelt es sich um eine schalldichte, fensterlose, schwach beleuchtete und ca. 8 m² große reflexionsarme Schallkammer. Dort wurden ihm Kopfhörer aufgesetzt und einige Testgeräusche vorgespielt. Gleichzeitig musste die VP einige Fragebögen zur Erfassung demographischer Daten ausfüllen. Bei festgestellter Eignung wurde dann ein Termin für den Hauptversuch vereinbart.

4.2.2 Hauptversuch (2. Termin)

4.2.2.1 Vorbereitung (ca. 45 Minuten)

Der Proband wurde gebeten, sich in die schalldichte Kammer zu begeben, sich in den vorgesehenen Sessel zu setzen und den Kopfhörer (Fa. Sennheiser) aufzusetzen (Abb. 21). Dann musste er einige Fragebögen ausfüllen, u. a. zur Überprüfung seines aktuellen Befindens und der Einhaltung der in 4.1. genannten Vorgaben (ca. 15 Minuten).

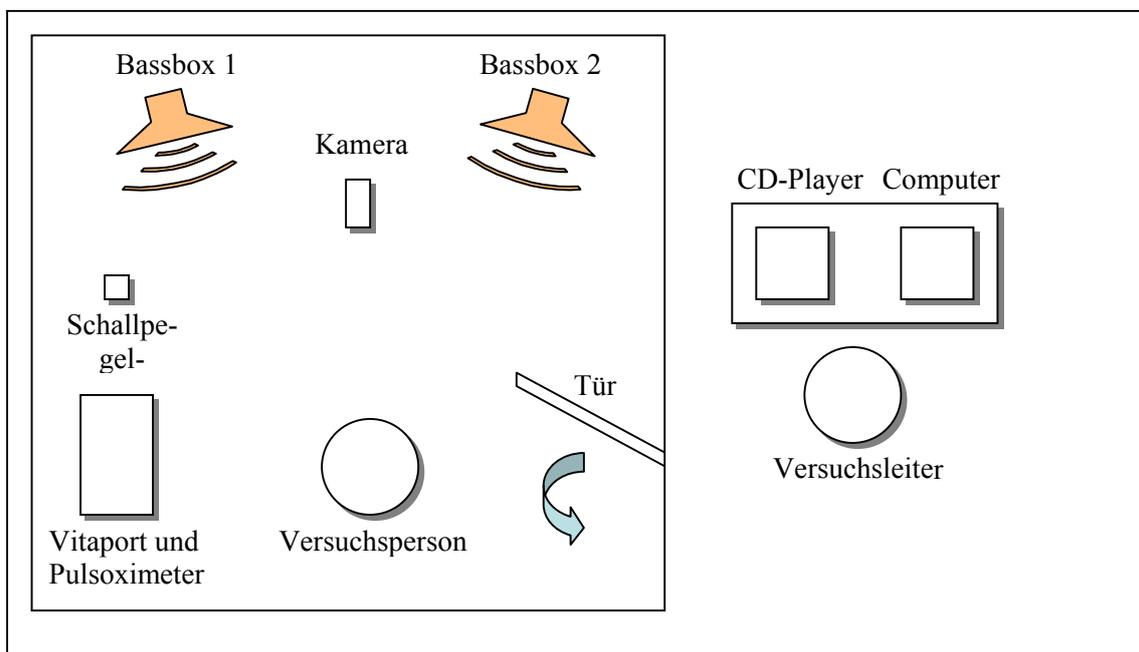


Abb. 21: Aufbau des Versuches

Anschließend wurde der Proband zur Aufzeichnung der physiologischen Reaktionen an das Kölner VitaportTM System angeschlossen (Näheres in Abschn. 4.3.) und mit Hilfe eines Kissens so positioniert, dass er während des gesamten Versuchs den linken Arm ruhig halten

konnte (Abb. 22). Zusätzlich wurde der Proband instruiert, sich während der Geräuscharbeitung so wenig wie möglich zu bewegen.

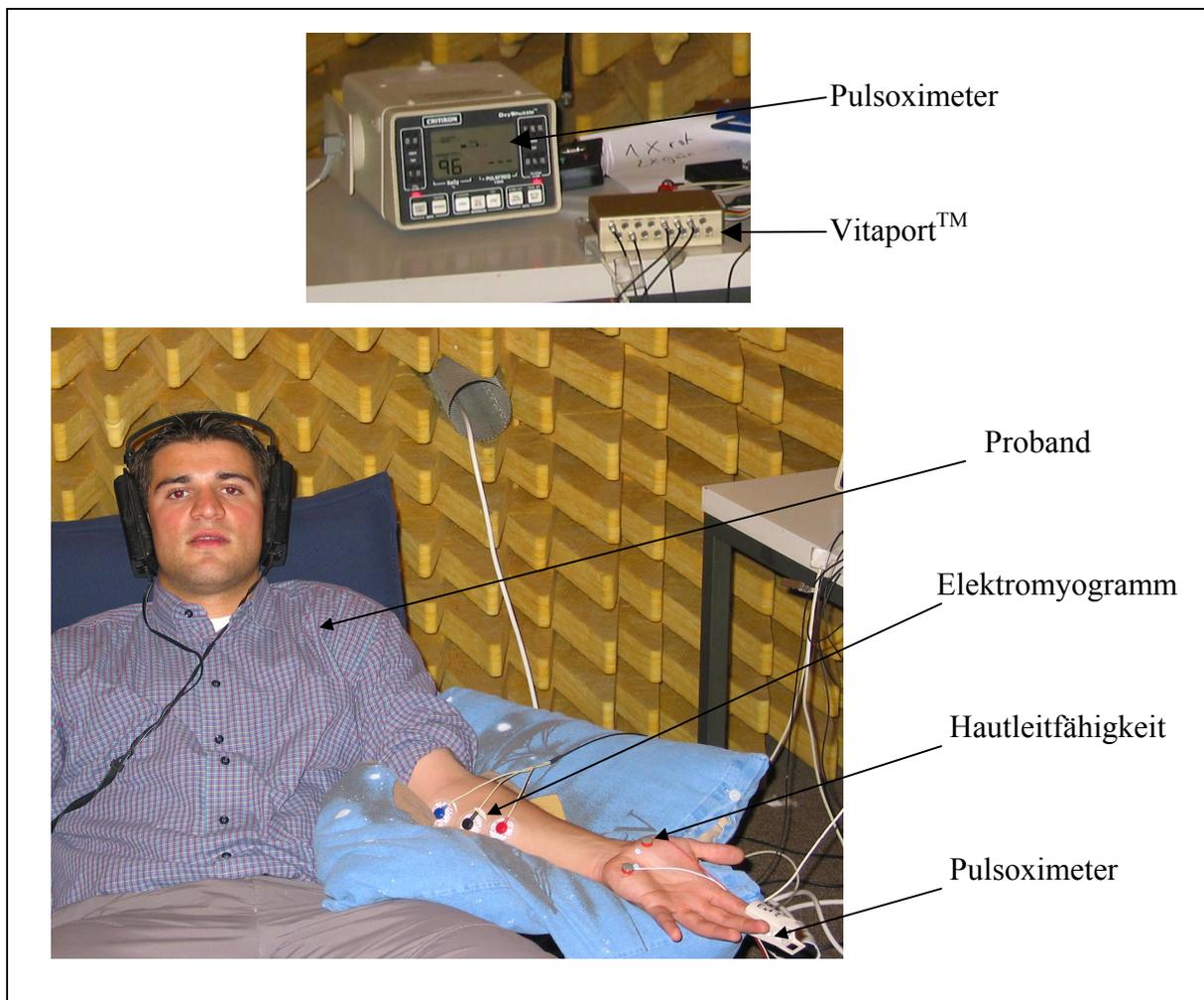


Abb. 22: Verkabelung des Probanden, Vitaport und Pulsoximeter

Zur Abstrahlung der tiefen Frequenzen waren zusätzlich zwei Bassboxen (Genelec 1038A) der VP frontal gegenüber aufgestellt (siehe Abb. 21). Damit sollte auch die Übertragung der tiefen Frequenzen auf den Körper der VP möglichst realitätsnah gestaltet werden. Zur Kontrolle der Geräusche und akzidentell auftretender Nebengeräusche wurde ein im Raum aufgestelltes Mikrophon verwendet, das mit einem Schallpegelmesser verbunden war. Mit einer Videokamera konnte der Versuchsleiter die VP während des gesamten Versuches beobachten, um bei Störungen direkt intervenieren zu können. Als Letztes wurde das gesamte System auf Funktionalität überprüft, das Licht im Raum etwas gedimmt und die Kammer geschlossen.

4.2.2.2 Geräuscharbietung (ca. 70 Minuten)

Es folgte eine initiale Ruhephase von 15 Minuten, damit der Proband sich entspannte und sich die physiologischen Parameter auf ein stabiles Ausgangsniveau einpendelten. Anschließend wurden in randomisierter Reihenfolge zehn Autogeräusche von je zwei Minuten Länge über den Kopfhörer dargeboten. Dabei wurde vor dem Experiment mit Hilfe eines Kunstkopfes sichergestellt, dass der Mittelungspegel der Geräusche jeweils auf den vorgesehenen Wert eingepegelt wurde. Für die tiefen Frequenzen bis zu 500 Hz wurden die Autogeräusche zusätzlich über die oben erwähnten Subwoofer dargeboten. Nach jedem Geräusch folgte eine Pause von vier Minuten (Abb. 23):

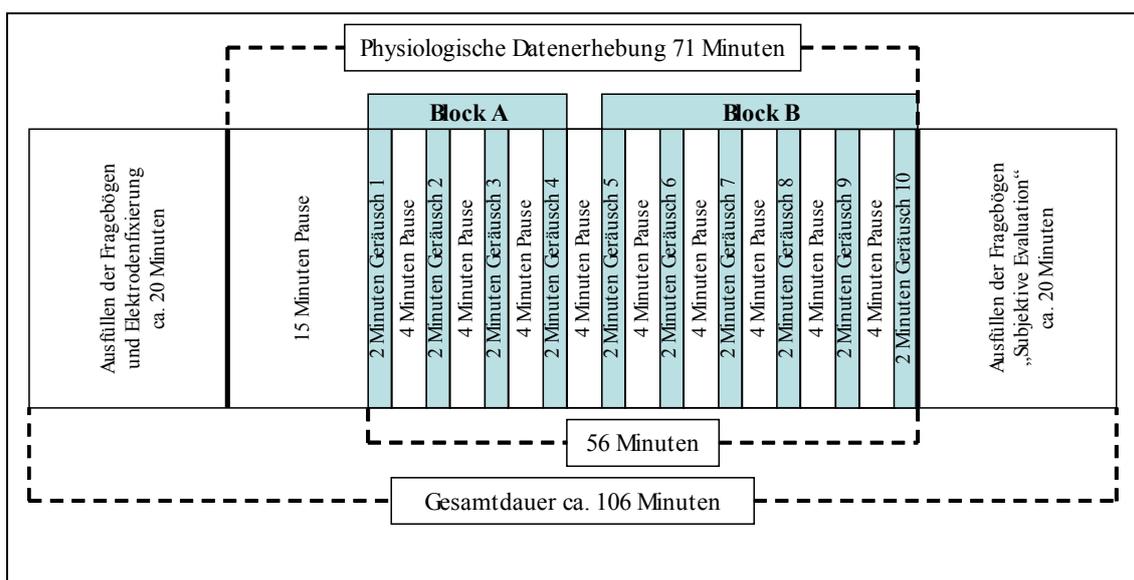


Abb. 23: Zeitplan des experimentellen Versuchablaufs

Der Versuch wurde in Block A (Geräusche 1-4) und Block B (Geräusche 5-10) unterteilt. Da die in Block B erhobenen Daten (Vergleich zwischen serienmäßigen Modellen mit Diesel- bzw. Benzinmotor mit variablem Schallpegel) nicht Gegenstand dieser Promotionsarbeit sind, wird an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen. Um während des Versuchs Reihenfolgefehler seitens des Versuchsleiters zu verhindern, wurden für Block A vier CDs (A1-A4) (Abb. 26, s. u.) und für Block B sechs CDs (B1-B6) verwendet, auf denen die Geräusche und Pausen in der jeweils spezifischen Reihenfolge gespeichert waren.

4.2.2.3 Beschreibung der Versuchsgeräusche in Block A

Bei den in Block A verwendeten Geräuschen handelte es sich um Pkw-Vorbeifahrt-Geräusche eines Mittelklassewagens (Diesel, 1900 cm³, 72 kW), die auf einem Übungsplatz eines Projektpartners aufgenommen worden waren. Dieses Fahrzeug war hinsichtlich des Motorge-

räuschs und der ausgewählten Reifen nach derzeitigem Stand der Technik das Ergebnis verschiedener technischer Verbesserungen durch die beteiligten Projektpartner und wurde als psychoakustisch optimiert angesehen. Die Optimierungen wurden auch bereits serienmäßig bei der Fahrzeugproduktion und -ausstattung verwendet. Als Ausgangsbasis wurden Geräusche von zwei verschiedenen Fahrbedingungen verwendet:

- **50s:** Vorbeifahr-Geräusch eines Diesel-Pkws mit serienmäßigem Motor im zweiten Gang bei Beschleunigung auf 50 km/h.
- **70s:** Vorbeifahrt-Geräusch eines Diesel-Pkws mit serienmäßigen Reifen im dritten Gang bei konstanter Geschwindigkeit von 70 km/h.

Diese Originalgeräusche des serienmäßigen Modells wurden dann je nach gefahrener Geschwindigkeit modifiziert: In der mit 50 km/h gefahrenen Situation wurde das Motorengeräusch verändert und in der mit 70 km/h gefahrenen Situation das Reifengeräusch. In den Abbildungen 24 und 25 werden die Terzbandanalyse für die serienmäßigen und die modifizierten Geräusche visualisiert.

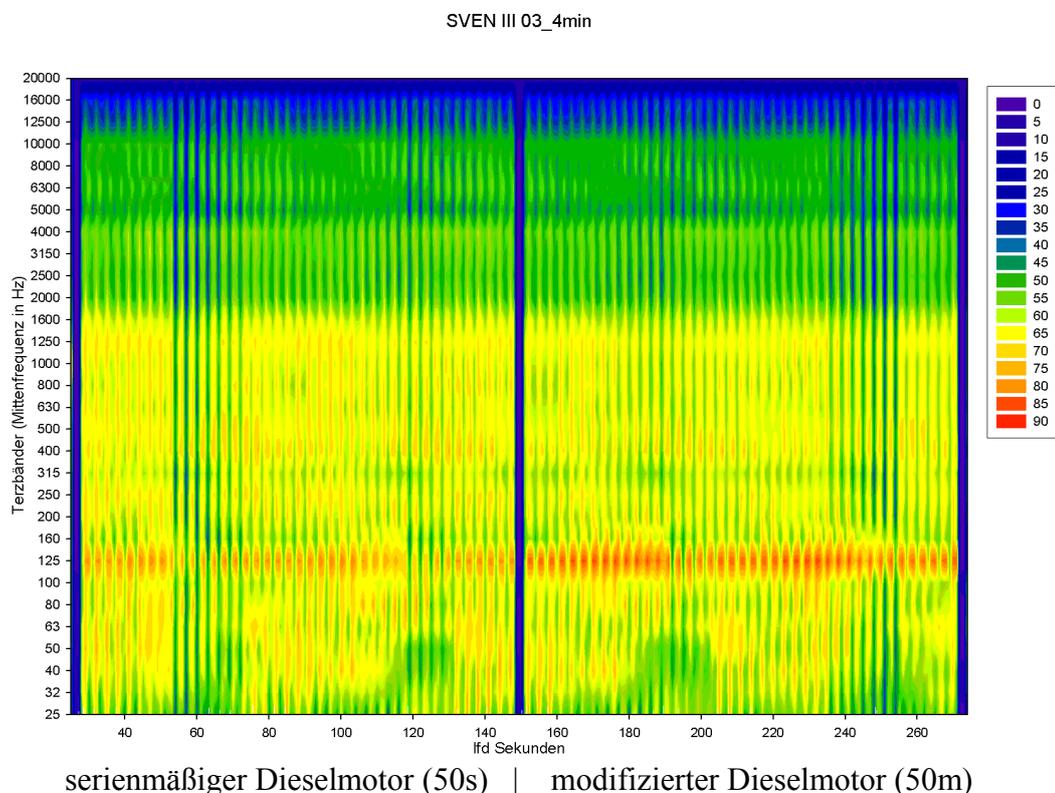
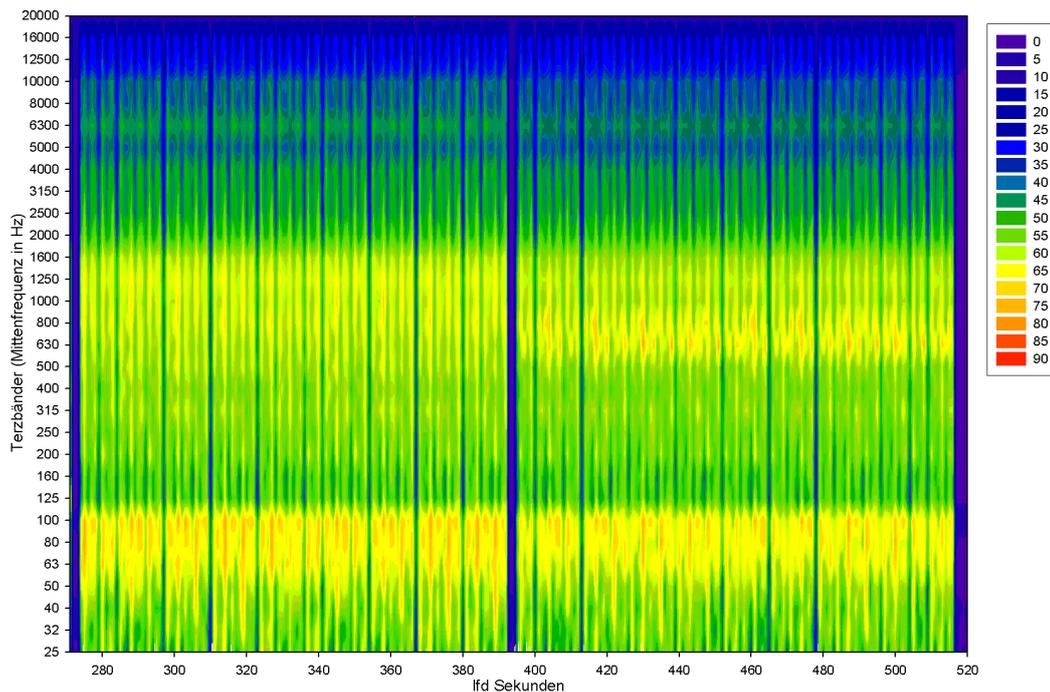


Abb. 24: Terzbandanalyse des Vorbeifahrtgeräusches des serienmäßigen Dieselmotors und der technisch modifizierten Version (50 km/h, 2. Gang, Beschleunigung)



serienmäßiges Reifengeräusch (70s) | modifiziertes Reifengeräusch (70m)

Abb. 25: Terzbandanalyse des Vorbeifahrtgeräusches des serienmäßigen Dieselmotors und der technisch modifizierten Version (70 km/h, 3. Gang, Beschleunigung)

Die Art der nachträglichen Geräuschveränderung sollte nach Einschätzung und Erfahrung der Experten eine eindeutige psychoakustische Verschlechterung bewirken:

:

- **50m:** modifizierte Version des 50s-Geräuschs; Änderung des Motorengeräusches durch eine Anhebung um 10 dB in der 2. Ordnung. Als Folge dieser Modifikation trat das Motorengeräusch deutlich rauer und schärfer in den Vordergrund. In der Terzbandanalyse ist eine Betonung der Lautstärke im Bereich der Mittenfrequenz um 125 Hz gut erkennbar.
- **70m:** modifizierte Version des 70s-Geräuschs mit simulierten schlechten Reifen durch Mischen des Originalsounds mit einem moduliertem Signal. Hier ergab sich ebenfalls ein deutlich raueres und schärferes Signal. In der Terzbandanalyse ist eine Betonung der Lautstärke im Bereich der Mittenfrequenzen 680 bis 800 Hz erkennbar.

Alle im Block A verwendeten Geräusche wurden auf einen Mittelungspegel von $L_{eq} = 83$ dB(A) eingestellt. Die beiden Geräusche einer Fahrbedingung wurden immer jeweils als Paar dargeboten. Die Reihenfolge innerhalb des Pairs und die Abfolge dieser beiden Paare wurden variiert.

<i>Block</i>	Geräusche			
A1	50s	50m	70m	70s
A2	50m	50s	70s	70m
A3	70s	70m	50m	50s
A4	70m	70s	50s	50m

Abb. 26: Reihenfolgen der verschiedenen Variationen in Block A

4.2.2.4 Subjektive Bewertung (ca. 20 Minuten)

Nach dem letzten Geräusch wurde die Tür des Schalllabors geöffnet und die Elektroden wurden entfernt. Der physiologischen Datenerhebung folgte dann eine subjektive Bewertung der Geräuschstimuli mittels mehrerer Fragebögen.

Bei geöffneter Kammertür wurden die Autogeräusche dem Probanden in derselben Versuchsreihenfolge erst einzeln und dann als Paar vorgespielt. Die Darbietung der Geräusche erfolgte so lange, bis der Proband den jeweiligen Fragebogen komplett ausgefüllt hatte (siehe A7 - A8):

- Geräusch 1 → Einzelbeurteilung
- Geräusch 2 → Einzelbeurteilung
- Geräusche 1 und 2 → Paarvergleich
- Geräusch 3 → Einzelbeurteilung
- Geräusch 4 → Einzelbeurteilung
- Geräusche 3 und 4 → Paarvergleich

Nach Ausfüllen aller Fragebögen war der Versuch beendet, der Proband verließ die Schallkammer und quittierte den Erhalt der Aufwandsentschädigung.

4.3 Analyse der physiologischen Daten

Wie schon angesprochen, wurde das *Kölner Vitaport System*TM (siehe www.psychmethoden.uni-koeln.de/jain/a_fahren.html) zur Kontrolle des Schallpegels und zur Erfassung der physiologischen Parameter Elektromyogramm (EMG), Hautleitfähigkeit (EDA) und Fingerpulsamplitude (FPA) benutzt. Hierbei handelt es sich um ein elektronisches Datenerfas-

zungssystem mit spezifischer Software, das mit einem PC zur Speicherung und weiteren Verarbeitung der Daten verbunden ist. Mit der Vitasoft II Version 3.0 konnten die Daten nicht nur während der Aufzeichnung direkt am Bildschirm betrachtet, sondern auch später zu einer ersten Orientierung Daten am PC in Grafiken umgewandelt werden.

Abb. 27 zeigt einen Screenshot während der Aufzeichnung der physiologischen Daten. In starker zeitlicher Komprimierung sind hier die Daten einer gesamten Versuchsaufzeichnung von 71 min. zu sehen: in der obersten Zeile die EMG-Aufzeichnung, darunter die Hautleitfähigkeit und in der Zeile „oxy1“ die Fingerpulsamplitude, am Ende schließlich die Schallpegelaufzeichnung mit klar erkennbaren zehn Schallreizen. Eine genauere Darstellung der einzelnen Verarbeitungsschritte speziell für die Fingerpulsamplitude findet sich z. B. in Siegmann et al. (1999).

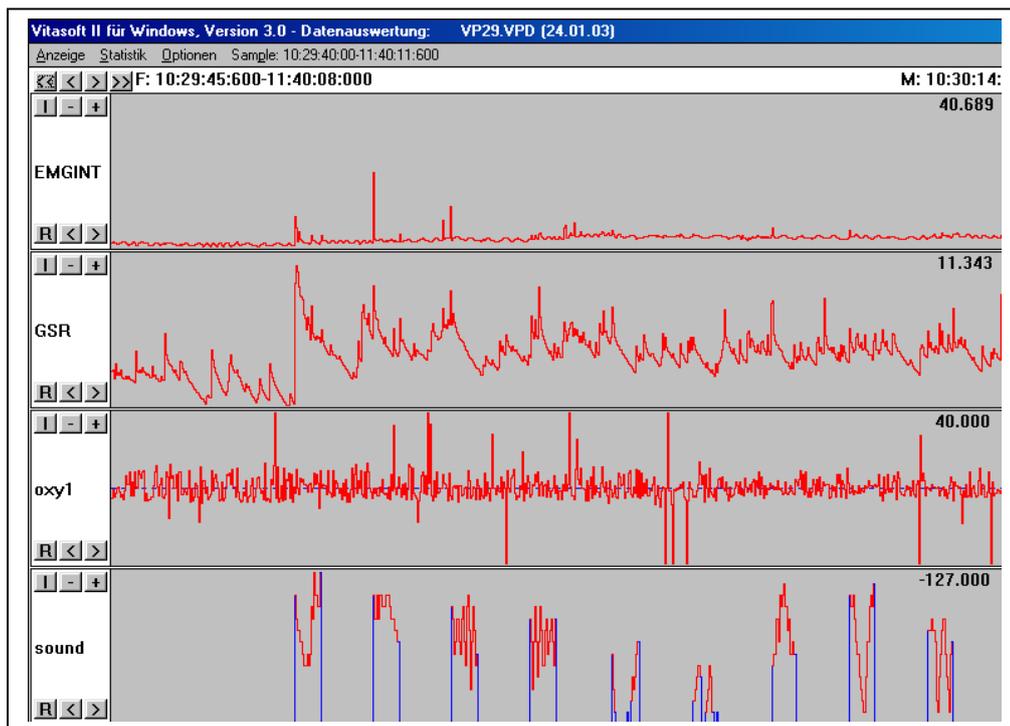


Abb. 27: Beispiel einer Datenaufzeichnung der Messparameter mit Vitasoft II Version 3.0

Im Weiteren wurden die Daten einerseits als Einzelwerte, andererseits als über einen bestimmten Zeitraum gemittelte Werte aus dem gewünschten Kanal über eine Textdatei in das

Software-Paket SPSS (Statistical Package for Social Sciences, s. u.) eingelesen und konnten damit statistisch bearbeitet werden.

Die Analyse der Daten konzentriert sich auf den jeweils paarweisen Vergleich in den beiden Versuchsbedingungen. Hierzu wurden die physiologischen Parameter auch graphisch dargestellt (Harvard Graphics Version 98.01). Für die physiologischen Variablen (FPA, SCL und EMG) gibt es keine definierten Standardwerte, weil diese auch immer abhängig von den verwendeten Messapparaturen sind. Des Weiteren zeigt die Stärke des Messsignals dieser Parameter wie auch der Mehrzahl der meisten übrigen biologischen Signale sowohl große interindividuelle Unterschiede als auch über einen längeren Zeitraum deutliche intraindividuelle Schwankungen, so dass absolute Messwerte nicht für die Auswertung verwendet werden können. Um diesen Nachteil auszugleichen, war es notwendig, einen Ausgangswert als sog. „Baseline“ zu ermitteln. Hierzu wurden die in den letzten 30 sec gemessenen Werte pro VP jeweils auf 100 % gesetzt. Damit kann die Antwort auf ein Geräusch immer in vergleichbarer Weise als prozentuale Abweichung in Bezug zur Baseline (100 % Baseline = Mittelwert der Messwerte der letzten 30 Sek. vor der jeweiligen Geräuschpräsentation) bewertet werden. Da die Reaktionen am Anfang der Beschallung relativ kräftig sind und häufig schon Unterschiede in der Reaktion zwischen verschiedenen Geräuschen erkennen lassen, werden bei FPA, SCL und EMG die initialen Antworten in den ersten 30 Sek. nach Geräusch-exposition in 2 Sek.-Intervallen dargestellt (blau unterlegt) und die folgenden in 10 Sek.-Intervallen.

Im Prinzip ist im Vergleich dazu die Herzfrequenz ein relativ stabiler Faktor. Um interindividuelle Schwankungen auszugleichen und damit eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten, sind allerdings auch hier die Veränderungen der Herzfrequenz als prozentuale Abweichungen von den Ausgangswerten vor Versuchsbeginn (Baseline) angegeben.

Für die statistische Auswertung und die graphische Darstellung werden hier die Mess-Signale über 5 Sekunden gemittelt. Dies ist deshalb erforderlich, weil die Herzfrequenz aus den Interbeatintervallen berechnet wird und diese vor allem bei jungen Menschen stark streuen können. Eine Mittelung über 5 Sekunden gleicht diese starken Streuungen wieder aus.

Die Daten zu den einzelnen Messintervallen der physiologischen Parameter sind im Anhang A12 – A19 aufgeführt. Zur übergreifenden Betrachtung werden zusätzlich für alle Parameter Mittelwerte über charakteristische Zeitintervalle gebildet und miteinander verglichen, und

zwar für das Intervall 1. bis 30. s, 31. bis 120. s und schließlich über dem gesamten Versuchsabschnitt 1. bis 120. s.

4.4 Analyse der Daten der subjektiven Bewertung

Die für dieses Forschungsprojekt verwendeten Fragebögen wurden für die allgemeine Wahrnehmung von Fahrzeuggeräuschen entwickelt (Notbohm et al. 2002; Notbohm et al. 2003b). Bei den Einzelbeurteilungen mussten die Probanden Angaben machen, inwieweit die Geräusche *gemocht wurden*, *unangenehm* und *aktivierend* waren. Dabei wurde die Abneigung auf einer 9-stufigen Likertskala von 1 bis 9, die Unannehmlichkeit und die Aktivierung hingegen auf einer Skala von - 4 bis + 4 gemessen (Abb. 28).

Im Weiteren wurden die Geräusche paarweise miteinander verglichen. Ziel war es, herauszufinden, welches der beiden Geräusche subjektiv *lauter*, *gefährlicher*, *unangenehmer*, *belästigender* und *aktivierender* war oder ob es keinen Unterschied bezüglich der fünf genannten Adjektive zwischen den beiden Geräuschen gab. Die Fragebögen sind in voller Länge in Anhang A8 – A11 wiedergegeben.

Insgesamt mag ich dieses Geräusch:									
in höchstem Maße					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								sehr unangenehm	
-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	
sehr still/ deaktiviert								sehr aufgeregt/ aktiviert	
-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	

Abb. 28: Ausschnitt aus der Adjektivliste zur subjektiven Bewertung der Pkw-Geräusche

4.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikpaket SPSS Version 11.04. 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 jede Fahrbedingung errechnet und miteinander verglichen. Als statistisches Testverfahren wurde bei den physiologischen Variablen EMG, FPA und Herzfrequenz der t-Test für verbundene Stichproben verwendet. Da die Werte der Hautleitfähigkeit nicht normalverteilt waren, wurde hier der Wilcoxon-matched-pairs-signed-ranks-Test verwendet.

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 angesichts der großen Anzahl von durchgeführten Varianzanalysen nicht unbedingt aussagekräftig. Im Prinzip wäre unter diesem Gesichtspunkt auch eine Bonferroni-Korrektur des Signifikanzniveaus erforderlich. Da es sich bei diesem Experiment nicht um eine Entscheidung über Hypothesen, sondern eher um eine hypothesengenerierende Sondierung der methodischen Möglichkeiten handelt, kann auf die Bonferroni-Korrektur verzichtet werden.

Die Ergebnisse der subjektiven Bewertung werden für den paarweisen Vergleich der Geräusche mit dem Kolmogorov-Smirnoff-Anpassungstest (KS-Test) geprüft. In den grafischen Darstellungen wird jeweils gezeigt, wie viel Prozent der Stichprobe das eine oder das andere Geräusch für „lauter“, „gefährlicher“, „belästigender“ und „unangenehmer“ halten. Das Adjektiv „aktivierender“ wird als Ergebnis jeweils im Text beschrieben. Die Ergebnisse der generellen Geräuschbeurteilung werden mit Hilfe des t-Tests für verbundene Stichproben auf statistische Signifikanz geprüft.

5 Ergebnisse

Wie bereits erwähnt, werden die Veränderungen in den physiologischen Variablen während der Geräuscharbietungen als Prozentwerte mit Bezug auf die Ausgangslage von 100 % dargestellt. In den Diagrammen werden die Mittelwerte dieser prozentualen Veränderungen pro Zeitintervall dargestellt. In den ersten 30 Sekunden der Geräuschexposition wurden FPA, EMG und SCL in 2-s-Intervallen gemittelt (grün unterlegt), in den restlichen 90 Sekunden in 5-s-Intervallen. Die Messwerte der Herzfrequenz wurden über 5 Sekunden gemittelt (s. u.).

5.1 Versuchsbedingung 50s versus 50m: Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigem Diesel-Motor im Vergleich zum modifizierten Motor

5.1.1 Fingerpulsamplitude (FPA) in der Versuchsbedingung 50s versus 50m

Zunächst werden die Reaktionen in der Fahrbedingung 50 km/h (Vorbeifahrt im 2. Gang mit Beschleunigung auf 50 km/h) für das Geräusch des serienmäßigen Dieselmotor-Modells im Vergleich zum Geräusch mit modifiziertem Motor gegenübergestellt. Abb. 29 zeigt die Kurvenverläufe der Fingerpulsamplitude während der Beschallung. Exakte Zahlenwerte zu diesem Vergleich enthält Anhang A12.

Beide Kurven - sowohl die blaue Kurve für die Reaktion auf das Serienmodell als auch die rote beim modifizierten Motor - fallen nach Geräuschbeginn stark ab und erreichen in der 8. Sekunde bei etwa 60 % ihre Minima. Beide Kurven steigen dann wieder an, wobei die blaue 50s Kurve (serienmäßiger Motor) schon nach 12 s die 70 %-Marke überschreitet, dann auch recht schnell wieder die 80%-Marke erreicht und nach 55 s schon auf über 90 % steigt. Zum Ende der Exposition befindet sie sich praktisch wieder auf dem Ausgangsniveau. Die rote Kurve für die Reaktion auf das modifizierte Motorengeräusch steigt deutlich langsamer an, überschreitet erst nach 30 s die 70 %-Marke und nach 65 s die 80 %-Marke und bleibt bis zum Ende der Exposition unterhalb von 90 %. Bis auf einen kurzen Zeitabschnitt zwischen der 90. und 100. s, in dem die blaue Kurve noch einmal abfällt und die rote sogar schneidet, besteht nach den Anfangssekunden während der gesamten Expositionsdauer eine deutlich stärkere Reaktion der Fingerpulsamplitude auf das Geräusch des modifizierten Motors.

Tab. 1 gibt die prozentualen Veränderungen der Fingerpulsamplitude über größere Beurteilungszeiträume wieder. In allen dargestellten Zeitintervallen liegt der Mittelwert beim modifizierten Motorgeräusch im Mittel deutlich unter den Werten für das Geräusch des Serienmodells. Wie die hohen Standardabweichungen zeigen, streuen die individuellen Werte zwar

beträchtlich. Dennoch erweisen sich die Mittelwertunterschiede zwischen diesen beiden Bedingungen im t-Test für verbundene Stichproben als statistisch signifikant.

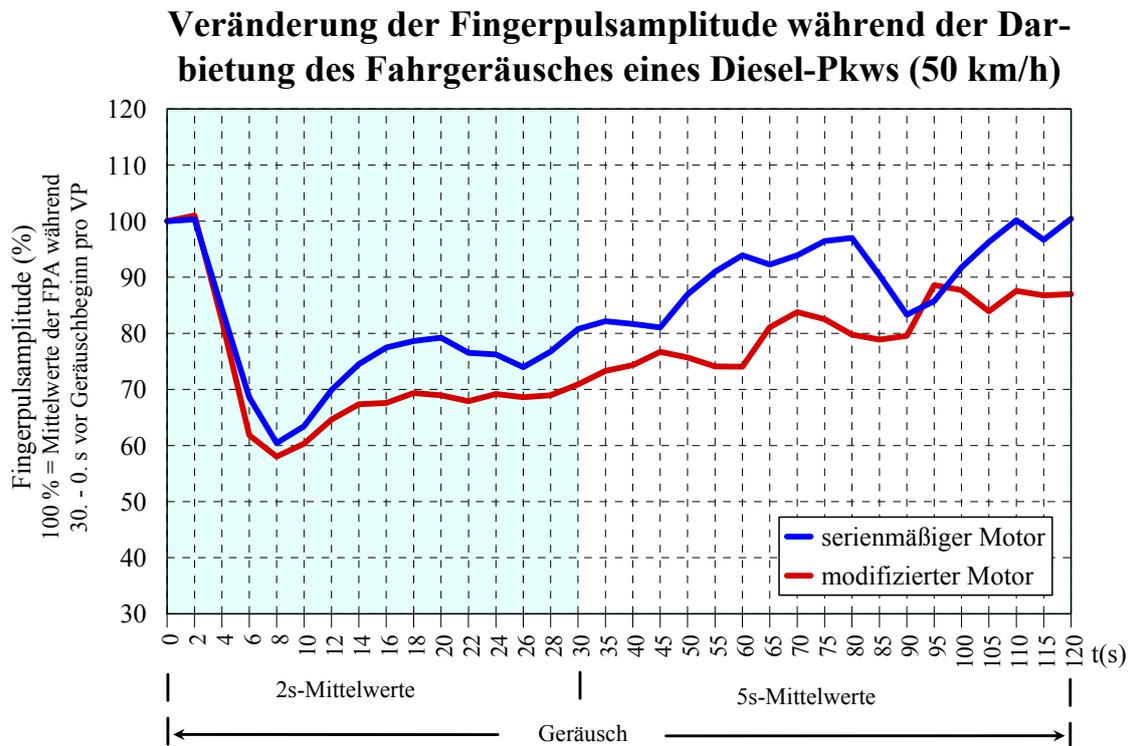


Abb. 29: Prozentuale Veränderung der FPA während der 2-minütigen Beschallung mit dem Fahrgeräusch eines Diesel-Pkws, 50 km/h Fahrgeschwindigkeit, serienmäßiger vs. modifizierter Motor

Tab. 1: Kennwerte der prozentualen Veränderung der Fingerpulsamplitude bei Darbietung des Vorbeifahrt-Geräusches mit serienmäßigem Dieselmotor vs. modifiziertem für definierte Zeitabschnitte (Fahrbedingung 50 km/h Ausgangswert = 100 %, Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanzniveau im t-Test für verbundene Stichproben)

Geräusch Zeitraum	FPA (%) bei serienmäßigem Motorgeräusch		FPA (%) bei modifiziertem Motorgeräusch		Signifikanz p
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
1. – 30. Sekunde	75,91	30,2	69,54	17,5	0,148
31. – 120. Sekunde	90,83	26,5	80,41	22,3	0,020
1. – 120. Sekunde	86,97	24,9	77,57	20,3	0,012

5.1.2 Herzfrequenz in der Versuchsbedingung 50s versus 50m

Für die Auswertung der Herzfrequenz werden durchgehend Mittelwerte für 5-s-Intervalle berechnet, da bei 2 s nur ein bis zwei Herzschläge in die Berechnung einfließen und dadurch erhebliche Schwankungen verursachen. Zum Ausgleich interindividueller Unterschiede wurden analog zu den anderen Parametern auch hier die prozentualen Veränderungen in Bezug zum Ausgangswert verwendet. Abb. 30 zeigt die prozentuale Veränderung der Herzfrequenz während der Beschallung mit den beiden Vorbeifahrgeräuschen mit 50 km/h. Detaillierte Zahlenwerte zu den einzelnen 5-s-Zeiträumen finden sich in Anhang A13.

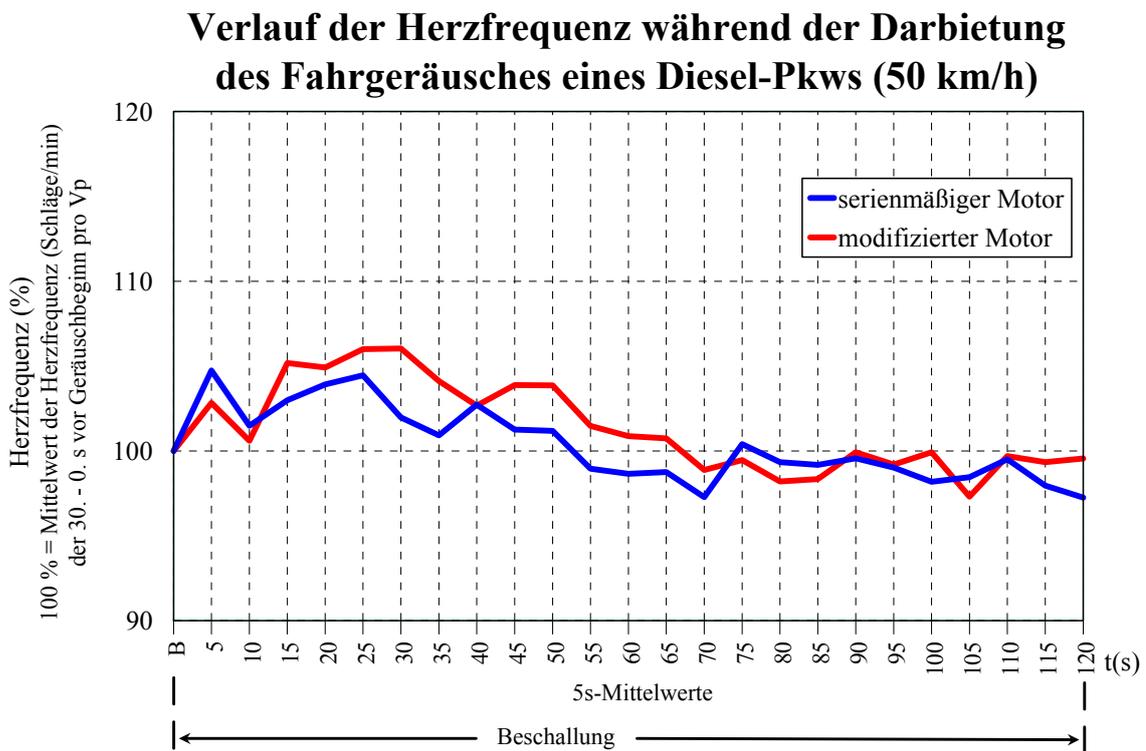


Abb. 30: Prozentuale Veränderung der Herzfrequenz während der 2-minütigen Beschallung mit dem Fahrgeräusch eines Diesel-Pkws, 50 km/h Fahrgeschwindigkeit, serienmäßiger vs. modifizierter Motor

Man sieht einen initialen Anstieg beider Kurven in den ersten 5 Sekunden. Anschließend tendiert die Kurve beim serienmäßigen Motorgeräusch relativ schnell wieder in Richtung Baseline, während sich beim modifizierten Motorgeräusch für die gesamte erste Minute ein deutlich höherer Kurvenverlauf mit Werten bis zu etwa 106 % abzeichnet. In Tab. 2 sind die wichtigsten statistischen Kennwerte zum Vergleich der beiden Geräuschwirkungen wiedergegeben. Für die übergreifenden Zeitabschnitte (0 - 30 s bzw. 31 - 120 s) ergeben sich zahlenmäßig relativ geringe Mittelwertunterschiede, die auch nicht statistisch signifikant sind.

Tab. 2: Kennwerte der prozentualen Veränderung der Herzfrequenz bei Darbietung des Vorbeifahrt-Geräusches mit serienmäßigem Dieselmotor vs. modifiziertem für definierte Zeitabschnitte (Fahrbedingung 50 km/h, Ausgangswert = 100 %, Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanzniveau im t-Test)

Parameter Zeitraum	Herzfrequenz (%) bei serienmäßigem Motorgeräusch		Herzfrequenz (%) bei modifiziertem Motorgeräusch		Signifi- kanz p
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
1. – 30. Sekunde	103,26	6,1	104,23	6,5	0,609
31. – 120. Sekunde	99,43	5,6	100,36	6,8	0,617
1. – 120. Sekunde	100,38	5,4	101,33	6,5	0,594

5.1.3 Elektrische Muskelaktivität in der Versuchsbedingung 50s versus 50m

Abb. 31 gibt die prozentuale Veränderung der elektrischen Muskelaktivität (Elektromyogramm, EMG) gegenüber der Baseline während der Darbietung des Vorbeifahrt-Geräusches mit serienmäßigem Dieselmotor vs. modifiziertem wieder.

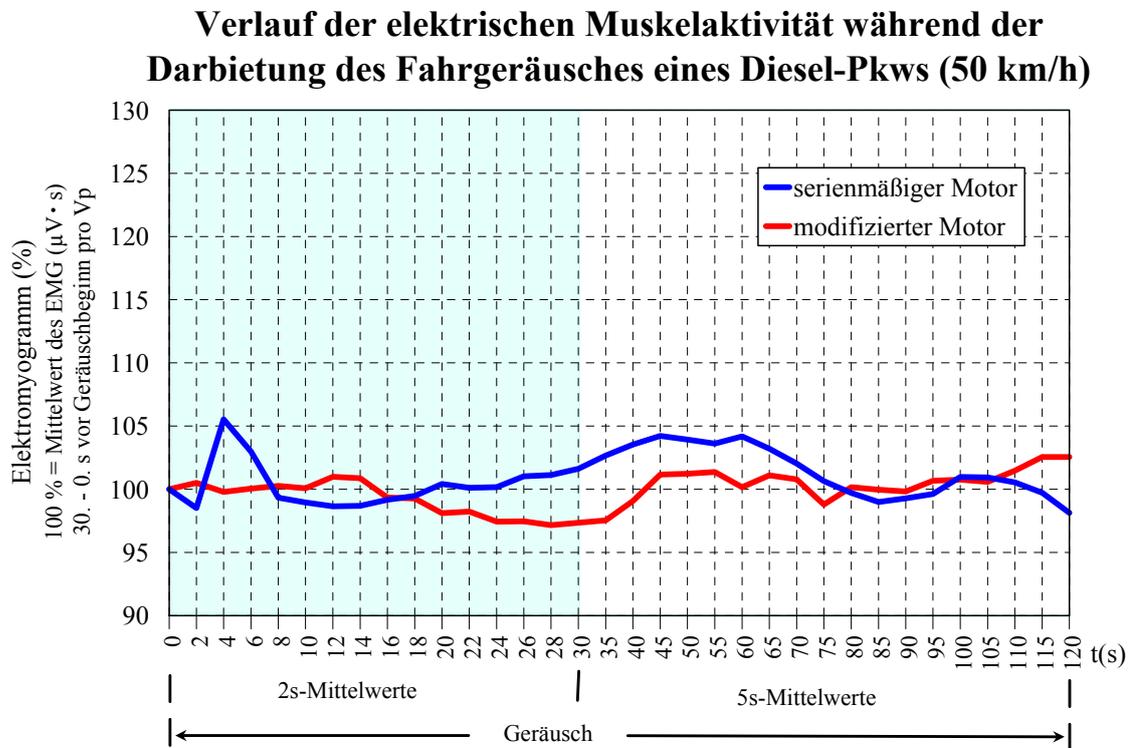


Abb. 31: Prozentuale Veränderung der elektrischen Muskelaktivität während der 2-minütigen Beschallung mit dem Fahrgeräusch eines Diesel-Pkws, 50 km/h Fahrgeschwindigkeit, serienmäßiger vs. modifizierter Motor

Es fällt auf, dass sich beim modifizierten Motorgeräusch kaum eine nennenswerte Reaktion zeigt: Etwa ab der 16. bis zur 40. s fällt die Kurve etwas unter die 100%-Linie, steigt dann für einen kurzen Zeitraum geringfügig über 100 %. Erst in den letzten fünf Sekunden erreicht sie ihren Höchststand von etwa 105 %. Die blaue Linie für das serienmäßige Geräusch zeigt dagegen in den ersten Sekunden einen starken Anstieg als Reaktion auf das Einsetzen des Geräusches und bewegt sich dann im Zeitraum 30. - 60. s deutlich auf die 105-%-Marke zu. Insgesamt sind beide Kurvenverläufe für einen so empfindlich reagierenden Parameter wie das EMG relativ unspektakulär. Deskriptive Werte zu den einzelnen Zeiträumen sind in Anhang A 14 enthalten.

Tab. 3 gibt Mittelwerte und Standardabweichungen für zusammengefasste Zeiträume an. Die Mittelwerte liegen näher beieinander, als man es vielleicht auf Grund der Kurvenverläufe erwartet hätte. Aber tatsächlich betragen die Abstände zwischen den beiden Kurven immer nur wenige Prozentpunkte, und man muss natürlich auch bedenken, dass diese zusammengefassten Zeiträume ja zunächst *pro Person* zusammengefasst und dann über die Gruppe gemittelt werden. Individuelle Schwankungen der Reaktion, die sich unterschiedlich auf die 5-s-Abschnitte verteilen, können somit dazu führen, dass sie sich zufällig in kleinen Zeiträumen summieren und über die gesamte Dauer nicht mehr zum Tragen kommen. Jedenfalls lässt sich kein statistisch signifikanter Einfluss der beiden unterschiedlichen Fahrbedingungen auf die EMG-Amplituden sichern.

Tab. 3: Kennwerte der prozentualen Veränderung der elektrischen Muskelaktivität bei Darbietung des Vorbeifahrt-Geräusches mit serienmäßigem Dieselmotor vs. modifiziertem für definierte Zeitabschnitte (Fahrbedingung 50 km/h, Ausgangswert = 100 %, Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanzniveau im t-Test für verbundene Stichproben)

Parameter Zeitraum	EMG (%) bei serienmäßigem Motorgeräusch		EMG(%) bei modifiziertem Motorgeräusch		Signifi- kanz p
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
1. – 30. Sekunde	100,89	9,2	101,49	13,4	0,867
31. – 120. Sekunde	101,43	8,9	101,36	12,2	0,984
1. – 120. Sekunde	101,28	8,4	101,40	10,5	0,967

5.1.4 Hautleitfähigkeit (SCL) in der Versuchsbedingung 50s versus 50m

Die Darstellung der Hautleitfähigkeit zeigt bei beiden Geräuscharbietungen einen steilen prozentualen Anstieg des Niveaus, der bereits nach sechs Sekunden seinen ersten Höhepunkt erreicht (Abb. 32). Die rote Kurve für den modifizierten Motor steigert sich im weiteren Verlauf noch weiter und erreicht zwischen der 16. und der 60. s Werte um 160 %, um dann langsam am Ende der Beschallung wieder abzufallen bis auf 140 %. Die blaue Kurve dagegen beginnt nach dem initialen Anstieg sofort wieder abzusinken und fällt bereits nach 12 s auf ca. 140 %, um dann weiter stetig abzufallen bis unter 120 % zum Ende der Geräuscharbietung.

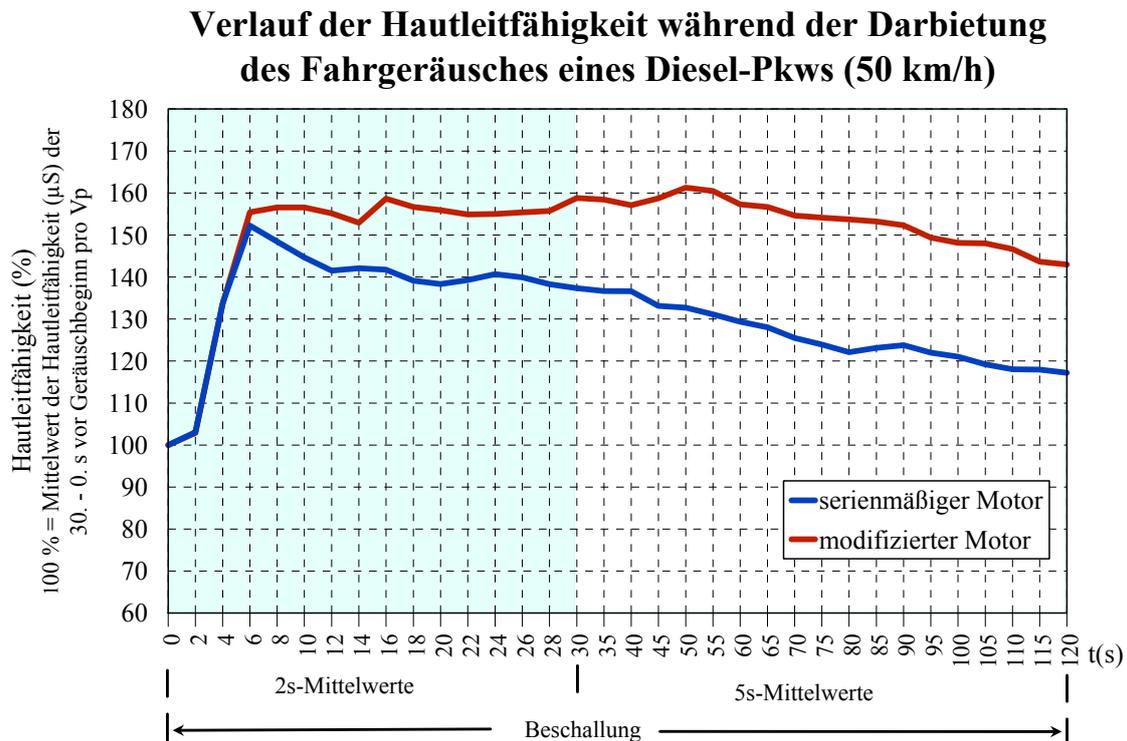


Abb. 32: Prozentuale Veränderung der Hautleitfähigkeit (SCL) während der 2-minütigen Beschallung mit dem Fahrgeräusch eines Diesel-Pkws, 50 km/h Fahrgeschwindigkeit, serienmäßiger vs. modifizierter Motor

Tab. 4 gibt Mittelwerte und Standardabweichungen für zusammengefasste Zeitabschnitte wieder. Zahlenmäßig heben sich die Mittelwerte für die beiden Fahrgeräusche deutlich voneinander ab, aber angesichts der großen Standardabweichung überrascht es nicht, dass die Mittelwertunterschiede sich nicht als statistisch signifikant erweisen.

Tab. 4: Kennwerte der prozentualen Veränderung der Hautleitfähigkeit bei Darbietung des Vorbeifahrt-Geräusches mit serienmäßigem Dieselmotor vs. modifiziertem für definierte Zeitabschnitte (Fahrbedingung 50 km/h, Ausgangswert = 100 %, Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanzniveau im Wilcoxon-Test (matched pairs signed ranks test))

Parameter Zeitraum	SCL (%) bei serienmäßigem Motorgeräusch		SCL (%) bei modifiziertem Motorgeräusch		Signifikanz p
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
1. – 30. Sekunde	138,67	37,0	153,85	51,0	0,241
31. – 120. Sekunde	135,46	70,6	152,41	73,1	0,278
1. – 120. Sekunde	136,36	60,0	152,82	66,4	0,265

5.1.5 Vergleichende Geräuschbewertung in der Versuchsbedingung 50s versus 50m

Abb. 33 gibt die Verteilung der Antworten auf den direkten Vergleich der beiden Vorbeifahrtgeräusche in den vier Kategorien „laut“, „gefährlich“, „unangenehm“ und „belästigend“ wieder.

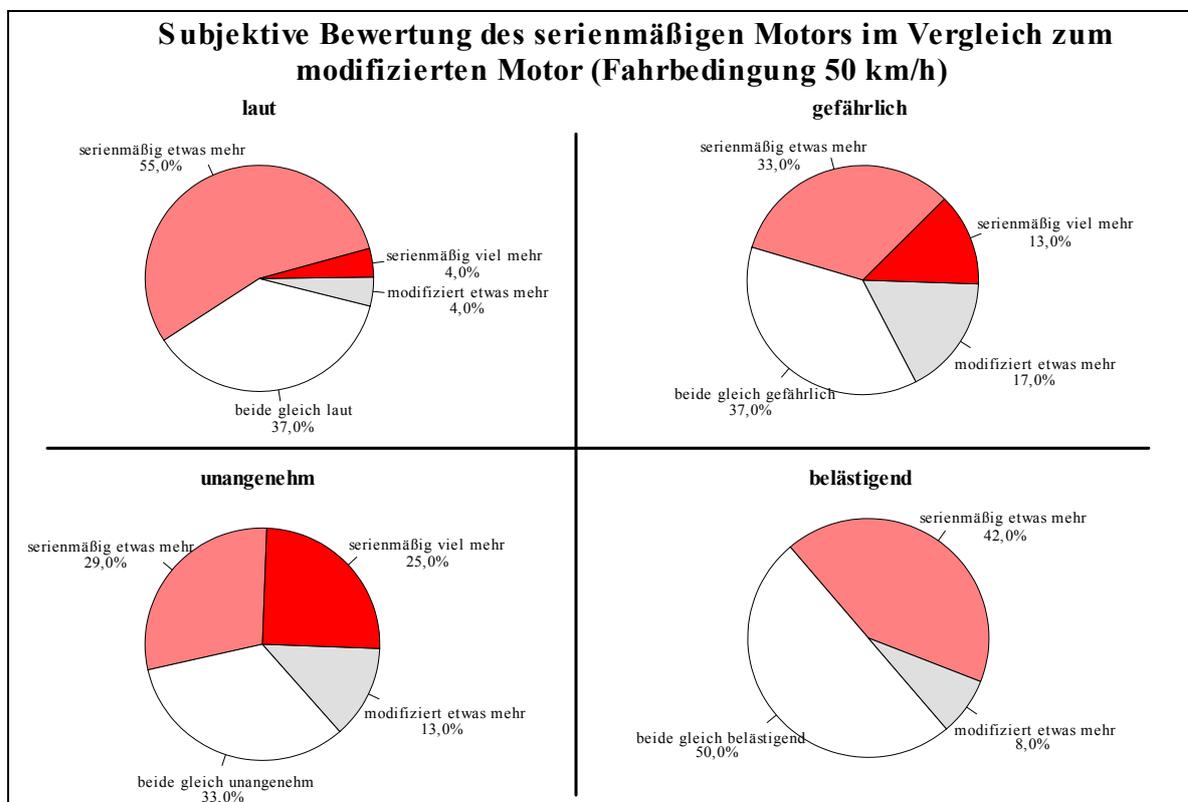


Abb. 33: Häufigkeitsverteilung der Antworten beim direkten Vergleich der Vorbeifahrtgeräusche mit serienmäßigem bzw. modifiziertem Motor in der Fahrbedingung 50 km/h

Das Geräusch des serienmäßigen Motors wird eindeutig schlechter beurteilt als das des modifizierten Motors: Rund 59 % beurteilen es als lauter, 54 % als unangenehmer und 46 % als gefährlicher, und nur eine Minderheit von 4 % bis 17 % gibt dem Geräusch mit dem modifizierten Motor schlechte Bewertungen. Allerdings empfindet etwa ein Drittel der Probanden beide Geräusche in diesen Kategorien als gleichwertig. Insbesondere bei der Belästigung sehen 50 % keinen Unterschied zwischen den Geräuschen, während 42 % wiederum das Geräusch des Serienmodells als belästigender wahrnehmen. Nicht in der Abbildung enthalten ist der fünfte Vergleich hinsichtlich der „aktivierenden“ Wirkung der Geräusche: Mehr als zwei Drittel empfinden beide Geräusche als gleich aktivierend, und 29 % beurteilen das Serienmodell als aktivierender. Für die Kategorien „laut“, „belästigend“ und „aktivierend“ unterscheiden sich die berechneten Häufigkeitsverteilungen statistisch signifikant von einer Gleichverteilung (K-S-Anpassungstest, $p < .05$).

5.1.6 Generelle Geräuschbeurteilung in der Versuchsbedingung 50s versus 50m

Tab. 5 gibt Kennwerte zur generellen Beurteilung der Geräusche auf einer 9-stufigen bipolaren Bewertungsskala wieder. Bezüglich der Feststellung „Ich mag dieses Geräusch in höchstem Maße“ (Stufe 1) bis „...überhaupt nicht“ (Stufe 9) erreichen beide Geräusche einen Wert über 5 - also im Bereich der negativen Bewertung, wobei das serienmäßige Geräusch mit 6,83 weniger gemocht wird als das modifizierte mit 6,33.

Tab. 5: Generelle Beurteilung der Vorbeifahrtgeräusche eines Diesel-Pkw mit serienmäßigem Motorgeräusch im Vergleich zum modifizierten Motorgeräusch (Bedingung 50 km/h, 2. Gang mit Beschleunigung) - Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanzniveau p (t-Test für verbundene Stichproben)

Vorbeifahrtgeräusch 50 km/h	Motor				p
	serienmäßig		modifiziert		
generelle Beurteilungen	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
<i>Ich mag dieses Geräusch in höchstem Maße (1)überhaupt nicht (9)</i>	6,83	1,27	6,33	1,49	.083
<i>Ich fühle mich angenehm (- 4) unangenehm (+ 4)</i>	1,42	1,41	0,71	1,33	.070
<i>Ich fühle mich deaktiviert (- 4) aktiviert (+ 4)</i>	0,96	1,51	0,46	1,56	.097

Die beiden weiteren Fragen mit einer Skalierung von „- 4“ bis „+ 4“ ergeben, dass sich die Probanden bei beiden Geräuschen eher unangenehm und eher aktiviert fühlen, und beides

deutlich stärker beim Vorbeifahrtgeräusch des Serienmodells. Wie die Signifikanzangaben in Tab. 5 zeigen, erreichen die Mittelwertunterschiede bei allen drei Fragen keine statistische Signifikanz im Sinne der üblichen Forderung von $p \leq 0,05$. Jedoch ist festzuhalten, dass sämtliche subjektive Beurteilungen - sowohl bei diesen generellen Bewertungen wie vorher bei den direkten Paarvergleichen - darin übereinstimmen, dass das Fahrgeräusch des Serienmodells schlechter abschneidet.

5.2 Versuchsbedingung 70s versus 70m: Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigen Reifen im Vergleich zu modifizierten Reifen

Für die Fahrbedingung 70 km/h (Vorbeifahrt im 3. Gang mit konstanter Geschwindigkeit) werden im Folgenden in gleicher Weise wie im Abschnitt 5.1 die physiologischen Reaktionen und die subjektiven Bewertungen für das Vorbeifahrtgeräusch des Serienmodells und für das modifizierte Geräusch (Simulation schlechterer Reifen) dargestellt.

5.2.1 Fingerpulsamplitude (FPA) in der Versuchsbedingung 70s versus 70m

Die blaue Kurve (FPA beim Vorbeifahrtgeräusch des Serienmodells) zeigt eine starke Verringerung der FPA während der ersten zehn Sekunden auf 55 % des Ausgangswertes (Abb. 34). Die rote Kurve (modifiziertes Reifengeräusch) zeigt nach einem anfänglichen Anstieg einen Abfall bis auf 60% in der 10. Sekunde.

Beide Kurven steigen dann rasch wieder Richtung 80 % an (10. – 22. Sekunde) und nehmen dann einen recht ähnlichen Verlauf, wobei die blaue Kurve bis zum Expositionsende weitgehend im Bereich 75-80 % verbleibt, während die rote Kurve fast immer höher im Bereich von 80 bis 90 % verläuft. Die entsprechenden Zahlenwerte sind in Anhang wiedergegeben.

Die beschriebenen unterschiedlichen Verläufe der beiden Kurven schlagen sich auch in den Mittelwerten über die Zeitabschnitte 1. bis 30. s und 31. bis 120. s nieder, die in Tab. 6 wiedergegeben werden. Obwohl die FPA-Werte beim modifizierten Geräusch bis zu 8 % höher liegen, erweisen sich die Mittelwertunterschiede aber nicht als statistisch signifikant. Nur für einige 5-s-Abschnitte zwischen der 50. und 80. Sekunde ergeben sich signifikante Unterschiede von $p < 0.05$ (s. Anhang A 16).

Veränderung der Fingerpulsamplitude während der Darbietung des Fahrgeräusches eines Diesel-Pkws (70 km/h)

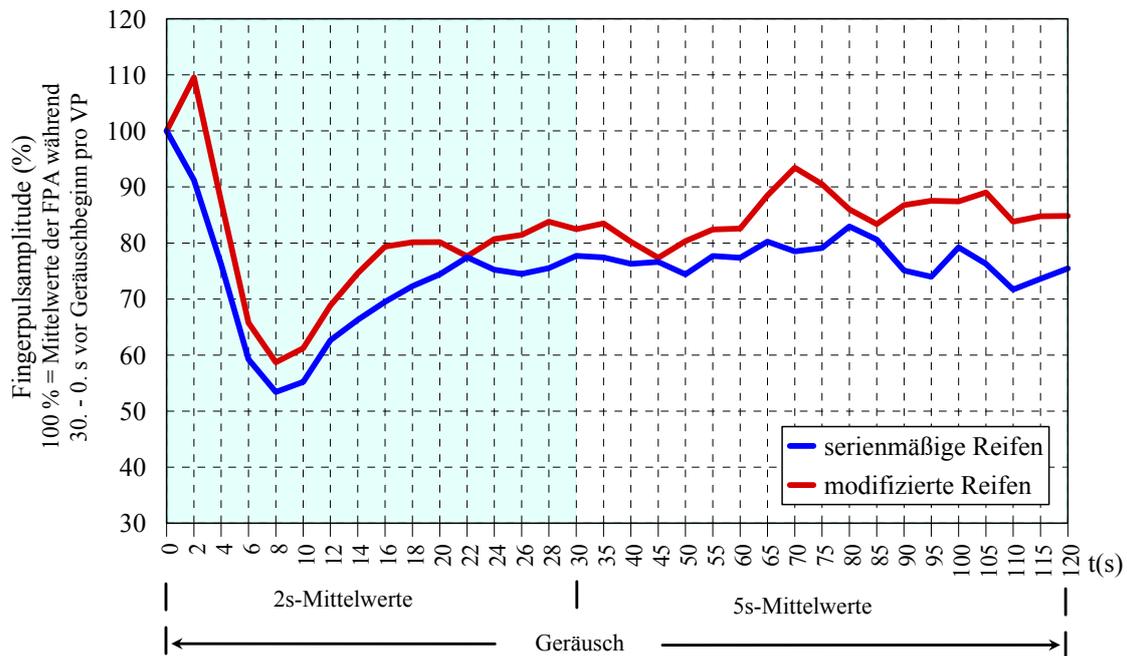


Abb. 34: Prozentuale Veränderung der FPA während der 2-minütigen Beschallung mit dem Fahrgeräusch eines Diesel-Pkws, 70 km/h Fahrgeschwindigkeit, serienmäßige vs. modifizierte Reifen

Tab. 6: Kennwerte der prozentualen Veränderung der Fingerpulsamplitude bei Darbietung des Vorbeifahrt-Geräusches mit serienmäßigen Reifen im Vergleich zu modifizierten Reifen für definierte Zeitabschnitte (Fahrbedingung 70 km/h, Ausgangswert = 100 %, Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanzniveau im t-Test für verbundene Stichproben)

Parameter Zeitraum	FPA bei serienmäßigem Reifengeräusch		FPA bei modifiziertem Reifengeräusch		Signifikanz p
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
1. – 30. Sekunde	70,53	13,0	77,76	18,7	0,077
31. – 120. Sekunde	76,55	17,6	84,50	21,8	0,120
1. – 120. Sekunde	74,98	15,7	82,78	19,5	0,093

5.2.2 Herzfrequenz (HF) in der Versuchsbedingung 70s versus 70m

Beide Kurven zeigen kurz nach Beginn der Geräuschexposition einen relativ zügigen Anstieg und erreichen nach 20 bis 40 s ein Maximum von knapp 105 % (Abb. 35). Danach fallen beide Kurven in ähnlicher Weise wieder langsam ab, um nach 50 bis 60 s wieder den Baselinewert von 100 % zu erreichen. In diesen ersten 60 s verläuft teilweise die rote Kurve (modifi-

zierter Reifen) ein wenig höher, in einigen Abschnitten dagegen die blaue, aber es handelt sich nur um Differenzen im Bereich von 1 bis 2 %.

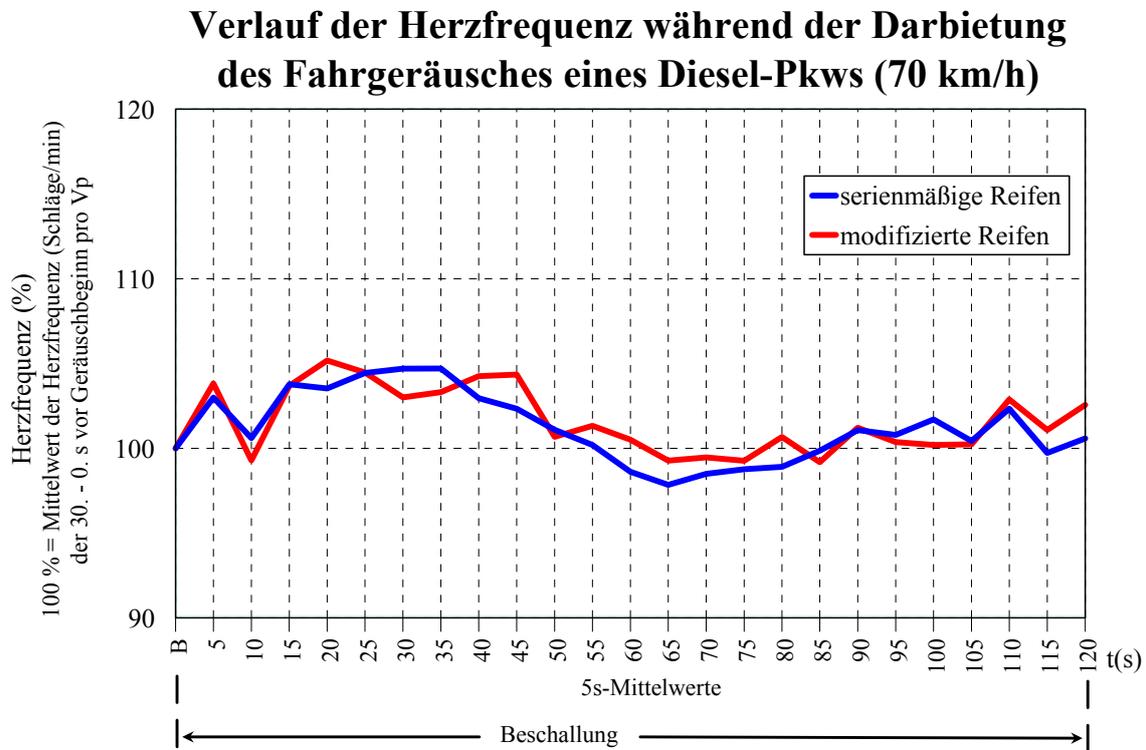


Abb. 35: Prozentuale Veränderung der Herzfrequenz während der 2-minütigen Beschallung mit dem Fahrgeräusch eines Diesel-Pkws, 70 km/h Fahrgeschwindigkeit, serienmäßige vs. modifizierte Reifen

Tab. 7: Kennwerte der prozentualen Veränderung der Herzfrequenz bei Darbietung des Vorbeifahrt-Geräusches mit serienmäßigen Reifen im Vergleich zu modifizierten Reifen für definierte Zeitabschnitte (Fahrbedingung 70 km/h, Ausgangswert = 100 %, Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanzniveau im t-Test)

Parameter Zeitraum	Herzfrequenz (%) bei serienmäßigem Reifengeräusch		Herzfrequenz (%) bei modifiziertem Reifengeräusch		Signifi- kanz p
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
1. – 30. Sekunde	103,35	7,4	103,20	7,4	0,947
31. – 120. Sekunde	100,58	7,1	101,17	6,1	0,772
1. – 120. Sekunde	101,27	6,8	101,67	6,2	0,840

Im weiteren Expositionsverlauf bleiben beide Kurven relativ nahe an der Baseline, und es zeigen sich keine nennenswerten Unterschiede. Wie die statistischen Ergebnisse in Tab. 7 zeigen, erweisen sich die Mittelwerte über größere Zeiträume hinweg als fast identisch.

5.2.3 Elektrische Muskelaktivität (EMG) in der Versuchsbedingung 70s versus 70m

In der elektrischen Muskelaktivität zeigt sich für das serienmäßige Fahrgeräusch (blaue Kurve) ein starker Anstieg auf über 110 % in den ersten 6 s nach Expositionsbeginn, gefolgt von einem genauso schnell Abfall zurück zur Baseline bis zur 10. s. (Abb. 36)

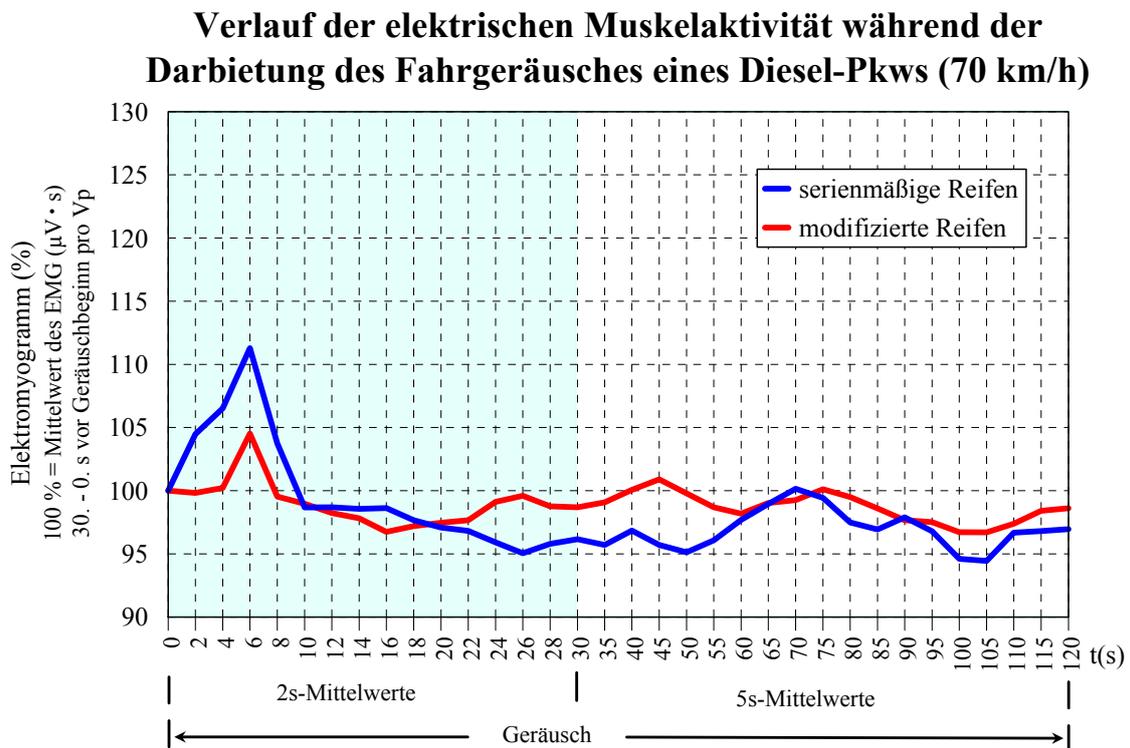


Abb. 36: Prozentuale Veränderung der elektrischen Muskelaktivität während der 2-minütigen Beschallung mit dem Fahrgeräusch eines Diesel-Pkws, 70 km/h Fahrgeschwindigkeit, serienmäßige vs. modifizierte Reifen

Danach verlaufen beide Kurven relativ unauffällig und nahe beieinander. Für das modifizierte Fahrgeräusch (rote Kurve) bleiben die Werte ziemlich nahe an der Baseline mit zeitweiligem Abfall darunter. Die Kurve für das serienmäßige Geräusch bleibt sogar fast die gesamte Zeit deutlich unterhalb der Baseline. Bis auf die Startreaktion ist hier also gar kein Einfluss der Geräuscharbeitung zu erkennen. Entsprechend wenig aussagekräftig sind die in Tab. 8 wiedergegebenen statistischen Daten.

Tab. 8: Kennwerte der prozentualen Veränderung der elektrischen Muskelaktivität bei Darbietung des Vorbeifahrt-Geräusches mit serienmäßigen Reifen im Vergleich zu modifizierten für definierte Zeitabschnitte (Fahrbedingung 70 km/h, Ausgangswert = 100 %, Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanzniveau im t-Test für verbundene Stichproben)

Parameter Zeitraum	EMG (%) bei serienmäßigem Reifengeräusch		EMG (%) bei modifiziertem Reifengeräusch		Signifikanz p
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
1. – 30. Sekunde	101,82	9,1	99,04	5,5	0,237
31. – 120. Sekunde	96,90	8,0	98,70	3,8	0,355
1. – 120. Sekunde	98,17	6,7	98,8	4,0	0,720

5.2.4 Hautleitfähigkeit (SCL) in der Versuchsbedingung 70s versus 70m

Die Hautleitfähigkeit als Parameter, der vor allem bei Anspannung psychischer und emotionaler Art reagiert, zeigt hier einen eher geringen, aber doch konsistenten Unterschied zwischen dem modifizierten und dem serienmäßigen Fahrgeräusch bei 70 km/h Vorbeifahrtsgeschwindigkeit (Abb. 37).

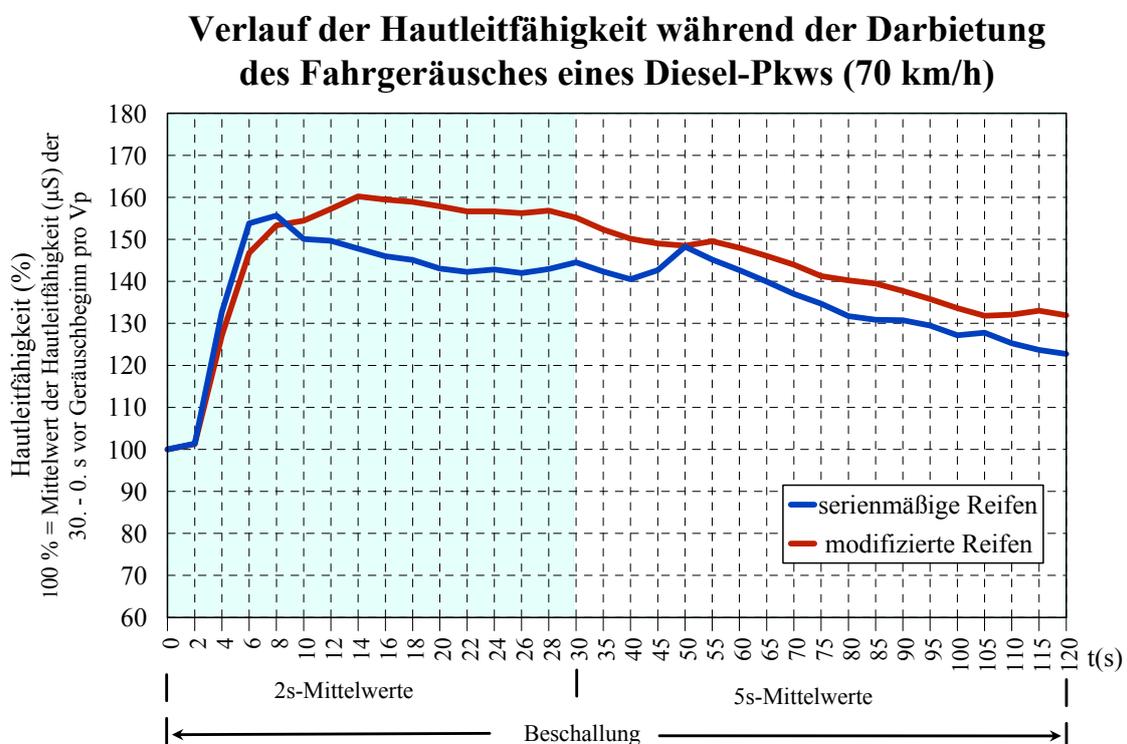


Abb. 37: Prozentuale Veränderung der Hautleitfähigkeit (SCL) während der 2-minütigen Beschallung mit dem Fahrgeräusch eines Diesel-Pkws, 70 km/h Fahrgeschwindigkeit, serienmäßige vs. modifizierte Reifen

Zuerst steigen die beiden Kurven bis zur achten Sekunde auf fast 160 % an. Danach teilen sich die Kurven auf: Die rote Kurve für das modifizierte Geräusch verbleibt relativ lange auf einem Niveau über 150 % und sinkt erst nach einer Minute unter diese Marke; bei Expositionsende liegt sie immer noch über 130 %. Die blaue Kurve für das serienmäßige Geräusch verläuft etwas unregelmäßiger: zunächst ein Abfall bis zur 40. Sekunde auf 140 %, dann noch mal ein Peak auf 150 % und anschließend ein Verlauf parallel zur roten Kurve bis etwa 120 % bei Expositionsende. Auf Grund der hohen Varianz, wie sie in Tab. 9 abzulesen ist, sind die Mittelwertunterschiede trotz ihrer optischen Konstanz in der Graphik statistisch nicht signifikant.

Tab. 9: Kennwerte der prozentualen Veränderung der Hautleitfähigkeit bei Darbietung des Vorbeifahrt-Geräusches mit serienmäßigen Reifen im Vergleich zu modifizierten Reifen für definierte Zeitabschnitte (Fahrbedingung 70 km/h, Ausgangswert = 100 %, Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanzniveau im Wilcoxon-matched pairs signed ranks Test)

Parameter Zeitraum	SCL (%) bei serienmäßigem Reifengeräusch		SCL (%) bei modifiziertem Reifengeräusch		Signifikanz p
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
<i>1. – 30. Sekunde</i>	142,56	52,8	151,00	80,9	0,426
<i>31. – 120. Sekunde</i>	134,63	57,6	141,31	89,0	0,426
<i>1. – 120. Sekunde</i>	136,66	55,9	143,46	86,6	0,408

5.2.5 Vergleichende Geräuschbewertung in der Versuchsbedingung 70s versus 70m

Das hier dargestellte Kreisdiagramm (Abb. 38) gibt die Ergebnisse aus den Paarvergleichen (vgl. A 9) zwischen den serienmäßigen und den modifizierten Reifengeräuschen wieder. Man kann deutlich erkennen, dass die serienmäßigen Reifen im Vergleich zu den modifizierten durchweg negativer bewertet wurden. Das Geräusch der serienmäßigen Reifen wurde insgesamt lauter (75,0 %), gefährlicher (71,0 %), unangenehmer (53 %) und belästigender (46 %) bewertet. Im Gegensatz dazu empfanden die Probanden das modifizierte Reifengeräusch nur zu 8 % als lauter, 21 % gefährlicher, 30 % unangenehmer und zu 33 % belästigender. Für die Kategorien „laut“, „gefährlich“ und „unangenehm“ unterscheiden sich diese Häufigkeitsverteilungen statistisch signifikant von einer Gleichverteilung (K-S-Anpassungstest, $p < .05$). Bezüglich Aktivierung wurden beide Geräusche jedoch sehr ähnlich eingeschätzt - jedes wurde von rd. 37 % der Personen als subjektiv eher aktivierend bewertet.

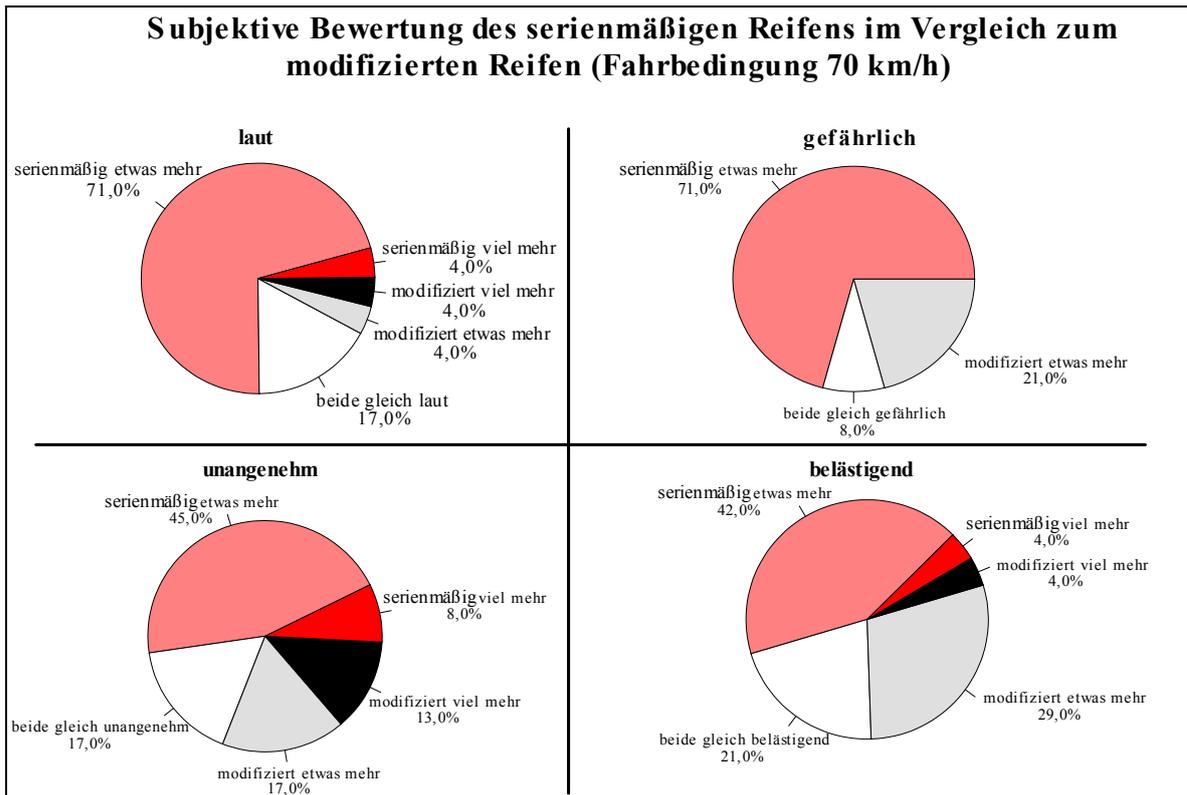


Abb. 38: Häufigkeitsverteilung der Antworten beim direkten Vergleich der Vorbeifahrtgeräusche mit serienmäßigen vs. modifiziertem Reifen in der Fahrbedingung 70 km/h

5.2.6 Generelle Geräuschbeurteilung in der Versuchsbedingung 70s versus 70m

Wie Tab. 10 zu entnehmen ist, werden beide Vorbeifahrtgeräusche von den Probanden eher nicht gemocht mit Werten zwischen 6 und 7 auf der Skala von 1 bis 9, aber das serienmäßige Geräusch wird signifikant schlechter bewertet ($p = .011$).

Tab. 10: Generelle Beurteilung der Vorbeifahrtgeräusche eines Diesel-Pkw mit serienmäßigen Reifen im Vergleich zu modifizierten Reifen (Bedingung 70 km/h, 3. Gang mit konstanter Geschwindigkeit) - Mittelwerte, Standardabweichungen und Signifikanzniveau p (t-Test für verbundene Stichproben)

Vorbeifahrtgeräusch 70 km/h:	Reifen				p
	serienmäßige		modifizierte		
generelle Beurteilungen	\bar{x}	s	\bar{x}	s	
<i>Ich mag dieses Geräusch in höchstem Maße (1) überhaupt nicht (9)</i>	7,00	1,38	6,13	1,65	.011
<i>Ich fühle mich angenehm (- 4) unangenehm (+ 4)</i>	0,54	1,67	0,71	1,36	.069
<i>Ich fühle mich deaktiviert (- 4) aktiviert (+ 4)</i>	0,25	1,42	0,33	1,66	.082

Bei den beiden weiteren Fragen liegen die Mittelwerte beider Geräusche enger beieinander, so dass sich keine statistische Signifikanz ergibt. Im Schnitt wird das modifizierte Geräusch als geringfügig unangenehmer und aktivierender bewertet.

5.3 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse

5.3.1 Vergleich der generellen Beurteilungen

Die generellen Beurteilungen der Geräusche auf einer 9-stufigen Linearskala sind diejenigen Maße, die am ehesten einen Vergleich aller eingesetzten Geräusche erlauben, weil sie bei gegebener Kontrolle von Reihenfolgeeffekten im Prinzip unabhängig sind von Ausgangswerten und dergleichen. Deshalb sollen die Bewertungen aller vier Geräusche, wie sie in diesen drei Fragen vorgenommen wurden, noch einmal vergleichend betrachtet werden.

Abb. 39 stellt die Mittelwerte für die vier Vorbeifahrgeräusche bei dem Statement „Ich mag dieses Geräusch in höchstem Maße“ bis „überhaupt nicht“ dar. Es zeigt sich, dass alle Geräusche relativ nahe beieinander liegen mit Mittelwerten zwischen 6,1 und 7,0 - also nicht sehr weit über dem Skalenmittelpunkt von 5. Sie werden alle nicht gemocht, aber diese Ablehnung ist nicht extrem stark ausgeprägt.

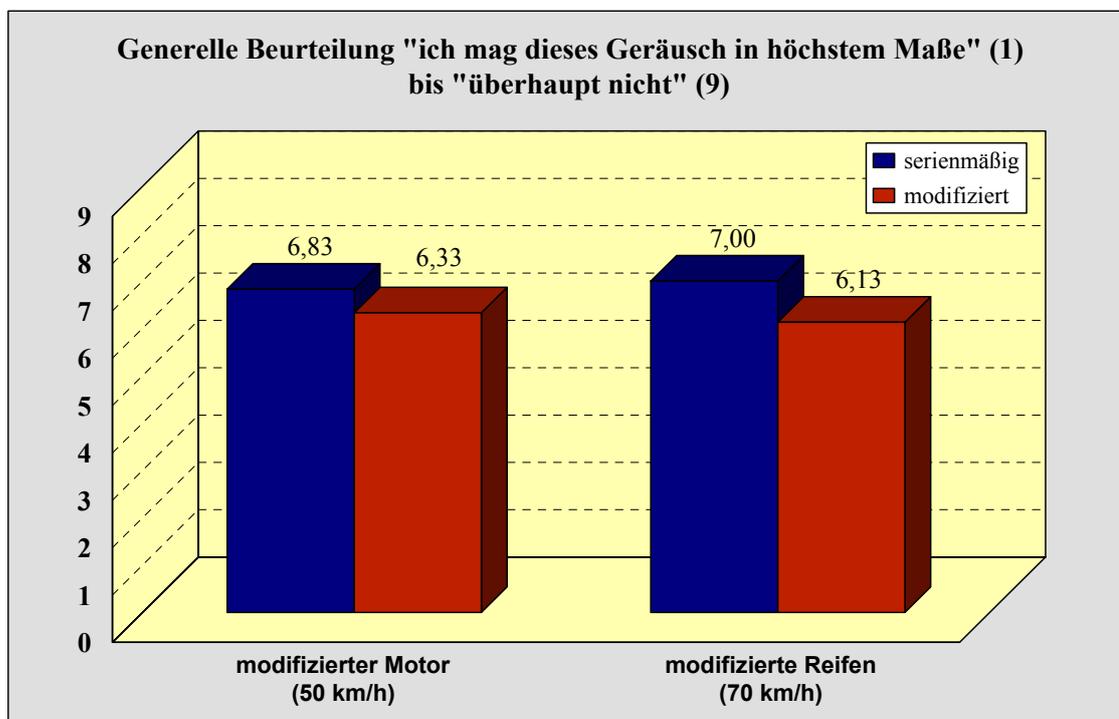


Abb. 39: Vergleich der generellen Geräuschbeurteilung „Ich mag dieses Geräusch...“ in allen vier Versuchsbedingungen

Zwischen den beiden Fahrsituationen - 50 bzw. 70 km/h - zeigt sich kein Trend, wohl aber zwischen den technischen Varianten: In beiden Fällen wird das serienmäßige Fahrgeräusch deutlich weniger gemocht, und in der Fahrbedingung 70 km/h ist dieser Unterschied stärker ausgeprägt. In der Rangvarianzanalyse nach Friedman für verbundene Stichproben erweisen sich die verglichenen Mittelwertunterschiede als signifikant ($p = .026$).

In den Abbildungen 40 und 41 sind die Mittelwerte in allen vier Fahrbedingungen für die weiteren generellen Beurteilungen wiedergegeben, d. h. für die Statements zu der Frage, wie sich der Proband beim Hören des Geräusches fühlt auf den Skalen „sehr angenehm“ bis „sehr unangenehm“ und „sehr still/deaktiviert“ bis „sehr aufgeregt/aktiviert“.

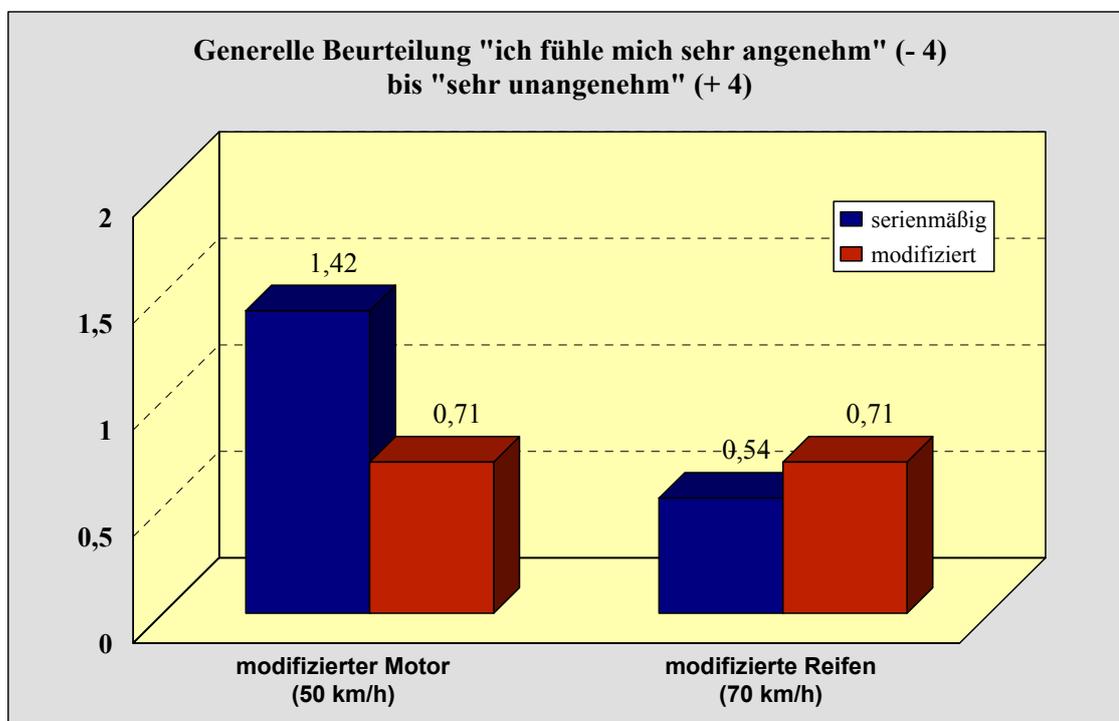


Abb. 40: Vergleich der generellen Geräuschbeurteilung „Beim Hören dieses Geräusches fühle ich mich sehr angenehm“ bis „...sehr unangenehm“ in allen vier Versuchsbedingungen

Wie Abb. 40 zeigt, liegen alle Mittelwerte über dem Skalenmittelpunkt von Null, also im eher unangenehmen Bereich. Die deutlich stärkste Ausprägung in dieser Richtung ist für das serienmäßige Motorgeräusch bei 50 km/h zu beobachten; in der Fahrbedingung 70 km/h dagegen schneidet das Geräusch mit den serienmäßigen Reifen etwas besser ab als das mit den modifizierten. Statistisch erweisen sich die Unterschiede zwischen diesen vier Mittelwerten jedoch nicht als signifikant.

Abb. 41 gibt die vier Mittelwerte zur generellen Beurteilung der Aktivierung durch die vier Geräusche wieder. Es zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei der Beurteilung der Angenehmheit, nur mit geringeren Zahlenwerten: Das Motorgeräusch des serienmäßigen Modells wird in der Fahrbedingung 50 km/h deutlich am aktivierendsten von allen Geräuschen empfunden und in der Fahrbedingung 70 km/h mit serienmäßigen Reifen mit knappem Vorsprung am wenigsten aktivierend.

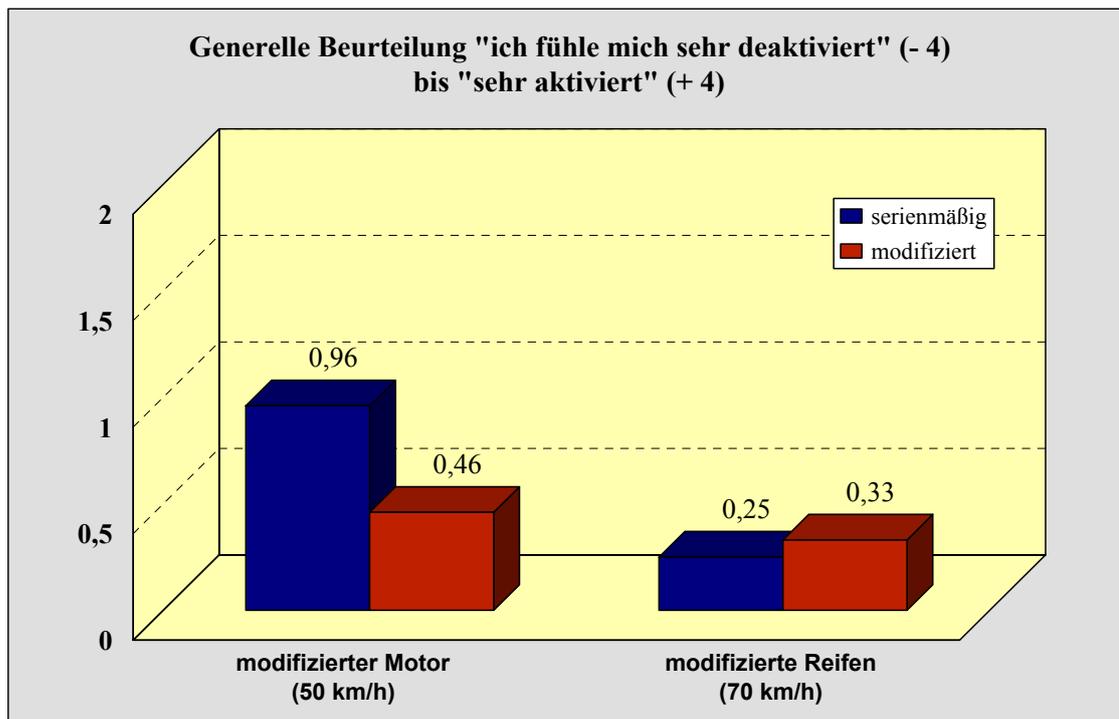


Abb. 41: Vergleich der generellen Geräuschbeurteilung „Beim Hören dieses Geräusches fühle ich mich sehr still/deaktiviert“ bis „...sehr aufgeregt/aktiviert“ in allen vier Versuchsbedingungen

Für die Fahrbedingung 50 km/h ergibt sich damit in allen drei Aspekten der generellen Beurteilung das einheitliche Bild, dass das serienmäßige Modell schlechter bewertet wird als das Modell mit einer Modifizierung des Motorgeräusches. Bei der Bedingung 70 km/h ist das Ergebnis in der ersten Frage nach dem „Mögen“ des Geräusches ebenso deutlich, aber nicht in den beiden folgenden Fragen. Es wäre zu diskutieren, ob hier Zusammenhänge mit der Andersartigkeit der Modifikation vorliegen könnten - in dieser Bedingung wurde das Geräusch ja durch Modifikationen des Reifengeräusches.

5.4 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse

Abschließend werden hier in Tab. 11 noch einmal zusammenfassend die Ergebnisse der physiologischen Parameter, der Paarvergleiche und der allgemeinen Geräuschbeurteilung der 50

km/h und 70 km/h Fahrbedingungen in einer Übersicht präsentiert. Es wird dabei versucht, die sehr unterschiedlichen Wirkungsmaße der physiologischen Messungen und subjektiven Befragungen dadurch vergleichbar zu machen, dass ihre Ergebnisse auf möglichst einfache Darstellungen der beobachteten Reaktionstendenz reduziert werden, d. h. auf mehr oder weniger starken Anstieg oder Abfall der physiologischen Werte (z. B. ↑ oder ↓) oder Stärke der Urteile im Fragebogen (von Null = kein Unterschied bis +++ = deutlich stärkere Ausprägung des betreffenden Merkmals).

Tab. 11: Allgemeiner Vergleich der beiden Geräuschpaare hinsichtlich Stärke der physiologischen Reaktionen und der subjektiven Beurteilungen per Fragebogen

	Serienmäßiges Motorgeräusch (50s)	Modifiziertes Motorgeräusch (50m)	Serienmäßiges Reifengeräusch (70s)	Modifiziertes Reifengeräusch (70m)
physiologische Maße				
Fingerpuls	↓	↓↓	↓↘	↓
Herzfrequenz	↗	↗	↗	↗
EMG	↗	→	→	→
Hautleitfähigkeit	↑	↑↑	↑	↑↗
paarweise Vergleiche				
laut	+++		+++	
gefährlich	++		+++	
unangenehm	++		++	
belästigend	+		(+)	
generelle Beurteilungen				
nicht mögen	+		++	
unangenehm	+		0	
aktivierend	(+)		0	

Grundsätzlich zeigt sich in dieser Gegenüberstellung für beide Fahrbedingungen ein sehr ähnliches Bild: In den physiologischen Maßen ist eine stärkere Reaktion bei den modifizierten

Geräuschen festzustellen, wobei sich die Fingerpulsamplitude und auch noch die Hautleitfähigkeit als diejenigen Variablen erweisen, die klare Unterschiede zu zeigen vermögen. In der subjektiven Bewertung gibt es zumindest bei den paarweisen Vergleichen genauso eindeutige Ergebnisse dahingehend, dass die serienmäßigen Fahrgeräusche in beiden Bedingungen negativer bewertet werden. Bei den generellen Beurteilungen auf einer 9-stufigen Skala ist das Bild nicht ganz so klar: In der Fahrbedingung 50 km/h wird das serienmäßige Motorgeräusch weniger gemocht und als unangenehmer und auch etwas aktivierender bewertet. Diese Ergebnisse decken sich also mit den Urteilen im paarweisen Vergleich. Für die Fahrbedingung 70 km/h ist die negativere Beurteilung des serienmäßigen Reifengeräusches hinsichtlich des „nicht Mögens“ noch deutlicher, während die Werte in den beiden anderen Skalen für beide Geräusche nahezu identisch sind. Diese allgemeinen Tendenzen in den beiden Versuchsbedingungen und auch die unterschiedlichen Ergebnisse in den verschiedenen Reaktionsmaßen sind im folgenden Kapitel eingehender zu diskutieren.

6 Diskussion

Vor dem Hintergrund, dass die Belastung durch Straßenverkehrslärm von außerordentlich hoher sozialpolitischer Bedeutung auch auf europäischer Ebene ist, werden von der Kommission der Europäischen Union regelmäßig Forschungsprojekte zur interdisziplinären Erforschung der mit dem Straßenverkehr zusammenhängenden Probleme vergeben. Die nahezu unbegrenzten Möglichkeiten der Mobilität stellen eine der Grundvoraussetzungen unserer Gesellschaft und unserer Wirtschaft dar. Die Automobilindustrie ist ein mächtiger Wirtschaftsfaktor, der auch für das deutsche Exportgeschäft von eminenter Bedeutung ist. Aber auch im individuellen Bereich ist Mobilität ein außerordentlich wichtiger Faktor und Teil der persönlichen Freiheit. Nicht alleine die Möglichkeiten, sich als Individuum im öffentlichen Raum frei bewegen zu können, sondern allein schon das Besitzen eines Automobils stellt eine eigene Erlebnisdimension dar. Für sehr viele Menschen und hier vor allem für Männer scheint der Wunsch, ein schickes, exklusives Auto mit unendlich vielen Pferdestärken und teuren Extras sein eigen nennen zu können, von großer Bedeutung zu sein.

Zu im Prinzip unlösbaren Konflikten führt die Brandmarkung des Automobils als Umweltverschmutzer, Landschaftszerstörer, Lärmerzeuger oder gar Todbringer. Gerade in der aktuellen Diskussion um Feinstaub und CO₂-Ausstoß zeigt sich, wie ambivalent die Situation des Bürgers ist. Einerseits wünscht er sich die Reduzierung abträglicher Wirkungen des Straßenverkehrslärms, andererseits ist er in vielen Situationen auf das Auto angewiesen und fühlt sich in seiner persönlichen Freiheit beeinträchtigt, wenn er sein Automobil nicht so nutzen soll, wie er es gerne möchte. Auf Grund dieser ambivalenten Konstellation in seiner Rolle als Lärmopfer und Lärmerzeuger ist der normale Bürger häufig mit sich und seiner Umwelt im Konflikt.

Unter Umweltaspekten werden für den Lärmsektor unvermindert Anstrengungen unternommen, die Lärmsituation für die Bevölkerung zu verbessern. Dabei gibt es neue Ansätze, in denen nicht nur eine Reduktion des Schallpegels angestrebt wird, sondern gleichzeitig soll sowohl in der Gesamtheit des Straßenverkehrslärms als auch für das einzelne Fahrzeug nach Möglichkeiten gesucht werden, die Geräuschsituation zu optimieren. Hier ist einerseits an die Optimierung von Faktoren gedacht, die das Klangbild des Straßenverkehrs als Gesamtheit bestimmen. Andererseits wird untersucht, welche Komponenten am Fahrzeug beeinflusst werden können, um die einzelnen Pkw-Geräusche angenehmer zu gestalten.

In dem europäischen Verbundprojekt SVEN (Sound Quality of Vehicle Exterior Noise), an dem sieben Projektpartner aus den Bereichen Akustik, Psychologie, Medizin, Technik und Automobilkonstruktion aus fünf Ländern beteiligt waren, wurden diese beiden Ebenen erstmals übergreifend und systematisch untersucht. Aufgabe des Instituts für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin (IASM) der Heinrich-Heine Universität Düsseldorf als einem der Projektpartner war es, sich mit der Wirkungsseite zu befassen und zu prüfen, in welcher Beziehung das mit psychoakustischen und psychophysiologischen Methoden erfasste Phänomen der erlebten Geräuschqualität zu den verschiedenen Geräuschsituationen steht.

In der ersten Versuchsreihe wurden typische Straßenverkehrsgeräusche appliziert. Hier befand sich also die VP in der Lärmopferrolle. Obwohl es zwischen den Geräuschen Unterschiede gab, war die subjektive Einschätzung sämtlicher Straßenverkehrsgeräusche dergestalt, dass es sich um unangenehme, negativ bewertete Geräusche handelte. Es fand sich eine konsistente Übereinstimmung der Richtung der subjektiven Bewertung und der physiologischen Reaktionen. Die Geräusche, die am negativsten bewertet wurden, lösten die stärksten Reaktionen aus (Zodrow 2005).

In der zweiten Versuchsreihe wurden die Vorbeifahrtgeräusche von drei verschiedenen Pkws, die auch von den technischen bzw. industriellen Projektpartnern im Hinblick auf akustische Optimierungsmöglichkeiten analysiert wurden, in verschiedenen Fahrsituationen aufgenommen und untersucht. In den Fahrbedingungen „50 km/h mit Beschleunigung im 2. Gang“ und „70 km/h konstante Geschwindigkeit im 3. Gang“ waren die subjektiven Einschätzungen und die physiologischen Reaktionen parallel. Die Fahrsituation resp. das jeweilige Fahrzeug, das am negativsten eingeschätzt wurde, zeigte auf der vegetativen Ebene eine stärkere sympathische Aktivierung. Lediglich in der Situation „Bremsen-Leerlauf-Anfahren“ war bei der Limousine (größerer Hubraum, satteres Geräusch beim Anfahren) die Kongruenz der psychophysiologischen Reaktionen nicht mehr gegeben. Die Limousine rief zwar die stärkeren vegetativen Reaktionen hervor, wurde aber besser bewertet (Talimi 2006). Aus Bemerkungen der Teilnehmer wurde deutlich, dass in dieser Fahrbedingung besonders das Anfahrgeräusch der Limousine als beeindruckend empfunden und u. a. mit einem Sportwagen identifiziert wurde.

Zielsetzung der dritten Versuchsreihe, die die Basis dieser Arbeit ist, war die abschließende Überprüfung der in der ersten und zweiten Versuchsreihe erhaltenen Ergebnisse. Hier wurden Pkw-Vorbeifahrtgeräusche verwendet, die von unseren Projektpartnern als technisch bzw.

psychoakustisch optimiert angesehen wurden und die auch schon in die serienmäßige Produktion Eingang gefunden hatten. Mit technischen Methoden wurde die Geräuschqualität nachträglich wieder verschlechtert und es sollte geprüft werden, welche Auswirkungen diese als psychoakustisch nicht optimal zu bezeichnenden Geräusche auf die psychologische Bewertung und physiologische Reaktion haben.

Während der Aufzeichnung der physiologischen Parameter reagierten die einzelnen Versuchspersonen jeweils unterschiedlich auf die modifizierten und serienmäßigen Vorbeifahrtgeräusche. Die stärksten Unterschiede zeigten sich bei der Fahrbedingung mit dem modifizierten Motorgeräusch (50 km/h, Beschleunigung im 2. Gang). Bei dem technisch modifizierten Motorgeräusch reagierten die Probanden physiologisch stärker als beim serienmäßigen. Bei der Evaluation der subjektiven Beurteilung, sowohl beim Paarvergleich als auch bei der generellen Beurteilung, schnitt das modifizierte Motorgeräusch jedoch besser ab. Bei der Fahrbedingung mit Modifizierung der Reifengeräusche (70 km/h, konstante Fahrt im 3. Gang) zeigte sich subjektiv eine klare Favorisierung des technisch modifizierten Geräusches im Vergleich zum serienmäßigen. Die physiologischen Parameter hingegen zeigten keine deutlichen Unterschiede.

Dies bedeutet, dass diese modifizierten Pkw-Geräusche, obwohl sie psychoakustisch als schlechter klassifiziert werden, von den Probanden nicht grundsätzlich abgelehnt werden. Außerdem wird hier deutlich, dass stärkere physiologische Reaktionen nicht zwingend mit einem stärkeren negativen subjektiven Empfinden einhergehen müssen. Eine Erregung auf der physiologischen Ebene ist Ausdruck der sympathischen Aktivierung, welche sowohl von negativen als auch von positiven Empfindungen begleitet sein kann. Hier zeigt sich das Dilemma der Lärmwirkungsforschung und auch der Lärmbekämpfung. Verkehrsgeräusche können bei demjenigen der exponiert ist, durchaus unterschiedlich bewertet werden, je nachdem ob die exponierte Person Lärmopfer oder Lärmerzeuger ist. Hier braucht man z. B. nur an Motorradfahrer zu denken, die mit Vergnügen in Wohngebieten ihre Maschinen aufheulen lassen und dabei sicherlich auch den eigenen Adrenalin Spiegel hochjagen, während die Lärmopfer hierfür nur Verärgerung oder Kopfschütteln übrig haben – auch dies begleitet von entsprechenden sympathikotonen Reaktionen.

Dieser Sachverhalt gilt natürlich nicht nur für den akustischen Bereich, sondern auch für alle anderen kognitiven Fähigkeiten. So bedeutet z. B. ein Sprung aus dem Flugzeug mit einem

Fallschirm für die einen ein Glücksgefühl ohne Gleichen, während die anderen panisch und ängstlich reagieren. In beiden Situationen würde man aufgrund der Katecholamin-Ausschüttung des Körpers eine starke Veränderung der physiologischen Parameter (Blutdruckanstieg, Veränderung der elektrodermalen Aktivität, Steigerung der Herzfrequenz, etc.) erwarten, doch das subjektive Empfinden ist absolut gegensätzlich.

Es lässt sich aus den vorliegenden Ergebnissen ableiten, dass die erlebten Geräuschqualitäten ein multifaktorielles Ereignis darstellen. Die akustische Einflussgröße in ihrer physikalischen Form spielt zwar eine wichtige Rolle, doch sind die kognitiven Parameter des Individuums von entscheidender Bedeutung, ein Geräusch als positiv oder negativ zu empfinden (vgl. Kapitel 2.4 Psychoakustik). Die physiologischen Daten dagegen zeigen „richtungsneutral“, dass eine messbare Aktivierung des Organismus durch ein Ereignis stattgefunden hat und ermöglichen Vergleiche zwischen Ereignissen hinsichtlich der Intensität dieser Aktivierung.

Die Versuchspersonen in der vorliegenden Studie hatten keinerlei Informationen bezüglich der Geräusche. Ihre Aufgabe beschränkte sich darauf, die Geräusche (z. T. paarweise vergleichend) subjektiv zu bewerten. Dazu wurden bestimmte Begriffe vorgegeben, die den Rahmen der Bewertung festlegten. Nimmt man z. B. die Begriffe „belästigend“ oder „gefährlich“, so wird diesen Adjektiven allerdings nicht von jedem Probanden die gleiche Gewichtung beigegeben bzw. diese werden nicht mit identischer Sinnggebung eingesetzt, um das Hörerlebnis zu beschreiben. Das subjektive Hörerlebnis hängt von vielen individuellen Faktoren ab. Dazu zählen unter anderem der aktuelle Gemütszustand der Person, Alter, Geschlecht, Hörvermögen, Temperatur, Umgebung, Tageszeit, Wachzustand, Lichtverhältnisse, soziale Herkunft, positive oder negative Erfahrungen, die mit dem Geräusch verbunden werden, oder auch der individuelle linguistische Gebrauch der jeweiligen Deskriptoren usw. Die Liste ließe sich endlos fortsetzen und soll lediglich aufzeigen, wie komplex und schwierig sich die Interaktion zwischen dargebotenem Geräusch und persönlicher Wertung verhält.

Um individuelle Aspekte der Wahrnehmung und Bewertung von Geräuschen noch differenzierter zu erfassen und die Möglichkeit, mit den verwendeten Deskriptoren den subjektiven Teil des Experiments noch besser evaluieren zu können, wäre der Einsatz eines Interviews eine hilfreiche Ergänzung und könnte ggf. zusätzliche Informationen liefern.

So stellte sich in Gesprächen nach dem Experiment heraus, dass fast alle Probanden bei den modifizierten Geräuschen bestimmte Assoziationen hatten. Beim modifizierten Reifengeräusch (konstante Geschwindigkeit von 70 km/h im dritten Gang) war die einhellige Meinung, dass es sich um einen Lkw bzw. generell um ein großes und schweres Fahrzeug handeln würde. Beim technisch veränderten Motorgeräusch (50 km/h, Beschleunigung im 2. Gang) glaubten sie, einen Sportwagen oder sogar ein Motorrad auf der Autobahn gehört zu haben. Einige meinten sogar, bestimmte Automarken erkannt zu haben (z. B. Porsche). Da es sich um männliche Probanden handelte und in unserer Gesellschaft Sportwagen als Symbol von Prestige, Wohlstand und Luxus angesehen werden, ist nicht auszuschließen, dass dies bei der subjektiven Bewertung der Geräusche einen großen Einfluss haben kann. Strukturierte Interviews könnten hier die Beziehung zwischen eventuell prestigebehafteten Geräuschen, den physiologischen Messparametern und der persönlichen Beurteilung klären.

Als Resümee ist festzuhalten, dass sich in der Bedingung mit modifiziertem Motorgeräusch (50 km/h) das eben erwähnte Ergebnis aus der zweiten Studie bestätigte: Bestimmte Aspekte von Motorgeräuschen, die von unseren studentischen Probanden eher mit sportlichen Wagen oder sportlichem Fahrstil verbunden wurden, können zu stärkeren physiologischen Reaktionen im Vergleich mit anderen Geräuschen und gleichzeitig zu positiveren Geräuschbewertungen führen. In der zweiten Fahrbedingung (70 km/h mit modifiziertem Reifengeräusch) war diese Situation offensichtlich nicht gegeben - zumindest waren überhaupt nur geringe Unterschiede in den physiologischen Maßen zu beobachten. Allerdings ist auch zu betonen, dass diese Geräusche tatsächlich relativ ähnlich waren. In der ganzen Versuchsreihe war dieses dritte Experiment, in dem ein echtes Vorbeifahrgeräusch mit einer technischen Modifikation desselben Geräusches verglichen wurde, sicherlich das Schwierigste, weil die Versuchsreize in den vorangehenden Experimenten doch von vornherein deutlich voneinander abwichen. Gerade angesichts der natürlichen inter- und intrapersonellen Schwankungsbreite physiologischer Parameter ist es schon beinahe erstaunlich, dass sich in diesem Experiment und besonders in der Fahrbedingung 50 km/h doch deutliche Trends abzeichneten.

Ein weiteres Problem von Laborstudien wie der hier vorgestellten ist noch zu erwähnen, nämlich die Tatsache, dass die Geräusche völlig entkoppelt von den normalerweise zusätzlich vorhandenen Einflüssen sowohl akustischer (z. B. Baustellenlärm, Verkehrslärm) als auch nicht-akustischer Natur (z. B. Tageszeit, Witterung, Gerüche, reale Umweltsituation) präsentiert wurden. Die Versuchsperson widmete ihre ganze Aufmerksamkeit einzig und allein dem

akustischen Eindruck und hatte somit keine Möglichkeit, diesen in einen persönlichen Zusammenhang mit anderen Einflussgrößen zu setzen, weswegen möglicherweise die Differenzen bei den physiologischen Messungen zwischen den Geräuschpaaren teilweise nicht allzu deutlich ausfielen. Bei der subjektiven Bewertung mittels der standardisierten Fragebögen zeigte sich jedoch deutlich, dass die Versuchspersonen durchaus in der Lage waren, losgelöst von den fehlenden Umweltfaktoren die Geräusche einzeln und paarweise zu bewerten.

In Zukunft sind weitere Versuche notwendig, um den Zusammenhang zwischen physiologischer Erregung und kognitiver Wahrnehmung von Geräuschen näher zu analysieren. Neben der Ausarbeitung strukturierter Interviews zur Geräuschempfindung sollten auch andere Faktoren untersucht bzw. variiert werden. Bei der vorliegenden Studie wurden ausschließlich junge Männer zwischen 20 und 30 Jahren untersucht. So wäre es interessant herauszufinden, wie das Resultat der Studie mit anderen Bevölkerungsgruppen wie z. B. weiblichen oder älteren Probanden ausfiele. Diese Ergebnisse könnte man dann miteinander vergleichen, um Erkenntnisse über weitere Einflussgrößen zu erhalten.

7 Zusammenfassung

Aufgrund zunehmender Industrialisierung und damit verbundenem erhöhten Verkehrsaufkommen kommt der Gestaltung der akustischen Landschaft (Soundscape-Forschung) eine immer größere Bedeutung zu. Während die Verbesserung des akustischen Umfeldes im Pkw-Innenraum zur Erhöhung von Komfort, Sicherheit und Fahrleistung des Fahrers mittlerweile in den meisten größeren Pkw zum Standard geworden ist, steckt die Beurteilung der Geräuschqualität von Straßenverkehrslärm und von Außengeräuschen einzelner Kfz noch in den Kinderschuhen.

Als Teilprojekt eines europäischen Verbundprojekts mit sieben Projektpartnern wurde im Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der Heinrich-Heine Universität Düsseldorf versucht, das Phänomen der subjektiv erlebten Geräuschqualität von Verkehrslärm und einzelnen Pkw in verschiedenen Fahrsituationen mit psychoakustischen und psychophysiologischen Methoden zu beschreiben. In der ersten Versuchsreihe (SVEN 1) wurde das Instrumentarium zur Erfassung der psychophysiologischen Wirkung zusammengestellt und an Verkehrsgeräuschen erprobt. In der zweiten Versuchsreihe (SVEN 2) wurden mit dieser Methodik einzelne Pkw-Vorbeifahrtgeräusche auf ihre psychophysiologische Bewertung hin analysiert. In der dritten Versuchsreihe, die Gegenstand dieser Arbeit ist, wurde das Konzept der psychophysiologischen Bewertung überprüft. 24 jungen, männlichen Probanden wurden zwei verschiedene Vorbeifahrtgeräusche eines serienmäßigen Diesel Mittelklasse-Wagens präsentiert, die von den Experten als akustisch optimal klassifiziert worden waren. Mit technischen Methoden wurde die Geräuschqualität erneut verschlechtert: In der Fahrbedingung I (50 km/h, Beschleunigung im 2. Gang) wurde das Motorengeräusch durch Anhebung um 10 dB in der 2. Ordnung modifiziert und in der Fahrbedingung II (70 km/h, konstante Geschwindigkeit) wurden schlechte Reifen durch Mischen des Originalsounds mit einem moduliertem Signal simuliert. Die seriellen und modifizierten Geräusche wurden bei gleicher Lautstärke dargeboten. Während der Geräuscharbeitung wurden Fingerpulsamplitude, Elektromyogramm und elektrodermale Aktivität registriert. Anschließend wurde die subjektive Bewertung der Geräusche erfasst.

Während die physiologischen Reaktionen und subjektiven Bewertungen in SVEN 1 und in SVEN 2 parallele Antwortmuster zeigten, in dem Sinne dass subjektiv aversiv beurteilte Geräusche auch zu stärkeren physiologischen Reaktionen führten, zeigte sich in dieser Versuchsreihe eine gegensätzliche Tendenz: Die eher positiv beurteilten Geräusche wurden physiologisch stärker beantwortet. Auffälligerweise wurden die technisch modifizierten Geräusche besser akzeptiert, obwohl diese nach dem Urteil der Psychoakustiker eine Verschlechterung

der Geräuschqualität implizieren sollten. Die Probanden empfanden die technischen Modifikationen als eine Verstärkung des sportlichen Appeals. Es wurden Assoziationen induziert, die zu einer anderen Ebene der Sound Quality führen, nämlich der ambivalenten Bedeutung von PKW-Geräuschen, die auch Gefühle wie Sportlichkeit („satter Sound“), Kraft oder Dominanz einschließt. Da zur Begrenzung der Varianz an dieser Studie nur junge männliche Probanden teilgenommen hatten, könnte eine Wiederholung der Experimente mit weiblichen Teilnehmern und auch mit Probanden aus verschiedenen Altersstufen mehr Einblicke in die geschlechts- bzw. altersspezifische Bewertung von Kfz-Geräuschen verschaffen.

8 Literatur

Adams T (1966):

Characteristics of eccrine sweat gland activity in the footpad of the cat.
J of Applied Physiol 1966; 21.

Babisch W, Beule, B, Schust M & Stark H (2003):

Traffic noise and myocardial infarction. Results from the NaRoMI-Study. In: de Jong R, Houtgast T, Franssen E, Hofmann W: Proceedings of the 8th International Congress on Noise as a Public Health Problem, pp. 96-101, ISBN 90-807990-1-7. Rotterdam

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-Verlag 1999

Bekesy G. von (1960):

Experiments in hearing, McGraw Hill, NY.

Edelberg R (1972):

Electrical activity of the skin: Its measurement and uses in psychophysiology.
In Greenfield NS & Sternbach RA (Eds.), Handbook of psychophysiology.
New York: Holt, Rinehart & Winson.

Fahrenberg J (1980):

Psychophysiologische Methodik.
In: Groffmann KJ & Michel L (Hrsg.). Psychologische Diagnostik,
Handbuch der Psychologie, 6. Göttingen: Hogrefe.

Féré C (1888) :

Note sur les modifications de la tension électrique dans le corps humain.
Comptes rendus des Séances de la Société de Biologie.

Franzen A (2001):

Kurzlehrbuch Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. München/Jena:
Urban & Fischer, 2. Auflage.

Genuit K (1995):

Einsatzmöglichkeiten der gehörgerechten Schallanalyse im Kraftfahrzeug. Fortschritte der Akustik – DAGA '95. Bad Honnef: DPG-GmbH 1995, 883 – 886

Guski R (1987):

Lärm – Wirkungen unerwünschter Geräusche. Bern: Hans Huber Verlag.

Jansen G, Notbohm G, Schwarze S (1999):

Gesundheitsbegriff und Lärmwirkungen. Materialien zur Umweltforschung herausgegeben vom Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) Nr. 33. Stuttgart: Metzler-Poeschel

Kalivoda MT, Steiner JW (1998):

Taschenbuch der angewandten Psychoakustik. Wien, New York: Springer Verlag.

Lercher P (1998):

Medizinisch-hygienische Grundlagen der Lärmbeurteilung. In: Kalivoda & Steiner 1998

- Luce D R (1993):
Sound & Hearing, A conceptional introduction. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates
- Lutomsky B, Flake F (1997):
Leitfaden Rettungsdienst. Lübeck, Stuttgart, Jena, Ulm : Gustav Fischer Verlag
- Martini FH (1998):
Fundamentals of Anatomy & Physiology. London: Prentice Hall International, Inc., 4th Edition.
- Notbohm G, Gärtner C, Schwarze S (2002):
Evaluation of sound quality of vehicle pass-by noises by psycho-physiological methods. Sociedad Espanola de Acústica (ed.): Official publication – Forum Acusticum Sevilla 2002, 16. – 20.09.2002, Sevilla, Spain. Special issue of the Revista de Acústica, Vol. XXXIII
- Notbohm G, Gärtner C, Schwarze S (2003a):
Psycho-physiological responses to the perception of vehicle pass-by noises. Euronoise 2003-5th European Conference on Noise Control, 19.-21.5.2003, Naples, Italy.
- Notbohm G, Gärtner, C, Schwarze S (2003b):
Psycho-physiologische Bewertung der Geräuschqualität von Straßenverkehrsgeräuschen. Z. Lärmbekämpfung 50, 75-81
- Ortscheid J, Wende H (2002):
Lärmbelästigung in Deutschland Ergebnisse einer repräsentativen Umfrage. Z. Lärmbekämpfung 49, 41-45
- Ortscheid J, Wende H (2006):
Lärmbelästigung in Deutschland – Ergebnisse der Befragung im Jahr 2004. Z. Lärmbekämpfung 53 (2006) 24 – 30
- Pickles, JO (1988):
An Introduction of the physiology of Hearing. London San Diego etc.: Academic Press
- Pschyrembel (1997):
Klinisches Wörterbuch CD-ROM. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 258.Auflage.
- Schäffler A, Schmidt S (1998):
Mensch, Körper, Krankheit. Ulm: Gustav Fischer Verlag, 2. Auflage.
- Schandry R (1998).
Lehrbuch Psychophysiologie, Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens. 3. überarbeitete Auflage, Studienausgabe. Weinheim: Beltz, Psychologie Verlags Union
- Schick A (1990):
Schallbewertung. Grundlagen der Lärmforschung. Berlin/Heidelberg: Springer
- Schick A (1997):
Das Konzept der Belästigung in der Lärmforschung. Lengerich: Pabst

- Schiebler TH, Schmidt W, Zilles K (1997):
Anatomie. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 7. Auflage.
- Schmidt RF, Thews G (1995):
Physiologie des Menschen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 26. Auflage.
- Schwarze S (1996):
Forschungen zur Wirkung von Lärmbelastungen auf das Herz-Kreislauf-System - Übersicht und Ausblick. In: Bundesanstalt für Arbeitsmedizin (Hrsg.), Lärm am Arbeitsplatz und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin, Tagungsbericht 12, S. 6- 20. Berlin: Wirtschaftsverlag NW (1996)
- Schwarze S, Notbohm G, Jansen G (1993):
Die Bedeutung des binauralen Hörens für die Stärke der physiologischen Reaktion auf Geräusche. Zeitung für Lärmbekämpfung 40, 151-160
- Siegmann S, Brinkmann, H, Faust M et al. (1999):
Extraaurale Reaktionen bei Belastung mit hochenergetischen Impulsschallen. Z. Lärmbekämpf. 46, 88 - 102
- Sobotta J, (1997):
Atlas der Anatomie des Menschen CD-ROM. München, Wien, Baltimore: Urban & Schwarzenberg.
- Talimi S. (2006):
Psychophysiologische Bewertung von KFZ-Vorbeifahrtgeräuschen anhand von Fingerpulsamplitude und Hautleitfähigkeit sowie subjektiver Beurteilung
Inauguraldissertation Heinrich-Heine Universität Düsseldorf
- Tarnachoff J (1880):
Über die galvanischen Erscheinungen an der Haut des Menschen bei Reizung der Sinnesorgane und bei verschiedenen Formen der psychischen Tätigkeit.
Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie, 46
- Wende H, Ortscheid J, Hintzsche M (2006):
Lärmwirkungen von Straßenverkehrsgeräuschen - Auswirkungen eines lärmarmen Fahrbahnbelages - Umweltbundesamt 2006 [<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-1/3047.pdf>]
- Zodrow, G. (2005):
Psychophysiologische Bewertung von Verkehrsgeräuschen anhand von Fingerpulsamplitude und Elektromyogramm sowie subjektiver Beurteilung
Inauguraldissertation Heinrich-Heine Universität Düsseldorf
- Zwicker E (1991):
Ein Vorschlag zur Definition und Berechnung der unbeeinflussten Lästigkeit. Z. Lärmbekämpfung. 38, 91-97

Internetquellen:

http://www.psych-methoden.uni-koeln.de/jain/a_fahren.html

http://www.ub.uni-konstanz.de/kops/volltexte/1999/68/pdf/68_1.pdf

<http://www.leuag.ch/spo2.htm>

<http://www2.lifeline.de/yavivo/Verfahren/Lungenheilkunde/15Lungenfunktion/10Vorgehen/15Diffusions.html>

http://www.bdsoft.de/rettungsdienst/index.htm?rettungsdienst/grundlagen/arbeitsstechnik/puls_oximetrie.htm

<http://home2.scarlet.be/meditron/foto.htm>

http://www.m-ww.de/krankheiten/hno/ohr_anatomie.html?PRINTABLE=1&

http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus/

<http://www.silenthardware.de/forum/lofiversion/index.php/t1913.html>

<http://www.tag-gegen-laerm.de>

<http://de.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4rmschutz>

http://www.bayern.de/lfu/laerm/l-ausst/index_uebersicht.htm

<http://www.3sat.de/nano/>

9 Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Darstellung des Verlaufs der Schalldruckamplitude in Abhängigkeit von der Teilchendichte. Aus http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus/	7
Abb. 2: Vergleich Schallpegel zum Schalldruck aus http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus/	8
Abb. 3: Hörbereich mit Beispielen Quelle: IASM	9
Abb. 4: Zeitverlauf des Schalldrucks bei einem Ton, einem Klang und einem Geräusch. Die Periodendauer T der Grundfrequenz ist beim Klang eingezeichnet. Schmidt, Thews (1995). <i>Physiologie des Menschen</i> . Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 26. Auflage	10
Abb. 5: a) Cochlea und Bogengänge, b) Schnitt durch Cochlea, c) Corti-Organ d) Haarzellen im Rasterelektronenmikroskop e) Aufbau einer Haarzelle www.anatom.uni-tuebingen.de/docs/MolHistoWS2006/YYOhrInnenohr.pdf	12
Abb. 6: Schematisierte Darstellung der Hörbahn. Dargestellt sind nur die von einer Seite ausgehenden Bahnen. Um die binauralen Verschaltungen in der oberen Olive anzudeuten, wurden jedoch vom rechten Nucleus cochlearis ventralis ausgehende Bahnen berücksichtigt. Rücklaufende Kollaterale und Interneurone in den Kernen sind nicht eingezeichnet. Schmidt, Thews (1995). <i>Physiologie des Menschen</i> . Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 26. Auflage	13
Abb. 7: Das Gehör als signaltheoretisches Modell. Aus: http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus	15
Abb. 8: Entstehung extraauraler Lärmwirkungen Quelle: IASM	17
Abb. 9: Beispiele extraauraler Lärmwirkungen Quelle: IASM	18
Abb.10: Einflussfaktoren von Lärm	19
Abb.11: Aus Schall wird Lärm aus http://www.bayern.de/lfu/laerm/l-ausst/index_uebersicht.htm	20
Abb.12: Belästigung durch Umweltlärm – Vergleich zwischen alten und neuen Bundesländern für verschiedene Geräuschquellen	21
Abb.13: Anteile Roll- und Antriebsgeräusch auf einer Hauptverkehrsstraße im Stadtkern aus: www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/381/06.pdf	23
Abb.14: Anteile von Roll- und Antriebsgeräusch bei 50 km/h in Abhängigkeit vom gewählten Gang aus http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de	24
Abb.15: Pulsoximeter	26
Abb.16: Motorische Einheit. Modifiziert aus Sobotta CD-ROM: Atlas der Anatomie des Menschen, Urban & Schwarzenberg, 1997	29
Abb.17: Muskeln des linken Unterarms. Modifiziert aus Sobotta CD-ROM (1997). <i>Atlas der Anatomie des Menschen</i> . München, Wien, Baltimore: Urban & Schwarzenberg	31

Abb.18: Aufbau der Haut A: Epidermis, B: Korium, A+B: Cutis, C: Subcutis, 1: ekkri- ne Schweißdrüsen (Knäueldrüsen), 2. Haartasche mit Haar, 3. Talgdrüse, 4. Musculus arrector pili, 5. apokrine Schweißdrüsen (Duftdrüsen) aus © 1997 Walter de Gruyter Pschyrembel 258. Auflage	33
Abb.19: Aufbau der Epidermis. Aus © 1997 Walter de Gruyter Pschyrembel 258. Auf- lage	34
Abb.20: Muskeln der linken Hand und Positionierung der Elektroden zur Messung der Haut-leitfähigkeit. Modifiziert aus Sobotta CD-ROM (1997). <i>Atlas der Ana- tomie des Menschen</i> . München, Wien, Baltimore: Urban & Schwarzenberg	37
Abb.21: Aufbau des Versuches	40
Abb.22: Verkabelung des Probanden, Vitaport und Pulsoximeter	41
Abb.23: Zeitplan des experimentellen Versuchsablaufs	42
Abb.24: Terzbandanalyse des Vorbeifahrtgeräusches des serienmäßigen Dieselmotors und der technisch modifizierten Version (50 km/h, 2. Gang, Beschleunigung)	43
Abb.25: Terzbandanalyse des Vorbeifahrtgeräusches des serienmäßigen Dieselmotors und der technisch modifizierten Version (70 km/h, 3. Gang, Beschleunigung)	44
Abb.26: Reihenfolgen der verschiedenen Variationen in Block A	45
Abb.27: Beispiel einer Datenaufzeichnung der Messparameter mit Vitasoft II Version 3.0	46
Abb.28: Ausschnitt aus der Adjektivliste zur subjektiven Bewertung der Pkw- Geräusche	48
Abb.29: Prozentuale Veränderung der FPA während der 2-min. Beschallung mit dem Fahrgeräusch eines Diesel-Pkws. 50 km/h Fahrgeschwindigkeit, serienmäßi- ger vs. modifizierter Motor	51
Abb.30: Prozentuale Veränderung der Herzfrequenz während der 2-min. Beschallung mit dem Fahrgeräusch eines Diesel-Pkws. 50 km/h Fahrgeschwindigkeit, se- rienmäßiger vs. modifizierter Motor	52
Abb.31: Prozentuale Veränderung der elektrischen Muskelaktivität während der 2- minütigen Beschallung mit dem Fahrgeräusch eines Diesel-Pkws. 50 km/h Fahrgeschwindigkeit, serienmäßiger vs. modifizierter Motor	53
Abb.32: Prozentuale Veränderung der Hautleitfähigkeit (SCL) während der 2- minütigen Beschallung mit dem Fahrgeräusch eines Diesel-Pkws. 50 km/h Fahrgeschwindigkeit, serienmäßiger vs. modifizierter Motor	55
Abb.33: Häufigkeitsverteilung der Antworten beim direkten Vergleich der Vorbei- fahrtgeräusche mit serienmäßigem bzw. modifiziertem Motor in der Fahrbe- dingung 50 km/h	56
Abb.34: Prozentuale Veränderung der FPA während der 2-min. Beschallung mit dem Fahrge-räusch eines Diesel-Pkws. 70 km/h Fahrgeschwindigkeit, serienmäßi- ge vs. modifizierte Reifen	59
Abb.35: Prozentuale Veränderung der Herzfrequenz während der 2-min. Beschallung mit dem Fahrgeräusch eines Diesel-Pkws. 70 km/h Fahrgeschwindigkeit, serienmäßige vs. modifizierte Reifen	60
Abb.36: Prozentuale Veränderung der elektrischen Muskelaktivität während der 2- minütigen Beschallung mit dem Fahrgeräusch eines Diesel-Pkws, 70 km/h Fahrgeschwindigkeit, serienmäßige vs. modifizierte Reifen	61

Abb.37: Prozentuale Veränderung der Hautleitfähigkeit (SCL) während der 2-minütigen Beschallung mit dem Fahrgeräusch eines Diesel-Pkws. 70 km/h Fahrgeschwindigkeit, serienmäßige vs. modifizierte Reifen	62
Abb.38: Häufigkeitsverteilung der Antworten beim direkten Vergleich der Vorbeifahrtgeräusche Serienmodell bzw. mit modifiziertem Fahrgeräusch in der Fahrbedingung 70 km/h	64
Abb.39: Vergleich der generellen Geräuschbeurteilung „Ich mag dieses Geräusch...“ in allen vier Versuchsbedingungen	65
Abb.40: Vergleich der generellen Geräuschbeurteilung „Beim Hören dieses Geräusches fühle ich mich sehr angenehm“ bis „...sehr unangenehm“ in allen vier Versuchsbedingungen	66
Abb.41: Vergleich der generellen Geräuschbeurteilung „Beim Hören dieses Geräusches fühle ich mich sehr still/deaktiviert“ bis „...sehr aufgeregt/aktiviert in allen vier Versuchsbedingungen	67

10 Anhang

A1 Aushang

A2 Informationsblatt: Einführung in die SVEN-Experimente

A3 Datenschutz und Einverständniserklärung

A4 Personalbogen

A5 Auswertung des Personalbogens

A6 Zuordnung der Geräuschblöcke

A7 Reihenfolgen innerhalb der Blöcke

A8 Subjektive Bewertung der Geräusche

A9 Adjektivliste

A10 Generelle Beurteilung

A11 Paarweiser Geräuschvergleich

A12 FPA-Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigem Dieselmotor im Vergleich zum modifizierten (50s versus 50m)

A13 HF-Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigem Dieselmotor im Vergleich zum modifizierten(50s versus 50m)

A14 EMG-Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigem Dieselmotor im Vergleich zum modifizierten (50s versus 50m)

A15 SCL-Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigem Dieselmotor im Vergleich zum modifizierten (50s versus 50m)

A16 FPA-Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigen Reifen im Vergleich zu modifizierten (70s versus 70m)

A17 HF-Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigen Reifen im Vergleich zu modifizierten (70s versus 70m)

A18 EMG -Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigen Reifen im Vergleich zu modifizierten (70s versus 70m)

A19 SCL-Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigen Reifen im Vergleich zu modifizierten (70s versus 70m)

30 Euro Belohnung ...



für die Teilnahme an Autogeräuschstudie
im Januar/Februar 2003

keine Blutabnahmen
keine Medikamenteneinnahme
kostenloser Hörtest

Gesamtdauer:

ca. 3 Stunden

Voraussetzung:

männlich, bevorzugt Nichtraucher
20-30 Jahre, gute Deutschkenntnisse

Interesse?

Dr. Cl. Gärtner, Tel: 0211-81-14723

E-Mail: seyran@uni-duesseldorf.de

oder kommt direkt vorbei:

Institut für Arbeits- und Sozialmedizin

Gebäude 23.12 Ebene 00 Raum 67

A2 Informationsblatt: Einführung in die SVEN-Experimente

Informationsblatt:
Einführung in die SVEN-Experimente

VP.- Nr. _____

1. Zweck der Experimente

Das Thema dieser Untersuchung ist die Wirkung von Autogeräuschen auf die menschliche Befindlichkeit. Verkehrsgeräusche stellen eine nicht unerhebliche Belastung dar, so dass wissenschaftliche Aussagen über ihre Wirkungen große praktische Bedeutung haben.

2. Auswahl der Versuchspersonen

Die Auswahlkriterien sind bereits auf unserem Aushang genannt worden. Ferner bitte ich Sie, wenn Sie nach dieser ersten Information weiteres Interesse zeigen, an einem kurzen Test hinsichtlich ihres Hörvermögens teilzunehmen und einige Fragebögen auszufüllen.

Wenn sich hinsichtlich des Hörtests keine Einwände ergeben, können Sie sich als Versuchsperson bei uns eintragen lassen. Sollte die vorgesehene Zahl von Versuchspersonen erreicht sein, werden wir Sie auf einer Reserveliste eintragen und benachrichtigen, wenn Versuchspersonen ausfallen.

3. Versuchsablauf

Für jeden Teilnehmer gilt:

- für den Versuchstermin ist eine Zeit von 3 Stunden vorgesehen
- Im Verlauf der Versuchsdurchführung kommen zeitweise folgende „Unannehmlichkeiten“
- auf Sie zu:
- Ihnen werden Elektroden an Unterarm und Handinnenfläche geklebt, welche nach
- Beendigung des Versuches leicht zu entfernen sind
- Sie werden in mehreren Durchgängen von jeweils 2 Minuten einem Geräusch
- ausgesetzt
- im Anschluss füllen Sie kurze Fragebögen aus.

Die Lautstärke der Geräusche ist so dosiert, dass Gesundheitsschäden ausgeschlossen sind.

4. Bezahlung:

Die Zahlung von 30,- Euro erfolgt nach Ende des Versuchs. Ein Anspruch auf Zahlung besteht nur nach vollständiger Teilnahme.

5. Teilnahmebedingung:

- pünktliche Einhaltung des vereinbarten Termins
- Teilnahme am Versuch in möglichst „normaler“ Verfassung, d.h. ausgeschlafen
- mit normaler Hörfähigkeit, also ohne am Abend vorher oder am Morgen sehr laute Musik gehört zu haben
- in normaler Gesundheit (bei Erkältung, Kopfschmerzen o. ä. bitte rechtzeitig benachrichtigen)
- ohne Beeinträchtigung durch Alkohol/Medikamente und ohne stärkeren Konsum von Kaffee, Tee oder Nikotin.

A3 Datenschutz und Einverständniserklärung

Datenschutz

Ihre personenbezogenen Daten werden nur zu organisatorischen Zwecken erfasst und von den Versuchsdaten getrennt aufbewahrt.

Alle Versuchsdaten werden anonymisiert gespeichert und bearbeitet, indem Ihr Name durch eine Versuchspersonen-Nummer ersetzt wird, welche keinen Rückschluss auf Ihre Person zulässt.

Einverständniserklärung

Erklärung des Versuchsteilnehmers:

Ich habe das Informationsblatt „Einführung in die Sven-Experimente“ gelesen und erkläre mein Einverständnis, zu den genannten Bedingungen an dem Versuch teilzunehmen.

Düsseldorf, den _____

_____ (Unterschrift)

Termin

Folgender Termin ist mit Ihnen vereinbart worden:

Datum: _____ Uhrzeit: _____

Bitte nehmen Sie dieses Informationsblatt mit. Haben Sie noch Fragen?
Mit freundlichen Grüßen, Ihr Versuchsleiter (Tel. 81-14723).

A4 **Personalbogen**

VP-Nr.:
SVEN-Personalbogen für:

Datum:

Name:	Strasse:
Geburtsdatum:	Wohnort:
Studienfach:	Telefon(+Mobil):
Nationalität:	E-Mail:

Ist Ihr Hörvermögen eingeschränkt (Krankheit, Unfall, etc.)?

Nehmen Sie regelmäßig/momentan Medikamente ein?

Sind Sie z. Zt. erkältet oder sonst akut erkrankt?

Sind Sie Raucher, wenn ja wie viel rauchen Sie am Tag?

Gehen/Gingen Sie einer beruflichen Tätigkeit nach, wenn ja welcher?

Gab es in Ihrem bisherigen Leben irgendwelche außergewöhnlichen Lärmbelastungen (Wohnort am Flughafen, Autobahn, etc)?

Welches Auto fahren Sie?

- Benziner
 Diesel
 Kein Auto

Gehen Sie oft in Diskotheken?

- nie selten oft sehr oft

Hören Sie Musik mit einem Walkman/Discman bzw. Kopfhörer?

- nie selten oft sehr oft

Von uns auszufüllen:

Infoblatt	
Einverständnis	
Audiometrie	
FB akustische Umwelt	
STAI	

A5 Auswertung des Personalbogens

ALTER

ALTER	Häufigkeit	Prozent
20	2	8,3
21	3	12,5
22	3	12,5
23	5	20,8
24	3	12,5
25	2	8,3
26	3	12,5
27	0	0
28	1	4,2
29	2	8,3
Gesamt	24	100,0

Der Mittelwert des Alters liegt bei 23,75 Jahren.

WAGENTYP

Wagentyp	Häufigkeit	Prozent
Benziner	15	20,8
Diesel	1	4,2
Kein Auto	7	29,2
Fehlend	1	4,2
Gesamt	24	100,0

Gehen Sie oft in Diskotheken?

	Häufigkeit	Prozent
nie	5	20,8
selten	11	45,8
oft	8	33,3

Hören Sie Musik mit einem Walkman/Discman bzw. Kopfhörer?

	Häufigkeit	Prozent
nie	4	16,7
selten	15	62,5
oft	3	12,5
sehr oft	2	8,3

Sind Sie Raucher, wenn ja wie viel rauchen Sie am Tag?

	Häufigkeit	Prozent
weniger als 3	21	87,5
mehr als drei	3	12,5

A6 Zuordnung der Geräuschblöcke

VP-Nr.	Block A
19	A 1
2	A 1
3	A 1
4	A 1
5	A 1
6	A 1
7	A 2
8	A 2
9	A 2
10	A 2
11	A 2
12	A 2
13	A 3
14	A 3
15	A 3
16	A 3
17	A 3
18	A 3
1	A 4
20	A 4
21	A 4
22	A 4
23	A 4
24	A 4

A7 Reihenfolgen innerhalb der Blöcke

Block	Geräusch 1	Geräusch 2	Geräusch 3	Geräusch 4
A1	50s	50m	70m	70s
A2	50m	50s	70s	70m
A3	70s	70m	50m	50s
A4	70m	70s	50s	50m

A8 Subjektive Bewertung der Geräusche

Instruktionen

Sie werden jetzt noch einmal die Fahrzeuggeräusche in derselben Reihenfolge hören und 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 z. B. die Zahl 2; wenn Sie das Geräusch aber als sehr laut empfinden, können Sie die Zahl 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 zwei Geräuschen** kommt noch ein anderer Fragebogen, in dem Sie aufgefordert werden, die zwei zuletzt gehörten Geräusche miteinander zu vergleichen.

Anschließend beginnt die Beurteilung der nächsten beiden Geräusche.

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

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

A9 Adjektivliste

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.

	überhaupt nicht				in höchstem Maße				
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
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
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
teuer	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

[Die Adjektivliste wurde in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt.]

A10 Fragebogen zur generellen Beurteilung

Insgesamt mag ich dieses Geräusch

in höchstem Maße 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 beim Hören des Geräusches fühlen

sehr angenehm *sehr unangenehm*

-4 -3 -2 -1 0 +1 +2 +3 +4

sehr still/deaktiviert *sehr aufgeregt/aktiviert*

-4 -3 -2 -1 0 +1 +2 +3 +4

A11 Paarweiser Geräuschvergleich

Geräuschvergleich (GV) Geräusche Nr. ____ und Nr. ____ VP Nr. ____

Bitte stellen Sie sich die zwei soeben gehörten Geräuschsituationen noch einmal vor und vergleichen Sie diese miteinander.

Bearbeiten Sie bitte die nachfolgenden Beurteilungen. Machen Sie bitte auf jeder Skala ein Kreuz an der Stelle, welche am ehesten Ihrer Einschätzung entspricht.

Geräusch A viel lauter <input type="checkbox"/>	Geräusch A etwas lauter <input type="checkbox"/>	Beide gleich laut <input type="checkbox"/>	Geräusch B etwas lauter <input type="checkbox"/>	Geräusch B viel lauter <input type="checkbox"/>
Geräusch A viel gefährlicher <input type="checkbox"/>	Geräusch A etwas gefährlicher <input type="checkbox"/>	Beide gleich gefährlich <input type="checkbox"/>	Geräusch B etwas gefährlicher <input type="checkbox"/>	Geräusch B viel gefährlicher <input type="checkbox"/>
Geräusch A viel unangenehmer <input type="checkbox"/>	Geräusch A etwas unangenehmer <input type="checkbox"/>	Beide gleich unangenehm <input type="checkbox"/>	Geräusch B etwas unangenehmer <input type="checkbox"/>	Geräusch B viel unangenehmer <input type="checkbox"/>
Geräusch A viel belästigender <input type="checkbox"/>	Geräusch A etwas belästigender <input type="checkbox"/>	Beide gleich belästigend <input type="checkbox"/>	Geräusch B etwas belästigender <input type="checkbox"/>	Geräusch B viel belästigender <input type="checkbox"/>
Geräusch A viel aktivierender <input type="checkbox"/>	Geräusch A etwas aktivierender <input type="checkbox"/>	Beide gleich aktivierend <input type="checkbox"/>	Geräusch B etwas aktivierender <input type="checkbox"/>	Geräusch B viel aktivierender <input type="checkbox"/>

A12: FPA-Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigem Dieselmotor im Vergleich zum modifizierten. Angaben in Prozent, bezogen auf 30. bis 0. sec vor Geräuschbeginn = 100%

Zeitraum:	FPA bei serienmäßigem Motorge- räusch				FPA bei modifiziertem Motorge- räusch			
	Min	Max	MW	s	Min	Max	MW	s
0-2 s	54,3	168,1	100,3	23,5	64,3	133,0	101,0	16,5
2-4 s	43,9	215,5	84,4	32,0	53,5	108,6	82,3	14,2
4-6 s	36,0	222,4	68,6	36,8	28,6	88,2	61,8	15,1
6-8 s	30,6	188,0	60,5	31,8	26,1	115,5	58,0	20,4
8-10 s	30,8	205,0	63,4	34,1	32,1	107,0	60,3	20,0
10-12 s	29,9	231,1	69,9	38,6	31,7	120,3	64,6	23,0
12-14 s	35,6	197,9	74,5	31,5	26,6	124,9	67,4	22,6
14-16 s	40,8	215,5	77,5	34,3	31,1	137,7	67,6	20,7
16-18 s	33,9	242,9	78,6	39,9	37,6	145,3	69,4	20,8
18-20 s	35,0	193,7	79,2	32,0	37,2	147,1	69,0	22,4
20-22 s	29,7	197,5	76,5	31,6	31,9	135,6	67,9	24,0
22-24 s	27,8	221,4	76,2	35,5	32,1	134,1	69,2	26,9
24-26 s	29,7	179,9	74,0	29,1	29,5	146,6	68,6	26,5
26-28 s	22,5	168,3	76,7	32,7	32,5	156,1	69,0	26,5
28-30 s	27,9	178,4	80,8	34,5	35,1	157,5	70,9	25,9
30-35 s	28,2	168,4	82,2	30,6	33,0	162,6	73,3	30,8
35-40 s	26,3	144,1	81,7	26,4	31,7	153,7	74,3	31,8
40-45 s	30,1	113,0	81,0	22,8	32,6	159,2	76,7	29,7
45-50 s	24,4	145,4	86,9	26,3	29,9	142,9	75,7	27,4
50-55 s	27,1	156,2	91,0	30,5	30,4	148,2	74,1	26,6
55-60 s	29,8	151,5	93,9	29,3	28,7	168,0	74,0	35,5
60-65 s	26,7	164,9	92,3	30,0	36,4	173,3	81,1	34,5
65-70 s	27,9	200,7	93,9	37,5	40,2	165,6	83,8	29,6
70-75 s	27,9	164,5	96,4	33,7	39,1	164,3	82,5	26,5
75-80 s	30,5	151,5	97,0	29,7	45,6	137,2	79,8	25,2
80-85 s	24,1	138,0	90,4	29,2	41,8	164,7	78,9	27,9
85-90 s	23,6	124,0	83,3	31,0	38,6	152,7	79,5	23,8
90-95 s	36,4	140,5	85,7	31,1	40,6	144,9	88,6	25,3
95-100 s	36,1	138,6	91,7	32,3	39,6	144,4	87,7	24,0
100-105 s	32,9	197,6	96,3	40,1	39,1	118,3	83,9	20,4
105-110 s	33,6	249,3	100,2	48,2	42,8	129,5	87,6	20,2
110-115 s	27,0	250,7	96,7	43,2	43,4	136,5	86,8	23,9
115-120 s	30,1	268,7	100,4	46,0	38,3	127,4	87,0	25,4

A13: HF-Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigem Dieselmotor im Vergleich zum modifizierten. Angaben in Prozent, bezogen auf 30. bis 0. sec vor Geräuschbeginn = 100%

Zeitraum:	HF bei serienmäßigem Motorge- räusch				HF bei modifiziertem Motorge- räusch			
	Min	Max	MW	s	Min	Max	MW	s
0-5 s	94,3	125,8	104,7	7,9	92,6	115,4	102,8	6,9
5-10 s	87,9	116,4	101,5	7,2	89,5	115,5	100,6	7,8
10-15 s	86,8	120,4	103,0	7,4	85,6	123,6	105,2	9,3
15-20 s	84,1	129,1	103,9	9,1	87,4	124,7	104,9	10,6
20-25 s	87,0	131,6	104,5	10,2	87,2	127,2	106,0	9,2
25-30 s	83,0	132,2	102,0	9,3	83,7	139,1	106,0	11,2
30-35 s	84,4	131,0	100,9	11,2	86,2	152,8	104,1	13,6
35-40 s	87,9	124,8	102,7	9,7	79,0	155,9	102,7	15,6
40-45 s	88,4	121,2	101,3	9,1	82,1	143,0	103,9	13,3
45-50 s	85,4	118,4	101,2	7,7	81,3	130,9	103,9	11,9
50-55 s	88,9	125,3	99,0	7,9	81,2	124,1	101,5	11,3
55-60 s	85,4	117,7	98,7	6,7	86,3	122,7	100,9	10,2
60-65 s	89,6	120,5	98,8	6,7	81,8	121,7	100,7	9,3
65-70 s	88,8	112,5	97,3	5,9	82,8	120,7	98,9	8,6
70-75 s	86,7	117,6	100,4	7,9	86,3	110,8	99,5	7,5
75-80 s	86,6	114,5	99,3	7,4	86,1	109,4	98,2	6,9
80-85 s	78,0	113,1	99,2	7,5	79,5	113,6	98,3	8,0
85-90 s	84,1	121,2	99,6	7,9	82,1	113,1	99,9	7,3
90-95 s	81,9	111,5	99,0	7,9	78,4	116,4	99,2	8,7
95-100 s	79,6	111,0	98,2	6,5	78,4	115,8	99,9	8,5
100-105 s	79,5	111,7	98,5	6,9	75,1	110,8	97,3	8,4
105-110 s	82,7	115,0	99,5	7,1	76,1	113,1	99,7	9,2
110-115 s	77,3	106,2	98,0	7,0	78,8	113,1	99,3	9,7
115-120 s	82,2	114,4	97,3	6,6	79,9	116,8	99,6	10,8

A14: EMG-Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigem Dieselmotor im Vergleich zum modifizierten. Angaben in Prozent, bezogen auf 30. bis 0. sec vor Geräuschbeginn = 100%

Zeitraum:	EMG bei serienmäßigem Motorgeräusch				EMG bei modifiziertem Motorgeräusch			
	Min	Max	MW	s	Min	Max	MW	s
0-2 s	78,8	114,8	98,5	7,1	89,9	113,6	100,5	6,5
2-4 s	79,1	168,3	105,5	19,7	86,2	118,2	99,8	8,3
4-6 s	80,5	145,3	103,0	14,3	86,1	119,5	100,1	8,4
6-8 s	82,2	120,5	99,3	9,5	87,1	120,0	100,3	7,9
8-10 s	82,3	115,1	98,9	8,4	81,7	121,3	100,1	10,3
10-12 s	85,9	111,8	98,6	7,5	82,1	121,6	101,0	10,8
12-14 s	79,3	117,9	98,7	8,9	79,4	126,8	100,9	11,2
14-16 s	81,3	119,3	99,2	8,8	74,9	121,6	99,3	11,5
16-18 s	80,3	122,9	99,5	9,4	78,3	121,7	99,3	10,6
18-20 s	80,8	125,8	100,4	9,9	73,7	118,2	98,1	9,9
20-22 s	77,2	131,8	100,1	10,8	74,9	126,2	98,2	10,8
22-24 s	75,2	132,2	100,2	10,9	66,2	116,2	97,4	10,4
24-26 s	74,7	138,5	101,0	11,9	65,7	116,0	97,5	10,6
26-28 s	73,7	143,8	101,1	13,3	63,5	116,9	97,2	11,6
28-30 s	75,2	142,3	101,6	13,2	64,2	111,7	97,3	11,6
30-35 s	76,5	140,3	102,7	13,4	70,2	114,0	97,5	10,3
35-40 s	82,4	141,3	103,5	13,3	77,8	115,7	99,1	9,5
40-45 s	79,1	141,7	104,2	12,8	81,6	120,3	101,2	9,9
45-50 s	80,8	145,5	103,9	12,5	81,1	127,9	101,2	11,0
50-55 s	92,4	140,6	103,6	10,7	83,1	132,2	101,4	12,5
55-60 s	89,3	142,9	104,2	11,2	74,7	133,8	100,2	12,8
60-65 s	86,6	140,6	103,2	11,3	69,4	152,2	101,1	17,3
65-70 s	86,0	136,3	102,0	10,6	65,4	164,0	100,8	19,8
70-75 s	81,9	135,6	100,6	11,2	63,5	125,6	98,8	13,4
75-80 s	80,9	133,4	99,7	11,8	65,1	121,4	100,2	12,7
80-85 s	72,7	133,7	99,0	13,3	67,7	121,8	100,0	12,1
85-90 s	73,8	128,5	99,3	12,2	71,7	118,7	99,8	11,7
90-95 s	78,1	121,3	99,6	10,4	73,7	119,8	100,7	11,2
95-100 s	84,8	120,3	101,0	9,7	74,9	122,8	100,8	11,6
100-105 s	85,1	118,2	100,9	9,5	78,8	125,0	100,6	11,3
105-110 s	84,0	120,6	100,5	9,4	81,9	129,7	101,5	12,0
110-115 s	84,2	121,3	99,7	9,9	85,4	135,3	102,6	12,7
115-120 s	80,7	121,0	98,1	10,2	86,7	138,3	102,6	13,1

A15: SCL-Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigem Dieselmotor im Vergleich zum modifizierten. Angaben in Prozent, bezogen auf 30. bis 0. sec vor Geräuschbeginn = 100%

Zeitraum:	SCL bei serienmäßigem Motorge- räusch				SCL bei modifiziertem Motorge- räusch			
	Min	Max	MW	s	Min	Max	MW	s
0-2 s	94,3	127,3	103,1	7,8	95,6	123,1	102,9	7,3
2-4 s	103,9	228,6	133,8	29,5	102,6	196,3	133,7	24,0
4-6 s	104,6	250,7	152,2	42,4	107,9	316,0	155,4	48,1
6-8 s	102,6	219,1	148,4	40,5	108,0	333,3	156,6	52,1
8-10 s	103,1	217,0	144,7	37,6	106,7	315,9	156,6	57,1
10-12 s	101,5	208,9	141,5	35,4	105,4	356,1	155,2	59,8
12-14 s	100,4	223,7	142,1	37,9	104,5	358,5	152,9	59,8
14-16 s	100,2	222,4	141,8	38,9	104,4	374,4	158,7	68,0
16-18 s	99,2	224,7	139,1	36,4	105,3	376,8	156,7	64,9
18-20 s	98,6	221,2	138,3	36,0	104,9	381,7	155,9	65,4
20-22 s	98,3	225,5	139,3	38,6	104,6	384,1	154,9	64,8
22-24 s	98,4	232,5	140,7	41,6	104,6	387,8	155,0	66,0
24-26 s	98,8	336,5	139,9	58,1	103,6	387,8	155,4	64,5
26-28 s	97,7	543,5	138,3	92,1	103,2	389,0	155,7	68,1
28-30 s	96,9	515,3	137,4	86,7	102,8	390,2	158,8	66,7
30-35 s	91,7	521,2	136,7	88,5	101,2	395,1	158,4	67,7
35-40 s	94,5	492,9	136,6	83,6	99,6	401,2	157,1	67,9
40-45 s	94,1	455,3	133,1	76,2	98,8	397,6	158,7	68,9
45-50 s	92,2	436,5	132,7	72,8	101,2	392,7	161,3	77,3
50-55 s	90,4	421,2	131,1	69,8	105,0	387,8	160,5	73,5
55-60 s	88,7	482,4	129,4	80,8	103,7	384,1	157,3	71,7
60-65 s	91,4	508,2	128,0	86,0	102,5	385,2	156,7	75,0
65-70 s	91,0	454,1	125,5	75,4	101,9	376,5	154,7	73,2
70-75 s	89,1	431,8	123,9	71,0	100,9	398,8	154,2	76,0
75-80 s	88,3	409,4	122,1	67,5	99,2	404,9	153,7	77,3
80-85 s	85,9	440,0	123,2	73,4	96,0	421,0	153,2	79,3
85-90 s	85,1	434,1	123,8	71,4	97,5	408,6	152,3	76,7
90-95 s	83,1	405,9	122,0	65,7	94,6	403,7	149,4	75,8
95-100 s	80,9	387,1	121,1	62,3	100,0	386,4	148,1	73,5
100-105 s	78,9	375,3	119,2	59,7	98,9	409,9	148,0	76,1
105-110 s	77,1	358,8	118,0	56,7	98,1	422,2	146,6	77,9
110-115 s	75,4	341,2	118,0	53,8	97,7	402,5	143,7	74,4
115-120 s	73,9	325,9	117,2	50,8	96,0	402,5	143,0	73,7

A16: FPA-Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigen Reifen im Vergleich zu modifizierten. Angaben in Prozent, bezogen auf 30. bis 0. sec vor Geräuschbeginn = 100 %

Zeitraum:	FPA bei serienmäßigem Reifengeräusch				FPA bei modifiziertem Reifengeräusch			
	Min	Max	MW	s	Min	Max	MW	s
0-2 s	47,6	119,0	91,2	18,3	56,8	170,5	109,5	26,6
2-4 s	41,4	114,9	76,2	18,2	53,2	139,9	87,5	21,5
4-6 s	35,3	106,8	59,2	15,6	43,2	97,6	65,8	13,7
6-8 s	30,4	109,9	53,4	15,7	38,8	99,9	58,7	14,5
8-10 s	34,7	99,6	55,2	15,4	43,9	109,7	61,2	16,2
10-12 s	40,9	112,7	62,6	18,6	39,5	112,9	68,8	18,6
12-14 s	39,6	102,8	66,3	17,4	31,2	126,9	74,6	22,7
14-16 s	44,7	97,6	69,5	14,1	38,3	133,2	79,4	24,4
16-18 s	44,2	96,3	72,3	14,9	36,2	147,3	80,1	27,5
18-20 s	33,6	103,8	74,4	18,3	44,8	158,5	80,2	28,1
20-22 s	22,3	101,8	77,4	19,1	43,0	157,2	77,6	28,4
22-24 s	25,1	101,6	75,2	19,3	40,2	153,8	80,7	30,5
24-26 s	22,5	105,7	74,5	21,4	30,2	147,0	81,4	32,0
26-28 s	26,6	127,6	75,5	23,4	35,3	127,4	83,8	30,0
28-30 s	27,9	128,0	77,7	25,3	29,1	151,7	82,5	32,2
30-35 s	31,8	126,7	77,4	23,3	37,2	172,9	83,5	33,5
35-40 s	29,7	114,5	76,3	22,3	27,8	172,2	80,2	31,5
40-45 s	26,9	117,9	76,6	24,6	29,8	134,4	77,4	29,2
45-50 s	25,0	112,5	74,4	23,2	30,3	149,4	80,3	32,2
50-55 s	24,9	105,2	77,7	22,1	34,7	139,5	82,4	30,9
55-60 s	27,0	123,2	77,4	24,8	23,5	146,6	82,6	33,3
60-65 s	25,7	120,6	80,2	24,2	31,8	162,7	88,5	34,5
65-70 s	25,9	135,3	78,5	26,8	45,2	150,5	93,4	29,0
70-75 s	26,1	139,1	79,1	27,1	50,7	138,1	90,5	25,9
75-80 s	25,1	145,4	82,9	28,5	52,0	140,0	86,0	25,8
80-85 s	26,0	123,5	80,6	25,3	47,2	151,1	83,4	29,7
85-90 s	26,2	133,8	75,1	23,0	40,7	157,7	86,8	30,3
90-95 s	28,7	121,9	74,0	20,2	48,1	159,8	87,5	29,4
95-100 s	28,1	113,4	79,2	18,8	53,0	169,7	87,4	27,0
100-105 s	29,7	99,3	76,3	18,0	44,4	169,3	89,0	28,5
105-110 s	29,8	105,1	71,7	21,5	42,9	143,7	83,8	26,4
110-115 s	34,0	102,7	73,6	21,8	47,9	148,3	84,8	27,0
115-120 s	40,0	105,2	75,4	20,5	38,3	149,9	84,8	26,0

A17: HF-Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigen Reifen im Vergleich zu modifizierten. Angaben in Prozent, bezogen auf 30. bis 0. sec vor Geräuschbeginn = 100 %

Zeitraum:	HF bei serienmäßigem Reifengeräusch				HF bei modifiziertem Reifengeräusch			
	Min	Max	MW	s	Min	Max	MW	s
0-5 s	90,7	116,2	103,0	6,5	93,8	123,4	103,8	7,4
5-10 s	86,0	112,4	100,6	6,5	89,5	110,9	99,3	5,9
10-15 s	84,7	119,4	103,8	7,9	88,1	128,8	103,7	8,4
15-20 s	87,9	125,6	103,5	8,2	89,8	124,4	105,2	8,5
20-25 s	92,0	133,2	104,4	9,8	87,6	124,4	104,5	11,1
25-30 s	86,7	136,0	104,7	13,7	89,5	135,3	103,0	10,1
30-35 s	85,8	142,1	104,7	14,5	90,5	152,0	103,3	13,2
35-40 s	85,8	134,0	103,0	12,7	88,1	146,1	104,3	11,9
40-45 s	89,6	128,0	102,3	10,3	89,8	139,4	104,4	13,3
45-50 s	87,2	126,6	101,1	8,7	85,1	126,6	100,7	10,8
50-55 s	81,7	125,5	100,2	8,8	88,5	122,8	101,3	9,1
55-60 s	82,0	122,5	98,6	7,8	88,7	116,1	100,5	7,6
60-65 s	82,1	121,8	97,9	8,6	87,2	112,3	99,3	7,5
65-70 s	81,6	122,3	98,5	8,4	86,4	110,4	99,5	6,8
70-75 s	85,2	122,5	98,8	8,3	84,8	108,3	99,3	5,9
75-80 s	85,5	121,8	98,9	8,3	89,4	117,7	100,7	6,9
80-85 s	85,0	123,4	99,9	8,3	87,5	122,9	99,2	8,7
85-90 s	86,0	123,4	101,1	8,8	89,1	117,8	101,2	7,4
90-95 s	86,4	121,1	100,8	8,6	90,8	112,3	100,4	5,7
95-100 s	86,4	121,8	101,7	9,1	88,7	111,2	100,2	5,7
100-105 s	85,1	119,2	100,4	8,9	90,1	114,6	100,2	6,7
105-110 s	85,8	125,3	102,3	10,1	90,5	129,8	102,9	9,1
110-115 s	84,8	125,8	99,7	9,4	91,7	115,2	101,1	6,6
115-120 s	88,9	119,0	100,6	9,5	89,1	133,9	102,6	9,1

A18: EMG -Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigen Reifen im Vergleich zu modifizierten. Angaben in Prozent, bezogen auf 30. bis 0. sec vor Geräuschbeginn = 100 %

Zeitraum:	EMG bei serienmäßigen Reifen				EMG bei modifizierten			
	Min	Max	MW	s	Min	Max	MW	s
0-2 s	84,3	142,1	104,5	11,9	80,5	115,4	99,8	8,0
2-4 s	77,9	131,1	106,5	14,1	80,5	117,9	100,2	9,0
4-6 s	72,7	206,0	111,3	28,0	86,4	156,1	104,5	15,6
6-8 s	71,6	171,3	103,7	18,8	76,9	129,2	99,5	10,1
8-10 s	68,7	119,8	98,7	13,2	74,3	121,0	99,0	10,3
10-12 s	69,6	118,4	98,7	12,5	75,1	122,3	98,2	10,9
12-14 s	69,8	116,1	98,6	12,6	75,1	117,6	97,8	10,6
14-16 s	66,6	120,0	98,6	13,2	79,2	117,1	96,7	9,3
16-18 s	72,1	116,6	97,7	11,8	83,0	115,9	97,2	7,9
18-20 s	72,1	113,0	97,1	11,3	83,4	116,2	97,5	8,0
20-22 s	73,9	114,0	96,8	10,9	87,2	111,4	97,7	7,6
22-24 s	72,4	113,3	95,9	10,6	85,8	116,9	99,1	8,2
24-26 s	71,1	111,7	95,1	10,1	88,7	115,7	99,6	8,2
26-28 s	70,0	108,3	95,8	9,9	90,0	115,7	98,8	6,4
28-30 s	69,4	108,4	96,2	9,6	90,1	106,0	98,7	4,0
30-35 s	69,1	109,5	95,7	11,3	87,8	112,9	99,1	5,4
35-40 s	71,1	118,5	96,8	12,0	76,1	117,5	100,1	8,7
40-45 s	74,5	114,5	95,7	9,8	91,0	120,9	100,9	7,1
45-50 s	77,7	116,9	95,1	9,6	84,8	115,2	99,8	7,2
50-55 s	74,8	117,5	96,1	10,4	85,4	114,5	98,7	6,6
55-60 s	71,6	118,3	97,7	11,1	89,2	110,2	98,2	6,0
60-65 s	69,4	116,8	99,0	10,4	78,4	114,9	99,0	8,5
65-70 s	69,9	120,9	100,2	11,2	77,0	114,9	99,3	8,7
70-75 s	71,8	124,9	99,4	12,0	84,6	117,6	100,1	8,0
75-80 s	74,3	125,4	97,5	10,4	83,5	121,6	99,5	9,0
80-85 s	77,9	123,2	96,9	9,5	81,3	113,9	98,6	8,0
85-90 s	77,0	121,5	97,9	11,2	86,7	109,9	97,7	6,4
90-95 s	72,8	117,4	96,8	10,3	78,7	111,9	97,5	8,2
95-100 s	70,8	107,2	94,6	8,4	74,6	114,4	96,7	9,6
100-105 s	69,7	104,4	94,4	8,8	82,0	109,7	96,7	6,6
105-110 s	71,9	118,4	96,7	10,1	79,9	111,3	97,4	7,4
110-115 s	74,1	114,0	96,8	11,2	77,5	117,5	98,4	8,9
115-120 s	72,7	111,1	97,0	11,8	78,5	119,1	98,6	8,9

A19: SCL-Werte beim Vorbeifahrtgeräusch mit serienmäßigen Reifen im Vergleich zu modifizierten. Angaben in Prozent, bezogen auf 30. bis 0. sec vor Geräuschbeginn = 100 %

Zeitraum:	SCL bei serienmäßigen Reifen				SCL bei modifizierten Reifen			
	Min	Max	MW	s	Min	Max	MW	s
0-2 s	94,5	116,1	101,4	5,2	90,6	130,0	101,3	7,7
2-4 s	106,7	218,4	132,7	29,8	102,4	196,5	127,2	21,8
4-6 s	107,3	375,0	153,8	56,3	105,6	240,3	146,8	35,3
6-8 s	103,3	467,3	155,7	74,9	104,2	350,0	153,4	63,2
8-10 s	100,9	448,1	150,1	72,5	98,0	395,1	154,4	76,9
10-12 s	100,6	428,8	149,6	67,6	94,1	497,6	157,3	95,2
12-14 s	99,4	417,3	147,8	65,1	92,9	573,2	160,2	108,4
14-16 s	98,2	401,9	146,0	62,2	93,5	587,8	159,4	110,5
16-18 s	97,5	398,1	145,1	61,7	92,0	587,8	158,9	109,7
18-20 s	96,9	388,5	143,0	60,2	94,5	590,2	157,9	109,4
20-22 s	95,9	373,1	142,2	57,2	92,4	587,8	156,7	108,2
22-24 s	95,1	361,5	142,8	56,3	90,9	570,7	156,7	104,7
24-26 s	94,9	351,9	142,0	54,3	94,3	553,7	156,2	100,8
26-28 s	95,1	342,3	142,9	52,2	94,1	556,1	156,8	102,9
28-30 s	93,8	375,0	144,5	59,1	92,4	546,3	155,1	101,1
30-35 s	93,0	365,4	142,3	56,7	96,0	514,6	152,3	94,0
35-40 s	92,4	344,2	140,5	53,0	94,2	492,7	150,2	89,1
40-45 s	91,5	357,7	142,7	55,8	93,0	480,5	149,0	85,7
45-50 s	91,1	525,0	148,2	88,4	92,1	512,2	148,5	92,3
50-55 s	90,7	478,8	145,2	80,4	91,5	573,2	149,6	104,4
55-60 s	89,0	451,9	142,7	75,1	94,6	570,7	148,0	103,0
60-65 s	87,7	419,2	139,9	69,5	93,1	556,1	146,0	99,9
65-70 s	86,7	392,3	137,0	64,4	91,5	541,5	144,0	97,1
70-75 s	85,7	371,2	134,7	61,2	89,8	524,4	141,3	93,5
75-80 s	84,8	355,8	131,7	58,1	88,1	512,2	140,3	90,4
80-85 s	83,7	340,4	130,8	55,6	87,0	504,9	139,5	89,0
85-90 s	81,2	326,9	130,7	55,5	85,3	492,7	137,7	86,1
90-95 s	78,2	313,5	129,5	55,8	84,0	480,5	135,8	83,8
95-100 s	75,2	300,0	127,1	51,8	82,6	468,3	133,6	81,3
100-105 s	72,6	288,5	127,8	50,5	81,6	458,5	131,8	79,3
105-110 s	70,3	278,8	125,3	47,8	80,2	463,4	132,1	80,7
110-115 s	68,2	269,2	123,7	46,3	79,2	465,9	133,0	81,9
115-120 s	66,4	259,6	122,7	47,6	78,2	453,7	131,9	78,9

CURRICULUM VITAE

PERSÖNLICHE ANGABEN

Name	Josef Reza Röttges
Geburtsdatum	04.10.1978 in Krefeld
Staatsangehörigkeit	deutsch
Religion	evangelisch
Familienstand	ledig

SCHUL- UND HOCHSCHULLAUFBAHN

1984 - 1988	Grundschule Wimmersweg, Krefeld
1988 - 1997	Fichte Gymnasium, Krefeld
06/1997	Abitur
03/1997 - 03/2003	Ersatzdienst beim Malteser Hilfsdienst im Katastrophenschutz
05/1997 - 07/1997	Pflegedienstpraktikum in der Gefäßchirurgie im Klinikum Krefeld
seit 10/1997	Studium der Humanmedizin Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
09/2001	Physikum
04/2003	1. Staatsexamen
09/2004	2. Staatsexamen
10/2004 - 09/2005	Praktisches Jahr im evangelischen Krankenhaus Bethesda zu Duisburg Wahlfach: Anästhesie
10.11.2005	3. Staatsexamen

FAMULATUREN

10/2001	Anästhesie, Prof. Dr. med. H. Harke, Klinikum Krefeld
02/2002 - 03/2002	Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Dr. med. J. Hennig, HNO-Praxis in Berlin
02/2003 - 03/2003	Unfallchirurgie, Dr. med. W. Court, St. Martinus Krankenhaus Düsseldorf

- 08/2003 Anästhesie, Prof. Dr. med. H. Harke,
Klinikum Krefeld
- 09/2003 Gynäkologie und Geburtshilfe, Prof. Dr. med. J. Baltzer,
Klinikum Krefeld
- 09/2003 - 10/2003 Gefäßchirurgie, Dr. med. M. Haug,
Sana Klinikum Remscheid

BERUFLICHE TÄTIGKEIT

- seit 12/2005 Assistenzarzt im Klinikum Krefeld in der Klinik
für Anästhesiologie, operative Intensivmedizin und Schmerzthera-
pie

SONSTIGE KURSE UND QUALIFIKATIONEN

- 04.12.2004 A-Diplom (Akupunkturgrundausbildung)
bei der Deutschen Ärztesgesellschaft für Akupunktur (DÄGfA)

ABSTRACT

Josef Reza Röttges

Die Geräuschqualität von modifizierten Pkw-Vorbeifahrtgeräuschen im Urteil von Versuchspersonen

Aufgrund zunehmender Industrialisierung und damit verbundenem erhöhten Verkehrsaufkommen kommt der Gestaltung der akustischen Landschaft (Soundscape-Forschung) eine immer größere Bedeutung zu. Während die Verbesserung des akustischen Umfeldes im Pkw-Innenraum zur Erhöhung von Komfort, Sicherheit und Fahrleistung des Fahrers mittlerweile in den meisten größeren Pkw zum Standard geworden ist, steckt die Beurteilung der Geräuschqualität von Straßenverkehrslärm und von Außengeräuschen einzelner Kfz noch in den Kinderschuhen.

Als Teilprojekt eines europäischen Verbundprojekts mit sieben Projektpartnern wurde im Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der Heinrich-Heine Universität Düsseldorf versucht, das Phänomen der subjektiv erlebten Geräuschqualität von Verkehrslärm und einzelnen Pkw in verschiedenen Fahrsituationen mit psychoakustischen und psychophysiologischen Methoden zu beschreiben. In der ersten Versuchsreihe (SVEN 1) wurde das Instrumentarium zur Erfassung der psychophysiologischen Wirkung zusammengestellt und an Verkehrsgeräuschen erprobt. In der zweiten Versuchsreihe (SVEN 2) wurden mit dieser Methodik einzelne Pkw-Vorbeifahrtgeräusche auf ihre psychophysiologische Bewertung hin analysiert. In der dritten Versuchsreihe, die Gegenstand dieser Arbeit ist, wurde das Konzept der psychophysiologischen Bewertung überprüft. 24 jungen, männlichen Probanden wurden zwei verschiedene Vorbeifahrtgeräusche eines serienmäßigen Diesel Mittelklasse-Wagens präsentiert, die von den Experten als akustisch optimal klassifiziert worden waren. Mit technischen Methoden wurde die Geräuschqualität erneut verschlechtert: In der Fahrbedingung I (50 km/h, Beschleunigung im 2. Gang) wurde das Motorengeräusch durch Anhebung um 10 dB in der 2. Ordnung modifiziert und in der Fahrbedingung II (70 km/h, konstante Geschwindigkeit) wurden schlechte Reifen durch Mischen des Originalsounds mit einem modulierten Signal simuliert. Die seriellen und modifizierten Geräusche wurden bei gleicher Lautstärke dargeboten. Während der Geräuschdarbietung wurden Fingerpulsamplitude, Elektromyogramm und elektrodermale Aktivität registriert. Anschließend wurde die subjektive Bewertung der Geräusche erfasst.

Während die physiologischen Reaktionen und subjektiven Bewertungen in SVEN 1 und in SVEN 2 parallele Antwortmuster zeigten, in dem Sinne dass subjektiv aversiv beurteilte Geräusche auch zu stärkeren physiologischen Reaktionen führten, zeigte sich in dieser Versuchsreihe eine gegensätzliche Tendenz: Die eher positiv beurteilten Geräusche wurden physiologisch stärker beantwortet. Auffälligerweise wurden die technisch modifizierten Geräusche besser akzeptiert, obwohl diese nach dem Urteil der Psychoakustiker eine Verschlechterung der Geräuschqualität implizieren sollten. Die Probanden empfanden die technischen Modifikationen als eine Verstärkung des sportlichen Appeals. Es wurden Assoziationen induziert, die zu einer anderen Ebene der Sound Quality führen, nämlich der ambivalenten Bedeutung von PKW-Geräuschen, die auch Gefühle wie Sportlichkeit („satter Sound“), Kraft oder Dominanz einschließt. Da zur Begrenzung der Varianz an dieser Studie nur junge männliche Probanden teilgenommen hatten, könnte eine Wiederholung der Experimente mit weiblichen Teilnehmern und auch mit Probanden aus verschiedenen Altersstufen mehr Einblicke in die geschlechts- bzw. altersspezifische Bewertung von Kfz-Geräuschen verschaffen.

