

Aus dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Peter Angerer

**Alters- und geschlechtsspezifische
Unterschiede in der physiologischen Reaktion auf
Pkw-Vorbeifahrgeräusche**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

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

Michael Frerich

2012

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

gez.: Univ.-Prof. Dr. med. Joachim Windolf
Dekan

Referent: Univ.-Prof. Dr. med. P. Angerer
Korreferent: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. h.c. J. Schipper

INHALTSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>	
1	EINLEITUNG	6
1.1	Umweltlärm als Problem	6
1.2	Sound Quality als alternatives Lösungskonzept	7
2	THEORETISCHER HINTERGRUND	8
2.1	Lärm als Begriff	8
2.2	Straßenverkehr als wichtigste Umweltlärmquelle	9
2.3	Direkte und indirekte Lärmwirkungen	10
2.3.1	Aurale Lärmwirkungen	11
2.3.2	Extraaurale Lärmwirkungen	12
2.4	Verbundprojekt SVEN	14
2.5	Projekt der Europäischen Forschungsvereinigung für Umwelt und Gesundheit im Transportsektor e.V. (EUGT)	16
3	FRAGESTELLUNG	17
4	PHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN	18
4.1	Physiologische Messparameter	18
4.1.1	Pulsoxymetrie	18
4.1.1.1	Grundlagen	18
4.1.1.2	Pulsoxymetrie und ihre Eignung zur Erfassung der peripheren Durchblutung als Fingerpulsamplitude	20
4.1.1.3	Praktische Anwendung und Beispiele	22
4.1.1.4	Artefakte	22
4.1.2	Elektrodermale Aktivität	23

4.1.2.1 Grundlagen	23
4.1.2.2 Terminologie zur elektrodermalen Aktivität (EDA)	26
4.1.2.3 Messung der elektrodermalen Aktivität	27
4.1.2.4 Anwendungsgebiete	29
4.1.3 Herzratenvariabilität	29
4.1.3.1 Grundlagen	29
4.1.3.2 Anwendungsgebiete und Erfassungsverfahren	30
4.1.3.3 Einflussfaktoren und Störgrößen	33
4.1.3.4 Herzratenvariabilität in Studien	34
5 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND METHODE	37
5.1 Bedingungen für die Teilnahme am Versuch	37
5.2 Darstellung der Stichprobe	38
5.3 Versuchsdurchführung	38
5.4 Messung der physiologischen Parameter	39
5.5 Definition und Klassifikation der Geräusche	40
5.6 Geräuscharbietung	41
5.7 Subjektive Geräuschbewertung durch den Probanden	42
5.8 Datenverarbeitung und statistische Auswertung	43
6 ERGEBNISSE	46
6.1 Ergebnisdarstellung Fingerpulsamplitude (FPA)	46
6.2 Ergebnisdarstellung Elektrodermale Aktivität (EDA)	50
6.3 Ergebnisdarstellung Herzratenvariabilität (HRV)	53
6.4 Ergebnisse zur subjektiven Bewertung der Geräusche	56
6.4.1 Allgemeine Bewertung des Geräusches	56

6.4.2	Eigenes Befinden beim Hören des Geräusches	57
6.4.3	Bewertung der Geräusche mit der Adjektivliste	59
6.4.4	Unterschiede in der Bewertung der einzelnen Geräusche	60
7	DISKUSSION	64
7.1	Physiologische Reaktionen	64
7.2	Subjektive Bewertung der Geräusche	68
7.3	Schlussfolgerungen	69
8	ZUSAMMENFASSUNG	71
9	LITERATURVERZEICHNIS	73
10	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	79
11	TABELLENVERZEICHNIS	80
12	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	81
13	ANHANG	83

1 EINLEITUNG

1.1 Umweltlärm als Problem

Umweltlärm ist in unserer heutigen Zeit mehr denn je ein ernstzunehmendes Problem mit vielen Gesichtern – sei es nun Lärm industrieller oder gewerblicher Art, Nachbarschaftslärm oder aber Verkehrslärm durch Schienen-, Flug- oder Straßenverkehr. So ist zwar die Minderung des Umgebungslärms seit Jahren ein vorrangiges Ziel der europäischen Verkehrspolitik, wie auch die EU-Umgebungslärm-Richtlinie von 2002 zeigt (Europäisches Parlament und Rat 2002), aber es hat den Anschein, dass hier auf verlorenem Posten gekämpft wird. Besonders der Verkehrslärm stellt laut einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage zum Umweltbewusstsein in Deutschland zum wiederholten Male für die meisten Menschen die am stärksten empfundene Umweltbelastung dar. 55 % der Befragten fühlen sich demnach in ihrem unmittelbaren Wohnumfeld durch Straßenverkehr gestört, 11 % hiervon sogar in starkem oder äußerstem Maße (Umweltbundesamt 2010; Tab. 1). Lärm bedeutet also eine Einschränkung von Lebensqualität und Wohlbefinden und muss nicht zuletzt auch als gesundheitsschädigend bewertet werden, und zwar in körperlicher, seelischer sowie psychosozialer Hinsicht.

Tab. 1: Lärmbelastigung der Bevölkerung nach Geräuschquellen (Umweltbundesamt 2010)

Geräuschquelle	Gestört und belästigt (Angaben ¹⁾ in %)				
	äußerst	stark	mittelmäßig	etwas	überhaupt nicht
Straßenverkehr	2	9	16	28	45
Nachbarn	1	4	7	25	63
Flugverkehr	1	3	7	18	71
Industrie und Gewerbe	1	2	9	16	72
Schienenverkehr	0	2	7	13	78

¹⁾ gerundete Zahlen, daher Summenwerte über 100 % möglich

Laut zentralem Fahrzeugregister des Kraftfahrt-Bundesamtes ist in Deutschland im Jahr 2011 ein Anstieg der Pkw-Neuzulassungen im Vergleich zum Vorjahr zu verzeichnen gewesen. Und auch insgesamt ist ein ständiger Zuwachs an Kraftfahrzeugen auf Deutschlands Straßen zu vermerken. Der Kraftfahrzeugbestand ist auf 50,9 Millionen Einheiten angewachsen (+1,4 %), darunter 42,3 Millionen Pkw (KBA 2011). Im Rahmen der zunehmenden Belästigung durch Verkehrslärm werden Strategien zur Minderung der Lärmemissionen wie etwa Schallschutzmauern an stark befahrenen Straßen, Geschwindigkeitsbegrenzungen, lärmarme Fahrbahnbeläge und lärmarme Reifen zwar weiterhin gefördert, diese können die Auswirkungen des zunehmenden Verkehrs jedoch nur bedingt und in einem zunehmend unzureichenden Maße ausgleichen.

1.2 Sound Quality als alternatives Lösungskonzept

Um diesem wachsenden Missverhältnis Einhalt zu gebieten, wird nach neuen Maßnahmen der Lärmbekämpfung gesucht. Als ein weiterer Ansatzpunkt neben bisher praktizierten Methoden der Abwehr von Lärm und der Reduktion von Schallemissionen wird seit längerem ein weiteres Konzept erprobt: die Ebene der subjektiven Lärmwahrnehmung und der erlebten Geräuschqualität. Für die Schallemissionen des einzelnen Kraftfahrzeugs könnte ein zukunftsweisender Ansatz darin bestehen, neben der Reduzierung der Schallimmissionen auch die Verbesserung der subjektiv erlebten Geräuschqualität von Pkw-Vorbeifahrten voranzutreiben. Hier hat die Psychoakustik grundlegende Erkenntnisse darüber erarbeitet, dass akustische Merkmale wie Schärfe, Rauigkeit, Frequenzspektrum und dergleichen einen wesentlichen Einfluss auf die Wahrnehmung und Bewertung eines Geräusches haben (Fastl 1998). Die Bedeutung des physikalisch gemessenen Schallpegels tritt dabei in den Hintergrund, stattdessen werden die speziellen Eigenschaften eines Geräusches wichtiger. Mit diesem Forschungsansatz wird also die „Geräuschqualität“ (sound quality) untersucht. Der Ansatz ist aber nicht neu, sondern wird schon seit über 15 Jahren mit Erfolg für die akustische Optimierung von Pkw-Innenräumen oder auch im Produktdesign von technischen Geräten angewendet (Bednarzyk 1999, Patsouras 2003). Durch die Arbeiten von Blauert und Jekosch (Blauert & Jekosch 2003, Jekosch & Blauert 2005) haben diese Erkenntnisse zur „Geräuschqualität“ auch eine theoretische Fundierung erhalten.

Im Rahmen des EU-Verbundprojektes SVEN („Sound Quality of Vehicle Exterior Noise“) wurde vor einigen Jahren erstmals untersucht, ob sich dieses Konzept der „Geräuschqualität“ auch auf die Bewertung von Pkw-Außengeräuschen anwenden lässt – sowohl für standardisierte Vorbeifahrten einzelner Pkw als auch für komplexe Straßenverkehrsgeräusche (Krebber et al. 2002). Auch in dem aktuellen EU-Verbundprojekt QCITY („Quiet City Transport“) wird u. a. die Fragestellung weiterverfolgt, Fahrzeugtypen „insbesondere durch Beachtung ihrer subjektiven Wahrnehmungscharakteristik“ zu klassifizieren (Petz 2007, Genuit et al. 2007).

Eine solche Klassifizierung von Pkw-Vorbeifahrgeräuschen anhand ihrer subjektiv wahrgenommenen Geräuschqualität würde neue Ansatzpunkte bieten, die Umweltverträglichkeit von Pkw-Geräuschen zu verbessern. Das wissenschaftliche Rüstzeug, mit dem dieser Forschungsansatz betrieben werden kann, steckt jedoch noch in den Kinderschuhen. Hier ist zunächst weiteres Grundlagenwissen zum Verständnis der physiologischen Verarbeitung sowie der subjektiven Wahrnehmung und Bewertung von Verkehrsgeräuschen zu erarbeiten.

2 THEORETISCHER HINTERGRUND

2.1 Lärm als Begriff

Im Pschyrembel (2004) ist Lärm als unerwünschter, belästigender und gegebenenfalls schädigender Schall definiert, der ab etwa 85 dB(A) zu Hörschäden und ab circa 120 dB(A) zu Schmerzreaktionen führen kann und zudem in der Lage ist, über zentralnervöse Impulse auf den gesamten Organismus einzuwirken (s. Kap. 2.2.2).

Auf der Informationsseite der Abteilung für Hör-, Stimm- und Sprachstörungen der HNO der Universitätsklinik Innsbruck wird Lärm als subjektiv unangenehm empfundener oder schädigender Schall beschrieben, dessen Wahrnehmung als „unangenehm“ zwar wesentlich, jedoch nicht notwendigerweise an die Lautstärke gekoppelt ist. Lärm ist also Schall, der als lästig erlebt wird, das körperliche und seelische Wohlbefinden, Leistung, soziales Zusammenleben sowie Gesundheit erheblich beeinträchtigen kann und darüber hinaus sozioökonomische Folgen haben kann.

Allen Definitionen gemein ist die Variable des subjektiven Erlebens, so dass klar wird, dass Lärm durchaus von der Verfassung, den Vorlieben und der Stimmung eines Menschen abhängig ist. Will man das Phänomen „Lärm“ begreifen und darstellen, wie aus einem akustischen Ereignis eine komplexe Umweltbelastung wird, muss man sich nämlich mit verschiedenen Dimensionen auseinandersetzen (Schwarze 1991). Einerseits sind schallabhängige Faktoren wichtig, die aus einem Schallreiz Lärm machen. Dies sind Lautstärke, Frequenz, Bandbreite, Impulshaltigkeit, zeitliche Faktoren (Tag/Nacht, Sommer/Winter), Regelmäßigkeit und Dauer. Dem stehen die personenabhängigen Faktoren wie individuelle Geräuschempfindlichkeit, Einstellung zur Schallquelle, Informationsgehalt, Situation des Betroffenen (Gesundheit, emotionale Verfassung), Interferenz mit beabsichtigten Tätigkeiten gegenüber. Hier spielt die Lautstärke eine untergeordnete Rolle, wie man an der Wirkung eines tropfenden Wasserhahns ablesen kann, dessen Schallpegel nur knapp oberhalb der Wahrnehmbarkeit liegt. Zwischen diesen Komplexen steht die Gesundheitsschädlichkeit, die sowohl von physikalischen Größen als auch von individuellen Faktoren der Suszeptibilität abhängt, denn bei gleich hohem Schallpegel wird nur ein bestimmter Prozentsatz von Exponierten lärmsehörig, mit zunehmendem Schallpegel aber immer mehr.

Nachfolgend werden die häufigsten Arten von Lärm aufgeführt, die auf vielfältige Art und Weise in der Umwelt des Menschen in einem modernen Industrieland präsent sind und demzufolge auch zu einem Problem werden können:

- Arbeitslärm
- Verkehrslärm

- Industrielärm und Gewerbelärm
- Baulärm
- Nachbarschaftslärm
- Freizeitlärm

2.2 Straßenverkehr als wichtigste Umweltlärmquelle

Der Verkehrslärm ist für diese Arbeit von besonderer Bedeutung, da diese sich mit der konkreten psychophysiologischen Verarbeitung von Pkw-Geräuschen befasst. Deshalb soll die Lärmbelastigung durch den Straßenverkehr eingehender dargestellt werden. Bei genauerer Betrachtung der Ergebnisse, die das Umweltbundesamt in den vergangenen 10 Jahren zur Belästigung der Bevölkerung für die verschiedenen Lärmquellen in Deutschland gewonnen hat, wird besonders deutlich, welchen hohen Stellenwert der Straßenverkehr im Vergleich zu den anderen Lärmquellen in der Umwelt hat (Umweltbundesamt 2010). Am Rande sei bemerkt, dass auch auf europäischer Ebene der Verkehrslärm die dominante Belästigungsquelle im Wohnumfeld ist (Niemann et al. 2005).

Abb. 1 zeigt den prozentualen Anteil in der Bevölkerung, der auf Befragen angibt, von Lärm belästigt zu sein. Hier wird deutlich, wie der Verkehrslärm nahezu unverändert mit weitem Abstand an erster Stelle steht.

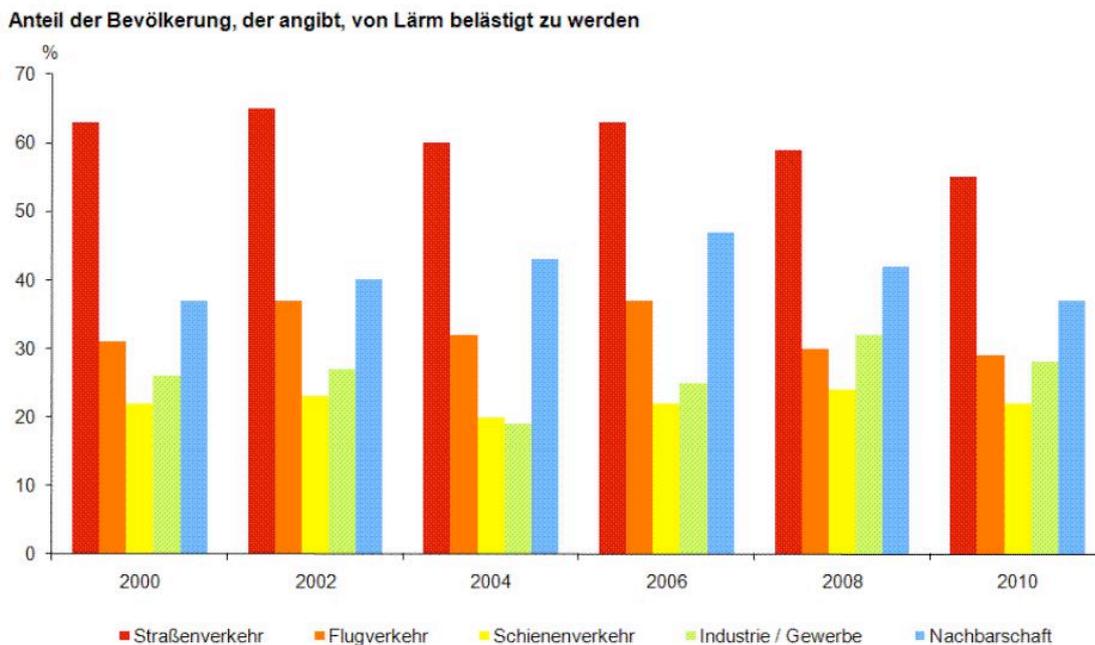


Abb. 1: Belästigung durch Umweltlärm durch verschiedene Lärmquellen im Zeitraum 2000 bis 2010 für die Bundesrepublik Deutschland (Umweltbundesamt 2010)

Die Häufigkeiten liegen zwischen 55 und 62 %. Es hat den Anschein, dass es nach dem Höchststand 2002 mit 62 % ab 2006 zu einer geringfügigen Abnahme auf 55 % im Jahre 2010 gekommen ist. Die zukünftigen Befragungen werden zeigen, ob der Trend anhält.

Zweitwichtigste Quelle ist der Nachbarschaftslärm, der ebenfalls eine geringfügige Abnahme zeigt. Beim Nachbarschaftslärm spielen die Einstellung zur Geräuschquelle und der Informationsgehalt sicher eine entscheidende Rolle in der Belästigungswirkung. Wie diese Arbeit zeigen wird, sind diese beiden Faktoren aber auch beim Pkw-Lärm von nicht zu unterschätzender Bedeutung.

Der Unterschied in der Belästigungswirkung der verschiedenen Geräuschquellen wird besonders krass, wenn der Anteil in der Bevölkerung betrachtet wird, der sich von Lärm stark belästigt fühlt (Abb. 2). Die Dominanz des Verkehrslärms wird hier besonders deutlich. Die Muster der Verteilung sind aber immer noch sehr ähnlich, lediglich das Jahr 2004 hat hier im Vergleich zu Abb. 1 im Verlauf der Jahre die geringsten Werte.

Anteil der Bevölkerung, der angibt, von Lärm stark belästigt zu werden

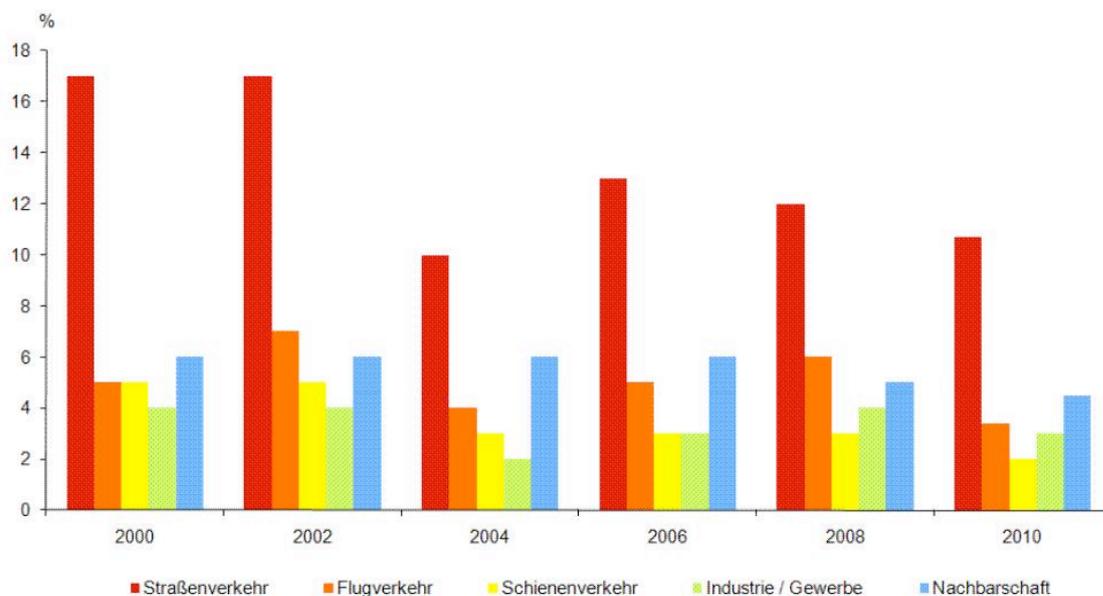


Abb. 2: Starke Belästigung durch Umweltlärm durch verschiedene Lärmquellen im Zeitraum 2000 bis 2010 für die Bundesrepublik Deutschland (Umweltbundesamt 2010)

2.3 Direkte und indirekte Lärmwirkungen

Die Verarbeitung von akustischen Informationen erstreckt sich neben der direkten Wirkung auf das Gehör (aurale Lärmwirkung) und damit der Abbildung des Gehörten in der Hörrinde im Sinne von Hören und Verstehen, auch auf zahlreiche Wirkungen in anderen Bereichen des menschlichen

Organismus, 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

Das subjektive Erleben von Lärm kann über zentralnervöse Prozesse zu einem inadäquaten neuro-endokrinen Reaktionsmuster und ggf. zu Erkrankungen führen, die durch lang anhaltende Regulationsstörungen ausgelöst oder gefördert werden. Durch Untersuchungen im Rahmen der paneuropäischen LARES-Studie (Large Analysis and Review of European housing and health Status), in welcher der Zusammenhang alltäglicher Lärmbelastigungen in der Wohnumgebung mit ärztlich diagnostizierten Erkrankungen ausgewertet wurde, konnte bei Vorliegen einer chronisch erhöhten Lärmbelastigung ein erhöhtes Risiko für Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems, des Bewegungsapparates und ebenso hinsichtlich Depressionen und Migräne nachgewiesen werden (Niemann et al. 2005).

2.3.1 Aurale Lärmwirkungen

Als Folge der Einwirkung hoher Schallpegel kann das Gehör direkt Schaden nehmen. Die aurale Hörschädigung äußert sich mit zunehmender Schädigung als:

- Erhöhung der Hörschwelle (temporary threshold shift, permanent threshold shift)
- Verzerrung der Sprachwahrnehmung (Recruitment, leise Töne werden nicht mehr gehört Lautheitsausgleich bei Erreichen der Hörschwelle)
- Störungen des Richtungshörens
- Störungen des Frequenzempfindens (c^5 -Senke)
- Tinnitus
- Beeinträchtigung der Sprachverständlichkeit bei angehobenem Hintergrundpegel
- gesellschaftliche Isolation

Eine temporäre Hörschwellenverschiebung (temporary threshold shift, TTS) tritt bereits nach kurzer

Expositionsdauer mit Schalldruckpegeln >85 dB(A) ein. Sie kann als Hörmüdung verstanden werden und ist noch reversibel. Sie ist an einer Hörminderung um 5 bis 20 dB(A) erkennbar und bildet sich innerhalb von Stunden bis Tagen vollständig zurück. Die Dauer der Normalisierung der Hörschwelle ist hierbei abhängig vom Ausmaß der temporären Hörschwellenverschiebung. Besteht eine chronische Exposition gegenüber hohem Schalldruckpegel von >85 dB(A) über Jahre hinweg und täglich für mehrere Stunden, so führt dies zu einer bleibenden und irreversiblen Schädigung des Gehörs (permanent threshold shift, PTS), was dann als Lärmschwerhörigkeit bezeichnet wird. Die Lärmschwerhörigkeit ist:

- nach fortgesetzter persönlicher Lärmexposition gegenüber Tages-Lärmexpositionspegeln >85 dB(A) (ohne entsprechende Lärmpausen) mit bestimmter statistisch relevanter Wahrscheinlichkeit zu erwarten.
- weder behandelbar noch rückbildungsfähig, da sie auf einer Degeneration der für das Hören verantwortlichen Haarzellen im Innenohr beruht.
- seit Jahrzehnten die am häufigste anerkannte Berufskrankheit.
- beginnt als Hochtonschwerhörigkeit um 4 kHz und dehnt sich auf die benachbarten Frequenzen aus, betrifft später die mittleren Frequenzen im Sprachbereich.

Die Schädigung der Haarzellen lässt sich nicht mehr rückgängig machen. Je höher die Schallintensität, desto geringer ist die für eine bleibende Schädigung erforderliche Einwirkungszeit. Bei Einwirkung sehr hoher Schallpegel können die Haarzellen verwirbeln, verklumpen und sogar ausgerissen werden. Besonders gefährlich sind Impulsgeräusche oder Knalle. So genügt beispielsweise ein einmaliger Spitzenschalldruckpegel $L_{pC,peak}$ von etwa 150 dB(C), um innerhalb von weniger als 1 s das Gehör irreversibel zu schädigen.

2.3.2 Extraaurale Lärmwirkungen

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich im Wesentlichen mit den vegetativen und den psychologischen Lärmwirkungen. Über die Miterregung vegetativer Areale im Hypothalamus kommt es zu zahlreichen physiologischen Reaktionen, die sich als akute Lärmwirkungen zuverlässig nachweisen lassen. Hauptvermittler dieser Reaktionen ist das sympathische Nervensystem. Diese sogenannten vegetativen Reaktionen sind gut bekannt und werden schon seit Ende der 20er Jahre des vergangenen Jahrhunderts systematisch und mit immer besser werdender Technik erforscht. Sie werden aufgrund ihres Musters auch als Stressreaktionen bezeichnet. Im Prinzip verlaufen sie immer gleich. Beispielfhaft seien hier genannt:

- Blutdruckanstieg
- Pupillenerweiterung
- Ausschüttung von Katecholaminen
- verminderte Magensaft- und Speichelproduktion
- Anstieg der Atem- und Herzfrequenz
- Veränderungen des Hirnstrombildes
- Erhöhung des Muskeltonus
- Erhöhung des elektrischen Hautwiderstands
- Verminderung der peripheren Durchblutung durch Vasokonstriktion 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. Betrachtet man diese Reaktionen in ihrer gesamten Wirkung, so wird deutlich, dass sich diese sympathisch vermittelten Reaktionen nahezu am ganzen Körper nachweisen lassen.

Diese Reaktionen sind nicht lärmspezifisch, sondern gehören zum klassischen Reaktionsmuster des Körpers auf äußere und auch innere Reize. Zur Entstehung extraauraler Wirkungen durch Lärm bedarf es deutlich geringerer Schalldruckpegel als für aurale Lärmwirkungen, die erst ab Schalldruckpegeln von mehr als 85 dB(A) entstehen. Vegetative Reaktionen machen sich schon ab Schalldruckpegeln > 65 bis 70 dB(A) bemerkbar.

Die Wirkungen auf die Psyche sind ebenfalls vielfältiger Art. Hierzu gehören:

- Belästigung, Gestörtheit
- Stress, Nervosität
- Niedergeschlagenheit
- Leistungsbeeinträchtigung
- Verärgerung
- Psychosomatische Symptome
- Aufmerksamkeits- und Konzentrationsverlust
- Abnahme der manuellen Geschicklichkeit
- Beeinträchtigung der Handlungsregulation
- Fehlerhäufung

Die Wirkungen auf die Psyche werden in der psychologischen Lärmforschung am häufigsten über Fragebögen untersucht. Neben den vegetativen und psychologischen Reaktionen auf Lärm exis-

tieren zudem weitere Auswirkungen, die in Tabelle 2 zusammengefasst sind. Die sozialen und ökonomischen Lärmwirkungen waren allerdings nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Tab. 2: Auswirkungen von Lärm (Quelle: Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU) 2011)

Soziale Lärmwirkungen	Ökonomische Lärmwirkungen
Erschwerte Kommunikation	Sinkende Miet- und Immobilienpreise
Lärmflucht	Wachsende Lärmschutzkosten
Förderung der Vereinzelung	Vermehrte Gesundheitskosten
Aggressivität	Arbeitsausfälle
soziale Entmischung	Erhöhte Kosten durch Klangraumgestaltung

2.4 Verbundprojekt SVEN

Im Rahmen des EU-Förderprogramms „Competitive and Sustainable Growth“ wurde das Verbundprojekt SVEN (Sound Quality of Vehicle Exterior Noise) mit sieben Projektpartnern aus den Bereichen Akustik, Psychologie, Medizin, Technik und Automobilkonstruktion aus fünf Ländern durchgeführt.

Wie schon im Abschnitt 1.2 angedeutet, bestand das Ziel des Projektes darin, nach Möglichkeiten zur Verbesserung der Geräuschqualität für Pkw-Außengeräusche zu suchen. Dabei sollte das Konzept der „Sound Quality“, das sich bislang auf Geräusche im Pkw-Innenraum erstreckte, auf Pkw-Außengeräusche angewandt werden. Aufgabe des Instituts für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der HHU Düsseldorf als einem der an diesem Projekt beteiligten Partner war es, das subjektive Phänomen der erlebten Geräuschqualität mit psychoakustischen und psychophysiologischen Methoden zu beschreiben.

In früheren Untersuchungen (Schwarze et al. 1993) hatte sich bereits gezeigt, dass physiologische Kennwerte der peripheren Durchblutung oder der Hautleitfähigkeit sehr differenzierte Reaktionen von Versuchspersonen aufzeigen können, wenn Geräuschreize gleicher Lautstärke, aber mit unterschiedlichen akustischen Merkmalen verglichen werden.

Das Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der HHU Düsseldorf ging in der ersten Versuchsreihe (SVEN 1) der Aufgabe nach, anhand von Straßenverkehrslärm weitere adäquate

psychophysiologische Deskriptoren der erlebten Geräuschqualitäten zu ermitteln und so eine wirkungsbezogene Beurteilung der Geräusche zu ermöglichen (Notbohm et al. 2002, 2003a, Zodrow 2005, Schönewolf 2006).

In der zweiten Versuchsreihe (SVEN 2) stand die psychophysiologische Bewertung von einzelnen Pkw-Vorbeifahrgeräuschen im Vordergrund (Notbohm et al 2003b, Talimi 2005). Die gewählte Schallintensität von 83 dB (A) in beiden Arbeiten von SVEN sicherte deutliche physiologische Reaktionen, u. a. beim Vergleich von Vorbeifahrgeräuschen unterschiedlicher Fahrzeuge (wie Mittelklassewagen mit Benzin- oder Dieselmotor) in verschiedenen Betriebszuständen.

In der dritten Projektphase (SVEN 3) stand die Überprüfung des in SVEN 1 und SVEN 2 entwickelten Konzepts im Vordergrund (Gärtner et al. 2003, Röttges 2008). Hier wurden serienmäßige Pkw-Vorbeifahrgeräusche, deren Geräuschqualität mit technischen Methoden nachträglich verschlechtert wurde, verwendet und im Hinblick auf ihre psychophysiologische Bewertung analysiert. Zur subjektiven Geräuschbewertung wurde im Rahmen des Projekts ein standardisierter Fragebogen entwickelt, der in Anhang 1 wiedergegeben ist.

In diesen Laborstudien wurde gezeigt, dass bereits leichte Veränderungen von Pkw-Vorbeifahrgeräuschen im Sinne einer veränderten Sound Quality zu deutlichen Unterschieden in den Reaktionen von jungen männlichen Versuchspersonen führen können. In den meisten Fällen konnte festgestellt werden, dass sich die physiologischen Reaktionen auf Geräusche und deren subjektive Bewertungen kongruent verhielten. Geräusche, die negativer bewertet wurden, lösten parallel dazu auch stärkere physiologische Reaktionen aus. Hier war also die höhere physiologische Aktivierung mit negativen subjektiven Bewertungen verbunden. Allerdings fielen die physiologischen und psychologischen Reaktionen nicht bei allen Geräuschen gleichsinnig aus: In einigen Fällen wurde das aktivierendere, also stärkere physiologische Reaktionen hervorrufende Geräusch jedoch deutlich positiv bewertet. Als mögliche Ursache wurde angenommen, dass die jungen, männlichen Probanden, die an diesen Untersuchungen teilnahmen, eine besondere Affinität zu kraftvollen Motorgeräuschen (Autotypen oder Fahrsituationen mit hoher persönlicher Wertigkeit, z. B. Sportwagen) haben, wobei davon ausgegangen werden kann, dass diese bei jungen Männern stärker ausgeprägt ist als bei älteren oder weiblichen Versuchspersonen.

2.5 Projekt der Europäischen Forschungsvereinigung für Umwelt und Gesundheit im Transportsektor e.V. (EUGT)

Die Europäische Forschungsvereinigung für Umwelt und Gesundheit im Transportsektor e.V. (EUGT) hat es sich zur Aufgabe gemacht, Aus- und Wechselwirkungen zwischen Emissionen,

Immissionen und Gesundheit intensiver zu untersuchen und mit dadurch gewonnenen Erkenntnissen Möglichkeiten und Wege zu finden, potentielle gesundheitliche Risiken und Folgeschäden zu verhindern. Hierzu gehören auch die Auswirkungen und Wechselwirkungen von im alltäglichen Straßenverkehr durch Kraftfahrzeuge entstehenden akustischen Emissionen und Immissionen. Besonders bedeutsam ist in diesem Zusammenhang der Aspekt, dass sich die physiologischen und die psychologischen Reaktionen auf Lärm unterschiedlich auf Männer und Frauen auswirken und sich zudem mit dem Alter verändern können. Dieser Zielsetzung der EUGT entsprechend wurde vom Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der HHU Düsseldorf ein von der EUGT gefördertes Forschungsprojekt durchgeführt, in dem speziell die geschlechts- und altersspezifischen Reaktionen in verschiedenen Probandengruppen untersucht wurden.

3 FRAGESTELLUNG

Die Grundlage der in der vorliegenden Untersuchung durchgeführten Versuche bildet das obengenannte Forschungsprojekt der EUGT. Ausgangspunkt der Experimente war die Hypothese, dass Pkw-Geräusche alters- und geschlechtsabhängig unterschiedlich bewertet werden. Hierbei lag der Schwerpunkt auf geschlechtsspezifischen Unterschieden in der physiologischen Reaktion auf verschiedene Geräusche und deren subjektiver Beurteilung durch die Probanden: Nach den Ergebnissen des SVEN-Projektes gibt es in den meisten Versuchssituationen mit jungen männlichen Probanden einen Zusammenhang zwischen negativer subjektiver Beurteilung und stärkeren physiologischen Reaktionen. Pkw-Geräusche, die eher mit Kraft und Sportlichkeit assoziiert wurden, waren jedoch die Ausnahme. Daraus wurde gefolgert, dass der isolierte Einsatz von jungen männlichen Probanden nicht ausreicht, um die Bandbreite an möglichen menschlichen Reaktionsmustern zu erfassen.

In der vorliegenden Untersuchung sollten also – anders als bei zuvor durchgeführten Untersuchungen (Talimi 2005, Zodrow 2005, Schönewolf 2006, Röttges 2008), an denen bislang lediglich junge Männer teilnahmen – sowohl männliche als auch weibliche Versuchspersonen verschiedenen Alters (20 bis 30 Jahre und 40 bis 55 Jahre) teilnehmen. Mit einem ähnlichen Versuchsdesign wie in SVEN 3 (Gärtner et al. 2003, Röttges 2008) sollte geprüft werden, ob es als Antwort auf Pkw-Vorbeifahrgeräusche unterschiedliche physiologische Reaktionen und subjektive Bewertungen zwischen jüngeren/älteren Frauen und jüngeren/älteren Männern gibt und ob sich spezifische Muster erkennen lassen.

Die vorliegende Arbeit konzentrierte sich auf die im Experiment erhobenen physiologischen Parameter (siehe folgendes Kapitel) und die subjektiven Geräuschbeurteilungen.

Darüber hinausgehende Analysen, in welchem Maße etwaige persönliche Vorerfahrungen und Einstellungen in Bezug auf die dargebotenen Geräusche einen Einfluss auf die Qualität der physiologischen Antwortreaktion haben können, werden anderorts dargestellt (Notbohm et al. 2011a, 2011b).

4 **PHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN**

4.1 **Physiologische Messparameter**

Im Folgenden werden die in der Untersuchung erhobenen Parameter dargestellt.

- **Fingerpulsamplitude (FPA):** Sie kann als Maß der peripheren Durchblutung aus der Puls-oxymetrie abgeleitet werden. Sie gilt als sensitiver Indikator für Lärmwirkungen und hat sich zudem in psychoakustischen Fragestellungen bewährt (Schwarze et al. 1993).
- **Elektrodermale Aktivität (EDA):** Seit langem gut erforscht stellt sie einen wichtigen Parameter in der Psychophysiologie dar, der deutlich in Zusammenhang mit psychischen Prozessen steht und somit als zuverlässiger Indikator für psychische Aktivierung anzusehen ist.
- **Herzratenvariabilität (HRV):** Sie wird aus dem klassischen Elektrokardiogramm hergeleitet und hat in den vergangenen Jahren auch in der Arbeitsmedizin zunehmend an Relevanz gewonnen (Böckelmann et al. 2008).

Die FPA und die EDA sind – wie die Untersuchungen in den SVEN-Projekten (siehe Kap. 2.4) zeigten, aber auch Untersuchungen zur gehörrichtigen Wiedergabe von Industrieräuschen (Schwarze et al. 1997) – verlässliche Deskriptoren im Sinne der psychophysiologischen Reaktion eines Organismus auf einen externen Stimulus. Sie sind in der Lage, sowohl die Aktivierung des vegetativen Nervensystems als auch subtile Änderungen in der Geräuschqualität abzubilden. Für die HRV liegen für ihren Einsatz in Kurzzeit-Lärmexperimenten bisher keine gesicherten Erkenntnisse vor. Da die HRV ebenso wie die FPA und die EDA durch Einflüsse des vegetativen Nervensystems modifiziert wird, sollte im vorliegenden Untersuchungsdesign geprüft werden, ob sich dieser Parameter auch für unsere Lärmexperimente im Labor eignet.

4.1.1 **Pulsoxymetrie**

4.1.1.1 **Grundlagen**

Mit Hilfe der Pulsoxymetrie ist es möglich, sowohl die periphere arterielle Sauerstoffsättigung (S_{pO_2} arteriell) als auch indirekt die Herzfrequenz in vivo kontinuierlich auf nicht invasivem Wege zu erfassen. Hierzu bedient man sich eines Messensors, der auf der einen Seite aus zwei Licht emittierenden Dioden als Lichtquelle und gegenüberliegend aus einem dieses Licht empfangenden Photodetektor besteht.

Die Applikation des Sensors an der Fingerbeere ist die Methode der Wahl (Abb. 3). Alternativ lassen sich auch Ohrfläppchen oder einzelne Fußzehen verwenden. Bei Kindern tritt das Licht sogar durch die ganze Hand oder den Fuß (Eberhardt & Schäfer 2005).

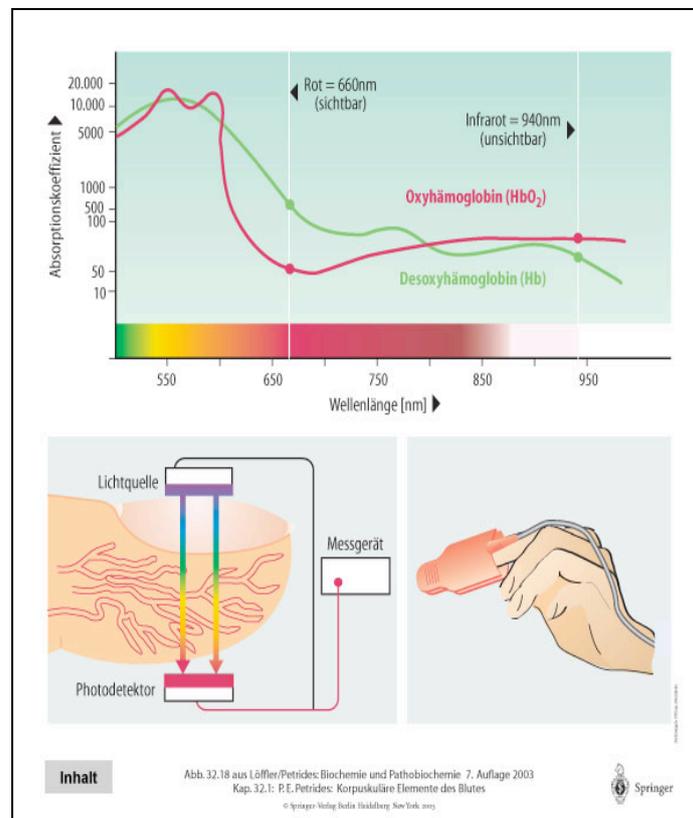


Abb. 3: Bestimmung der Sauerstoffsättigung über die Pulsoxymetrie. *Oben:* Messung des Oxy- und Desoxyhämoglobin-Gehaltes im Rot- und Infrarotbereich. *Unten:* Prinzip der Messung (Quelle: Löffler & Petrides 2003)

Das bei der Pulsoxymetrie verwendete Licht entstammt dem Rotlichtspektrum (660 nm, sichtbar) und dem Infrarotspektrum (940 nm, unsichtbar). Licht dieser Wellenlängen wird wechselweise von den Dioden ausgesandt und mit einem Photodetektor wird deren Absorption im kapillarisierten Gewebe bestimmt.

Die Grundlage des Verfahrens bildet das unterschiedliche spektrale Absorptionsverhalten von oxygeniertem (Oxyhämoglobin) und desoxygeniertem Hämoglobin (Desoxyhämoglobin). Rotes Licht wird von Oxyhämoglobin weniger stark resorbiert als von Desoxyhämoglobin, für den infraroten Bereich und das betreffende Licht gilt entsprechend Umgekehrtes. Die Lichtabsorption ist beim Durchgang durch Knochen, Bänder, Gewebe sowie venöses Blut zeitlich konstant. Erst durch den arteriellen Blutstrom im Kapillarbett des Fingers wird der entscheidende pulsatile Anteil generiert, der als Erkennungsmerkmal für die Detektion des arteriellen Blutanteiles bedeutsam ist.

Durch diese pulsatilen Volumenänderungen variiert die durch das arterielle Blut hervorgerufene Absorption des Lichtes. Der zeitlich veränderliche Anteil der Absorption wird elektronisch herausgefiltert und mit den bekannten Absorptionskurven der beiden Wellenlängen für oxygeniertes und desoxygeniertes Hämoglobin verglichen. Aus dem Verhältnis der Absorption von rotem und infrarotem Licht kann dann die Sauerstoffsättigung des Blutes computergestützt errechnet werden (Löffler & Petrides 2003). Der errechnete Wert wird in Prozent angegeben und liegt beim Gesunden üblicherweise zwischen 96 und 100 %.

4.1.1.2 Die Pulsoxymetrie und ihre Eignung zur Erfassung der peripheren Durchblutung als Fingerpulsamplitude

Die Fingerpulsamplitude dient zur Erfassung der Wirkung von endogenen und exogenen Stimuli auf das vegetative Nervensystem. Sie gilt schon seit vielen Jahrzehnten als Standardparameter in der Erforschung von Lärmwirkungen. Ursprünglich wurde sie als plethysmographische Größe mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen erfasst (Jansen 1967 und 1980). Sie entsteht als intravasale Pulswelle und ist abhängig von Blutdruckamplitude, arteriellem Mitteldruck, elastischer Gefäßspannung, Kontraktionszustand der muskulären Gefäßwand und venösem Abfluss (Jansen et al. 1981). Änderungen der Fingerpulsamplitude im Lärmexperiment werden hauptsächlich durch Änderungen des Kontraktionszustandes der muskulären Gefäßwand hervorgerufen, die ihrerseits vom vegetativen Nervensystem beeinflusst werden. Als Ausdruck einer sympathischen Aktivierung führt Lärm im peripheren Kreislauf nämlich zu einer Vasokonstriktion, die sich bis in die kleinen Gefäße auswirkt.

Die Reaktionen der FPA auf Lärm können ab einer bestimmten Höhe des Schallpegels (60-70 dB(A)) regelmäßig und zuverlässig ausgelöst werden. Sie lassen sich auch im Schlaf (ohne Weckreaktion) bei etwa 10 bis 15 dB(A) geringeren Pegeln hervorrufen (Rehm et al. 1985). Sie sind unabhängig von der psychischen Situation oder von der Einstellung zur Geräuschquelle (Jansen et al. 1980). Ihre Abhängigkeit von der elastischen Gefäßspannung hat allerdings zur Folge, dass die Größe der FPA-Reaktion eine deutliche Altersabhängigkeit aufweist (Gros & Rehm 1980).

Die in dieser Untersuchung verwendete Fingerpulsamplitude lässt sich ähnlich der Pulsfrequenz sehr elegant als Nebenprodukt aus der Pulsoxymetrie ermitteln. Die beiden Antagonisten Sympathikus und Parasympathikus bilden gemeinsam das vegetative Nervensystem: Sie kontrollieren und koordinieren diejenigen Funktionen und Funktionseinheiten, die das innere Milieu des Körpers an die internen und externen Belastungen anpassen, denen der menschliche Organismus ausgesetzt ist (Schmidt et al. 2004). Das kutane Gefäßsystem nimmt in dieser Hinsicht

jedoch eine Sonderstellung ein, da es ausschließlich durch sympathische Erregung reguliert wird. Bezogen auf die Fingerpulsamplitude ist die vom Sympathikus getragene Vasomotorik diejenige Stellgröße, die die Veränderungen in der Peripherie generiert. Schon im Ruhezustand herrscht ein sympathikotoner Dauertonus. Bei einer Sympathikusaktivierung kommt es zur Vasokonstriktion und in der Folge zu einer verminderten Durchblutung des betreffenden Gefäßgebietes.

Die Pulsoxymetrie ermöglicht auch die Messung der Pulsfrequenz, also der Anzahl der Pulswellen pro Minute, die meist mit der Herzfrequenz übereinstimmt. Diese ergibt sich aus den systolischen pulsatilen Anteilen, die mit dem Sensor detektiert werden können. Durch den systolischen Blutauswurf des Herzmuskels entstehen Druck- und Volumenschwankungen, die als Pulswellen in ihrer Fortleitungsgeschwindigkeit von der Dehnbarkeit des durchströmten Blutgefäßes abhängen. Die Dehnbarkeit der für die Fingerpulsamplitude relevanten kutanen Gefäße hängt unter anderem mit der sympathischen Tonisierung des Gefäßes zusammen. Die Perfusion dieser Gefäße ist in der Systole erhöht und resultiert in einer Volumenvergrößerung. In der Diastole wird das Gefäßbett der Fingerbeere im Sinne einer Volumenverkleinerung weniger stark perfundiert. Die Differenz aus systolischem maximalem Blutvolumen und diastolischem minimalem Blutvolumen innerhalb eines Herzzyklus bezeichnet man als Pulsvolumen und entspricht der Fingerpulsamplitude.

Die Fingerpulsamplitude kann demnach zur Bestimmung von sympathischer Aktivität im vegetativen Nervensystem herangezogen werden. Im Zuge der Belastung durch Lärm reagiert der menschliche Organismus mit einer Konstriktion der Gefäße, welche zu einer Verringerung der vasalen Dehnbarkeit führt, aus der dann wiederum eine Verkleinerung der Fingerpulsamplitude resultiert. Abb. 4 veranschaulicht diese Amplitudenabnahme.

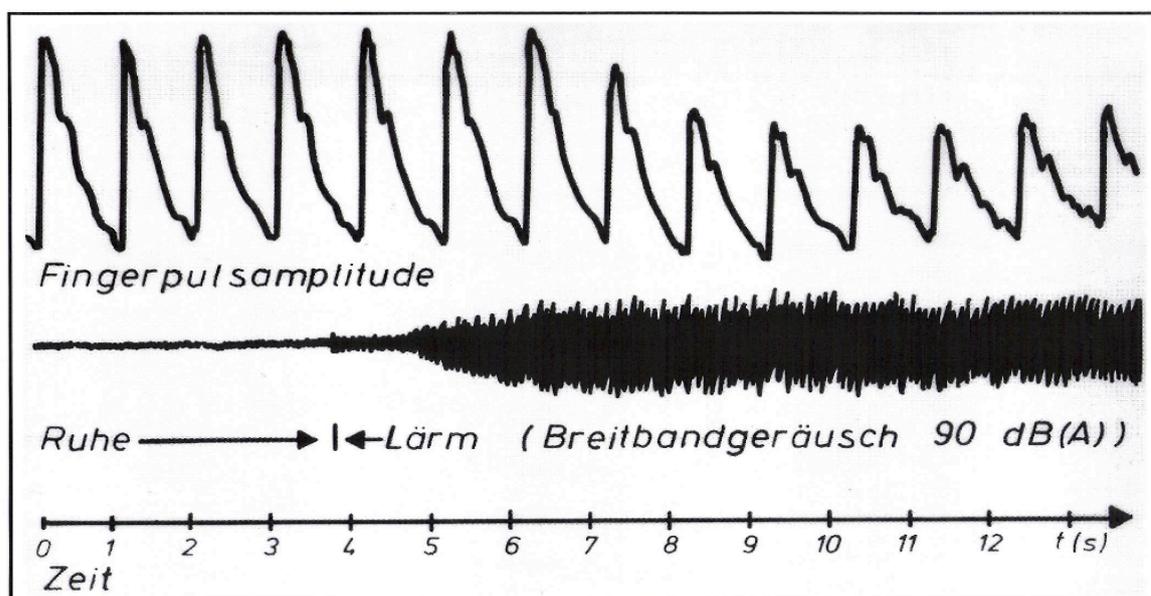


Abb. 4: Verlauf der Fingerpulsamplitude in Ruhe und bei Lärm (Quelle: Jansen 1989)

4.1.1.3 Praktische Anwendung und Beispiele

Die Pulsoxymetrie bietet zahlreiche Vorteile, die ihren Einsatz begünstigen:

- Sie findet breite Anwendung in der Anästhesiologie, hier vor allem in der Intensivmedizin und wird standardmäßig zur Narkoseeinleitung und für das Monitoring einer solchen angewandt.
- Sie eignet sich sehr gut zur Überwachung kleinerer Eingriffe bei Anwendung kreislaufwirksamer Medikamente (z. B. Midazolam-Kurznaarkose im Rahmen einer Knochenmarkbiopsie).
- Sie findet Anwendung bei sportphysiologischen Untersuchungen.
- Sie ist beim pulsoxymetrischen Screening in der Neonatologie und in der Geburtshilfe sehr hilfreich, da sie den Patienten wenig belastet.
- Im Bereich des Höhenbergsteigens werden immer öfter Pulsoxymeter verwendet, um eine drohende Höhenkrankheit frühzeitig zu erkennen (Bärtsch 1997).
- In der Sportfliegerei wird die Pulsoxymetrie bei Flügen in großen Höhen erfolgreich eingesetzt, um durch Selbstkontrolle eine drohende Hypoxie frühzeitig erkennen zu können.

4.1.1.4 Artefakte

Allerdings sind auch einige potentielle Messfehler und Störfaktoren zu beachten, die zu Messfehlern führen können:

- Nagellack führt nachweislich zu Lichtinterferenzen und ist daher vor der Messung vom Nagel zu entfernen. Besonders kritisch sind hierbei blaue, grüne und schwarze Lacke, während hingegen roter oder purpurfarbener Nagellack keinerlei Verfälschung auszulösen vermag (Eberhardt & Schäfer 2005).
- Je nach verwendetem Gerät führen auch künstliche Fingernägel aus Acryl zu Messungenauigkeiten.
- Im Zustand verminderter peripherer kapillärer Perfusion durch Vasokonstriktion bei Hypothermie oder Hypovolämie nimmt die Präzision der Messung deutlich ab (Eberhardt & Schäfer 2005).
- Bewegungen im Bereich des Sensors (Eberhardt & Schäfer 2005) oder bei mechanischem Stoß führen zu Artefakten.
- Durch die Bindung von Kohlenmonoxid (CO) an Hämoglobin (Hb) entsteht Kohlenmonoxid-Hämoglobin (COHb). Dieses wird durch das Pulsoxymeter nicht erfasst, d. h. der Messwert suggeriert einen normalen Hb-Wert, obwohl ein Teil des Hb durch CO blockiert und damit falsch hoch angezeigt wird. Dies ist vor allem bei älteren konventionellen Puls-

oxymetern möglich. Neuere, sogenannte 7-Wellen-Pulsoxymeter sind jedoch in der Lage, den COHb-Anteil zu detektieren und so herauszurechnen, dass es dadurch nicht zu fälschlicherweise erhöhten Werten kommt. Physiologischerweise besteht am Gesamt-Hb ein COHb-Anteil von bis zu 1 %. Einen erhöhten COHb-Anteil im Blut findet man beispielsweise bei starken Rauchern (5 bis 15 % des Gesamt-Hb), da bei der unvollständigen Verbrennung organischer Stoffe CO entsteht.

- Infrarotwärmelampen, erhöhte Methämoglobin-Werte in Normoxie, Methylenblau oder aber eine Onychomykose resultieren in falsch-niedrige Sauerstoffsättigungsraten.

4.1.2 Elektrodermale Aktivität

4.1.2.1 Grundlagen

Der Begriff "Angstschweiß" beschreibt ein Phänomen, welches in den Kontext von Zuständen höchster psychischer Erregung einzuordnen ist. Die Haut des Menschen scheidet in solchen Situationen Schweiß aus. Hiermit verbundene Veränderungen auf der Haut lassen sich als Hautpotentialänderungen nachweisen. Das Ausmaß allgemeiner Aktivierung, also der physiologischen Aktiviertheit oder Wachheit des Menschen, kann besonders eindeutig in Beziehung zur elektrodermalen Aktivität gesetzt werden, jedoch ohne eine Aussage zu den zu Grunde liegenden Emotionen zu machen.

Für das bessere Verständnis des Parameters der elektrodermalen Aktivität – im Folgenden auch als Hautleitfähigkeit bezeichnet - muss näher auf das hierfür zuständige Organsystem als deren distalem Abschnitt eingegangen werden, nämlich auf die Haut.

Die Haut (lat: Cutis) ist mit 1,5 bis 2,0 m² das größte, mit annähernd 10 kg Masse das schwerste und bezüglich ihrer Funktionen das vielseitigste menschliche Organ. Ihre Dicke schwankt abhängig von der Körperregion zwischen 1 mm und 4 mm. Man unterscheidet die Leistenhaut von der Felderhaut, wobei erstere lediglich an den Fingern, den Palmarflächen der Hände und den Plantarflächen der Füße, letztere dagegen am gesamten übrigen Körper zu finden ist.

Mikroskopisch findet sich eine Dreigliederung der Haut (Abb. 5): Sie besteht aus einem epithelialen Anteil, der sogenannten Oberhaut oder Epidermis und zwei darunterliegenden bindegewebigen Anteilen, der Lederhaut, auch Dermis oder Corium genannt, und der Unterhaut (Subcutis), welche zusammen mit der Lederhaut die Cutis bildet.

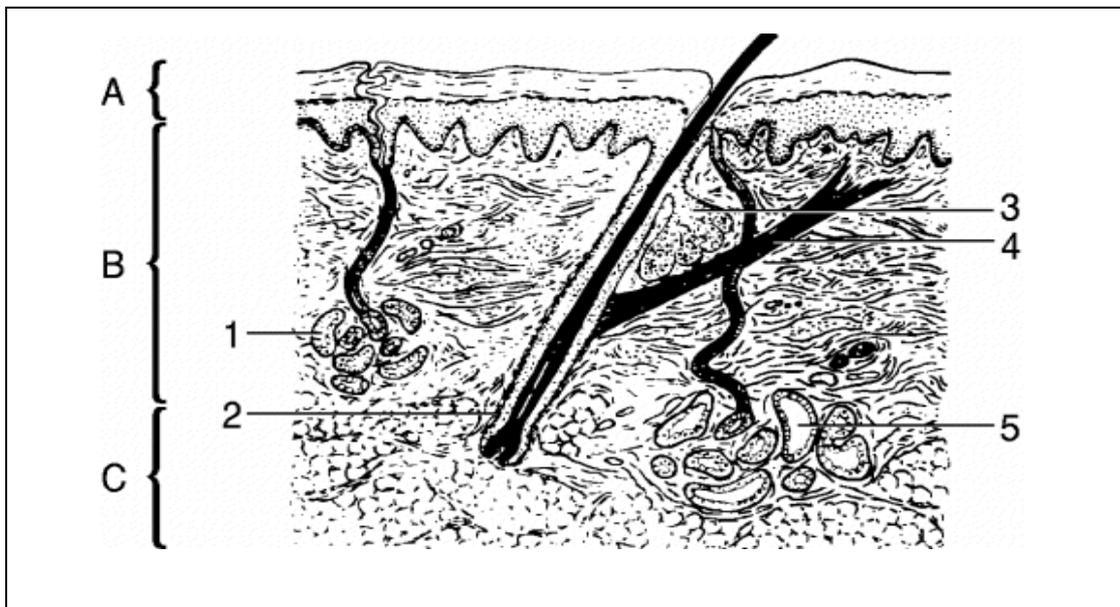


Abb. 5: Aufbau der Haut: Epidermis (A), Corium (B), Cutis (A+B), ekkrine Schweißdrüsen (1), Haartasche mit Haar (2), Talgdrüse (3), Musculus arrector pili (4), apokrine Schweißdrüsen (5), (Quelle: Pschyrembel 2004)

Die für die elektrodermale Aktivität entscheidende Hautschicht ist die Epidermis, die sich wiederum in fünf Schichten (von außen nach innen: Stratum corneum - Stratum lucidum - Stratum granulosum - Stratum spinosum - Stratum basale) gliedern lässt. Die darunter liegende Lederhaut besteht dagegen nur aus zwei Schichten, dem Stratum papillare, das direkt an die Epidermis grenzt, und dem grobfaserigen Stratum reticulare, welches die Stabilität der Lederhaut maßgeblich bedingt.

Ebenfalls wichtig für die Hautleitfähigkeit ist die Subcutis, in der sich zahlreiche Hautanhangsgebilde wie Haarbälge sowie die Talg- und Schweißdrüsen befinden. Bei letzteren unterscheidet man die Schweißdrüsen vom ekkrinen Typ - auch Knäueldrüsen genannt - von den Schweißdrüsen des apokrinen Typs, den sogenannten Duftdrüsen. In beiden Fällen handelt es sich um unverzweigte, tubuläre Einzeldrüsen, wobei die ekkrinen Schweißdrüsen ubiquitär, die apokrinen Schweißdrüsen aber nur in bestimmten Körperregionen (axillär, genital, perianal) vorkommen und vor allem die Funktion von Duftdrüsen einnehmen. Die Endstücke der Schweißdrüsen befinden sich in der Subcutis und ihre oft stark gewundenen Ausführungsgänge ziehen durch das Korium, wobei die Gänge der ekkrinen Drüsen an der Hautoberfläche münden, während die Gänge vom apokrinen Drüsentyp meist - wie auch die Gänge der Talgdrüsen - in Haarfollikel einmünden.

Die aus emotionspsychologischer Perspektive wichtigen ekkrinen Drüsen überwiegen plantar und palmar und stehen neben der Thermoregulation mit emotionalem Schwitzen in Zusammenhang (Fowles 1986). Hierunter versteht man die bei starker psychischer Anspannung in Verbindung mit einer Vasokonstriktion der Hautgefäße auftretende Schweißsekretion, eben an den palmaren und

plantaren Flächen der Extremitäten, jenen Regionen, in denen die ekkrinen Schweißdrüsen überwiegend angesiedelt sind. Damit kann aber auch eine verstärkte Sekretion der apokrinen Schweißdrüsen assoziiert sein (Schmidt et al. 2004).

Die Funktion der etwa 2 - 4 Millionen Schweißdrüsen, die ein Mensch besitzt (Fritsch & Kühnel 2005), besteht in erster Linie in der Temperaturregulation. Bei der Verdunstung von Wasser wird dem Körper Wärmeenergie entzogen, die Folge ist eine Abkühlung. Des Weiteren trägt die chemische Zusammensetzung des Schweißsekretes maßgeblich zur Abwehrfunktion der Haut gegen Krankheitserreger bei ("Säureschutzmantel der Haut"). Das Sekret der Schweißdrüsen ist in seiner Zusammensetzung von zahlreichen Faktoren abhängig, wie beispielsweise der Konstitution des Individuums, der Umgebungstemperatur, der Arbeit oder aber der Ernährung.

Im Allgemeinen finden sich im Schweiß neben einem Hauptanteil von 99 % Wasser Natriumionen (45 mmol/l) und Chloridionen (58 mmol/l), in geringerer Konzentration auch Kaliumionen (5-9 mmol/l). Daneben finden sich zudem Harnstoff, Harnsäure, langkettige Fettsäuren, Aminosäuren, Ammoniak, Glukose, Laktat, Ascorbinsäure und Cholesterin im Schweiß. In Ruhe verliert der Mensch durch die perspiratio insensibilis etwa 0,6 bis 1 l Flüssigkeit am Tag, davon etwa 0,2 bis 0,4 l über die Haut und 0,4 bis 0,6 l über die Lunge (Larsen 2004, S. 821f). Während körperlicher Arbeit wird mit Hilfe der Schweißdrüsen (perspiratio sensibilis / Transpiration) eine Flüssigkeitsabgabe von bis zu 2 l/h möglich.

Die Haut hat eine Vielfalt von Funktionen:

- **Barrierefunktion:** Sie hilft dem Organismus, die Integrität gegenüber der Umwelt zu wahren, indem sie vor mechanischer, chemischer oder thermischer Schädigung von außen, vor Krankheitserregern und vor Strahleneinwirkung (durch Melaninpigmenteinlagerung in den Basalzellen des Stratum basale der Epidermis) schützt. Die Barrierefunktion reguliert den Wasserhaushalt und kann im Rahmen der Flüssigkeitsbilanzierung den Organismus vor lebensbedrohlichen Flüssigkeitsverlusten bewahren. Umgekehrt kann sie bei einer Überwärmung zumindest teilweise durch Abgabe von Wärme mittels Schweißsekretion den Organismus schützen (die Variation der Hautdurchblutung trägt ebenfalls hierzu bei). Das sogenannte thermoregulatorische Schwitzen wird beim Menschen von cholinergen sympathischen Nervenfasern gesteuert und spielt im Rahmen der evaporativen Wärmeabgabe (Verdunstung) bei hoher Umgebungstemperatur eine entscheidende Rolle (Schmidt et al. 2004).
- **Sinnesfunktion:** Sie ermöglicht die Wahrnehmung mechanischer und thermischer Reize sowie die Nozizeption (Schmerzwahrnehmung)

- **Kommunikationsfunktion:** Einerseits ist die Haut in vielen Lebenslagen ein Spiegel des Gemüts und kann etwa verraten, ob ein Mensch erfreut oder verärgert, beschämt oder angespannt ist (Brosig & Gieler 2004), andererseits löst der Mensch über als Pheromone bezeichnete Duftstoffe beim Gegenüber auf unbewusster Ebene Gefühle von Sympathie oder aber Antipathie aus, weshalb man diese Art der Kommunikation auch als biochemische Kommunikation betrachten kann.
- **Stoffwechselfunktion:** Sie dient einerseits der Bildung von Vitamin D unter UV-Licht-Einfluss, andererseits über die Schweißdrüsen der Ausscheidung verschiedener (oft toxischer) Stoffe.

Die Schweißdrüsen unterliegen einer rein sympathischen Kontrolle. Als Folge der Sympathikusaktivierung - bedingt durch körperliche Leistungssteigerung oder in Zuständen erhöhter psychischer Erregung - wie beispielsweise in Angst, Panik oder in Schreckmomenten - kommt es zu einer Sekretionssteigerung in den Schweißdrüsen. Die ekkrinen Drüsen sind cholinerg innerviert, machen sich also im Rahmen der Signalübertragung den Transmitter Acetylcholin zu Nutze, während die apokrinen Schweißdrüsen adrenerg innerviert sind und somit durch die Botenstoffe Adrenalin und Noradrenalin gesteuert werden.

Bei der Bestimmung der Hautleitfähigkeit können eine Reihe von Artefakten, die bei Verwendung dieser Messgröße besonders beachtet werden müssen, die Messungen verfälschen:

- Bei einer tiefen Inspiration, durch Husten, Räuspern oder aber auch bei Anhalten des Atems nach einer Einatmung kann es zu einer phasischen Erhöhung des Hautleitwertes kommen,
- Artefakte durch Bewegung und Sprechen,
- Spontanfluktuationen,
- Hypohidrose oder Anhidrose: Menschen mit stark verminderter oder gar fehlender Schweißsekretion,
- Waschen der Hände mit Wasser und Seife vor dem Versuch führt zu einem Aufquellen der Haut am Ableitort und damit einhergehend zu einer Verringerung der Leitfähigkeit.

4.1.2.2 Terminologie der elektrodermalen Aktivität (EDA)

Die elektrodermale Aktivität (EDA) ist der Oberbegriff für jegliche tonische oder phasische elektrische Phänomene der Haut, unabhängig davon, ob es sich um eine endosomatische oder exosomatische Messung handelt (Burk 2005). Im Zusammenhang mit der elektrodermalen Aktivität

gebräuchliche Begriffe wurden von Schandry (1998) beschrieben. Sie werden in dieser Arbeit nur zum Teil verwendet (Tab. 3).

Tab. 3: Übersicht über die Terminologie der Elektrodermalen Aktivität (nach Schandry 1998)

EDA	electrodermal activity	elektrodermale Aktivität
SCL	skin conductance level	Hautleitfähigkeitsniveau
SCR	skin conductance response	Hautleitfähigkeitsreaktion
SRL	skin resistance level	Hautwiderstandsniveau
SRR	skin resistance response	Hautwiderstandsreaktion
SPL	skin potential level	Hautpotentialniveau
SPR	skin potential response	Hautpotentialreaktion

Schandry (1998) unterscheidet endosomatische und exosomatische Biosignale. Endosomatische oder körpereigene Biosignale (SPL und SPR) sind in der Praxis von eher untergeordneter Bedeutung. In der modernen Literatur finden praktisch nur noch das Hautleitfähigkeitsniveau (SCL) und die Hautleitfähigkeitsreaktion (SCR) Verwendung. Diese Signale des Hautleitwertes ("skin conductance", SCL und SCR) lassen sich nur durch Zufuhr elektrischer Energie von außen ableiten. Die Hautleitfähigkeit ist somit ein exosomatisches Biosignal. Die Parameter SRL und SRR werden wegen ihrer Nichtlinearität nur sehr selten verwendet. In der vorliegenden Arbeit wird in Übereinstimmung mit den früheren SVEN-Studien das Hautleitfähigkeitsniveau (SCL) gemessen.

4.1.2.3 **Messung der elektrodermalen Aktivität**

Nach dem Ohm'schen Gesetz gilt:

$$U = R \times I \quad (\text{Spannung} = \text{Widerstand} \times \text{Strom})$$

Die Spannung U verhält sich reziprok zum Leitwert G, der folgendermaßen definiert ist:

$$G = I/U \quad (\text{Leitwert} = \text{Strom} / \text{Spannung})$$

Somit ergibt sich eine direkte Proportionalität zwischen dem gemessenen Strom und dem gesuchten Leitwert. Dass die Schweißdrüsen mit ihrem Sekret, dem Schweiß, eine zentrale Rolle für die elektrodermale Aktivität spielen, ist bereits mehrfach erwähnt worden. Schweiß ist eine elektrisch hervorragend leitende Flüssigkeit. In Versuchen zeigte sich, dass eine Veränderung des Leitwertes bereits vor Austritt des Schweißes zu verzeichnen ist (Schandry 1998). Es kommt bei einer Durchfeuchtung der Oberhaut zu einer drastischen Zunahme des Hautleitwertes. Man geht davon aus, dass die Schweißdrüsengänge im Bereich der Epidermis besonders wasserdurchlässig sind.

Darüber hinaus trägt ein weiterer Mechanismus zur Veränderung des Hautleitwerts bei, nämlich die Anzahl der mit Schweiß gefüllten Drüsenausführungsgänge. Je mehr Schweißdrüsen aktiviert sind, desto mehr Gänge bilden einen Leitweg und umso größer wird folglich der Leitwert.

Die Maßeinheit für den Leitwert ist nach dem Standardisierungsvorschlag von Venables und Christie (1973) das Siemens (abgekürzt S). Da 1 S ein sehr hoher, unphysiologischer Leitwert ist, wird in der Praxis die Einheit μS ($1 \mu\text{S} = 10^{-6} \text{S} = 1/1.000.000 \text{S}$) verwendet.

In der Regel werden wiederverwendbare Elektroden eingesetzt, deren Fläche etwa 1 cm^2 beträgt und die nach Reinigung der Haut mit Alkohol mittels Kleberingen auf der Haut fixiert werden. Eine isotonische Elektrodenpaste sichert die elektrische Verbindung zwischen Haut und Elektrode. Zusätzlich werden die Elektroden mit Klebestreifen fixiert, um einem Verrutschen während des Versuches und somit Verfälschungen vorzubeugen. Die Messung wird – wie auch üblicherweise praktiziert – an der Innenseite der linken Hand vorgenommen, wobei dies zugleich bei der Mehrzahl der Probanden die nicht-dominante Hand ist. Es werden entweder die mittleren Glieder des Zeige- und Mittelfingers oder Daumen- (Thenar) und/oder Kleinfingerballen (Hypothenar) empfohlen (Venables & Christie 1980). Hier ist die Hornhaut meist dünner ausgeprägt, wodurch die Ableitung präziser wird.

Die Hautleitfähigkeit unterliegt sowohl tonischen als auch phasischen Veränderungen, was messtechnisch zu Problemen führt, da die tonischen Leitwertanteile Werte einer höheren Größenordnung annehmen, während die phasischen Anteile deutlich geringere Werte annehmen können. Wenn möglich, werden die beiden Signal-Anteile auseinander gerechnet und getrennt verarbeitet. Falls eine getrennte Verarbeitung jedoch nicht möglich ist, verwendet man die kombinierte Darstellung. Hierzu wird der Hautleitwert praktisch in zwei Anteile aufgeteilt, einen sich langsam verändernden tonischen Anteil, der als Maß für eine globale Aktiviertheit steht, und einen nur kurz auftretenden phasischen Teil, der als momentane Reaktion auf einen äußeren Reiz zu betrachten ist.

Veränderungen in der Grundlinie, also im Hautleitfähigkeitsniveau (SCL), ergeben sich hauptsächlich durch den Füllungszustand der Schweißdrüsenengänge. Als Reaktion auf einzelne Reize - in dieser Versuchsreihe sind es akustische Reize in Form von Pkw-Geräuschen - treten kurzzeitige Änderungen des Hautleitwertes, sogenannte Hautleitfähigkeitsreaktionen (SCR) auf. Abzugrenzen von diesen Reaktionen sind kurzzeitige Hautleitwerterhöhungen, die regelmäßig ohne äußeren Reiz auftreten und auch als Spontanfluktuationen bezeichnet werden. Der entscheidende Unterschied zu den Hautleitfähigkeitsreaktionen besteht in dem spontanen, reizunabhängigen Auftreten. Meist erkennt man Spontanfluktuationen an einer stärkeren negativen Veränderung des Hautleitwertes im Vergleich zu den Reaktionen auf äußere Reize.

Zur Beschreibung der Hautleitfähigkeitsreaktion bieten sich verschiedene Parameter an, unter anderem die Latenzzeit, die Anstiegszeit, die Gipfelzeit und die Erholungszeit. Am gebräuchlichsten ist die Höhe der Reaktion, also die Amplitude.

4.1.2.4 Anwendungsgebiete

Die Hautleitfähigkeit steigt unter erhöhter Aktivität ekkriner Schweißdrüsen an und ist als klassischer Parameter neben weiteren Markern wie Puls, Atmung und Blutdruck eine valide Methode zur Erfassung der psychophysiologischen Aktivierung. Die Registrierung der elektrodermalen Aktivität wird zusammen mit den eben genannten unter anderem in der forensischen Psychophysiologie angewendet (Rill 2001). Fachsprachlich wird diese Methode als Polygraphie bezeichnet, umgangssprachlich ist sie unter dem Begriff „Lügendetektion“ bekannt, des wohl populärsten Einsatzgebietes der Hautleitfähigkeit, sei es im kriminologischen Bereich zum Zwecke der Prüfung einer Tatbeteiligung oder bei Bewerbungsgesprächen bzw. im Bereich des Personal-Screenings, bei dem das Personal hinsichtlich seiner Loyalität gegenüber dem Arbeitgeber untersucht wird. Anhand der Reaktionen einer untersuchten Person auf eine Reihe von Kontrollfragen und darunter eingestreuten relevanten Fragen kann dem Untersucher eine Einschätzung der Glaubwürdigkeit der betreffenden Person gelingen. Allerdings zeigt die EDA im Wesentlichen die emotionale Beteiligung an, sagt also nichts darüber aus, ob die Person tatsächlich lügt oder nur sehr aufgeregt ist und Angst davor hat, etwas Falsches zu sagen. Im deutschen Rechtswesen ist die EDA als „Lügendetektor“ deshalb nicht zugelassen (BGH 1998).

4.1.3 Herzratenvariabilität

4.1.3.1 Grundlagen

Die Herzfrequenz (HF) unterliegt der Modulation des vegetativen Nervensystems, welches aus dem Sympathikus und seinem funktionellen Antagonisten, dem Parasympathikus, besteht. Der sympathische Anteil des Vegetativums bewirkt eine positive Chronotropie. Durch seine Aktivierung erhöht sich die HF. Die Aktivierung des Parasympathikus resultiert in einer negativen Chronotropie.

Die HF beschreibt die Anzahl der Kontraktionen des Herzmuskels pro Zeiteinheit. Am häufigsten ist die Angabe der Schläge pro Minute. Die Zeit zwischen zwei Herzschlägen innerhalb dieser Minute ist keineswegs konstant, sondern unterliegt Schwankungen, die auf innere und äußere Einflüsse zurückgehen. Der Abstand von einem zum darauffolgenden Herzschlag (Interbeatintervall)

ist demnach nicht gleich lang. Diese Variation der zeitlichen Abstände bezeichnet man als Herzratenvariabilität, im Folgenden als HRV abgekürzt.

Das Zustandekommen der HRV beruht auf der Modulation der HF durch das vegetative Nervensystem, also auf dem Zusammenspiel von Sympathikus und Parasympathikus. Diese kontrollieren zur Aufrechterhaltung der inneren Homöostase die Vitalfunktionen Herzschlag, Atmung, Blutdruck, Verdauung und Stoffwechsel. Der Sympathikus bewirkt insgesamt eine Ergotropie des Organismus: Er versetzt den Körper in erhöhte Leistungsbereitschaft, bereitet ihn auf Angriff oder Flucht oder andere außergewöhnliche Anstrengungen vor (Stichwort Stressreaktion). Demgegenüber dominiert der trophotrope Parasympathikus in Ruhe- und Erholungsphasen. Er wirkt aktivierend auf die Organe des Verdauungssystems und entlastet das Herz. Über diese beiden Hauptaktivierungszustände strebt der Organismus einen Balancezustand zwischen sympathikotoner (= ergotroper) und parasympathikotoner (= trophotroper) Aktivierung an, der als Zustand tonischer Aktivierung bezeichnet wird.

Die HRV ist Ausdruck eines stetigen Adaptionsvorganges, dem das Herz als Reaktion auf wechselnde endogene und exogene Reize unterliegt. Die HRV beschreibt die Fähigkeit des Organismus, angemessen auf wechselnde innere und äußere Belastungen zu reagieren. Dabei spricht eine große HRV für eine gute Adaptionsfähigkeit, während eine geringe HRV bei einer geringen Adaptionsfähigkeit beobachtet wird.

4.1.3.2 Anwendungsgebiete und Erfassungsverfahren

Die Herzratenvariabilität erfreut sich einer zunehmenden Beliebtheit und wird innerhalb verschiedener Anwendungsbereiche genutzt. Eine simple, aber eindrucksvolle Darstellung der Bedeutung der HRV für wissenschaftliche und medizinische Zwecke mag die Eingabe des Stichwortes "heart rate variability" in die Suchfunktion der Datenbank "PubMed" geben. Hier finden sich heute gegenüber dem Jahr 2001 schon mehr als doppelt so viele Publikationen – nämlich nahezu 12.000 – die sich mit dieser Größe beschäftigen. Aufgrund ihrer relativ simplen Messung und (scheinbar) einfachen Auswertung hat sie sich auch schon einen festen Platz in der Nutztierforschung erobert (z. B. Borell et al. 2007).

Einen schnellen Überblick über Bedeutung, Messung und Interpretation der HRV gibt die Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin (Pfister et al. 2006). Hier wird sehr detailliert dargestellt, welche unterschiedlichen Erfassungsverfahren der HRV angewendet werden und welche Anwendungsmöglichkeiten es z.B. auch in der Arbeitsmedizin gibt.

Im Prinzip lassen sich zwei verschiedene Anwendungsgebiete unterscheiden:

Zum einen wird die Messung der HRV in Ruhe als Basiswert zur Beurteilung des Gesundheitszustands verwendet wie z. B. im klinischen Bereich zur Risikostratifizierung und Gesundheitsprognose (u. a. bei Erkrankungen, bei denen das autonome Nervensystem mitbeteiligt ist, wie bei Diabetes mellitus oder Myokardinfarkt) oder in der rehabilitativen Medizin für Zwecke der Prognose- und Leistungsobjektivierung, in der Stressmedizin, Psychophysiologie (HRV-Biofeedback) oder auch zur Erfassung neurotoxischer Belastungen (Breithardt et al. 1995, Henriques et al. 2011, Soydan 2007, Soydan et al. 2005, Böckelmann et al. 2008). Die HRV ist eine stabile, reproduzierbare Größe (European Society of Cardiology 1996). Sie wird für derartige Fragestellungen vorzugsweise im 24-Std-EKG ermittelt. Allerdings konnten Haas et al. (2000) sowie Kang et al. (2004) aufzeigen, dass für die Ermittlung der HRV in Ruhe bei Postinfarktpatienten bzw. bei Patienten mit metabolischem Syndrom auch schon Aufzeichnungen über 5 min reliable Werte liefern.

Zum anderen wird die Messung der HRV meist zusammen mit anderen Messgrößen wie Blutdruck und Herzfrequenz als kurzfristig situationsveränderlicher Parameter verwendet, um die Beeinflussung physiologischer Reaktionen des autonomen Nervensystems durch externe Stimuli wie z. B. Stress, körperliche Belastung oder Tauchen unter verschiedenen Bedingungen zu untersuchen (Schipke & Pelzer 2001, Alvarsson et al. 2010, Bürklein et al. 2005). Als Messdauer werden für die experimentelle Anwendung je nach Autor etwa 3 bis 6 min Registrierung unter Exposition empfohlen (Schipke et al. 1999, Pelzer et al. 1995).

Für die Auswertung der HRV bieten sich zwei verschiedene Strategien an. Im Allgemeinen wird zwischen einem Zeitbereich (time domain) und einem Frequenzbereich (frequency domain) unterschieden (European Society of Cardiology 1996). Obwohl in der vorliegenden Studie nur Messgrößen aus dem Zeitbereich verwendet werden, werden der Vollständigkeit halber in dieser Übersicht beide Bereiche kurz vorgestellt:

- Zeitbereich (time domain)

Im Zeitbereich existieren diverse Rhythmusmaße, deren gemeinsame Berechnungsbasis der Abstand zweier benachbarter R-Zacken (NN-Abstände genannt) im Elektrokardiogramm bildet. Gebräuchliche Maße sind unter anderem:

- SDNN (Standardabweichung aller NN-Abstände): Je größer die SDNN, desto größer ist der Variabilität aller NN-Abstände. Sie wird als Standardabweichung eines Mittelwerts einer Zeitperiode berechnet und unterliegt deshalb auch Einflüssen der Zeitperiode (Strümpell 2007). Diese Größe spiegelt eher Langzeit-Einflüsse wieder. Sie repräsentiert in Analogie zum LF-Band eine Mischung aus sympathikotonen und parasympathikotonen Anteilen.

- rMSSD (Quadratwurzel des quadratischen Mittelwertes der Summe aller Differenzen zwischen benachbarten NN-Abständen): Diese Größe misst beat-to-beat Differenzen, sie reagiert deshalb besser als die SDNN auf kurzfristige Beeinflussungen der HRV, sie wird in Analogie zum HF-Band, mit dem sie hoch korreliert, hauptsächlich vom Parasympathikus beeinflusst, sie gilt als relativ stabile Größe und eignet sich daher sehr gut für den klinischen Einsatz.

Diese beiden Maße aus der time domain werden auch in dieser Arbeit verwendet, da sie sich speziell für kurze Messzeiten eignen.

- Frequenzbereich (frequency domain)

Ausgangspunkt für die Definition der frequency domain ist die Beobachtung, dass der HRV bestimmte Schwingungsmuster zugrunde liegen können, die sich in verschiedenen Frequenzbereichen manifestieren. Mit Hilfe der schnellen Fourier-Transformation werden aus der scheinbar stochastisch verlaufenden NN-Abfolge harmonische Schwingungen extrahiert, die in unterschiedlicher Weise von verschiedenen physiologischen Generatoren erzeugt werden. Die am häufigsten untersuchten Frequenzparameter sind die nachfolgenden:

- LF-Band (oder B-Band; low frequency band bei 0,04 - 0,15 Hertz)
- HF-Band (oder C-Band: high frequency band bei 0,15 – 0,4 Hertz)
- LF/HF-Quotient

Das LF-Band wird von beiden Anteilen des Vegetativums determiniert, wohingegen das HF-Band mit dem vagalen Anteil in Zusammenhang steht. Der LF/HF-Quotient spiegelt dementsprechend die sympathiko-vagale Balance wider.

Voraussetzung für die Auswertung der HRV mit Kriterien der frequency domain ist die Quasi-stationarität (Pfister et al. 2006). Damit scheidet sie für die Anwendung im experimentellen Bereich mit relativ schnellen Belastungsänderungen aus. In der vorliegenden Untersuchung kommt deshalb nur die Auswertung im Zeitbereich in Frage, da die Veränderungen der HRV in relativ kurzen Belastungsabschnitten untersucht werden sollen. Die Forderung nach einer Verlängerung der Belastungszeiten auf mehr als 2 min ließ sich in der vorliegenden Studie nicht verwirklichen. Aufgrund der Anzahl der applizierten Lärmstimuli konnte die HRV nur jeweils abschnittsweise über 2 min registriert werden, da der Versuch insgesamt sonst unzumutbar lange gedauert hätte (s. Kap. 5). Experimente, mit denen die Wirkungen von Lärm auf das vegetative Nervensystem untersucht werden, werden schon seit den 1930er Jahren durchgeführt (vgl. (Schwarze 1991). In diesen Untersuchungen konnte aufgezeigt werden, dass sich mit den eingesetzten Lärmstimuli regelmäßig und zuverlässig sympathikotone Reaktionen auslösen lassen. Da die HRV ebenfalls von Einflüssen des vegetativen Nervensystems abhängt, sollte probatorisch geklärt werden, ob und

inwieweit sie sich überhaupt als Parameter zur Erfassung zentralnervöser Stimulation in Lärmexperimenten eignet und damit für zukünftige Studien eine einfache, reliable und mit geringem Aufwand zu erfassende Meßgröße darstellen könnte.

4.1.3.3 Einflussfaktoren und Störgrößen

Die HRV zeigt intra- und interindividuell erhebliche Streuungen. Es gibt zwar Studien, die Normwerte für SDNN und rMSSD für größere Kollektive präsentieren (zitiert in Strümpell 2007, S. 21), diese sind aber nur dann sinnvoll verwertbar, wenn über einen längeren Zeitraum (z. B. 24 Std.) aufgezeichnet wurde. Die Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology führt hierzu aus (European Society of Cardiology 1996): Je kürzer das Auswertungsintervall, desto geringer wird die SDNN, da die Zykluslängen immer kleiner werden. Außerdem nimmt mit der Dauer der Aufzeichnung die Gesamtvarianz der HRV zu. Nimmt man mehr oder weniger zufällig ausgewählte EKG-Aufzeichnungen, so stellt man fest, dass die SDNN aufgrund ihrer Abhängigkeit von der Dauer der Registrierung keine gut definierte statistische Größe ist. Es macht deshalb in der Praxis keinen Sinn, SDNN-Messwerte von Aufzeichnungen mit unterschiedlicher Länge miteinander zu vergleichen. Als Konsequenz wird vorgeschlagen, die Registrierung der HRV zu standardisieren (z. B. 24 Std. oder bei Kurzzeitregistrierungen 5 min.) Da außerdem damit zu rechnen ist, dass sich die HRV mit dem Lebensalter ändert (s. u.), ist es nicht zielführend, HRV-Messwerte von verschiedenen Studien miteinander zu vergleichen. Wenn nur wenige Versuchspersonen an den Experimenten teilnehmen und das Studienkollektiv zudem nur Probanden aus einer ausgewählten Population enthält, z. B. nur junge Menschen oder nur ältere Patienten, können die Messbereiche für SDNN und rMSSD ganz unterschiedliche Größenordnungen aufweisen (Agelink et al. 2001). Darüber hinaus muss eine penible Artefaktkontrolle erfolgen, da die Werte sonst stark verzerrt werden (Pfister et al. 2006).

Wie fast alle physiologischen Messgrößen unterliegt auch die HRV in sensibelster Weise verschiedenen Einflüssen. Folgende Confounder müssen allerdings bei der Verwendung der HRV im Rahmen jeglicher Untersuchungen beachtet werden (Pfister et al. 2006):

- **Geschlecht:** Hier führen der geschlechtsspezifische Hormonhaushalt und die anatomische Herzgröße direkt zu Unterschieden in der HF und somit - jedoch nur bedingt einheitlich - zu Unterschieden in der HRV. Während manche Parameter der HRV fast gänzlich unbeeinflusst bleiben (z. B. Werte der time domain), werden vor allem Parameter des Frequenzbereiches (LF-Band, HF-Band, LF/HF-Quotient) stärker moduliert, weshalb bei Verwendung dieses Bereiches eine geschlechtsdifferenzierte Auswertung angestrebt werden sollte.

- **Alter:** Während Kinder mit einem altersentsprechend vornehmlich sympathikotonen Tonus eine geringe HRV zeigen, weist der junge Erwachsene mit einem vagalen Tonus eine sehr ausgeprägte HRV auf (“Luxus-Variabilität” des Herzrhythmus). Mit zunehmendem Alter nimmt die HRV ab.
- **Gesundheitszustand:** Da die HRV als Spiegel der sympathiko-vagalen Balance des vegetativen Nervensystems zu bewerten ist, gehen Störungen des Vegetativums erwartungsgemäß mit Änderungen der HRV einher. Als klassisches Beispiel sei hier die autonome diabetische Neuropathie im Rahmen eines manifesten Diabetes mellitus erwähnt, die das vegetative Nervensystem affiziert und neben vielen anderen Schädigungen eine verminderte HRV bis hin zur Frequenzstarre bewirkt.
- **Trainingszustand:** Die HRV bei ausdauertrainierten Menschen ist wegen des vergrößerten Herzens und der begleitenden Bradykardie deutlich ausgeprägt. Dieser Umstand ist zu beachten, wenn Gruppen untersucht werden, in denen sich der Trainingszustand der Probanden deutlich unterscheidet.
- **Tageszeit:** Hier unterscheidet man grob den vor allem nachts dominierenden trophotropen Zustand mit vagaler Betonung vom ergotropen Zustand mit sympathikotoner Betonung. Untersuchungen sollten demnach immer zur gleichen Tageszeit erfolgen.

Umgebungseinflüsse und psychische und physische Faktoren beeinflussen ebenfalls die HRV und gehen zum Teil in die Analyse ein oder treten als Störgrößen auf. Medikamente wie vor allem anticholinerge Pharmaka (z. B. Antidepressiva) können die HRV einschränken. An weiteren Modulatoren seien im Rahmen von Beruf oder Freizeit vorkommende neurotoxische Stoffe (z. B. Blei) genannt (Böckelmann et al. 2008). Des Weiteren können Alkohol und andere Drogen, aber auch bestimmte Atemformen, Körperlage und körperliche Belastung modulierend auf die HRV wirken.

Zuletzt sei noch die interindividuelle Prägung der HRV erwähnt: zwischen den beiden Polen des Vegetativums, dem vagalen Typ (“Vagotoniker”) und dem sympathikotonen Typ (“Sympathikotoniker”) befindet sich für gewöhnlich das Herzrhythmusverhalten des Einzelnen. Es verschiebt sich altersunabhängig aufgrund endogener und exogener Bedingungen.

4.1.3.4 **Herzratenvariabilität in Studien**

Böckelmann, Maier und Pfister vom Institut für Arbeitsmedizin der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg untersuchten in Zusammenarbeit mit dem Polizeiärztlichen Dienst Magdeburg bei Schießausbildern die Auswirkungen der beruflichen Bleibelastung auf das vegetative Nervensystem (Böckelmann et al. 2008). Dabei sollte der Einfluss der Bleiexposition auf die HRV untersucht werden, um diese als einen möglichen Indikator für eine neurotoxische Frühschädigung durch Blei

im Hinblick auf die Prävention nutzen zu können. Der Untersuchung lag die Hypothese zugrunde, dass eine längere Bleibelastung eine veränderte vegetative Tonuslage durch Schädigung des kardialen Vaguszweiges zur Folge habe und demnach also eine verminderte HRV resultiere. Hierzu wurde eine Gruppe von bleiexponierten Schießausbildern (n=10) einer Gruppe von nicht-bleiexponierten Mitarbeitern des Polizeiärztlichen Dienstes (n=10) gegenübergestellt. Um den Nachweis bleiinduzierter neurotoxischer Früheffekte zu erbringen, wurden die Probanden einer drei Phasen umfassenden psychophysiologischen Untersuchung (5 min Ruhe, 20 min Provokation und 5 min Erholung) unterzogen, in der über psychometrische und psychologische Tests (z. B. Zahlengedächtnistest) die Beanspruchungsdaten ermittelt wurden. Bei diesen Beanspruchungsdaten lag der Fokus neben der HF auf der HRV. Verwendete HRV-Parameter entstammten dem Zeit- (SDNN & rMSSD) und dem Frequenzbereich (LF-Band, HF-Band & LF/HF-Quotient). Diese wurden während der beiden 5-min Untersuchungsphasen aufgenommen. Aufgrund der Ergebnisse kommen die Autoren zu dem Resultat, dass die HRV bei bleibelasteten Personen eingeschränkt ist.

In einem wesentlich größeren Rahmen untersuchten Böckelmann et al. (2002) die Auswirkungen einer Blei- und Lösemittelexposition auf das vegetative Nervensystem, wobei abermals die eingeschränkte HRV als Marker einer neurotoxischen Schädigung herangezogen wurde. Hier wurde also der Frage nachgegangen, ob eine langfristige, berufliche Schadstoffbelastung die HRV einschränken kann. Die insgesamt drei Gruppen waren relativ groß (115 bleiexponierte Personen, 101 lösemittel-exponierte Personen vs. 98 Kontrollpersonen). Die Gruppen wurden sowohl im Querschnitt als auch im Längsschnitt miteinander verglichen. Unter mentaler Belastung wurde ein Langzeit-EKG registriert. Die Herzrhythmusanalyse fand im Zeit-, im Frequenz- und im Phasenbereich statt. Basierend auf den Ergebnissen im Längsschnittbereich – namentlich die statistisch signifikante HRV-Reduktion – wird von den Autoren empfohlen, das Herzrhythmusverhalten als einen Marker für eine neurotoxische Frühschädigung zu verwenden.

Soydan et al. (2005) untersuchten den Effekt der hyperinsulinämischen Hypoglykämie auf die kardiovaskuläre autonome Funktion bei Probanden mit bekanntem Diabetes mellitus Typ 1 im Vergleich zu nicht-diabetischen Probanden. Hierzu wurde die HRV erfasst. Die dem Zeitbereich zugeschriebenen Parameter SDNN und rMSSD wurden während einer normoglykämischen und während einer darauf folgenden insulininduzierten hypoglykämischen Phase ermittelt. Zudem wurden die Zykluslänge des Sinusrhythmus sowie der Adrenalinpiegel im Blut bestimmt. Die Zykluslänge nahm während Hypoglykämie in beiden Gruppen signifikant ab, außerdem stieg insbesondere in der Diabetesgruppe der Adrenalinpiegel deutlich an. Dieses Ergebnis signalisiert demzufolge eine insgesamt gesteigerte adrenerge Aktivierung. Signifikant reduziert war die rMSSD in der Diabetesgruppe, in der auch schon unter normoglykämischen Verhältnissen die HRV reduziert war.

Der in der Diabetesgruppe unter 100 ms liegende Wert wird als Indikator einer eingeschränkten HRV angesehen, bei einem Wert unter 50 ms wird von einer Hochrisikogruppe gesprochen.

Zu ähnlichen Schlussfolgerungen kommen Kleiger et al. (1987) sowie La Rovere et al. (1998). Sowohl die chronische Aktivierung der sympathischen Funktion als auch die Verminderung der parasympathischen Funktion sind mit einer erhöhten kardiovaskulären Mortalität assoziiert. Die HRV lässt sich somit im Rahmen einer diabetischen autonomen Neuropathie als Prognoseparameter oder Indikator für eine erhöhte Mortalität heranziehen. In einer weiteren Untersuchung wird der Stellenwert der HRV bezüglich der Langzeit-Mortalität nach überlebtem akutem Myokardinfarkt dargestellt (Soydan 2007). Zusammen mit weiteren Prädiktoren – Alter und erniedrigter linksventrikulärer Ejektionsfraktion – könnte diesem Parameter große Bedeutung zukommen, so dass in der Studie eine weitere Evaluierung dieses prognostischen Markers empfohlen wird.

5 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND METHODE

5.1 Bedingungen für die Teilnahme am Versuch

Die Anwerbung der Probanden erfolgte für die jüngeren Versuchspersonen mit Hilfe eines Aushanges innerhalb der HHU Düsseldorf. Die älteren Personen wurden über eine Pressemitteilung in der größten Düsseldorfer Tageszeitung angesprochen. Im Aushang und in der Pressemitteilung wurde darum gebeten, sich bei Interesse an einer Teilnahme telefonisch im Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der HHU zu melden. Bei dieser Gelegenheit konnte bereits über Einschluss- und Ausschlusskriterien gesprochen werden. Lagen keine Gründe gegen die Teilnahme vor, wurde die Person zum Versuchstermin eingeladen.

Die Teilnahme am Versuch wurde an nachfolgende Bedingungen geknüpft, die entweder schon im Telefoninterview oder beim ersten Termin überprüft wurden:

- gute Deutschkenntnisse
- normale Hörfähigkeit
- Nichtraucher
- kein Anhalt für kardiovaskuläre Erkrankungen
- kein Hypertonus
- kein übermäßiger Konsum von Alkohol oder Koffein
- aktuell keine Einnahme von Medikamenten
- keine Klaustrophobie (enge Schallkammer!)
- kein Schlafdefizit
- keine aktuelle oder frühere Lärmbelastung

Den Versuchspersonen wurden nach dem ersten Kontaktgespräch eine Einwilligungserklärung, ein Fragebogen zur Lärmempfindlichkeit nach Weinstein (Zimmer & Ellermeier 1997) und ein neu erstellter Fragebogen zur persönlichen Einstellung gegenüber Autos und Autofahren (s. Anhang 2) per Post mit der Bitte zugesendet, diese ausgefüllt zum Versuchstermin mitzubringen.

Bei diesem Termin wurde zunächst per Fragebogen das aktuelle Befinden erfasst, außerdem die aktuelle und frühere Lärmbelastung, der gewohnheitsmäßige und aktuelle Konsum von Genussmitteln und Medikamenten sowie soziodemografische Daten (siehe Anhang 3). Anhang 4 gibt wieder, wie sich die endgültige Stichprobe in diesen Punkten an Hand der Fragebogenergebnisse darstellt.

Anschließend fand eine Tonaudiometrie zur Abklärung einer eventuellen Hörminderung statt. Ausschlusskriterium war eine Hörminderung > 20 dB(A) in einer der Frequenzen 500 Hertz, 1, 2, 4

und 6 Kilohertz. Alle Teilnehmer erhielten eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 50,- €. Zudem wurde für alle Versuchspersonen eine Wegeunfallversicherung abgeschlossen. Vor Beginn der Studie hatte die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät das Studienprotokoll geprüft und keine Bedenken gegen die Durchführung geäußert.

5.2 Darstellung der Stichprobe

Insgesamt 85 Personen im Alter von 20 bis 55 Jahren wurden nach telefonischer Befragung zum Versuch eingeladen. 13 Personen erschienen entweder nicht zum Termin oder sagten kurzfristig ab. Weitere 6 Versuchspersonen wurden nach Durchführung der audiometrischen Untersuchung mangels ausreichender Hörfähigkeit ausgeschlossen, so dass 66 Personen am Versuch teilnahmen.

Es wurden insgesamt vier Probandengruppen mit jüngeren (20 bis 30 Jahre) und älteren (40 bis 55 Jahre) Männern und Frauen zusammengestellt (Tab. 4). In der Gruppe der jüngeren Probanden waren die jungen Männer mit durchschnittlich 25,6 Jahren etwas älter als die jungen Frauen mit durchschnittlich 23,2 Jahren. In der Gruppe der älteren Probanden ergaben sich praktisch keine Altersunterschiede zwischen Männern (47,0 Jahre) und Frauen (46,4 Jahre).

Tab. 4: Zusammensetzung der Stichprobe im Überblick

Alter \ Geschlecht	Alter	
	20 bis 30 Jahre	40 bis 55 Jahre
Männer	n=16	n=17
Frauen	n=17	n=16

Die Versuche fanden im Zeitraum vom 9. Februar 2009 bis zum 13. März 2009 statt. An den Versuchstagen wurden jeweils drei Versuche durchgeführt, wobei ein Versuch mit Vor- und Nachbereitung etwa 3 Stunden in Anspruch nahm.

5.3 Versuchsdurchführung

Nach den geschilderten vorausgehenden Untersuchungen bestand der Versuch aus zwei Teilen:

- Geräuscharbietung und Messung der physiologischen Parameter (FPA, SCL, HRV)

- subjektive Bewertung der dargebotenen Geräusche durch die Versuchsperson mittels der Fragebögen aus dem SVEN-Projekt (s. Anhang 1).

Der Versuch fand in einer schalldichten Kammer im Institut für Experimentelle Psychologie und Arbeitspsychologie der HHU Düsseldorf (Prof. Buchner) statt. Bei der Kammer handelt es sich um einen fensterlosen, leicht abgedunkelten Raum von etwa 8 m² Größe, in den die Versuchsperson nach Abklärung aller Formalitäten und Feststellung der Tauglichkeit geführt wurde. Während des Versuches saß die Versuchsperson in einem bequemen Sessel und wurde für die physiologischen Messungen über Kabel an die Aufnahmegeräte angeschlossen. Während des gesamten Versuches wurde die Versuchsperson vom Versuchsleiter per Videomonitor vom Nachbarräum aus überwacht.

Nach einer Eingewöhnungs- und Ruhezeit von 15 min wurden die unten dargestellten Geräusche (siehe Punkt 5.5) jeweils 2 min lang eingespielt mit 4 min Ruhe nach jedem Geräusch. Diese Versuchsphase dauerte demnach 71 min. Nach einer kurzen Pause wurden alle Geräusche für die subjektive Bewertung noch einmal gekürzt vorgespielt.

5.4 Messung der physiologischen Parameter

Die Versuchsperson verbrachte den gesamten Versuch in sitzender Position. Der Arm mit der Mess-Sensorik ruhte auf einem weichen Kissen. Zudem wurde die Versuchsperson gebeten, sich so hinzusetzen, dass sie diese Position ohne weitere größere Bewegungen – im besten Fall ohne jegliche Bewegung – in den nächsten 75 min beibehalten könnte.

Die Palmarfläche der linken Hand diente zur Erfassung der Hautleitfähigkeit. Die Elektroden wurden mit einem Desinfektionsmittel gereinigt und dann nach Auftragen eines Elektrodengels am Thenar und am Hypothenar angeklebt. Zur Erfassung der Fingerpulsamplitude wurde der Fingerclip des Pulsoxymeters an die Fingerbeere des linken Zeigefingers angelegt. Das EKG zur Bestimmung der HRV wurde konventionell nach Einthoven abgeleitet. Für die Messung des Elektromyogramms wurden Elektroden an der Innenseite des linken Unterarmes angebracht. Dieser Parameter konnte wegen Interferenzen mit der Geräuschwiedergabe nicht ausgewertet werden.

Die physiologischen Signale wurden mit einem Variograf™-Datenrekorder, einem Gerät, das sich in der Arbeitspsychologie und der Stressforschung sehr bewährt hat, erfasst und auf einem daran angeschlossenen PC gespeichert. Die Weiterverarbeitung der Daten wird in Abschn. 5.8 dargestellt.

Die Ergebnisse der Audiometrie und sowie die Messwerte von Blutdruck und Ruhepuls werden im Anhang 5 in Form von Mittelwerten und Standardabweichungen für die gesamte Stichprobe und für die vier Teilgruppen aufgeführt.

5.5 Definition und Klassifikation der Geräusche

Die Geräusche wurden den Versuchspersonen über Kopfhörer und Subwoofer dargeboten. Für alle Geräusche war ein äquivalenter Dauerschallpegel $L_{eq} = 83 \text{ dB(A)}$ vorgegeben. Zwecks Adaptation an die Situation wurde zu Beginn der Geräuscharbietung ein Geräuschpaar (Paar 0) aus Verkehrsgereuschen (Kreisverkehr und Ampelsituation) vorgespielt, welches - anders als die vier darauf folgenden Geräuschpaare, die sich aus Pkw-Einzelgeräuschen zusammensetzen – einer Gesamtverkehrssituation entstammte. Die Adaptation an die Versuchssituation war erforderlich, weil in vorangegangenen Untersuchungen die physiologischen Reaktionen beim ersten Geräusch sehr viel deutlicher ausgefallen waren als bei den nachfolgenden Geräuschen. Dieses Geräuschpaar sollte also eventuelle Schreckreaktionen beim Hören des ersten Geräuschpaares auffangen. Es fand in der späteren Evaluation durch die Versuchsperson keine Berücksichtigung.

Im Verlauf der Geräuschsequenzen waren die Pkw-Geräusche folgender Kraftfahrzeuge zu hören:

- Limousine untere Mittelklasse in der Variante Bremsen-Leerlauf-Anfahren (BLA),
- Limousine obere Mittelklasse in der Variante BLA,
- Limousine obere Mittelklasse in den Varianten 50ORI, 50MOD, 70ORI, 70MOD, BLA (s.u.).

Aus den insgesamt sieben Geräuschvarianten von Pkw-Einzelgeräuschen werden vier Geräuschpaare gebildet, die im Folgenden erläutert und zusätzlich tabellarisch dargestellt werden (Tab. 5):

- Paar 1: serienmäßiges Originalgeräusch eines Dieselmotors (ORI) vs. modifiziertes Dieselmotorgeräusch (MOD) einer Limousine oberer Mittelklasse im zweiten Gang bei Vorbeifahrt mit 50 km/h, d.h. der Fahrer erreicht eine Markierungslinie 10 m vor dem Mikrofon mit dieser Geschwindigkeit und fährt dann mit weiterer Beschleunigung vorbei. Die Modifikation zwischen den beiden Geräuschen bestand in einer 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.
- Paar 2: serienmäßiges Original-Reifengeräusch (ORI) vs. modifiziertes (MOD) Reifengeräusch einer Limousine der oberen Mittelklasse im dritten Gang bei konstant 70 km/h. Die Modifikation bestand in einer Simulation schlechter Reifen durch Mischen des Originalgeräusches mit einem modulierten Signal. Hier ergab sich ebenfalls ein deutlich raueres und schärferes Signal.
- Paar 3: Limousine (untere Mittelklasse, Otto-Motor) vs. Limousine (obere Mittelklasse, Otto-Motor) in der Bedingung BLA.

- Paar 4: Limousine (untere Mittelklasse, Diesel-Motor) vs. Limousine (obere Mittelklasse, Otto-Motor) in der Bedingung BLA.

Tab. 5: Übersicht über die Geräuschpaare

Kodierung	a	b
Paar 0	Kreisverkehr	Ampelsituation
Paar 1	Limousine obere Mittelklasse (ORI, Beschleunigung bei 50 km/h)	Limousine obere Mittelklasse (MOD, Beschleunigung bei 50 km/h)
Paar 2	Limousine obere Mittelklasse (ORI, Vorbeifahrt mit 70 km/h)	Limousine obere Mittelklasse (MOD, Vorbeifahrt 70 km/h)
Paar 3	Limousine untere Mittelklasse, Otto-Motor (BLA)	Limousine obere Mittelklasse, Otto-Motor (BLA)
Paar 4	Limousine untere Mittelklasse, Diesel-Motor (BLA)	Limousine obere Mittelklasse, Otto-Motor (BLA)

5.6 Geräuscharbietung

Aus den insgesamt fünf verschiedenen Geräuschpaaren (Geräuschpaar 0 zur Eingewöhnung, vier Pkw-Geräuschpaare) wurden vier getrennte CDs erstellt, in denen die Pkw-Geräuschpaare randomisiert zu Sequenzen zusammengestellt wurden (Tab. 6). Nach dem Zufallsprinzip wurde jeweils eine Sequenz der Versuchsperson zugeordnet und dann im Versuch vorgespielt.

Tab. 6: Geräuschsequenzen in der Übersicht

Sequenz 1	Sequenz 2	Sequenz 3	Sequenz 4
0a – 0b	0b – 0a	0a – 0b	0b – 0a
3a – 3b	3b – 3a	4a – 4b	4b – 4a
1a – 1b	1b – 1a	2a – 2b	2b – 2a
2a – 2b	2b – 2a	1a – 1b	1b – 1a
4a – 4b	4b – 4a	3a – 3b	3b – 3a

Die Reihenfolge innerhalb eines Geräuschpaares wurde derart gestaltet, dass jedes Geräusch gleich häufig an erster oder an zweiter Stelle zu hören war. Zusätzlich wurde die Position der Geräusch-

paare im Verlauf der Sequenz variiert. Ziel dieser beiden Maßnahmen sollte die Vermeidung von Reihenfolgeeffekten bei den Reaktionen der Versuchspersonen sein.

5.7 Subjektive Geräuschbewertung durch den Probanden

Nachdem die Geräuscharbeitung inklusive der Registrierung der physiologischen Parameter abgeschlossen war, wurden die Versuchspersonen gebeten, die Pkw-Geräusche subjektiv sowohl isoliert als auch vergleichend zu beurteilen und eine Einschätzung ihrer Empfindung auf entsprechenden Fragebögen festzuhalten. Für diese Beurteilungen wurden den Versuchspersonen die Geräusche erneut, aber nur für jeweils 10 s vorgespielt.

Zuerst sollten die Versuchspersonen anhand zweier Fragen beurteilen, wie sie sich beim Hören des Geräusches fühlten und in welchem Maße sie sich durch das Geräusch aktiviert fühlten. Diese Bewertung wurde auf einer Skala mit den Endwerten -4 und +4 beurteilt:

- "Beim Hören des Geräusches fühle ich mich sehr unangenehm" (-4) bis „...sehr angenehm“ (+4),
- "Beim Hören des Geräusches fühle ich mich sehr still/deaktiviert" (-4) bis „...sehr aufgeregt/aktiviert“ (+4).

Ebenso wurde für jedes dargebotene Geräusch eine generelle Bewertung erhoben. Dazu sollte die Aussage „Insgesamt mag ich dieses Geräusch...“ mittels einer 9-stufigen Beurteilungsskala von "überhaupt nicht" (1) bis "in höchstem Maße" (9) vervollständigt werden.

Danach sollte eine konkrete Einschätzung der einzelnen Geräusche mit Hilfe einer Adjektivliste erfolgen, in der die Versuchspersonen ihre Zustimmung zu jedem der 23 Adjektive auf einer neunstufigen Zahlenskala (1 = überhaupt nicht, 9 = in höchstem Maße) markieren sollten.

Schließlich wurde die Versuchsperson gebeten, die eingespielten Geräusche eines Geräuschpaares anhand der Eigenschaften "laut", "belästigend", "gefährlich" und "angenehm" direkt miteinander zu vergleichen und Zutreffendes zu markieren (Tab. 7).

Tab. 7: Der direkte Geräuschvergleich für die Eigenschaft "laut"

Geräusch A viel lauter	Geräusch A etwas lauter	beide gleich laut	Geräusch B etwas lauter	Geräusch B viel lauter
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5.8 Datenverarbeitung und statistische Auswertung

Da sich bei einer Versuchsdauer von 71 min Bewegungsartefakte in den physiologischen Aufzeichnungen oder Störungen an den Messelektroden nicht völlig vermeiden ließen, wurden alle Kurvenverläufe separat optisch und rechnerisch auf Artefakte geprüft. Einzelne Artefakte, die zweifelsfrei keine physiologische Reaktion darstellen konnten, wurden geglättet. Bei größeren Unstimmigkeiten, die zu Zweifeln an der Verwertbarkeit der Registrierung führten, wurden die entsprechenden Datensätze einzelner Personen aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen.

So wurden für die Fingerpulsamplitude die Daten einer älteren Frau nicht verwendet, weil das Pulsoxymeter während der Messung verrutscht war. Die Hautleitfähigkeit war bei einer jüngeren und einer älteren Frau extrem niedrig, weil sich vermutlich die Elektroden gelöst hatten. Auch diese Daten wurden eliminiert. Aus diesen bei physiologischen Messungen üblichen Ausfällen resultierten geringe Schwankungen der Gruppengrößen bei den verschiedenen Parametern.

Bei der HRV-Analyse zeigten sich bei zwei älteren Männern an der Zeitachse gespiegelte EKG-Kurven, die nicht ausgewertet werden konnten (Elektroden vertauscht). Außerdem traten bei einigen Versuchspersonen im EKG gehäuft Extrasystolen auf. Einzelne Extrasystolen wurden geglättet, aber in einigen Fällen (bei 2 jüngeren Frauen, 3 älteren Frauen und 2 älteren Männern) traten so viele Extrasystolen auf, dass die Daten dieser Personen nicht in die HRV-Analyse aufgenommen wurden. Um die Auswirkungen dieses Ausschlusses zu prüfen, wurden die in Kapitel 6.3 dargestellten Analysen im Nachhinein auch inklusive der 7 Versuchspersonen mit Extrasystolen gerechnet. Es ergaben sich nur geringfügige Änderungen für die 4 Teilgruppen. Der methodischen Korrektheit halber werden jedoch die bereinigten Daten vorgestellt.

Zur statistischen Bearbeitung wurden die bereinigten Messwerte in das Softwarepaket SPSS 15 (Statistical Package for the Social Sciences) eingelesen und statistisch ausgewertet. Für die anschauliche Darstellung der Versuchsergebnisse in Form von Grafiken werden im Folgenden meist die Mittelwerte der interessierenden Gruppen oder Variablen dargestellt und ergänzend wird das berechnete Signifikanzniveau der betreffenden Mittelwertunterschiede angegeben. Die tiefer gehende statistische Auswertung der physiologischen Daten und der Fragebogendaten erfolgte mit den üblichen multifaktoriellen statistischen Methoden der Varianz-, Faktoren- und Regressionsanalyse.

Für die physiologischen Daten kam insbesondere die multifaktorielle Varianzanalyse für Messwiederholung (MANOVA) zum Einsatz (siehe Beispiele zur FPA in Abb. 6). Die multifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung ist die Methode der Wahl bei Messreihen, also Veränderungen von Werten über die Zeit.

Sie ermöglicht zum einen Aussagen über Veränderungen der Kurven im zeitlichen Verlauf, wobei sich die Veränderungen über mehr oder weniger lange Abschnitte des Messzeitraums erstrecken können. Zum anderen können mit der MANOVA Unterschiede zwischen verschiedenen Merkmalen, wie z. B. dem Merkmal Gruppe untersucht werden.

Die Varianzanalyse beruht darauf, dass anhand der Mittelwerte und Varianzen verschiedener Variablen oder Stichproben die statistische Wahrscheinlichkeit berechnet wird, dass sich die betreffenden Mittelwerte auf dem gewünschten Signifikanzniveau unterscheiden. Grundlage sind die Veränderungen jeder einzelnen Messreihe über die Zeit.

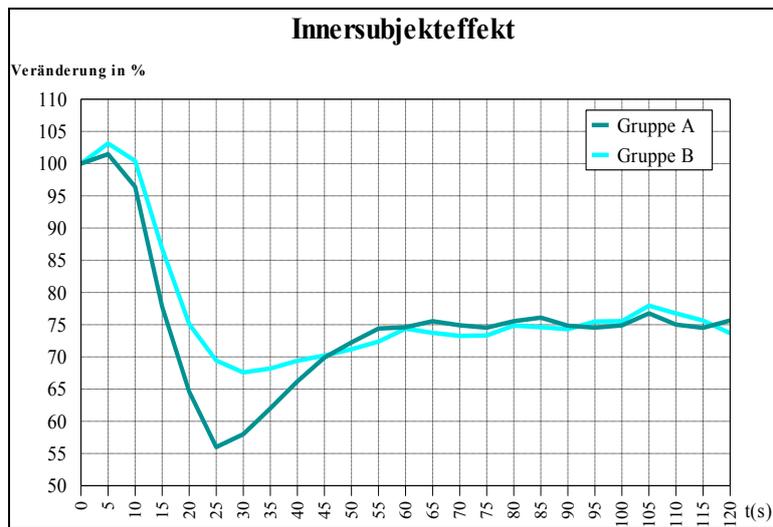
In Abb. 6 a bis c wird als Beispiel die MANOVA für den Verlauf der FPA über die Zeit für Gruppe A und Gruppe B dargestellt. Es wurde jeweils eine Varianzanalyse mit Messwiederholung für 2 (Gruppe) x 25 (Messzeitpunkte) berechnet. Die pro Messzeitpunkt ermittelte prozentuale FPA ist dabei die abhängige Variable. Die Messzeitpunkte stellen den Innersubjektfaktor (Messwiederholungsfaktor) dar. Die Variable Gruppe repräsentiert den Zwischensubjektfaktor.

Abb. 6 a veranschaulicht einen Innersubjekteffekt. Die Messwerte zeigen eine signifikante FPA-Reaktion über die Zeit. Der Unterschied zwischen den Gruppen ist nicht signifikant.

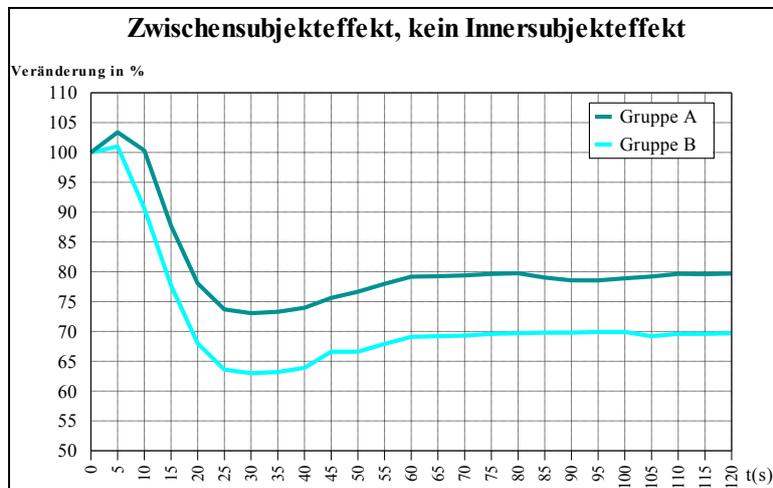
Mindestens ebenso wichtig sind die Informationen über Unterschiede zwischen den Gruppen im Kurvenverlauf, also Abweichungen zwischen den Kurven über den gesamten Beobachtungszeitraum. Ergeben sich nämlich im Zeitverlauf unterschiedliche Reaktionen zwischen zwei Versuchsgruppen, dann handelt es sich um einen **Zwischensubjekteffekt** (Abb. 6 b). Er erlaubt Aussagen darüber, ob z. B. die Kurve der Gruppe A oberhalb bzw. unterhalb von Gruppe B verläuft, auch wenn die Kurven ohne große zeitliche Änderung fast parallel sind. Der **Innersubjekteffekt** gibt also Auskunft über eventuell stärkere Reaktionen in Form eines steileren Kurvenanstieges oder -abfalls, während der **Zwischensubjekteffekt** Aussagen über die generelle Reaktionshöhe der Gruppen in diesem Parameter ermöglicht.

Natürlich gibt es auch den Fall, dass es sowohl einen Innersubjekt- als auch einen Zwischensubjekteffekt gibt. Abb. 6 c zeigt sowohl eine signifikante Veränderung des FPA-Kurvenverlaufs über die Zeit als auch einen signifikanten Unterschied zwischen Gruppe A und Gruppe B.

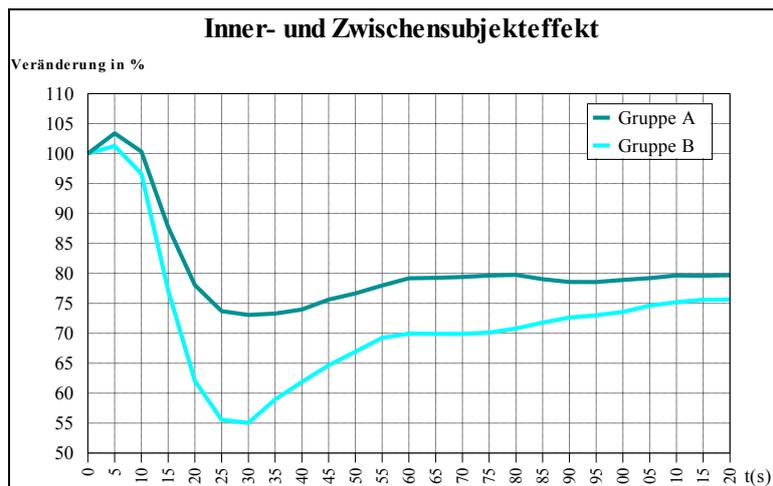
Wenn sich **Innersubjekteffekte** und **Zwischensubjekteffekte** vermischen, spricht man von einer **Interaktion (Wechselwirkung)**.



a) Innersubjektiveffekt: Signifikante FPA-Reaktion über die Zeit, kein signifikanter Gruppenunterschied



b) Zwischensubjektiveffekt: Signifikanter Gruppenunterschied, keine signifikante FPA-Reaktion über die Zeit



c) Inner- und Zwischensubjektiveffekt: Signifikanter Gruppenunterschied, signifikante FPA-Reaktion über die Zeit

Abb. 6: Beispiele für Inner- und Zwischensubjektiveffekte in der MANOVA-Auswertung der Fingerpulsamplitude.

6 ERGEBNISSE

Für die Auswertung der Fingerpulsamplitude (FPA) und der elektrodermalen Aktivität (EDA) wurden die relativen Veränderungen während der Geräuschexposition gegenüber den Ausgangswerten zugrunde gelegt, denn die gemessenen elektrischen Größen lieferten keine exakt definierten, über Personen und Situationen vergleichbare Zahlenwerte, sondern sie ermöglichen in erster Linie relative Vergleiche entlang der Zeitachse. Daher wurden als Baseline für jeden Probanden Mittelwerte aus den letzten 30 s Ruhezeit vor der jeweiligen Geräuschexposition errechnet (= 100 %).

Die entsprechenden Grafiken in den folgenden Abschnitten 6.1 und 6.2 zeigen daher jeweils mittlere *prozentuale Veränderungen* während der 2-minütigen Geräuschdarbietung an (meist über alle 8 Pkw-Vorbeifahrgeräusche gemittelt). Die Darstellung ist jeweils in 2 Abschnitte unterteilt: Um die Initialreaktion besonders deutlich zu erfassen, werden die Daten in den ersten 30 s in einem engmaschigeren Zeitraster dargestellt, nämlich in 2-s-Intervallen gemittelt, und die darauf folgenden 90 s dann in 5-s-Intervallen.

Bei der Herzfrequenz ist die klare Zuordnung von Ereignissen pro Zeiteinheit gegeben, so dass sich prozentuale Berechnungen erübrigen. Aus den Interbeat-Intervallen wurden die etablierten HRV-Parameter SDNN und rMSSD aus dem Zeitbereich berechnet.

6.1 Ergebnisdarstellung Fingerpulsamplitude (FPA)

Es werden die gemittelten, prozentualen Veränderungen der FPA von allen 65 Versuchspersonen und allen 8 Vorbeifahrgeräuschen für Frauen, Männer und das gesamte Kollektiv präsentiert (Abb. 7). In beiden Kurven fällt der initiale Abfall in den beiden Teilgruppen auf. Er war bei den Männern deutlich ausgeprägter als bei den Frauen (55 % versus 73 % bis zur 12. s). Nach der 12. s steigt die Kurve der Männer (blau) wieder an und erreicht innerhalb von 14 s (bis zur 26. s) einen Wert von über 70 %. Die Kurve der Frauen (rot) verhält sich im Anstieg eher flach, bleibt mehr oder weniger auf dem Niveau des initialen Tiefstwertes und erreicht in der 26. s einen Wert von knapp 80 %. Im weiteren Verlauf nähern sich beide Kurven weiter an und verlaufen nach 80 s etwa 10 s lang annähernd gleich bei etwa 75 % des Ausgangswertes.

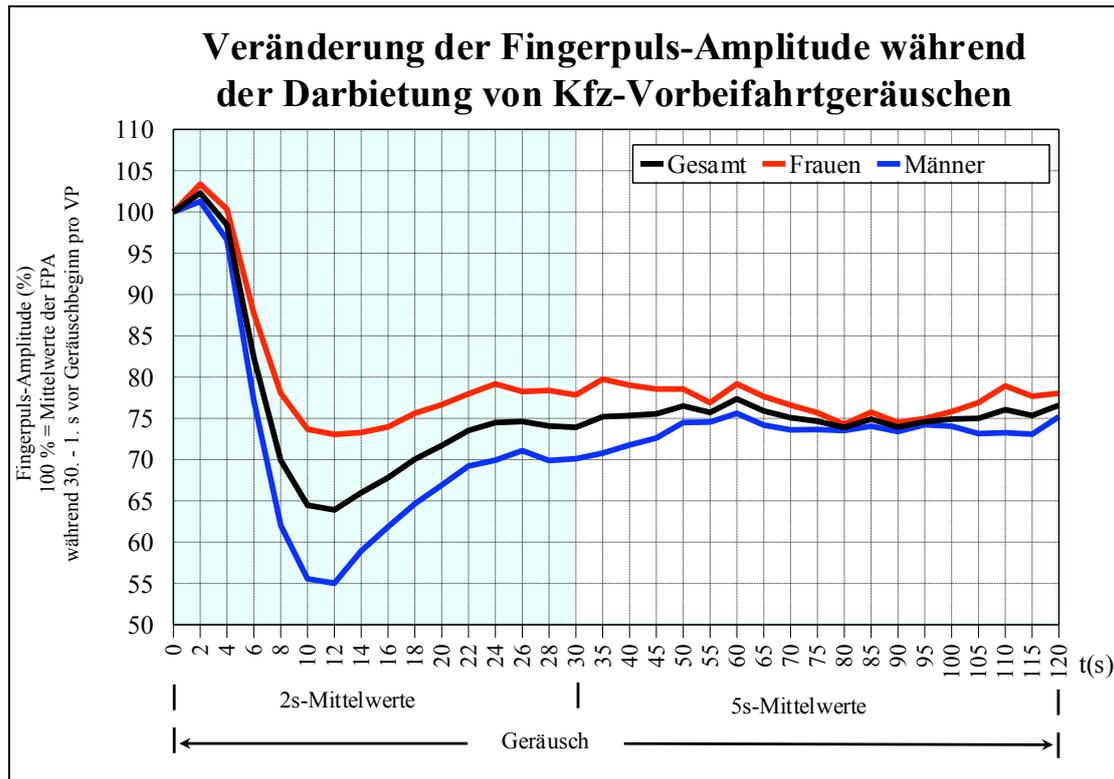


Abb. 7: Prozentuale Veränderung der FPA gegenüber dem Ausgangswert während 2-min Geräuschexposition – Mittelwerte über 8 Vorbeifahrgeräusche für Frauen (n = 32 Frauen x 8 Geräusche = 256 Messreihen) und Männer (n = 33 Männer x 8 Geräusche = 264 Messreihen).

Zu jedem Zeitpunkt während der Geräuschexposition liegt die Kurve der Frauen über der der Männer. In der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung (MANOVA) zeigte sich als Zwischensubjekteffekt ein signifikanter Unterschied zwischen Männern und Frauen über den gesamten Zeitraum ($p < 0,001$). Ebenso zeigte sich ein Innersubjekteffekt Zeit ($p < 0,001$) und eine signifikante Interaktion Zeit x Geschlecht ($p < 0,001$), d. h. über den Zeitverlauf zeigten sich signifikante Änderungen der Kurve, und das in unterschiedlichem Maße für Frauen und Männer. Die wichtigsten statistischen Kennwerte zur MANOVA sind in Anhang 6 wiedergegeben, die Mittelwerte und Standardabweichungen aller Teilgruppen für *jeden einzelnen Zeitabschnitt* in Anhang 7.

In Abb. 8 werden die Mittelwerte der FPA der beiden Altersgruppen gegenübergestellt, d. h. „20–30 Jahre“ (gelb) und „40–55 Jahre“ (grün). Es lag erneut in beiden Kurven initial ein merklicher Abfall vor, wobei bei den jüngeren Versuchspersonen (Frauen und Männer im Alter von 20-30 Jahren, grüne Kurve) der Abfall mit etwa 60 % in der 10. s ausgeprägter war als bei den älteren Versuchspersonen (Frauen und Männer im Alter von 40-55 Jahren, violette Kurve) mit etwa 67 %.

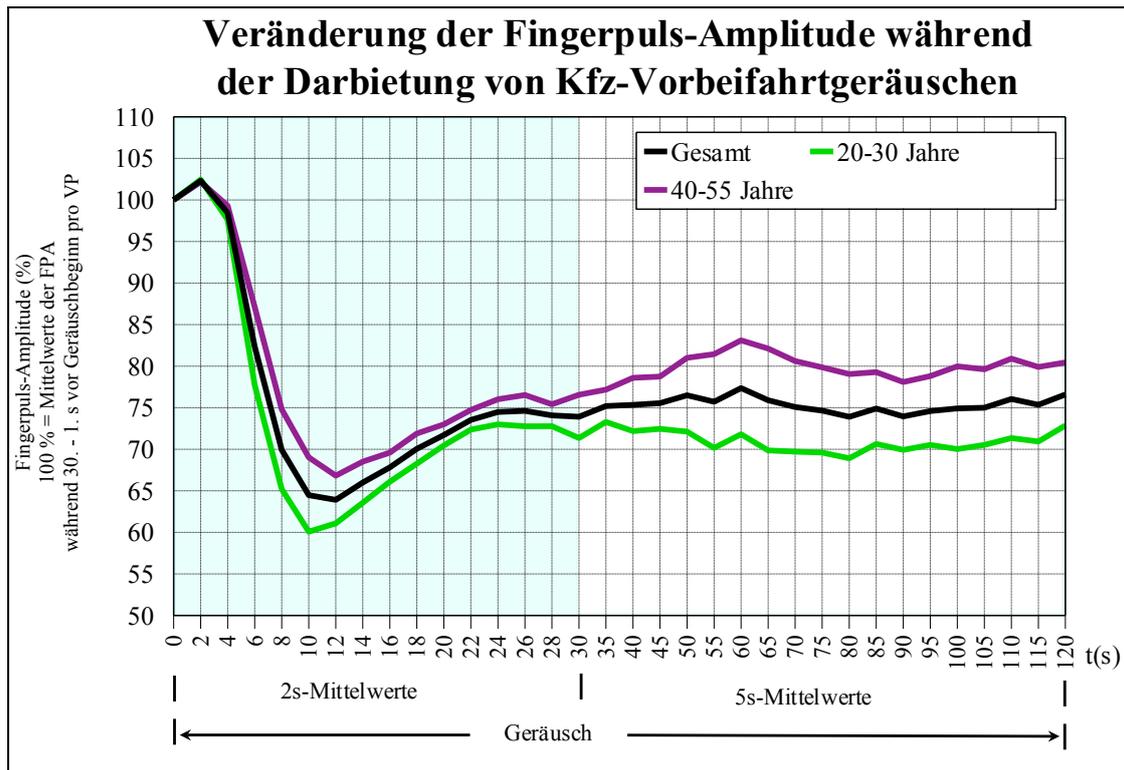


Abb. 8: Prozentuale Veränderung der FPA gegenüber dem Ausgangswert während 2-min Geräuschexposition – Mittelwerte über 8 Vorbeifahrgeräusche für die Altersgruppen 20–30 J. (n = 33 junge Versuchspersonen x 8 Geräusche = 264 Messreihen) und 40–55 J. (n = 32 ältere Versuchspersonen x 8 Geräusche = 256 Messreihen).

In beiden Teilgruppen stiegen die Kurven bis zur 26. s allmählich an und lagen dann bei einem Wert von etwa 75 %. Danach stieg die Kurve der älteren Versuchspersonen weiter und erreichte zuletzt einen Wert von circa 80 %, während die Kurve der jüngeren Versuchspersonen wieder etwas sank und bis zur 120. s um einen Wert von 70 % schwankte.

Varianzanalytisch sind die Ergebnisse ähnlich deutlich wie bei der vorhergehenden Abb. 7: Die Kurven der jüngeren und älteren Versuchspersonen unterschieden sich signifikant ($p < 0,001$), und neben dem signifikanten Innersubjekteffekt Zeit ($p < 0,001$) gibt es eine signifikante Interaktion Zeit x Alter ($p < 0,001$), also einen unterschiedlichen Verlauf beider Kurven über die Zeit.

In Abb. 9 sind alle 4 Teilgruppen einander gegenübergestellt. Es fällt auf, dass die Kurve der jüngeren Männer (graue Kurve) im Vergleich zu den anderen Teilgruppen zu jedem Zeitpunkt der Geräuschexposition weitaus tiefere Werte erreichte. Besonders die Initialreaktion in dieser Teilgruppe war sehr ausgeprägt und sank nach 10 s ungefähr auf die Hälfte des Ausgangswertes, war dann nach 22 s wieder auf einen Wert von etwa 64 % angestiegen, um im weiteren Verlauf bis zum Ende der Geräuschdarbietung um 65 % des Ausgangswertes zu schwanken. Die Teilgruppe der

älteren Männer (blaue Kurve) fiel anfangs ebenfalls recht steil ab und erreichte nach 12 s ihr Minimum von 61,8 %, lag also zu diesem Zeitpunkt deutlich über dem Wert der Teilgruppe der jüngeren Männer. Sie stieg im weiteren Verlauf relativ ungleichmäßig an und erreichte nach der Hälfte der Geräuschexposition einen Wert von 85 %, fiel wieder leicht ab und bewegte sich in den letzten 60 s stetig zwischen 80 % und 85 % des Ausgangswertes. Sowohl der Kurvenverlauf in der Teilgruppe der jüngeren Frauen (orange Kurve) als auch der der älteren Frauen (rote Kurve) war initial im Vergleich zur Initialreaktion der männlichen Teilgruppen weniger steil und unterschritt zu keinem Zeitpunkt der Geräuschexposition die 70 %-Marke.

Anders als bei den Männern erfolgte bei den Frauen kein nennenswerter Anstieg aus deren Initialreaktion, ihre Werte verliefen bis zum Ende der Geräuschdarbietung ungefähr auf dem Niveau des jeweiligen Tiefstwertes.

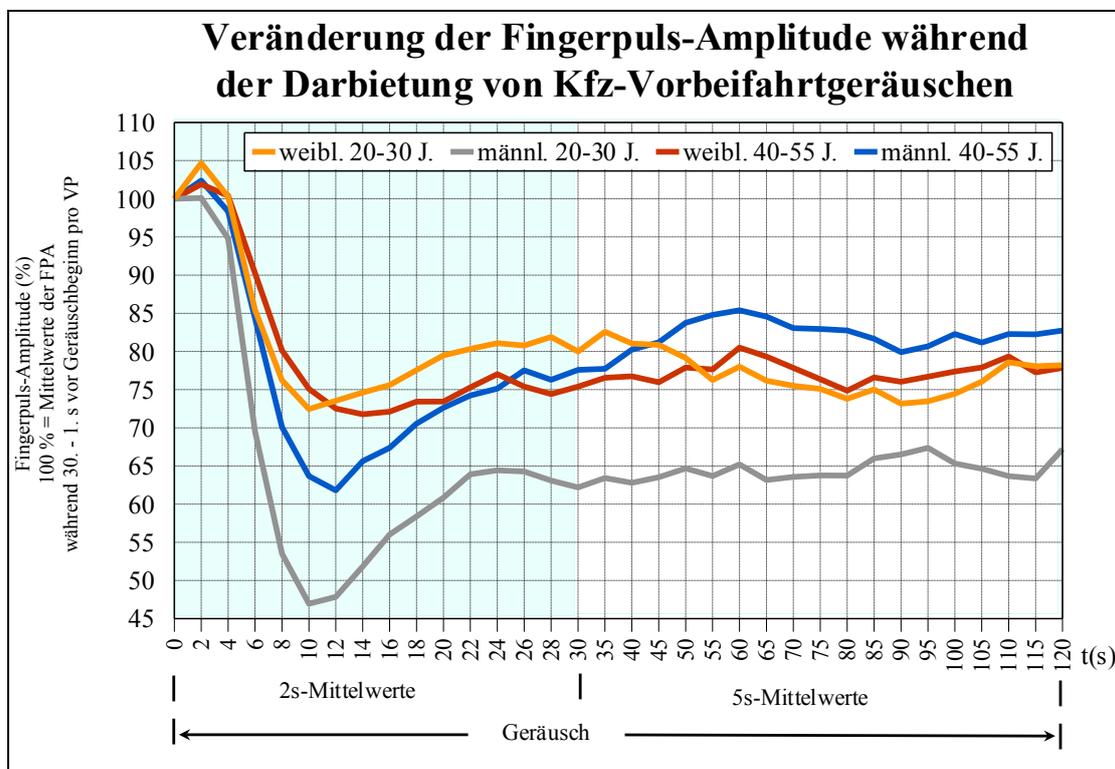


Abb. 9: Prozentuale Veränderung der FPA gegenüber dem Ausgangswert während 2-min. Geräuschexposition – Mittelwerte über 8 Vorbeifahrgeräusche für die vier Teilgruppen: weiblich 20–30 J. (n = 17 junge Frauen x 8 Geräusche = 136 Messreihen), männlich 20–30 J. (n = 16 junge Männer x 8 Geräusche = 128 Messreihen), weiblich 40–55 J. (n = 15 ältere Frauen x 8 Geräusche = 120 Messreihen), männlich 40–55 J. (n = 17 ältere Männer x 8 Geräusche = 136 Messreihen).

Die Kurven der Teilgruppen der jüngeren Versuchspersonen (jüngere Männer und jüngere Frauen) lagen weiter auseinander als entsprechende Kurven der älteren Teilgruppen: diese lagen näher beieinander. Varianzanalytisch zeigt sich neben einem signifikanten Zwischensubjekteffekt Zeit x

Geschlecht ($p < 0,001$) sowohl ein signifikanter Innersubjekteffekt Zeit ($p < 0,001$) als auch eine signifikante Interaktion zwischen Zeit x Alter x Geschlecht ($p < 0,001$).

Zusammengefasst kann man sagen, dass der Unterschied im zeitlichen Verlauf

- (1) bei den beiden männlichen Gruppen deutlicher war als bei den beiden weiblichen Gruppen und
- (2) bei den jüngeren Gruppen deutlicher war als bei den älteren Gruppen.

6.2 Ergebnisdarstellung Elektrodermale Hautleitfähigkeit (EDA)

Wie bereits in Abschnitt 4.1.2 ausgeführt, wurde als EDA-Parameter das Hautleitfähigkeitsniveau (skin conductance level, SCL) verwendet. Es wurden die gleichen Teilgruppen wie schon bei der FPA miteinander verglichen. Entsprechend der Physiologie der EDA geht eine Aktivierung mit erhöhter Hautleitfähigkeit einher, so dass die Werte während der Belastung über die als 100 % gesetzten Ruhewerte steigen sollten.

Abb. 10 zeigt den Vergleich der Teilgruppen „Männer“ (blaue Kurve) und „Frauen“ (rote Kurve). Es zeigten sich ein schneller Anstieg der EDA nach Geräuschbeginn und eine allmähliche Abnahme im Laufe der 2-min. Exposition. Bei den Männern erreichte die EDA nach 6 s ein Maximum von 126 %, also einem guten Viertel mehr in Bezug auf den Ausgangswert. Die Teilgruppe der Frauen reagierte initial insgesamt noch stärker und erreichte nach 8 s ein Maximum von knapp 133 %. Von den jeweiligen Maxima ausgehend nahm die EDA stetig ab, wobei die Kurven fortwährend parallel verliefen und gegen Ende der Geräuschexposition bei den Männern bei einem Wert von etwa 105 % und bei den Frauen bei etwa 112 % lagen. Die EDA der Frauen lag immer deutlich über der EDA der Männer.

Varianzanalytisch zeigte sich ein signifikanter Zwischensubjekteffekt für den Faktor Geschlecht ($p < 0,001$) und ein Innersubjekteffekt Geschlecht x Zeit ($p < 0,001$) neben dem Haupteffekt Zeit ($p < 0,001$). Die wichtigsten statistischen Kennwerte zur MANOVA sind in Anhang 6 wiedergegeben, die Mittelwerte aller Teilgruppen für jeden einzelnen Zeitabschnitt in Anhang 8.

Abb. 11 stellt die Kurvenverläufe der beiden Teilgruppen „jüngere Versuchspersonen“ (gelbe Kurve) und „ältere Versuchspersonen“ (grüne Kurve) dar. Die älteren Versuchspersonen wiesen eine im Vergleich zu den jüngeren Versuchspersonen über die gesamte Expositionszeit bestehende höhere Hautleitfähigkeit auf. Die Höchstwerte betragen nach jeweils 8 s bei den älteren Versuchspersonen etwa 131 %, bei den jüngeren Versuchspersonen etwa 127 %. Nach Erreichen des Maximums fielen beide Kurven parallel verlaufend bis zur 120. s ab. Varianzanalytisch war dieser Unterschied aber nicht signifikant.

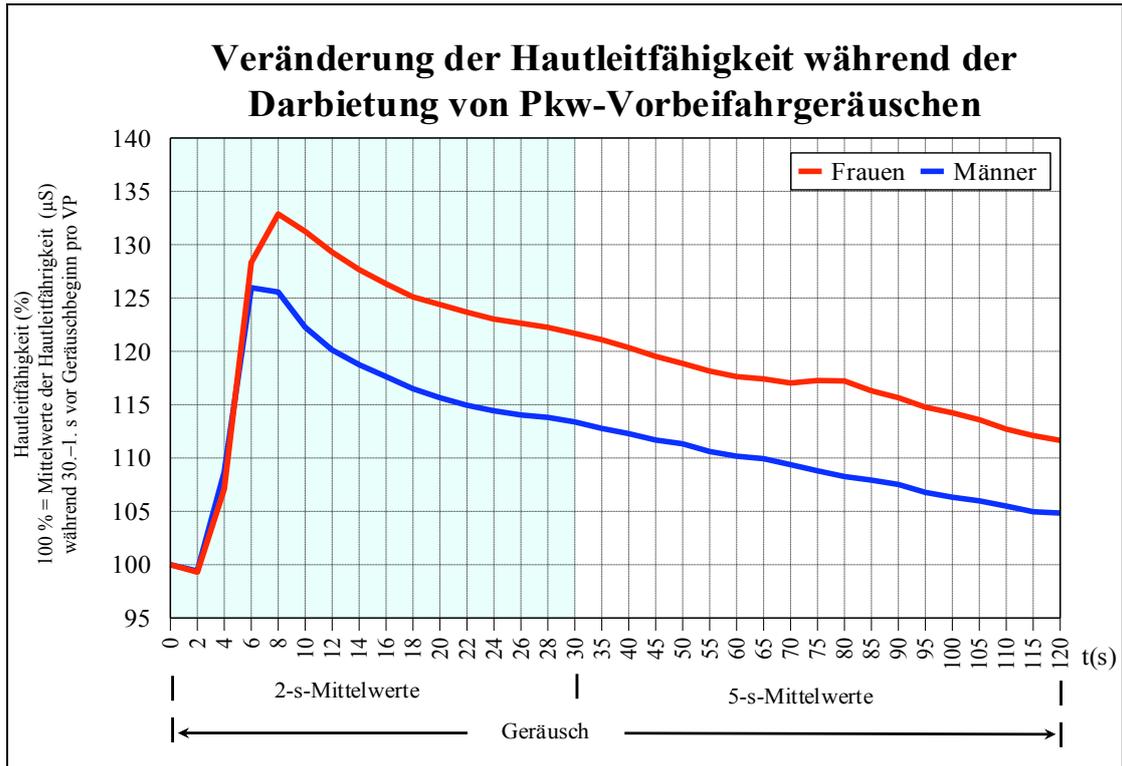


Abb. 10: Prozentuale Veränderung der Hautleitfähigkeit (EDA) gegenüber dem Ausgangswert während 2-min. Geräuschexposition – Mittelwerte über 8 Vorbeifahrgeräusche für Frauen (n = 31 Frauen x 8 Geräusche = 248 Messreihen) und Männer (n = 33 Männer x 8 Geräusche = 264 Messreihen).

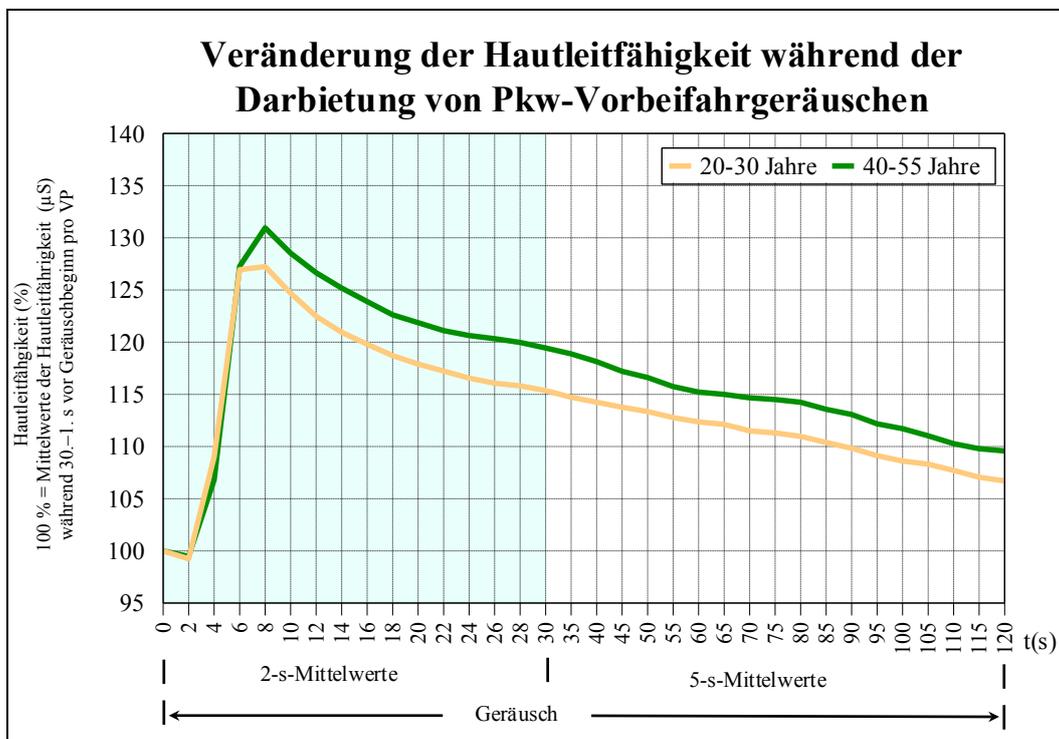


Abb. 11: Prozentuale Veränderung der Hautleitfähigkeit (EDA) gegenüber dem Ausgangswert während 2-min Geräuschexposition – Mittelwerte über 8 Vorbeifahrgeräusche für die

Altersgruppen „20–30 J.“ (n = 32 junge Versuchspersonen x 8 Geräusche = 256 Messreihen) und „40–55 J.“ (n = 32 ältere Versuchspersonen x 8 Geräusche = 256 Messreihen).

In Abb. 12 sind die Kurvenverläufe aller vier Teilgruppen, also die der jüngeren Frauen (hellviolette Kurve), der jüngeren Männer (hellblaue Kurve), der älteren Frauen (dunkelviolette Kurve) und der älteren Männer (dunkelblaue Kurve) zusammengestellt. Die Kurvenverläufe werden im Folgenden vergleichend beschrieben.

Die Kurve der älteren Frauen zeigte den stärksten mittleren Anstieg während der Geräuschexposition und besaß ein ausgeprägtes Maximum nach 8 s mit einem Wert von 136 % und lag damit um mehr als 6 Prozentpunkte über dem nächst höheren Maximum der Kurve der jüngeren Frauen ebenfalls nach 8 s. Dann folgte die Teilgruppe der älteren Männer und relativ dicht darunter liegend die Teilgruppe der jüngeren Männer.

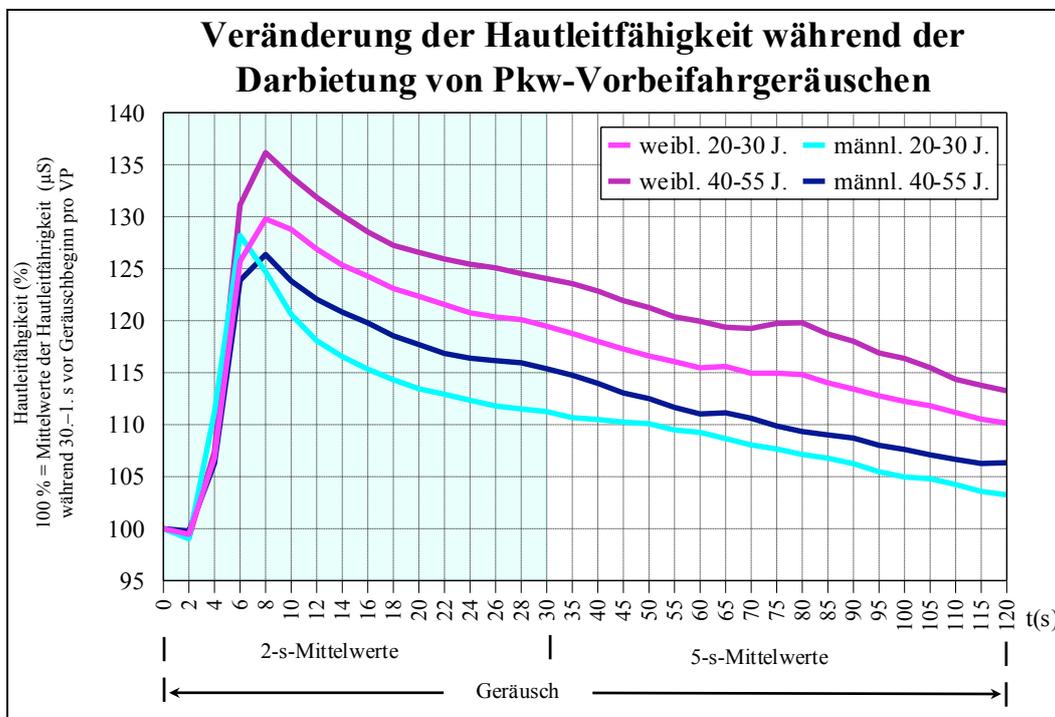


Abb. 12: Prozentuale Veränderung der Hautleitfähigkeit (EDA) gegenüber dem Ausgangswert während 2-min. Geräuschexposition – Mittelwerte über 8 Vorbeifahrgeräusche für die vier Teilgruppen: weiblich 20–30 J. (n = 16 junge Frauen x 8 Geräusche = 128 Messreihen), männlich 20–30 J. (n = 16 junge Männer x 8 Geräusche = 128 Messreihen), weiblich 40–55 J. (n = 15 ältere Frauen x 8 Geräusche = 120 Messreihen), männlich 40–55 J. (n = 17 ältere Männer x 8 Geräusche = 136 Messreihen).

Anzumerken sei, dass die Teilgruppen bei der FPA und der EDA nicht gleichermaßen reagierten, sondern dass die Reihenfolge in der jeweiligen Reaktionsstärke unterschiedlich war. Während bei der EDA die älteren Frauen die stärkste Reaktion zeigten, reagierten bei der FPA (s. Kapitel 6.1) die jüngeren Männer am stärksten. Dies könnte ein Hinweis dafür sein, dass FPA und EDA in

unterschiedlichem Maße vom vegetativen Nervensystem reguliert werden, wobei bei der EDA eine stärkere psychische bzw. emotionale Komponente vermutet werden kann.

6.3 Ergebnisdarstellung Herzratenvariabilität (HRV)

Im Experiment waren die Versuchspersonen jeweils zwei Minuten lang den verschiedenen Geräuschen ausgesetzt. Diese Phase der Geräuscharbeitung wurde sowohl vorher als auch nachher von einer Ruhephase begleitet. Es ließ sich feststellen, dass sich eine valide Aussage zur Herzratenvariabilität nur dann machen lässt, wenn Daten aus einer stabilen Phase ausgewertet wurden. Zu beobachten war eine veränderungsbedingte Variabilität über den Wechsel der Phasen „Ruhe – Geräusch – Ruhe“, die jeweils noch über etwa 15 bis 20 s nach Reizänderung anhielt. Erst dann erfolgte eine Anpassung an den neuen Reiz. Diese durch Änderung des Reizes bedingte Variabilität sollte bestmöglich nicht in die Auswertung einfließen. Demzufolge wurde versucht, durch die Auswertung gezielter Zeitabschnitte von Ruhe- und Beschallungsphasen eine von diesen reizveränderungsbedingten Adaptationsvorgängen entkoppelte tonusbezogene Herzratenvariabilität abzubilden. Folgende Zeitabschnitte wurden zu diesem Zwecke gewählt:

- -90 s bis 1 s vor Geräuschbeginn
- 31 s bis 120 s der Geräuscharbeitung
- 31 s bis 120 s nach Geräuschende

Aus den angegebenen Zeiten ist ersichtlich, dass sowohl die ersten 30 s der Geräuscharbeitung als auch die ersten 30 s der dem Geräusch nachgeschalteten Ruhephase nicht in die Auswertung eingingen, um die darin enthaltene adaptionsbedingte Variabilität auszuschließen.

Der Auswertung zu Grunde lagen drei jeweils 90 s lange Zeitabschnitte „Ruhe – Geräusch - Ruhe“, in denen sich eine etwaige HRV-Veränderung stabilisiert haben sollte. Letztlich wurden die Mittelwerte über sieben Vorbeifahrgeräusche für die vier Teilgruppen „jüngere Frauen“, „jüngere Männer“, „ältere Frauen“ und „ältere Männer“ berechnet. Das letzte Geräusch konnte wegen einer fehlenden nachgeschalteten Ruhephase nicht einbezogen werden, da der Versuch mit Verstummen des letzten Geräusches beendet war und keine weitere Aufzeichnung der physiologischen Signale mehr stattfand.

Anhang 9 gibt zunächst einmal Mittelwerte und Standardabweichungen für die gemessene Herzfrequenz bei den vier Teilgruppen während der Geräuschexposition wieder, und zwar für die 30 s Baseline vor Expositionsbeginn und dann in Zeitabschnitten von jeweils 10 s (gemittelt über

alle Vorbeifahrgeräusche). Anhang 10 gibt für die HRV-Maße SDNN und rMSSD dann Mittelwerte und Standardabweichungen für die 4 Teilgruppen in den eingangs beschriebenen drei Zeitabschnitten „vor / während / nach Exposition“ wieder – jeweils gemittelt über sieben Vorbeifahrgeräusche.

In Abb. 13 ist die Standardabweichung aller R-Zackenabstände (SDNN) für alle vier Teilgruppen in den drei Phasen „Ruhe vor Geräuschen“, "Pkw-Vorbeifahrgeräusche“ und "Ruhe nach Geräuschen“ aufgetragen. Mit Ausnahme der älteren Frauen zeigte sich in allen Teilgruppen ein deutlicher HRV-Abfall während der Geräuschexposition, was als Folge einer Steigerung des Sympathikotonus interpretiert werden könnte, durch welche die HRV vermindert wurde. Die älteren Frauen zeigten dieses Reaktionsmuster nicht und hatten ihre niedrigsten SDNN-Werte in der Ruhephase vor Geräuschexposition.

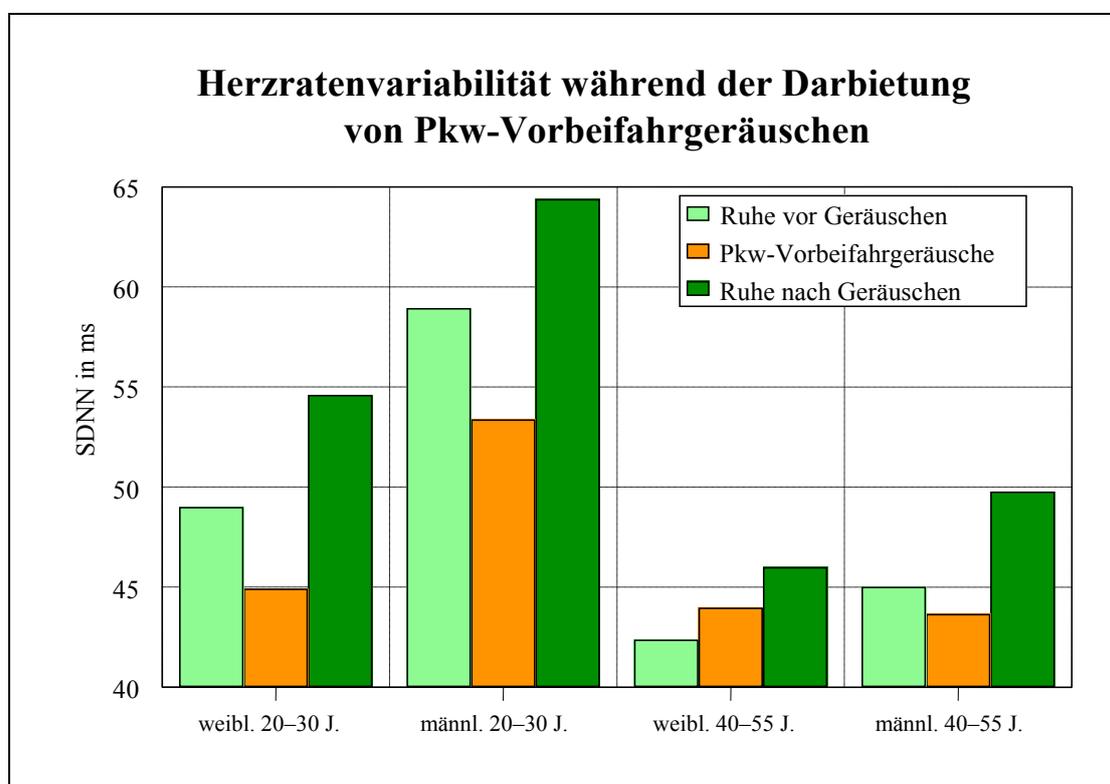


Abb. 13: Herzratenvariabilität (SDNN in ms) vor, während und nach Geräuschexposition (über jeweils 90 s) – Mittelwerte über 7 Vorbeifahrgeräusche für die vier Teilgruppen: weiblich 20–30 J. (n = 15 junge Frauen x 7 Geräusche = 105 Messreihen), männlich 20–30 J. (n = 16 junge Männer x 7 Geräusche = 112 Messreihen), weiblich 40–55 J. (n = 13 ältere Frauen x 7 Geräusche = 91 Messreihen), männlich 40–55 J. (n = 13 ältere Männer x 7 Geräusche = 91 Messreihen).

Diese Ergebniskonstellation bei den älteren Frauen könnte der Länge der vorgeschalteten Ruhephase geschuldet sein, aufgrund derer sich bei den älteren Frauen bereits vor Geräuschbeginn eine erneute Unruhe und nervöse Erwartungshaltung nach schon eingetretener Beruhigung einstellte, so dass die HRV in dieser Phase insgesamt diesen niedrigen Wert aufweist. Diese Erklärung ist vor

allem im Zusammenhang mit der sehr starken Anhebung der EDA zu sehen, die auf eine starke emotionale Anspannung hindeutet. Andererseits muss eine mögliche Dysregulation der Herzfrequenz erwogen werden. In der Gesamtschau zeigen alle 4 Teilgruppen in der Ruhephase einen Anstieg der SDNN-Werte. Dies könnte als eine Verminderung der sympathischen Einflüsse auf die HRV gedeutet werden.

Varianzanalytisch ergeben sich im Vergleich dieser Teilgruppen signifikante Zwischensubjekt- effekte für die Faktoren Geschlecht ($p < 0,01$) und Alter ($p < 0,001$) sowie eine signifikante Interaktion Alter x Geschlecht ($p < 0,05$). Ebenfalls signifikant werden der Innersubjekteffekt Zeit ($p < 0,001$) und die Interaktion Zeit x Alter ($p < 0,01$).

Abb. 14 zeigt die Ergebnisse zur HRV, welche über die Quadratwurzel des Mittelwertes der Summe aller Differenzen zwischen benachbarten R-Zacken (rMSSD) ermittelt wurden.

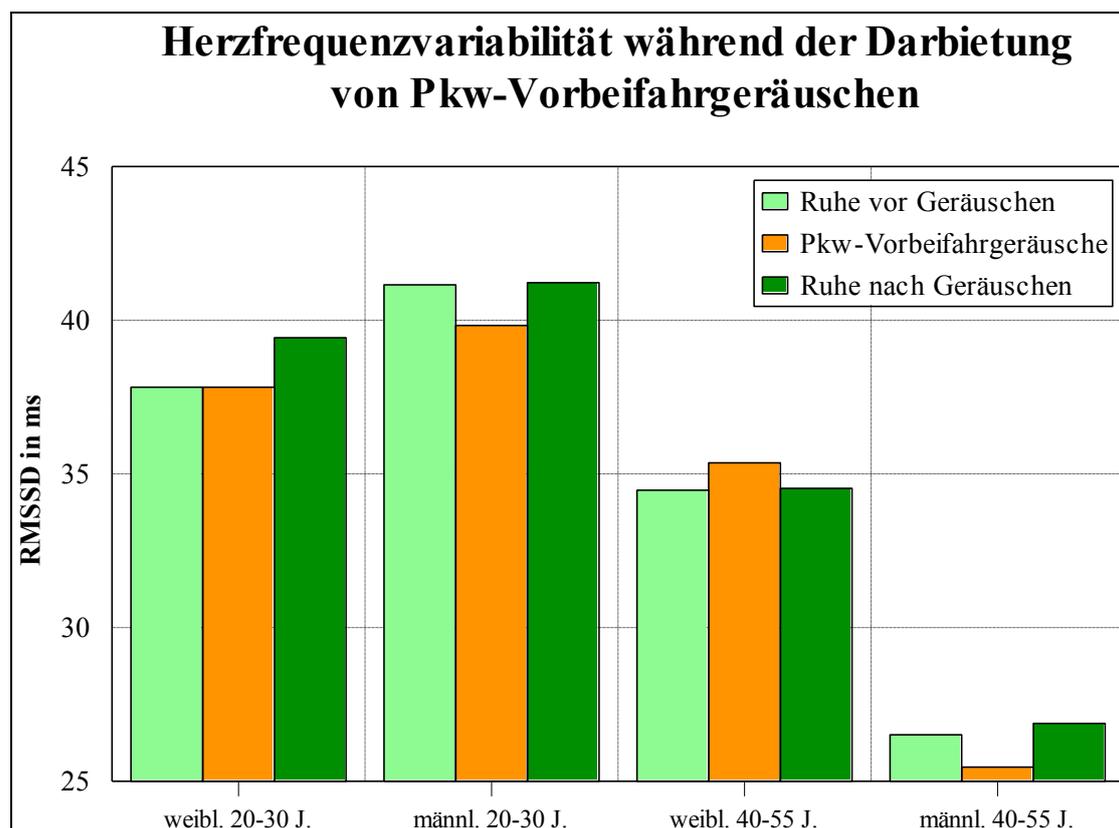


Abb. 14: Herzratenvariabilität (rMSSD in ms) vor, während und nach Geräuschexposition (über jeweils 90 s) – Mittelwerte über 7 Vorbeifahrgeräusche für die vier Teilgruppen: weiblich 20–30 J. ($n = 15$ junge Frauen x 7 Geräusche = 105 Messreihen), männlich 20–30 J. ($n = 16$ junge Männer x 7 Geräusche = 112 Messreihen), weiblich 40–55 J. ($n = 13$ ältere Frauen x 7 Geräusche = 91 Messreihen), männlich 40–55 J. ($n = 13$ ältere Männer x 7 Geräusche = 91 Messreihen).

Im Unterschied zum SDNN werden beim rMSSD die Abstände zwischen den einzelnen Herzschlägen stärker gewichtet. Insgesamt sind die Mittelwertunterschiede in den Teilgruppen sehr gering. Lediglich die beiden männlichen Teilgruppen zeigten im Ansatz das erwartete Ergebnis mit einer Verringerung der HRV während der Geräuschexposition (im Sinne einer Verminderung des Parasympathikotonus), wenngleich auch nicht in annähernd gleich hohem Maße, da die Teilgruppe der älteren Männer deutlich niedrigere Werte aufwies. Für die älteren Frauen zeigten sich kaum Unterschiede zwischen den Phasen der Ruhe und der Geräuschexposition. Als signifikant in diesem Gruppenvergleich erwiesen sich lediglich der Zwischensubjekteffekt Alter ($p < 0,001$) sowie die Interaktion Alter x Geschlecht. Es zeigten sich jedoch weder ein signifikanter Geschlechtseinfluss noch signifikante Innersubjekteffekte.

6.4 Ergebnisse zur subjektiven Bewertung der Geräusche

Im Folgenden werden die Ergebnisse zum Einfluss von Alter und Geschlecht auf die Geräuschbewertung dargestellt. Zunächst wurde die allgemeine Bewertung der Geräusche untersucht. Es wurde mit den Mittelwerten über alle Vorbeifahrgeräusche gerechnet, da daraus stabilere Daten resultierten und deshalb eher Effekte der Einflussfaktoren Alter und Geschlecht zu erwarten waren. In Anhang 11 sind die Beurteilungen für jedes einzelne Geräusch sowohl pro Teilgruppe als auch für die gesamte Stichprobe wiedergegeben.

6.4.1 Allgemeine Bewertung des Geräusches

Das Item „Insgesamt mag ich dieses Geräusch...“ (Abb. 15) zeigt auf einer Skala von „überhaupt nicht“ (1) bis „in höchstem Maße“ (9) niedrige Werte - durchgehend zwischen 2 und 3 - für die gesamte Gruppe und die Teilgruppen. Insgesamt wurden die Geräusche von den Frauen negativer bewertet als von den Männern. Gleiches galt für die Gruppe der älteren Versuchspersonen, die die Geräusche weniger mochten als die Gruppe der jüngeren Versuchspersonen. Es fällt auf, dass die älteren Frauen mit einigem Abstand zu den restlichen Teilgruppen einen deutlich tieferen Skalenwert aufwiesen und somit die Geräusche bei weitem am wenigsten mochten.

Am ehesten noch mochten dagegen die älteren Männer die Geräusche und bewerteten sie entsprechend von allen Teilgruppen am höchsten. Sie lagen allerdings nur ganz knapp über den jungen Männern. Varianzanalytisch ergab sich für die vier Teilgruppen ein Haupteffekt des Geschlechts ($p < 0,01$) sowie eine Interaktion von Alter x Geschlecht.

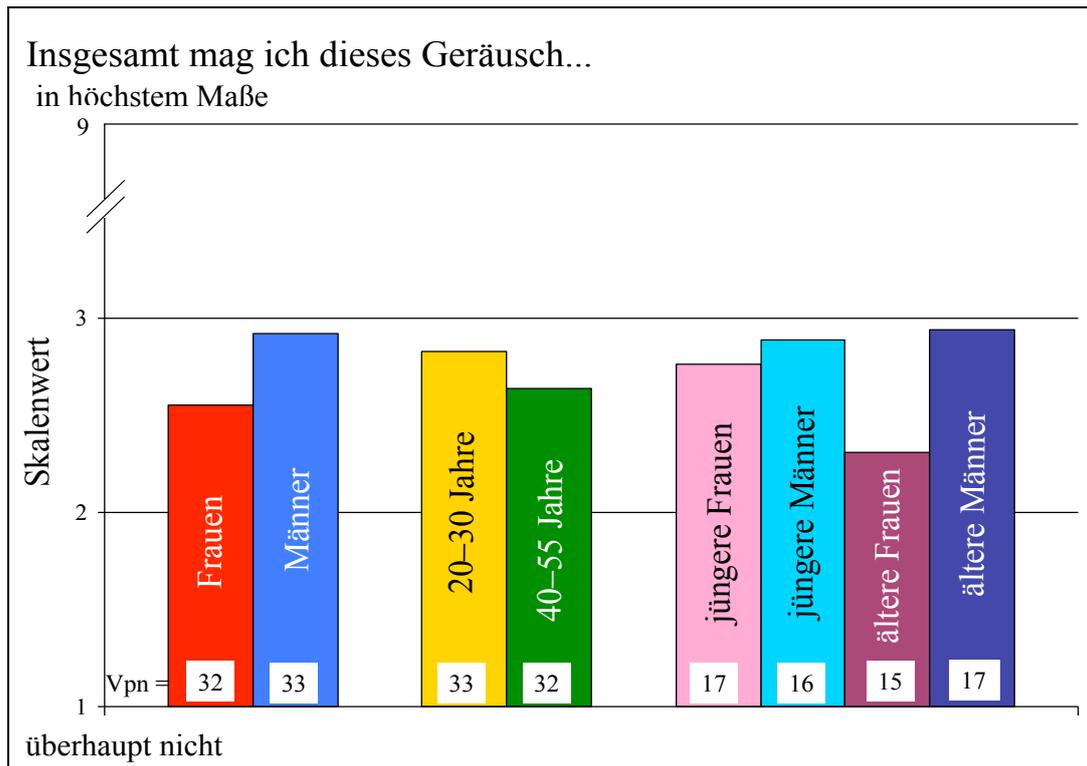


Abb. 15: Mittelwerte der Gruppen Frauen vs. Männer, Junge vs. Ältere und der vier Teilgruppen in der Skala „Insgesamt mag ich dieses Geräusch überhaupt nicht“ (1) bis „... in höchstem Maße“ (9); Antworten auf alle Vorbeifahrgeräusche gemittelt; (n = 65 Versuchspersonen x 10 Geräusche = 650).

6.4.2 Eigenes Befinden beim Hören des Geräusches

Die Ergebnisse auf die Frage „Wie fühlen Sie sich beim Hören des Geräusches?“ sind sowohl in Abb. 16 (Skala „sehr unangenehm“ (-4) bis „sehr angenehm“ (+4)) als auch in Abb. 17 (Skala „sehr still/deaktiviert“ (-4) bis „sehr aufgeregt/aktiviert“ (+4)) dargestellt. Bei der Abb. 16 fällt auf, dass alle Versuchspersonen ein unangenehmes Befinden beim Hören der Geräusche angaben, die Mittelwerte für alle Gruppen und Teilgruppen lagen deutlich unter Null. Hier zeigten sich einerseits in der Gruppe der Frauen andererseits in der Gruppe der älteren Versuchspersonen die tiefsten Skalenwerte, so dass sich bei den Teilgruppen wieder eine Interaktion zwischen Alter und Geschlecht ergab:

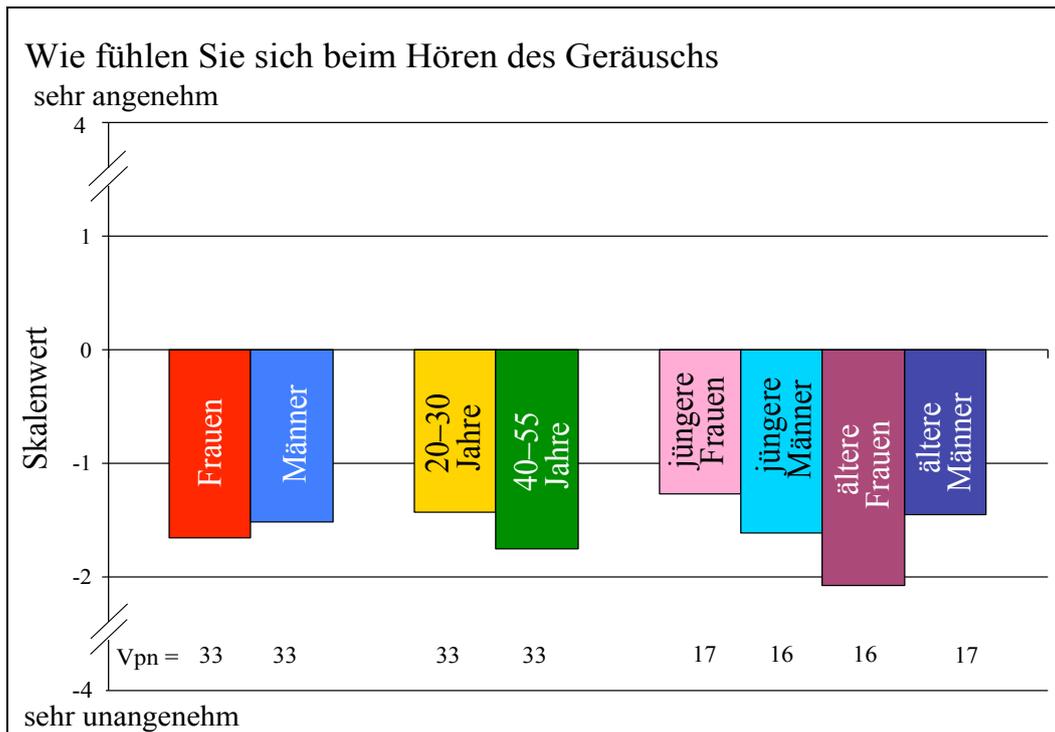


Abb. 16: Mittelwerte der Gruppen Frauen vs. Männer, Junge vs. Ältere und der vier Teilgruppen für die Frage „Wie fühlen Sie sich beim Hören dieses Geräusches?“ auf der Skala von „sehr unangenehm“ (-4) bis „sehr angenehm“ (+4); Antworten auf alle Vorbeifahrgeräusche gemittelt; (n = 66 Versuchspersonen x 10 Geräusche = 660).

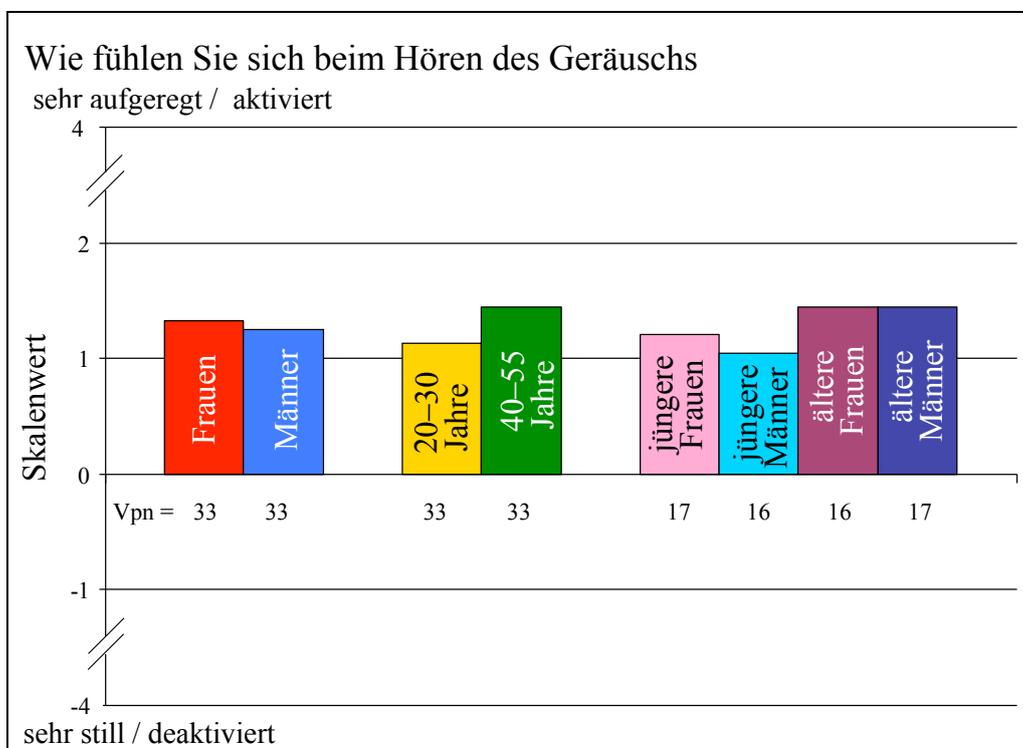


Abb. 17: Mittelwerte der Gruppen Frauen vs. Männer, Junge vs. Ältere und der vier Teilgruppen für die Frage „Wie fühlen Sie sich beim Hören dieses Geräusches?“ auf der Skala von „sehr still/deaktiviert“ (-4) bis „sehr aufgeregt/aktiviert“ (+4); Antworten auf alle Vorbeifahrgeräusche gemittelt; (n = 66 Versuchspersonen x 10 Geräusche = 660).

Bei den Teilgruppen zeigten die älteren Frauen mit Abstand den niedrigsten Skalenwert (-2,08), gefolgt von den jüngeren Männern, den älteren Männern und schließlich den jüngeren Frauen mit einem Wert von nur -1,27. Signifikanzen ergaben sich für den Faktor „Alter“ ($p < 0,05$) und für die Interaktion der Faktoren Alter und Geschlecht ($p < 0,001$). Dabei existieren nur relativ geringe Unterschiede.

Hinsichtlich des Aktivierungsgrades der Versuchspersonen zeigt Abb. 17, dass insgesamt sowohl in den Gruppen als auch in den Teilgruppen die Bewertung ein wenig in Richtung „sehr aufgeregt/aktiviert“ tendiert und in jeder Gruppe über dem Skalenwert 1 liegt.

6.4.3 Bewertung der Geräusche mit der Adjektivliste

Die Einschätzung der Eigenschaften der Geräusche wurde anhand der Adjektivliste vorgenommen und mit Hilfe einer Hauptkomponentenanalyse ausgewertet. 22 der insgesamt 23 Adjektive wurden über gemeinsame Merkmale zu vier verschiedenen Faktoren verdichtet. Das Adjektiv „rau“ blieb unberücksichtigt, da es mit keinem der vier Faktoren ausreichend korrelierte (Anhang 12):

- 1.) Faktor 1 „unangenehm“ (35,9 % Varianzaufklärung) fasst 6 Adjektive zusammen, die verschiedene Aspekte der Belästigung und Störung durch Geräusche ausdrücken: belästigend, laut, aufdringlich, (nicht) angenehm, (nicht) akzeptabel, aggressiv.
- 2.) Faktor 2 „lärmig“ (13,3 % Varianzaufklärung) fasst 8 Items zusammen, die im Vergleich zu Faktor 1 in stärkerem Maße akustische Aspekte beschreiben, die nicht per se negative Bedeutung haben, aber schon zu der Wahrnehmung „Lärm“ passen können: bassig, hallend, groß, tonhaft, dröhnend, röhrend, kraftvoll, pulsierend.
- 3.) Faktor 3 „gefährlich“ (6,6 % Varianzaufklärung) enthält 6 Items, die mehr oder minder mit Überraschung und Gefahr assoziiert sind: überraschend, alarmierend, gefährlich, mechanisch, scharf, Aufmerksamkeit fordernd.
- 4.) Faktor 4 „sportlich“ (5,8 % Varianzaufklärung) enthält nur zwei Items, die offenbar mit ähnlichen Vorbeifahrgeräuschen verbunden sind: sportlich, teuer.

Diese vier Faktoren entsprechen den Resultaten, die in vorangegangenen Studien mit der gleichen Adjektivliste erzielt wurden (vgl. Västfjäll et al. 2003). In Abb. 18 sind diese vier Faktoren einander gegenübergestellt und nehmen jeweils Werte auf einer Skala von „überhaupt nicht“ (1) bis „in höchstem Maße“ (9) ein, die sich für jeden Faktor aus dem Mittelwert aller Items des betreffenden Faktors pro Geräusch und Person ergeben. Der Darstellung zu Grunde liegen dabei die Mittelwerte über alle Vorbeifahrgeräusche.

Die Teilgruppe der älteren Frauen empfindet die Geräusche insgesamt als gefährlicher, lärmiger und unangenehmer als die übrigen Teilgruppen. Varianzanalytisch besteht ein Haupteffekt des Alters ($p < 0,001$) für den Faktor „gefährlich“. Dieser Faktor wird seitens der älteren Versuchspersonen vergleichsweise hoch eingestuft: die älteren Versuchspersonen empfinden die Geräusche im Vergleich zu den jüngeren Probanden also insgesamt als gefährlicher.

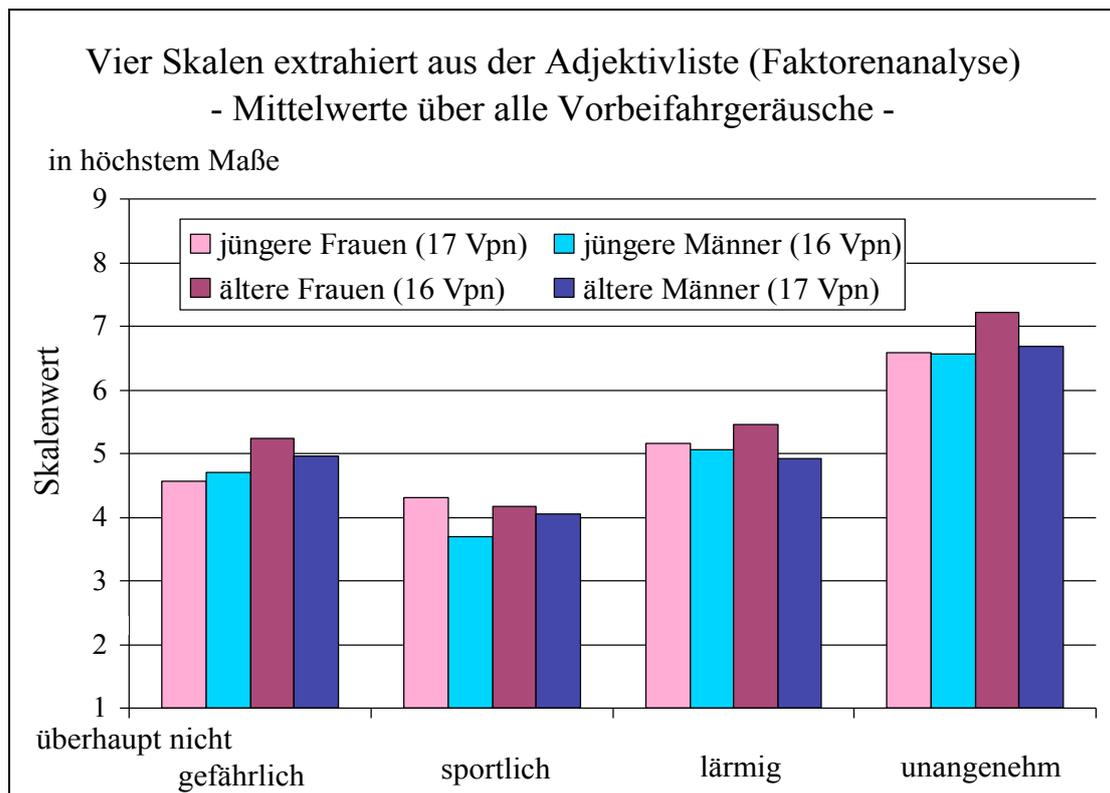


Abb. 18: Mittelwerte in den vier Faktoren der Adjektivliste für die vier Teilgruppen.

Die beiden Faktoren „lärmig“ und „sportlich“ zeigen jeweils einen Haupteffekt des Geschlechts ($p < 0,01$ und $p < 0,05$): die Frauen erleben die Geräusche sowohl lärmiger als auch sportlicher im Vergleich zu den Männern. Der Faktor „unangenehm“ schließlich ergibt Haupteffekte für „Alter“ ($p < 0,001$) und „Geschlecht“ ($p < 0,05$). Erwähnenswert ist die Tatsache, dass bei den jüngeren Versuchspersonen nur ein unmerklicher Unterschied in der Bewertung zwischen den Geschlechtern besteht, während bei den älteren Versuchspersonen die Frauen die Geräusche im Vergleich zu den Männern deutlich als unangenehmer bewerten.

6.4.4 Unterschiede in der Bewertung der einzelnen Geräusche

Abb. 19 vergleicht die Bewertung der Geräuschtypen anhand der Faktoren der Adjektivliste, d. h. hier sind jeweils alle Geräusche entsprechend den Kategorien „Vorbeifahrt mit 50 km/h und Beschleunigung“, „Vorbeifahrt mit 70 km/h“ und „Bremsen – Leerlauf – Anfahren (BLA)“ zusammengefasst worden. Die Ergebnisse für *jedes Einzelgeräusch* in jeder Teilgruppe sind in Anhang 13 wiedergegeben. Während sich zwischen den Einzelgeräuschen eines jeden Paares kein signifikanter Unterschied gezeigt hatte, ergab der Vergleich der Geräuschtypen sehr wohl signifikante Unterschiede ($p < 0,01$) für alle subjektiven Bewertungen.

Die Fahrsituation „BLA“ wurde auf der Skala von „überhaupt nicht“ (1) bis „in höchstem Maße“ (9) am höchsten bewertet und nahm Skalenwerte zwischen 4,6 und 6,7 ein. Lediglich hinsichtlich des Faktors „unangenehm“ wurde die Kategorie „Vorbeifahrt mit 50 km/h und Beschleunigung“ noch höher bewertet; dieses Geräusch wurde also als noch unangenehmer empfunden. Hinsichtlich der „Gefährlichkeit“ wurden diese beiden Geräusche fast gleich beurteilt. Für alle Faktoren („gefährlich“, „sportlich“, „lärmig“ und „unangenehm“) bewerteten die Versuchspersonen die Kategorie „Vorbeifahrt bei 70 km/h, Reifengeräusch im Vordergrund“ am niedrigsten, empfanden dieses Geräusch also im Vergleich am wenigsten gefährlich, sportlich, lärmig sowie auch unangenehm. Als am sportlichsten imponierte den Versuchspersonen die Fahrsituation „BLA“.

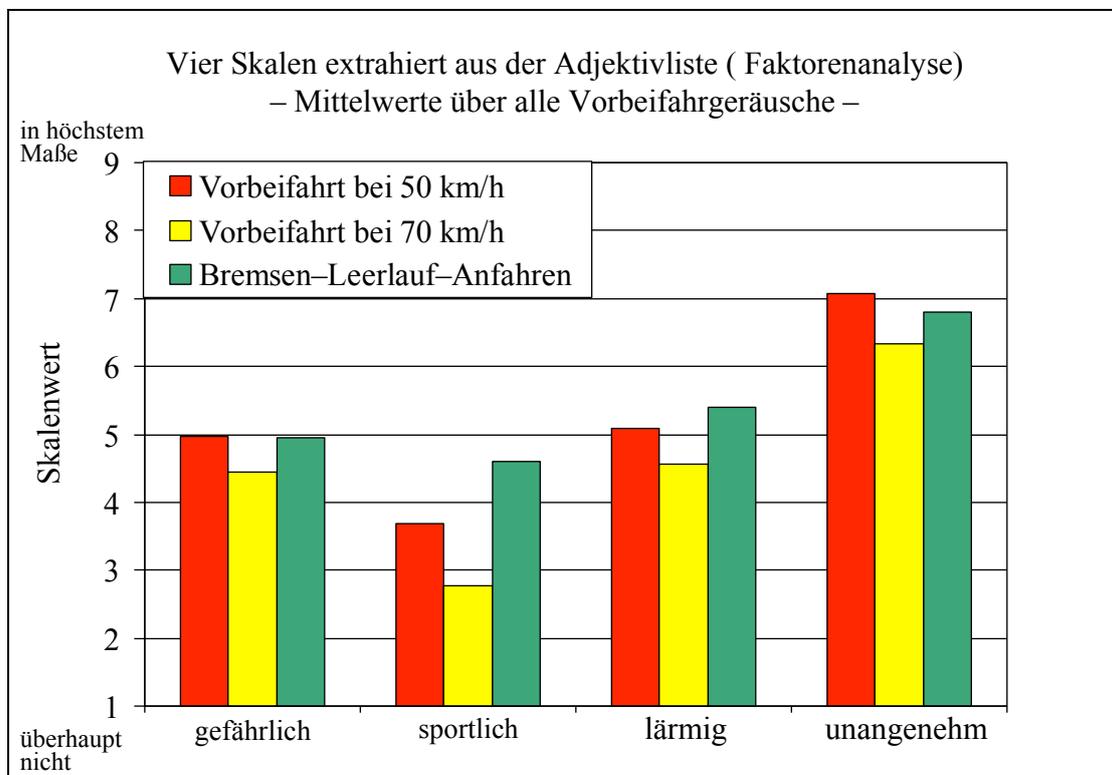


Abb. 19: Mittelwerte in den vier Skalen der Faktorenanalyse der 22 Adjektive für die drei Geräuschkategorien.

Bezüglich der Frage „Wie fühlen Sie sich beim Hören des Geräusches?“ ist an den Ergebnissen in Abb. 20 abzulesen, dass die Versuchspersonen die Geräuschkategorie „Vorbeifahrt bei 50 km/h mit Beschleunigung“ auf der Skala von „sehr unangenehm/deaktiviert“ (-4) bis „sehr angenehm/aktiviert“ (+4) deutlich als am unangenehmsten bewerteten, wohingegen die beiden anderen Kategorien mit nur sehr geringem Unterschied zueinander als weniger unangenehm bewertet wurden. Am wenigsten aktiviert hingegen fühlten sich die Versuchspersonen durch die Geräuschkategorie „Vorbeifahrt bei 70 km/h“ gegenüber den beiden übrigen Geräuschkategorien.

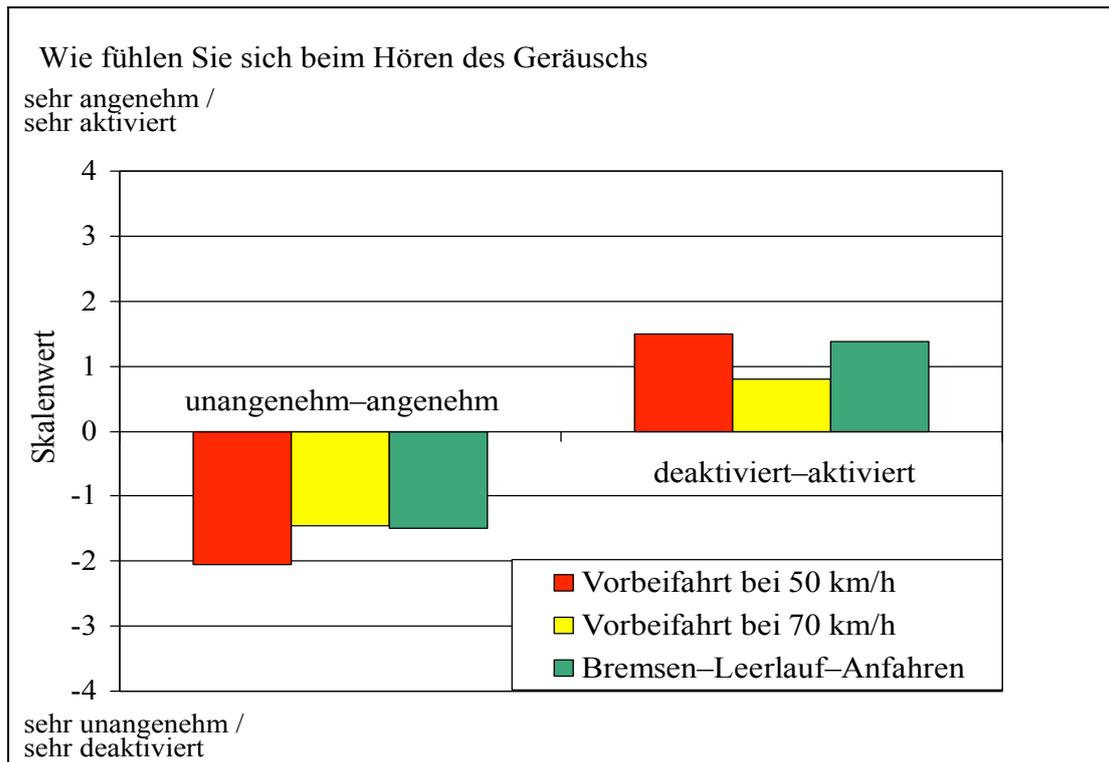


Abb. 20: Mittelwerte über alle Versuchspersonen für die Frage „Wie fühlen Sie sich beim Hören dieses Geräusches?“ auf den Skalen von „sehr unangenehm“ (-4) bis „sehr angenehm“ (+4) sowie von „sehr deaktiviert (-4) bis „sehr aktiviert“ (+4) für die drei Geräuschkategorien.

Schließlich werden in Abb. 21 die Ergebnisse dargestellt, die sich für die drei Geräuschkategorien im Rahmen der generellen Geräuschbeurteilung („Insgesamt mag ich dieses Geräusch...“) mit den Polen „überhaupt nicht“ (1) bis „in höchstem Maße“ (9) ergaben. Wieder wurden die Ergebnisse für die gesamte Stichprobe wie für alle vier Teilgruppen („jüngere Frauen“, „jüngere Männer“, „ältere Frauen“ und „ältere Männer“) betrachtet.

Sowohl die jüngeren Frauen als auch die älteren Männer bewerteten die Geräuschkategorie „Bremsen-Leerlauf-Anfahren“ wesentlich positiver, wobei der Skalenwert hier jeweils über 3 lag. Dagegen mochten diese beiden Teilgruppen die beiden anderen Geräuschkategorien wesentlich weniger. Ähnlich verhielt es sich bei den beiden Teilgruppen der jüngeren Männer und der älteren

Frauen, hier jedoch wurde die Geräuschkategorie „Vorbeifahrt bei 70 km/h“ deutlich präferiert und mit einigem Abstand zu den übrigen Geräuschkategorien bewertet. Insgesamt am meisten gemocht wurde letztgenannte Geräuschkategorie von den jüngeren Männern (Skalenwert > 3,5). Die Fahrsituation „Bremsen-Leerlauf-Anfahren“ hingegen mochten die älteren Männer am liebsten.

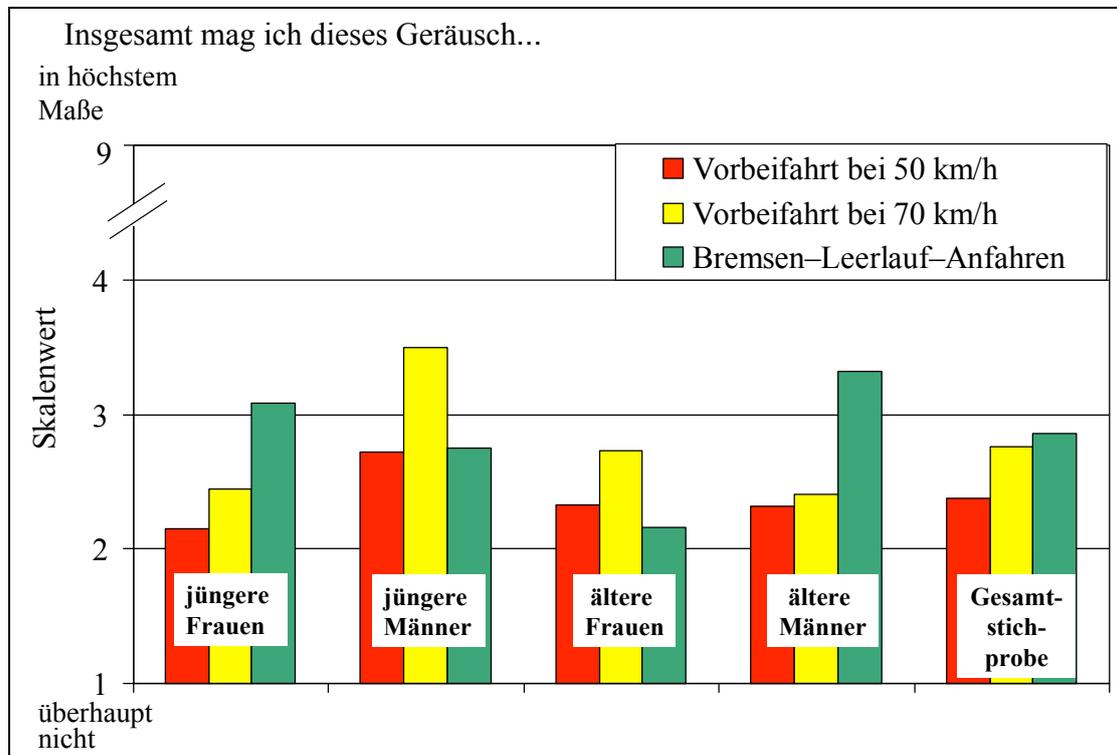


Abb. 21: Generelle Geräuschbeurteilung „Insgesamt mag ich dieses Geräusch...“ in den verschiedenen Geräuschkategorien für die vier Teilgruppen und die Gesamtstichprobe.

Es zeigten sich neben signifikanten Haupteffekten für die Faktoren Teilgruppe ($p < 0,05$) und Geräuschkategorie ($p < 0,01$) ebenso eine signifikante Interaktion dieser beiden Faktoren ($p < 0,001$).

Der letzte Abschnitt des Fragebogens zur subjektiven Geräuschbewertung, in dem jeweils die beiden Geräusche eines Paares direkt miteinander verglichen wurden, führte weder für die Gesamtstichprobe noch in den Teilgruppen zu überzufälligen Ergebnissen.

7 DISKUSSION

Die zentrale Fragestellung der vorliegenden Arbeit ist die Bedeutung von Alter und Geschlecht für die individuellen Reaktionen auf Pkw-Vorbeifahrgeräusche, die sich mit Hilfe physiologischer Messungen und subjektiver Bewertungen via Fragebögen im Laborexperiment feststellen lassen. Aus den dargestellten Ergebnissen resultieren eine Reihe interessanter Schlussfolgerungen. Es werden jedoch auch neue Fragen aufgeworfen.

7.1 Physiologische Reaktionen

In der Lärmforschung begreift man die Erhebung nicht-invasiver physiologischer Parameter wie die Fingerpulsamplitude oder die Hautleitfähigkeit als valide Methoden zur Erfassung einer kurzzeitigen zentralnervösen Aktivierung durch externe Stressoren, wie der in dieser Arbeit untersuchte Stimulus „Pkw-Vorbeifahrgeräusche“.

Auch die früheren Untersuchungen im Rahmen des SVEN-Projekts konnten verschiedene Parameter als besonders gute Indikatoren physiologischer Aktivierung identifizieren. Zu nennen sind in erster Linie die Fingerpulsamplitude und die Hautleitfähigkeit, die sich beide auch in der aktuellen Studie als aussagekräftig erwiesen und somit die diesbezüglichen Erwartungen erfüllen konnten. Im Gegensatz zum SVEN-Projekt wurden jedoch nicht nur studentische männliche Versuchspersonen untersucht, sondern vier Gruppen, die sich in Alter und Geschlecht unterschieden und die zum Teil divergierende Reaktionstendenzen zeigten.

Der Einsatz der Herzratenvariabilität im Kontext derartiger Untersuchungen ist nach wie vor als Novum zu bezeichnen. Die Registrierung der HRV stellt für den Probanden praktisch keine Belastung oder Belästigung dar, ihre Erfassung ist technisch sehr einfach und ihre Auswertung ist mit heutigen Methoden wenig problematisch. Probleme bereiten hingegen die noch fehlende Standardisierung der Messperiode und die Interpretation der bisweilen kryptischen Ergebnisse. Die Verwendung der HRV in der EUGT-Studie hatte das Ziel, zu prüfen, ob die HRV als brauchbarer Parameter zur Erfassung von vegetativen Reaktionen auch bei kurzzeitigem Einsatz dienen kann.

Zu den einzelnen physiologischen Parametern sind folgende Ergebnisse hervorzuheben, die mit den Resultaten vergleichbarer Studien in der Literatur abgeglichen werden sollen:

– Die **Fingerpulsamplitude** sollte sich - wie schon in den vorhergehenden SVEN-Projekten - besonders gut für die Erfassung der sympathikotonen Reaktionen auf Schallreize eignen. Diese Erwartung wurde erfüllt. Es zeigten sich Unterschiede zwischen den Teilgruppen, wobei passend

zur starken Reaktion junger Versuchspersonen im Rahmen von SVEN auch hier die Teilgruppe der jüngeren Männer besonders kräftig reagierte.

Altersabhängige Unterschiede waren auch erwartet worden. Die grundlegenden Arbeiten von Jansen und Mitarbeitern zur Altersabhängigkeit der FPA belegen einen deutlichen Altersgang (Jansen et al. 1978, Gros & Rehm 1980). Lärmversuche mit insgesamt 516 Probanden im Alter zwischen 18 und 55 Jahren zeigen ein deutliches Maximum der FPA-Reaktion zwischen 18 und 34 Jahren mit einer stetigen Verringerung der Reaktionsstärke mit den geringsten Werten um 50 Jahre. Geschlechtsunterschiede konnten von ihnen nicht eindeutig belegt werden und stimmen damit mit den Ergebnissen von Carillo et al (2010) überein, die ebenfalls keinen Geschlechtsunterschied fanden – wohl aber einen Unterschied in der EDA, wie hier auch. Tassi et al. (2010) demgegenüber untersuchten den Einfluss von Eisenbahngeräuschen auf schlafende Probanden. Sie fanden jedoch keine Altersunterschiede in der Fingerpulsamplitude. Die Auslösbarkeit der FPA-Reaktion im Schlaf sowie die weitgehende Unabhängigkeit von psychischen Vorbedingungen bestätigt die Annahme, dass die FPA-Reaktionen vermittels der *Formatio reticularis* ausgelöst werden, so dass kognitive Prozesse weitgehend ausgeschaltet sind.

– Im Rahmen der Messung des **Hautleitfähigkeitsniveaus** zeigten alle vier Teilgruppen auf Vorbeifahrgeräusche eine starke Reaktion im Sinne einer erhöhten Aktivierung. Die Teilgruppen der weiblichen Probanden weisen die höchsten Hautleitwerte auf, wobei hier die älteren Frauen mit Abstand die höchsten Werte erreichen, danach folgen die älteren und dann die jüngeren Männer mit dem geringsten Reaktionslevel. Diese Unterschiede lassen sich in der MANOVA auch statistisch absichern. Es stellt sich ein signifikanter Haupteffekt des Faktors Geschlecht sowie eine signifikante Interaktion „Alter x Geschlecht“ heraus. Da die EDA in hohem Maße von der psychischen Erregung abhängt, könnte dieses Ergebnis dafür sprechen, dass die Frauen und allen voran die älteren Frauen eine wesentlich stärkere emotionale Beteiligung bei diesen Experimenten zeigen. Diese Annahme wird gestützt durch die Ergebnisse der subjektiven Bewertung (s. u. Kap. 7.2): Die älteren Frauen mögen die Geräusche am wenigsten, sie fühlen sich während des Hörens der Geräusche am stärksten unangenehm, ebenso fühlen sie sich beim Hören der Geräusche (zusammen mit den älteren Männern) aufgeregter und aktivierter als die Jüngeren. Die Eigenschaften der Geräusche „gefährlich“, „lärmig“ und „unangenehm“ empfinden sie in höherem Maße als die anderen Teilgruppen. Es liegt auf der Hand, dass die älteren Frauen sich in der Experimentalsituation offenbar unwohl fühlten. Die stärkere EDA würde sehr gut dazu passen. Dies könnte zudem ein Hinweis darauf sein, dass FPA und EDA in unterschiedlichem Maße von kognitiven Prozessen beeinflusst werden, wobei bei der EDA eine stärkere psychische bzw. emotionale Komponente anzunehmen ist. Pkw-Geräusche zusammen mit der ungewohnten

Experimentalsituation sind scheinbar in der Lage, Geschlechtsunterschiede zu offenbaren, da sie unterschiedlich emotional besetzt sind.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen ist nur grob schematisierend möglich. Stärkere EDA-Reaktionen bei Frauen fanden auch Carillo et al. (2001) in ihrer Studie, in deren Rahmen Versuchspersonen während der Vorbereitung und der Darbietung einer Rede untersucht wurden. Einen Geschlechtsunterschied konnten auch Dorokhov et al. (2000) in ihren nur bedingt mit der vorliegenden Studie vergleichbaren Untersuchungen feststellen, in denen männliche Versuchspersonen signifikant schnellere Hautleitreaktionen als weibliche Versuchspersonen aufwiesen. Allerdings gilt diese Beobachtung hauptsächlich für phasische Reaktionen, wohingegen in dieser Untersuchung der sich langsam verändernde tonische Anteil, der als Maß für eine globale Aktiviertheit steht, als Datengrundlage diente. Andere Autoren wie Gavazzeni et al. (2008) beobachteten in ihren Messungen stärkere Reaktionen bei jüngeren Versuchspersonen und stellten somit für diesen Parameter Alterseffekte dar. Allerdings wurden die Probanden in ihrer Untersuchung nicht akustischen, sondern optischen Stimuli ausgesetzt. Ebenfalls Alterseffekte herausarbeiten konnten Steptoe et al. (1996), indem sie im Rahmen von mentalen Stressaufgaben bei jüngeren Versuchspersonen stärkere Reaktionen als bei älteren Versuchspersonen darstellten. Einen Geschlechtseffekt zeigten diese Untersuchungen hingegen nicht.

– Die **Herzratenvariabilität** zeigte für die Messgröße SDNN mit Ausnahme der älteren Frauen einen deutlichen Abfall während der Geräuschexposition. Dies könnte als Hinweis darauf gedeutet werden, dass die Verminderung der HRV Folge einer Steigerung des Sympathikotonus ist. Dafür spricht auch, dass bei allen Teilgruppen (am stärksten bei den jungen Probanden) die SDNN-Werte in der nachgeschalteten Ruhephase wieder kräftig ansteigen. Dies ließe sich als eine Verminderung der sympathischen Einflüsse auf die HRV interpretieren.

Das Reaktionsmuster der älteren Frauen fällt etwas aus dem Rahmen, da die SDNN ihre niedrigsten Werte in der Ruhephase vor der Geräuschexposition annimmt und nicht während der Beschallung. Diese Konstellation könnte dadurch verursacht sein, dass sich die älteren Frauen während des Versuchs kaum entspannten. Schon vor Beginn der Geräuschexposition setzte bei den älteren Frauen wahrscheinlich eine erneute Unruhe und nervöse Erwartungshaltung ein. Etwas Beruhigung – erkennbar an den leicht gestiegenen SDNN-Werten – stellt sich in der Ruhephase nach den Geräuschen ein, so dass die HRV in dieser Phase insgesamt den höchsten Wert aufweist. Diese Erklärung ist vor allem vor dem Hintergrund der sehr starken Anhebung der EDA bei den älteren Frauen im Zusammenhang mit den stark negativen subjektiven Bewertungen zu sehen, die auf eine deutliche emotionale Anspannung hindeuten.

Die Ergebnisse der rMSSD sind wenig aussagekräftig, da die Mittelwertunterschiede zwischen und in den Teilgruppen sehr gering ausfallen. Nur bei den beiden männlichen Teilgruppen zeigt sich ansatzweise eine Verringerung der HRV während der Geräuschexposition, die für eine Verminderung des Parasympathikotonus sprechen würde. Allerdings weist die Teilgruppe der älteren Männer deutlich niedrigere Werte als die anderen Teilgruppen auf. Bei den älteren Frauen zeigten sich kaum Unterschiede zwischen den Phasen der Ruhe und der Geräuschexposition. Offenbar findet keine Änderung des Parasympathikotonus statt.

Auch für die Herzratenvariabilität lassen sich nur wenige vergleichbare Untersuchungen heranziehen, da die Versuchsbedingungen sehr stark variieren, wie zum Beispiel die Variablen Expositionszeit oder Geräusch-Stimulus. Auch wurden meist Indikatoren aus dem Frequenz-Bereich verwendet und nicht wie in der vorliegenden Studie Indikatoren aus dem Zeit-Bereich. Die Ergebnisse erscheinen insgesamt recht widersprüchlich. Bei Tzaneva et al. (2001) sinkt die HRV nach Einsetzen von Lärm erwartungsgemäß, ebenso verzeichneten Yanagihashi et al. (1997) eine geringere HRV bei einer Exposition gegenüber mechanischen Geräuschen im Vergleich zu einer Beschallung mit Vogelgezwitscher oder Musik. Alvarsson et al. (2010) wiesen hingegen im Vergleich natürlicher Laute und Verkehrslärm keinen Unterschied in der HRV nach. Paradoxerweise stieg die HRV in den Untersuchungen von Björ et al. (2007) unter Lärmexposition an. Hinsichtlich des Alters finden sich in der Literatur auch Ergebnisse (Agelink et al. 2001, Kuch et al. 2001, Kuo et al. 1999, Stein, Kleiger & Rottman 1997) einer reduzierten HRV mit zunehmendem Alter. Bezüglich des Geschlechtseinflusses existieren jedoch uneinheitliche Ergebnisse (Stein et al. 1997, Kuch et al. 2001).

Insgesamt lässt sich zu den physiologischen Reaktionen in dem hier vorgestellten Versuch festhalten, dass die Gruppen der jüngeren Männer und älteren Frauen in einigen Aspekten gegensätzliche Tendenzen aufweisen. Bezüglich der Gruppe der älteren Frauen ist einerseits die starke Reaktion in der Hautleitfähigkeit auffällig, andererseits sticht der nur verhaltene Ausschlag der Fingerpulsamplitude in dieser Gruppe ins Auge. Nahezu gegensätzlich verhält es sich mit der Gruppe der jüngeren Männer, die zum einen in der Hautleitfähigkeit die niedrigsten Werte und somit den niedrigsten Aktivierungsgrad zeigen, zum anderen bei der Fingerpulsamplitude die stärksten Veränderungen aufweisen. Bezüglich der Herzratenvariabilität ist das paradoxe Reaktionsmuster in der Gruppe der älteren Frauen erwähnenswert. Wie die zitierten experimentellen Arbeiten zu diesen drei physiologischen Reaktionsgrößen zeigen, sind die in der Literatur berichteten Ergebnissen aus vergleichbaren Studien kaum vergleichbar mit den Ergebnissen dieser Untersuchung. Für die Hautleitfähigkeit und für die Herzfrequenzvariabilität gibt es zumindest Hinweise auf einen ähnlichen Alterseinfluss. Bezüglich des Faktors „Geschlecht“ liegen Ergebnisse

mit gegensätzlichen Wirkungstendenzen vor, und insgesamt unterscheiden sich die zitierten Studien zu physiologischen Parametern sehr stark im Versuchsaufbau und in den verwendeten Belastungsfaktoren, so dass ein Vergleich nur bedingt aussagekräftig sein kann.

Die gegensätzlichen Tendenzen von FPA und EDA lassen sich noch am ehesten damit erklären, dass diese beiden Parameter auf unterschiedlichen Ebenen des vegetativen Nervensystems reguliert werden und auf unterschiedliche Weise von Alter und Geschlecht determiniert werden. Während die EDA eine starke psychologische Komponente hat, die der FPA fehlt, hängt die FPA stärker von Antwortreaktionen ab, die von der Formatio reticularis ausgehen, und nicht von der psychischen Beeinflussung. Außerdem ist die Reaktionsgröße der FPA von der Elastizität der peripheren Gefäße abhängig, die bei jungen Männern noch eine gute Reaktionsfähigkeit zeigen.

Einen übergreifenden Erklärungsansatz für die genannten Reaktionsmuster bietet die Psychophysiologie. Sie geht von der Überlegung aus, dass etwa ein physiologisches System eine ganz bestimmte Ebene oder Qualität der Reaktion auf Geräusche erfasst, während ein zweites physiologisches System mit einer völlig anderen Ebene korrespondiert. In der Psychophysiologie erforscht man Reaktionsmuster oder auch Reaktionsprofile, worunter relativ stabile Unterschiede in der Reaktionshöhe verschiedener physiologischer Reaktionen verstanden werden (Foerster et al. 1983, Lang et al. 1993, Schandry 1998). Bei diesen Reaktionsmustern unterscheidet man wiederum individualspezifische Reaktionen von stimuluspezifischen Reaktionen. Unter ersterem Reaktionsmuster versteht man, dass – bezogen auf ein bestimmtes physiologisches System – ein Individuum auf unterschiedliche Reize weitgehend gleichmäßig stark reagiert, bezüglich eines weiteren Systems dagegen jedoch schwächer. Bei stimuluspezifischen Reaktionen hingegen determiniert ein bestimmter Reiz eine entsprechende Reaktion. Beispielsweise wird durch den Stimulus „Ärger“ ein eher noradrenalinerges Reaktionsmuster in Form eines Anstieges diastolischer Blutdruckwerte abgerufen, während ein anderer Stimulus wie etwa „Angst“ eher adrenerg mit einem Herzfrequenzanstieg beantwortet wird. Es besteht also auch weiterhin großer Erklärungsbedarf hinsichtlich der dargestellten Ergebnisse.

7.2 Subjektive Bewertung der Geräusche

In Zusammenschau mit der subjektiven Bewertung der dargebotenen Geräusche ist es bemerkenswert, dass in der Gruppe der älteren Frauen, in der die deutlich stärkste Reaktion in der Hautleitfähigkeit zu verzeichnen war, durchweg in allen Bewertungen die negativsten Beurteilungen abgegeben worden sind: Beim Hören der Geräusche fühlen sie sich von allen Gruppen am unangenehmsten und mögen die Geräusche am wenigsten. In dieser Teilgruppe ließen

sich zudem die höchsten Skalenwerte für die Kriterien „gefährlich“, „lärmig“ und „unangenehm“ feststellen. Diese im Vergleich zu den anderen Teilgruppen emotional stärkeren Bewertungen passen zu der starken Hautleitfähigkeitsreaktion und den fehlenden bzw. paradoxen HRV-Veränderungen. Wie schon angedeutet lässt sich die auffallend starke Reaktion der Hautleitfähigkeit bei den älteren Frauen und deren damit einhergehender ausgeprägter negativer Geräuschbewertung als Indikator für Aversion begreifen.

Dem gegenüber steht die starke Fingerpulsamplituden-Reaktion in der Gruppe der jüngeren Männer, bei denen lediglich ein uneindeutiger Zusammenhang mit ihren Geräuschbewertungen erkennbar ist. So rangieren sie hinsichtlich der Frage „Wie fühlen Sie sich beim Hören des Geräuschs?“ gleich hinter den älteren Frauen, umgekehrt liegen sie bei der Bewertung „Insgesamt mag ich dieses Geräusch...“ mit dem zweithöchsten Wert hinter der Gruppe der älteren Männer. Für die jüngeren Männer ergibt sich auch der niedrigste Wert bei der empfundenen Erregung oder Aktiviertheit. In der subjektiven Reaktion auf die dargebotenen Geräusche zeigen sie also insgesamt die unauffälligsten Reaktionen im Verhältnis zu den anderen Gruppen, insbesondere aber im Vergleich zur Gruppe der älteren Frauen.

In der Gruppe der jüngeren Männer finden sich in der Geräuschevaluation uneinheitliche Ergebnisse und damit verbunden hohe gemessene Werte in der Fingerpulsamplitude. Dies könnte bedeuten, dass dieser Parameter eher eine gewisse wertfreie Aktivierung abzubilden vermag. Dieser Theorie entsprechen würde auch der im Verhältnis zur Hautleitfähigkeit eher niedrige Ausschlag der Fingerpulsamplitude bei den älteren Frauen. Weiterführende Studien könnten zu einer Klärung dieser Erklärungsansätze beitragen.

7.3 Schlussfolgerungen

Insgesamt wird in diesem Versuch deutlich, dass sich die Messung physiologischer Reaktionen auf Pkw-Vorbeifahrgeräusche dazu eignet, die jeweilige Intensität der erlebten Aktivierung abzubilden. Zudem wird klar, dass diese physiologischen Reaktionen auf Vorbeifahrgeräusche in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht differieren. Aber auch die subjektive Bewertung der Geräusche unterliegt offenbar der Einflussnahme dieser Faktoren. Inwieweit hier Reaktionsmuster in dem Sinne vorliegen, dass Geräusche je nach Alter und Geschlechtszugehörigkeit unterschiedlich wahrgenommen oder bewertet werden und damit auch Unterschiede in der Intensität der physiologischen Reaktion und individueller Präferenz für eine physiologische Reaktionsebene einher gehen, lässt sich aus den Daten dieser Studie nicht abschließend beurteilen. Angesichts der großen interindividuellen Streuung der physiologischen Reaktionen innerhalb der vier Teilgruppen wäre

eine deutlich größere Stichprobe nötig, um Schlussfolgerungen ziehen zu können, und sicher sollte auch ein breiterer Bereich von akustischen Stimuli verwendet werden, um Verallgemeinerungen über Vorbeifahrgeräusche hinaus zu ermöglichen. Weitere Laborstudien, in denen diese Fragen verfolgt werden, sind daher wünschenswert.

Thematisiert werden sollte dabei insbesondere der bisher wenig untersuchte Alterseffekt. Wie bereits einleitend dargestellt, ist Umweltlärm dieser Tage und auch in Zukunft in vermehrtem Maße ein ernstzunehmendes Problem. Demographische Veränderungen führen in den nächsten Jahrzehnten zwangsläufig dazu, dass zunehmend ältere Menschen lärmexponiert sein werden und sowohl die stetig wachsende Lärmbelästigung durch die zunehmende Mobilität der Bevölkerung als auch der weiter ansteigende Verkehr werden ihren Teil dazu beitragen.

Vor diesem Hintergrund ist insbesondere die Feststellung einer altersabhängigen Veränderung der Reaktionsmuster für die Bewertung zukünftiger Umweltlärmszenarien von näherem Interesse, und es sollte diesen Erkenntnissen mit weiteren Untersuchungen Rechnung getragen werden, in denen gezielt Reaktionsmuster älterer Versuchspersonen auf verschiedene Verkehrslärmsituationen analysiert werden, um entsprechende Lärmschutzziele präziser fassen können.

8 ZUSAMMENFASSUNG

Umweltlärm und insbesondere Verkehrslärm durch Schienen-, Flug- und vor allem Straßenverkehr ist in der heutigen Zeit mehr denn je ein ernstzunehmendes Problem, denn Lärm bedeutet eine Einschränkung von Lebensqualität und Wohlbefinden und muss nicht zuletzt auch als gesundheits-schädigend bewertet werden, und zwar in körperlicher, seelischer sowie psychosozialer Hinsicht.

Auf der Suche nach neuen Maßnahmen der Lärmbekämpfung wird seit längerem ein weiteres Konzept erprobt: die Beeinflussung der subjektiven Lärmwahrnehmung und der erlebten Geräuschqualität, wie es bereits mit Erfolg für die akustische Optimierung von Pkw-Innenräumen oder auch im Produktdesign von technischen Geräten angewendet wird. Im Rahmen des EU-Verbundprojektes SVEN („Sound Quality of Vehicle Exterior Noise“) wurde vor Jahren untersucht, ob sich dieses Konzept der „Geräuschqualität“ auch auf die Bewertung von Pkw-Außengeräuschen anwenden lässt.

Beim Vergleich der physiologischen und psychologischen Reaktionen auf Geräuschpaare zeigte sich in der Regel eine Übereinstimmung zwischen den Parametern in Form von stärkerer physiologischer Reaktion bei negativer Bewertung des Geräusches. Ein auffälliges Ergebnis dieser Studien war die auffällige Reaktion der jungen männlichen Versuchspersonen auf einige wenige Geräuschreize, bei denen die stärkere Reaktion mit einer subjektiv positiveren Bewertung verbunden war. Als mögliche Erklärung wurde eine besondere Affinität dieser Versuchspersonen zu kraftvollen Motorengeräuschen vermutet. Zur Prüfung dieser Annahme sollte in der Folgestudie der Einfluss von Alter und Geschlecht untersucht werden.

Die hier vorliegende Arbeit im Rahmen eines Forschungsprojektes der Europäischen Forschungsvereinigung für Umwelt und Gesundheit im Transportsektor e.V. (EUGT) prüft die Hypothese, dass Pkw-Geräusche alters- und geschlechtsabhängig unterschiedlich bewertet werden. Im Zeitraum von Februar bis März 2009 wurde der Versuch im Schalllabor mit insgesamt 66 Versuchspersonen beiderlei Geschlechts in den Altersklassen 20-30 und 40-55 Jahre durchgeführt. Ihnen wurden verschiedene Pkw-Vorbeifahrgeräusche dargeboten und gleichzeitig wurden physiologische Parameter wie Fingerpulsamplitude, Hautleitfähigkeit und Herzratenvariabilität aufgezeichnet. Die subjektive Bewertung der Geräusche wurde mit mehreren Fragebögen erfasst.

Grundsätzlich zeigten sich in den physiologischen Maßen die Reaktionen, die aus Laborversuchen mit Geräuschen ausreichender Schallintensität regelmäßig zu beobachten sind: starker Abfall der Fingerpulsamplitude nach Expositionsbeginn sowie ein allmählicher Anstieg der Hautleitfähigkeit und (nicht bei allen Teilgruppen) eine Reduzierung der Herzratenvariabilität während der

Beschallung. Auch die Erfassung der subjektiven Bewertung mit verschiedenen Fragebögen ergab eine in sich stimmige grundsätzlich negative Bewertung der verschiedenen Geräusche.

In fast allen Reaktionsmaßen zeigten sich aber auch zwischen den vier Teilgruppen deutliche Unterschiede, die auf unterschiedliche Reaktionsmuster schließen lassen. Die jüngeren Männer wiesen z.B. die stärkste Reaktion in der Fingerpulsamplitude auf bei gleichzeitig relativ gemäßigten Werten in der subjektiven Bewertung der Geräusche. Demgegenüber zeigten die älteren Frauen die stärkste Reaktion in der Hautleitfähigkeit bei besonders deutlich ausgeprägter Ablehnung der Geräusche.

Zwei Erklärungsansätze werden für diese divergierenden Reaktionen diskutiert: Einerseits könnten die physiologischen Parameter auf biologischer Ebene spezifisch von Alter und/oder Geschlecht determiniert werden. Andererseits könnten komplexe unterschiedliche Reaktionsmuster auf Geräusche existieren, beispielsweise eine Aktivierung durch Geräusche, begleitet von erlebter Belästigung und Abwehr und assoziierter stärkerer Ausprägung in der Hautleitfähigkeit, oder eine starke Aktivierung mit einhergehender positiver Wertigkeit, die stärker mit einem Anstieg in der Fingerpulsamplitude verbunden ist. Zur Klärung dieser Fragen wären weitere Untersuchungen wünschenswert.

9 LITERATURVERZEICHNIS

Agelink, M.W., Malessa, R., Baumann, B., Majewski, T., Akila, F., Zeit, T., Ziegler, D. (2001): *Standardized tests of heart rate variability: normal ranges obtained from 309 healthy humans, an effect of age, gender, and heart rate*. Clinical Autonomic Research, 11: 99–108

Alvarsson, J.J., Wiens, S., Nilsson, M.E. (2010): *Stress recovery during exposure to nature sound and environmental noise*. Int J Environ Res Public Health 7: 1036–1046

Bednarzyk, M. (1999): *Qualitätsbeurteilung der Geräusche industrieller Produkte. Der Stand der Forschung, abgehandelt am Beispiel der Pkw-Innenraumgeräusche*. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 396. Düsseldorf: VDI

BGH (1999): *Polygraphentest als Beweismittel*. Urteil vom 17.12.98 (1 StR 156/98) JurPC Web-Dok. 13/1999, Abs. 1 – 75

Björ, B., Burström, L., Karlsson, M., Nilsson, T., Näslund, U., Wiklund, U. (2007): *Acute effects on heart rate variability when exposed to hand transmitted vibration and noise*. Int Arch Occup Environ Health 81: 193–199

Blauert, J.; Jekosch, U. (2003): *Concepts behind sound quality – some basic considerations*. Proc. InterNoise 2003, Jeju (Korea), paper no. 466

Böckelmann, I., Arnold, I., Ferl, Th., Pfister, E.A. (2002): *Schadstoffbedingte Beeinflussung bei gesunden langjährig exponierten Arbeitnehmern*. Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Arbeits- und Umweltmedizin. 42. Jahrestagung der DGAUM, München 2002: 112-116, Fulda: Rindt

Böckelmann, I., Maier, F., Pfister, E. A. (2008): *Herzfrequenzvariabilität bei bleibelasteten Polizeischießausbildern unter standardisierten Laborbedingungen*. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 58, 11: 322-328

Borell, von, E., Langbein, J., Després, G., Hansen, S., Leterrier, C., Marchant-Forde, J., Marchant-Forde, R., Minero, M., Mohr, E., Prunier, A., Valance, D., Veissier, I. (2007): *Heart rate variability as a measure of autonomic regulation of cardiac activity for assessing stress and welfare in farm animals – a review*. Physiology & Behaviour (2007) 92, 293 – 316.

Breithardt, G., Borggreffe, M., Fetsch, T., Böcker, D., Mäkijärvi, M., Reinhardt, L. (1995): *Prognosis and risk stratification after myocardial infarction*. Eur Heart J, Aug;16 Suppl G:10-9. Review

Brosig, B., Gieler, U. (2004): *Die Haut als psychische Hülle*. Gießen: Psychosozial Verlag

Bürklein, M., Vogt, L., Banzer, W. (2005): *Cross validation of HRV measurements before and after exercise*. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 12:415-421

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Schweiz: *Auswirkungen von Lärm*.
<http://www.bafu.admin.ch/laerm/10520/10521/index.html?lang=de>. Letzter Zugriff: 16.04.2013
<http://www.bafu.admin.ch/laerm/10520/10522/index.html?lang=de>. Letzter Zugriff: 16.04.2013
<http://www.bafu.admin.ch/laerm/10520/10523/index.html?lang=de>. Letzter Zugriff: 16.04.2013

Burk, C.L. (2005): *Phasische elektrodermale Aktivität als Persönlichkeitsindikator*. Inaugural-Dissertation, Justus-Liebig Universität Gießen

- Carrillo, E., Moya-Albiol, L., González-Bono, E., Salvador, A., Riparte, J., Gómez-Amor, J. (2001): *Gender differences in cardiovascular and electrodermal responses to public speaking task: the role of anxiety and mood states*. International Journal of Psychophysiology, 42: 253–264
- Dorokhov, V.B., Dementienko, V.V.; Korneva, L.G.; Markov, A.G.; Shakhnarovich, V.M. (2000): *Sex differences in electrodermal activity in wakefulness of a different level*. Human Physiology, 26: 500–503
- Eberhardt, M., Schäfer, R. (2005): *Klinikleitfaden Anästhesie*. 5. Aufl., S. 164. München: Elsevier
- Europäisches Parlament und Rat: Richtlinie 2003/49/EG vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. ABL EG L 189 v. 18. Juli 2002, S. 12
- Fastl, H. (1998): *Psychoakustische Methoden*. In: Kalivoda, T.; Steiner, J.W. (Hrsg.): Taschenbuch der Angewandten Psychoakustik. Wien/New York: Springer
- Foerster, F., Schneider, H.J., Walschburger, P. (1983): *Psychophysiologische Reaktionsmuster*. Minerva, München
- Fowles, D.C. (1986): *The endocrine system and electrodermal activity*. In Coles, M.G.H., Donchin, E. & Porges, S.W: (Eds.), Psychophysiology (pp. 51-96). New York: Guilford
- Fritsch, H., Kühnel, W. (2005): *Taschenatlas der Anatomie, Band 2: Innere Organe.*, 9., überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 410. Stuttgart: Thieme.
- Gavazzeni, J., Wiens, S., Fischer, H. (2008). *Age effects to negative arousal differ for self-report and electrodermal activity*. Psychophysiology 45: 148–151
- Gärtner, C., Notbohm, G., Schwarze, S. (2003): *Perception of sound quality of vehicle-pass-by noises after technical modification*. European Acoustics Association (EAA): Proceedings of Euronoise – 5th European Conference on Noise Control, 19.–21.5.2003, Naples, Italy. Paper 135, CD-ROM (ISBN 88-88942-00-9)
- Genuit, K., Fiebig, A. (2004): *Die Psychoakustik im Bereich der Lärmwirkungsforschung*. Prakt. Arb.med. 9: 14-18
- Genuit, K., Guidati, S., Rossberg, S. (2007): *Psychoacoustical evaluation of traffic noise*. 19th International Congress on Acoustics, Madrid, 2.–7.9.2007 (CD-ROM)
- Gros, E., Rehm, S. (1980): *Die Fingerpulsamplitude als epidemiologische Messgröße*. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Die Messung der Fingerpulsamplitude im Rahmen der psychophysiologischen Diagnose von Lärmwirkungen, S. 41-59. Berlin: Umweltbundesamt
- European Society of Cardiology (1996): *Guidelines: Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use*. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. *European Heart Journal* 17: 354–381
- Haas, J., Liebrich, A., Himmrich, E., Treese, N. (2000): *Kurzzeitmessung der HRV bei Postinfarktpatienten*. *Herzschr Elektrophys* 11:102-109

Henriques, G., Keffer, S., Abrahamson, C., Horst, S.J. (2011): *Exploring the effectiveness of a computer-based heart rate variability biofeedback program in reducing anxiety in college students*. Appl Psychophysiol Biofeedback. 36: 101-12

Jansen, G. (1967): *Zur nervösen Belastung durch Lärm*. Steinkopff: Darmstadt

Jansen, G. (1980): *Die Methode der Fingerpulsamplitudenmessung und ihre Stellung in Physiologie und Epidemiologie*. Texte des Umweltbundesamtes

Jansen, G., Rehm, S., Griefahn, B., Gros, E. (1978): *Wirkungen von Lärm auf besondere Personengruppen*. Forschungsbericht. Berlin: Umweltbundesamt

Jansen, G., Rehm, S., Gros, E.: (1980): *Untersuchungen zur Frage der Lärmempfindlichkeit*. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 27: 9-12

Jansen, G., Griefahn, B., Gros, E., Rehm, S. (1981): *Methodische Überlegungen zur Aussagefähigkeit der Fingerpulsamplitudenmessung im Rahmen der psychophysiologischen Diagnose von Lärmwirkungen*. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 28: 95-104

Jansen, G., Schwarze, S. (1989): *Extraaurale Lärmwirkungen*. In: Konietzko, H. & Dupuis, H. (Hrsg.): *Handbuch der Arbeitsmedizin*. Kap. III-4.2, S. 1-14. Landsberg: ecomed

Jekosch, U.; Blauert, J. (2005): *Schritte zu einer vereinheitlichten Theorie von Geräuschen*. Z. Lärmbekämpf. 52: 78–81

Kang, M.G., Koh, S.B., Cha, B.S., Park, J.K., Woo, J.M., Chang, S.J. (2004): *Association between Job Stress on Heart Rate Variability and Metabolic Syndrome in Shipyard Male Workers*. Yonsei Medical Journal, 45: 838-846

Kleiger, R.E., Miller, J.P., Bigger, J.T., Moss, A.J., and the Multicenter Post-Infarction Research Group (1987): *Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after myocardial infarction*. Am J. Cardiol 59: 256-262

Kraftfahrt-Bundesamt (KBA): *Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2011*. http://www.kba.de/cln_030/nn_124584/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand__node.html?__nnn=true. Letzter Zugriff: 17.12.2011

Krebber, W., Genuit, K., Sottek, R (2002): *Sound Quality of Vehicle Exterior Noise*. Forum Acusticum Sevilla 2002 (CD-ROM)

Kuch, B., Hense, H.W., Sinnreich, R., Kark, J.D., von Eckardstein, A., Sapoznikov, D., Bolte, H.-D. (2001): *Determinants of short-period heart rate variability in the general population*. Cardiology, 95: 131–138

Kuo, T.B.J., Lin, T., Yang, C.C.H., Li, C.-L., Chen, C.-F., Chou, P. (1999): *Effect of aging on gender differences in neural control of heart rate*. American Journal of Physiology Heart – and Circulation Physiology, 277: 2233–2239

Lang, P.J., Greenwald, M.K., Bradley, M.M., Hamm, A.O. (1993): *Looking at pictures: Affective, facial, visceral, and behavioral reactions*. Psychophysiology 30: 261–273

Larsen, R. (2004): *Anästhesie und Intensivmedizin in Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie*. Springer-Verlag, Berlin. 6. Auflage

La Rovere, M.T., Bigger, J.T.J., Marcus, F.I. et al. for the ATRAMI (Autonomic Tone and Re-

- flexes After Myocardial Infarction) investigators (1998): *Baroreflex sensitivity and heart rate variability in prediction of total cardiac mortality after myocardial infarction*. Lancet 351: 478-484
- Löffler, G., Petrides, P.E. (2003): *Biochemie und Pathobiochemie*. 7. Aufl., S. 993. Heidelberg: Springer,
- Niemann, H., Maschke, C., Hecht, K. (2005): *Lärmbedingte Belästigung und Erkrankungsrisiko. Ergebnisse des paneuropäischen LARES-Surveys*. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 48: 315-28
- 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-physiologische Bewertung der Geräuschqualität von Straßenverkehrsgeräuschen*. Z. Lärmbekämpf. 50: 75 – 81
- Notbohm, G., Gärtner, C., Schwarze, S. (2003b): *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., Schmook, R., Frerich, M., Mertens, R., Schwarze, S. (2011): *Personenbezogene Einflussfaktoren in der Reaktion auf Pkw-Vorbeifahrgeräusche*. Lärmbekämpfung 6: 13 - 22
- Notbohm, G., Schmook, R.; Mertens, R., Frerich, M., Schwarze, S. (2011b): *Physiologische und subjektive Reaktionen auf Pkw-Vorbeifahrgeräusche – Einfluss von Alter, Geschlecht und Lärmempfindlichkeit*. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie 8: 256-259
- Notbohm, G., Schwarze, S. (2002): *Physiologische Reaktionen als Indikator der Geräuschqualität von Straßenverkehr*. Fortschritte der Akustik DAGA '02, S. 328 - 329, CD-ROM. 28. Deutsche Jahrestagung für Akustik, Bochum. Oldenburg: DEGA
- Patsouras, C. (2003): *Geräuschqualität von Fahrzeugen. Beurteilung, Gestaltung und multimodale Einflüsse*. Dissertation TU München. Aachen: Shaker
- Pelzer, M., Hafner, D., Arnold, G., Schipke, J.D. (1995): *Minimale Intervall-Länge zur sicheren Erfassung der Kurzzeit-Herzfrequenzvariabilität*. Z Kardiol. 84: 986-94
- Pfister, E.A., Böckelmann, I., Rüdiger, H., Seibt, R., Stoll, R., Villbrandt, R. (2006): *Herzrhythmusanalyse in der Arbeitsmedizin*. Deutsche Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. (DGAUM). Leitlinie für arbeitsmedizinisch relevantes ärztliches Handeln. Verabschiedet vom Vorstand der DGAUM 11/2006.
- Probst, W., Petz, M. (2007): *Das EU-Projekt QCity – Quiet City Transport*. In: Fortschritte der Akustik . 22, Jahrestagung für Akustik – DAGA 2007, 19. – 22.3.2007 in Stuttgart. Dega e.V. Berlin, S. 603 – 604
- Rehm, S., Gros, E., Jansen, G. (1985): *Effects of noise on health and well-being*. Stress Medicine 1: 183-191
- Rill, H.-G. (2001): *Forensische Psychophysiologie: Ein Beitrag zu den psychologischen und physiologischen Grundlagen neuerer Ansätze der „Lügendetektion“*. Inauguraldissertation

Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Ring, C., Burns, V.E., Carroll, D. (2002): *Shifting hemodynamics of blood pressure control during prolonged mental stress*. *Psychophysiology*, 39: 585–590

Röttges, J. R. (2008): *Die Geräuschqualität von modifizierten Pkw-Vorbeifahrgeräuschen im Urteil von Versuchspersonen*. Inauguraldissertation Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Schandry, R. (1998): *Lehrbuch Psychophysiologie, Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens*. Studienausgabe. Weinheim: Beltz, Psychologie Verlags-Union

Schipke, J.D., Pelzer, M. (2001): *Effect of immersion, submersion, and scuba diving on heart rate variability*. *Br J Sports Med*, 35: 174-180

Schipke, J.D., Pelzer, M., Arnold, G. (1999): *Effect of respiration rate on short-term heart rate variability*. *J Clin Basic Cardiol*, 2: 92-95

Schmidt, R.F., Lang, F., Thews, G. (2004): *Physiologie des Menschen*. 29. Aufl. Berlin, Heidelberg, New York: Springer

Schönewolf, J. (2006): *Geräuschqualität von Straßenverkehrslärm: Möglichkeiten der psychophysiologischen Bewertung anhand von Herzfrequenz und Hautleitfähigkeit sowie subjektiver Einschätzung*. Inauguraldissertation Heinrich-Heine Universität Düsseldorf

Schwarze, S. (1991): *Langjährige Lärmbelastung und Gesundheit*. Schriftenreihe Forschung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Fb 636. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW

Schwarze, S., Jansen, G., Obermann, M., Rosendahl, U., Rüssmann, M., Notbohm, G., Splittgerber, B. (1997): *Untersuchung der physiologischen Reaktion auf verschiedenartige Geräuschsituationen zur Entwicklung eines binauralen Geräuschmessverfahrens*. In: Genuit, K., Blauert, J., Bodden, M. Jansen, G., Schwarze, S., Mellert, V., Remmers, H.: *Entwicklung einer Messtechnik zur physiologischen Bewertung von Lärmeinwirkungen unter Berücksichtigung der psychoakustischen Eigenschaften des menschlichen Gehörs*. FB 774. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1997

Schwarze, S., Notbohm, G., Jansen, G. (1993): *Die Bedeutung des binauralen Hörens für die Stärke der physiologischen Reaktion auf Geräusche*. *Z. Lärmbekämpf.* 40: 151-160

Soydan, N. (2007): *Prognostischer Wert der Herzfrequenzvariabilität nach akutem Myokardinfarkt in der Ära der akuten Reperfusion*. Inauguraldissertation. Giessen: Laufersweiler Verlag.

Soydan, N. et al. (2005): *Hypoglykämie reduziert die Herzfrequenzvariabilität bei Typ 1 Diabetes*. Posterbeitrag.
<http://www.druides.at/assets/plugindata/poola/berichthypoglykaemie.pdf>

Stein, P.K.; Kleiger, R.E.; Rottman, J.N. (1997). *Differing effects of age on heart rate variability in men and women*. *American Cardiology*, 80: 302–305

Steptoe, A., Fieldman, G., Evans, O., Perry, L. (1996): *Cardiovascular risk and responsivity to mental stress: The influence of age, gender and risk factors*. *Journal of Cardiovascular Risk*, 3: 83–93

Strümpell, J. (2007): *Zusammenhang zwischen Stressempfindung, Stressverarbeitung und Herzfrequenzvariabilität. bei Beschäftigten in der industriellen Produktion.* Dissertation LMU München

Talimi, S. (2005): *Psychophysiologische Bewertung von KFZ-Vorbeifahrtgeräuschen anhand von Fingerpulsamplitude und Hautleitfähigkeit sowie subjektiver Beurteilung.* Inauguraldissertation Heinrich-Heine Universität Düsseldorf

Tassi, P., Saremi, M., Schimchowitsch, S., Eschenlauer, A., Rohmer, O., Muzet, A. (2010): *Cardiovascular responses to railway noise during sleep in young and middle-aged adults.* European Journal of Applied Physiology, 108: 671–680

Tzaneva, L., Danev, S., Nikolova, R. (2001): *Investigation of noise exposure effect on heart rate variability parameters.* Central European Journal of Public Health, 9: 130-132

Umweltbundesamt 2010: *Umweltbewusstsein in Deutschland 2010, Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage.* Umweltbundesamt: Berlin 2010

Västfjäll, D., Gulbol, M-A., Kleiner, M. (2003): *"Wow, what car is that?" Evaluation of perceived exterior vehicle sound quality.* Noise Control Engineering Journal 51: 275–285

Venables, P.H., Christie, M.J. (1973): *Mechanisms, instrumentation, recording techniques, and quantification of responses.* In : W.F. Prokasy & D.C. Raskin (Hrsg.), *Electrodermal activity in psychological research*, S. 1-124, Academic Press, New York

Yanagihashi, R., Ohira, M., Kimura, T., Fujiwara, T. (1997): *Physiological and psychological assessment of sound.* Int J Biometeorol 40: 157–161

Zimmer, K., Ellermeier, W. (1987): *Eine deutsche Version der Lärmempfindlichkeitsskala von Weinstein.* Z. Lärmbekämpf. 44: 107-110

Zodrow, G. (2005): *Psychophysiologische Bewertung von Verkehrsgeräuschen anhand von Fingerpulsamplitude und Elektromyogramm sowie subjektiver Beurteilung.* Inauguraldissertation Heinrich-Heine Universität Düsseldorf

10 VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

BLA:	Bremsen – Leerlauf – Anfahren
dB(A):	Dezibel, A-bewertet
EDA	elektrodermale Aktivität
EMG:	Elektromyogramm (Elektrische Muskelaktivität)
FPA:	Fingerpulsamplitude
HF:	Herzfrequenz
HRV:	Herzfrequenzvariabilität
KAB:	Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung
kHz.:	Kilohertz
L_{eq} :	Langzeit äquivalenter durchschnittlicher Lautstärkepegel (Long-Term Equivalent continuous sound level)
MANOVA:	Multivariate Varianzanalyse (M ultiple A nalysis o f V ariance)
ms:	Millisekunden
p:	Signifikanzniveau
QCITY:	Quiet City Transport
R^2 :	Determinationskoeffizient, Anteil der erklärten Varianz an der Gesamtvarianz

$$rMSSD: = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i)^2}{n-1}}$$

Quadratwurzel der mittleren quadrierten Abweichungen von aufeinanderfolgenden NN-Intervallen (NN-Intervalle = Abstände zwischen benachbarten R-Zacken im Elektrokardiogramm (EKG)) (Square root of the mean squared differences of successive NN intervals)

SCL: Hautleitfähigkeitsniveau (Skin conductance level)

$$SDNN : = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}{n}}$$

Standardabweichung der NN-Intervalle (NN-Intervalle = Abstände zwischen benachbarten R-Zacken im Elektrokardiogramm (EKG)) (Standard deviation of the NN intervals)

SPSS_15:	Statistical Package for the Social Sciences, Release 15.0
SVEN:	Sound Quality of Vehicle Exterior Noise
β -Koeff.:	Beta-Koeffizient, standardisierter Regressionskoeffizient
μ S:	Mikrosiemens, Maßeinheit der Hautleitfähigkeit (SCL)
μ V·s:	Mikrovolt x s. Maßeinheit der elektrischen Muskelaktivität (EMG)

11 TABELLENVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>
Tab. 1 Lärmbelästigung der Bevölkerung nach Geräuschquellen 2010	6
Tab. 2 Auswirkungen von Lärm	14
Tab. 3 Übersicht über die Terminologie der Elektrodermalen Aktivität	27
Tab. 4 Zusammensetzung der Stichprobe im Überblick	38
Tab. 5 Übersicht über die Geräuschpaare	41
Tab. 6 Geräuschsequenzen in der Übersicht	41
Tab. 7 Der direkte Geräuschvergleich für die Eigenschaft "laut"	42

12 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

	<u>Seite</u>	
Abb. 1	Belästigung durch Umweltlärm durch verschiedene Lärmquellen im Zeitraum 2000 bis 2010 für die Bundesrepublik Deutschland (Umweltbundesamt 2010)	9
Abb. 2	Starke Belästigung durch Umweltlärm durch verschiedene Lärmquellen im Zeitraum 2000 bis 2010 für die Bundesrepublik Deutschland (Umweltbundesamt 2010)	10
Abb. 3	Bestimmung der Sauerstoffsättigung über die Pulsoxymetrie	19
Abb. 4	Verlauf der Fingerpulsamplitude in Ruhe und unter Lärm	21
Abb. 5	Aufbau der Haut	24
Abb. 6	Beispiele für Inner- und Zwischensubjekteffekte in der MANOVA-Auswertung der Fingerpulsamplitude	45
Abb. 7	Prozentuale Veränderung der FPA gegenüber dem Ausgangswert während 2-min. Geräuschexposition – Mittelwerte über alle 8 Vorbeifahrgeräusche für „Frauen“ und „Männer“	47
Abb. 8	Prozentuale Veränderung der Fingerpulsamplitude gegenüber dem Ausgangswert während 2-min. Geräuschexposition – Mittelwerte über alle 8 Geräusche für die Altersgruppen „20–30 J.“ und „40–55 J.“	48
Abb. 9	Prozentuale Veränderung der Fingerpulsamplitude gegenüber dem Ausgangswert während 2-min. Geräuschexposition – Mittelwerte über alle 8 Vorbeifahrgeräusche für die vier Teilgruppen weiblich 20–30 J., männlich 20–30 J., weiblich 40–55 J. und männlich 40–55 J.	49
Abb. 10	Prozentuale Veränderung der Hautleitfähigkeit (EDA) gegenüber dem Ausgangswert während 2-min. Geräuschexposition – Mittelwerte über alle 8 Geräusche für „Frauen“ und „Männer“	51
Abb. 11	Prozentuale Veränderung der Hautleitfähigkeit (EDA) gegenüber dem Ausgangswert während 2-min. Geräuschexposition – Mittelwerte über alle 8 Geräusche für die Altersgruppen „20–30 J.“ und „40–55 J.“	51
Abb. 12	Prozentuale Veränderung der Hautleitfähigkeit (EDA) gegenüber dem Ausgangswert während 2-min. Geräuschexposition – Mittelwerte über alle 8 Vorbeifahrgeräusche für die vier Teilgruppen weiblich 20–30 J., männlich 20–30 J., weiblich 40–55 J. und männlich 40–55 J.	52
Abb. 13	Herzratenvariabilität (SDNN in ms) vor, während und nach Geräuschexposition (über jeweils 90 s) – Mittelwerte über 7 Vorbeifahrgeräusche für die vier Teilgruppen: weiblich 20–30 J., männlich 20–30 J., weiblich 40–55 J. und männlich 40–55 J.	54

Abb. 14	Herzratenvariabilität (rMSSD im ms) vor, während und nach Geräuschexposition (über jeweils 90 s) – Mittelwerte über 7 Vorbeifahrgeräusche für die vier Teilgruppen weiblich 20–30 J., männlich 20–30 J., weiblich 40–55 J. und männlich 40–55 J.	55
Abb. 15	Mittelwerte der Gruppen Frauen vs. Männer, Junge vs. Ältere und der vier Teilgruppen in der Skala „Insgesamt mag ich dieses Geräusch überhaupt nicht“(1) bis „... in höchstem Maße“ (9); Antworten auf alle Vorbeifahrgeräusche gemittelt.	57
Abb. 16	Mittelwerte der Gruppen Frauen vs. Männer, Junge vs. Ältere und der vier Teilgruppen für die Frage „Wie fühlen Sie sich beim Hören dieses Geräusches?“ auf der Skala von „sehr unangenehm“ (-4) bis „sehr angenehm“ (+4); Antworten auf alle Vorbeifahrgeräusche gemittelt.	58
Abb. 17	Mittelwerte der Gruppen Frauen vs. Männer, Junge vs. Ältere und der vier Teilgruppen für die Frage „Wie fühlen Sie sich beim Hören dieses Geräusches?“ auf der Skala von „sehr still/deaktiviert“ (-4) bis „sehr aufgeregt/aktiviert“ (+4); Antworten auf alle Vorbeifahrgeräusche gemittelt.	58
Abb. 18	Mittelwerte in den vier Faktoren der Adjektivliste für die vier Teilgruppen	60
Abb. 19	Mittelwerte in den vier Skalen der Faktorenanalyse der 23 Adjektive für die drei Geräuschkategorien	61
Abb. 20	Mittelwerte über alle Versuchspersonen für die Frage „Wie fühlen Sie sich beim Hören dieses Geräusches?“ auf den Skalen von „sehr unangenehm“ (-4) bis „sehr angenehm“ (+4) sowie von „sehr deaktiviert“ (-4) bis „sehr aktiviert“ (+4) für die drei Geräuschkategorien.	62
Abb. 21	Generelle Geräuschbeurteilung „Insgesamt mag ich dieses Geräusch...“ in den verschiedenen Geräuschkategorien für die vier Teilgruppen und die Gesamtstichprobe.	63

13 ANHANG

1. Fragebogen zur subjektiven Geräuschbewertung
2. Fragebogen zur Einstellung gegenüber Autos und Autofahren
3. Fragebogen zur Abklärung physischer Beeinträchtigungen, zum Konsum von Genussgiften und Medikamenten sowie zu früherer und aktueller Lärmbelastung
4. Analyse der Angaben zu physischen Beeinträchtigungen, zu früherer und aktueller Lärmbelastung, zum Konsum von Genussgiften und Medikamenten sowie soziodemografische Angaben
5. Physiologische Ausgangsdaten der Versuchspersonen bei Versuchsbeginn
6. Statistische Kennwerte zur MANOVA: zeitlicher Verlauf für FPA, EDA, HRV
7. FPA bei Vorbeifahrgeräuschen – Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s) aller Teilgruppen für jeden einzelnen Zeitabschnitt. Angaben in Prozent, bezogen auf 30. bis 1. s vor Geräuschbeginn = 100 %
8. EDA bei Vorbeifahrgeräuschen – Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s) aller Teilgruppen für jeden einzelnen Zeitabschnitt. Angaben in Prozent, bezogen auf 30. bis 1. s vor Geräuschbeginn = 100 %
9. Herzfrequenz bei Vorbeifahrgeräuschen – Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s) aller Teilgruppen für jeden einzelnen Zeitabschnitt. Angaben in Schläge/min.
10. Herzfrequenzvariabilität (gemessen als SDNN und RMSSD) bei Vorbeifahrgeräuschen – Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s) für alle vier Teilgruppen für jeden einzelnen Zeitabschnitt
11. Ergebnisse zur generellen Geräuschbeurteilung für alle Geräusche
12. Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse über die Daten der Adjektivliste
13. Vier Faktoren der Adjektivliste: Ausprägungen je Geräusch in den 4 Teilgruppen

Anhang 1: Fragebogen zur subjektiven Geräuschbewertung

– Einführungsseite vor dem 1. Geräusch –

Beantworten Sie bitte zunächst die folgenden beiden Fragen

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

sehr unangenehm	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	sehr angenehm
-----------------	----	----	----	----	---	---	---	---	---	---------------

sehr still deaktiviert	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	sehr aufgeregt aktiviert
---------------------------	----	----	----	----	---	---	---	---	---	-----------------------------

Sie werden jetzt noch einmal die Fahrzeuggeräusche hören.

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.

Kreuzen Sie die Zahl an, die nach Ihrem Empfinden dem Geräusch entspricht.

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

Beispiel:

	überhaupt nicht								in höchstem Maße
hektisch	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 Fragenbogen 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.

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

– zwei Bewertungsseiten für jedes Geräusch –

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

	überhaupt nicht								in höchstem Maße
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
belästigend	1	2	3	4	5	6	7	8	9
laut	1	2	3	4	5	6	7	8	9
angenehm	1	2	3	4	5	6	7	8	9
rau	1	2	3	4	5	6	7	8	9
sportlich	1	2	3	4	5	6	7	8	9
gefährlich	1	2	3	4	5	6	7	8	9
aufdringlich	1	2	3	4	5	6	7	8	9
akzeptabel	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Aufmerksamkeit fordernd	1	2	3	4	5	6	7	8	9
hallend	1	2	3	4	5	6	7	8	9
groß	1	2	3	4	5	6	7	8	9
röhrend	1	2	3	4	5	6	7	8	9
pulsierend	1	2	3	4	5	6	7	8	9
bassig	1	2	3	4	5	6	7	8	9
aggressiv	1	2	3	4	5	6	7	8	9
mechanisch	1	2	3	4	5	6	7	8	9
teuer	1	2	3	4	5	6	7	8	9
alarmierend	1	2	3	4	5	6	7	8	9
überraschend	1	2	3	4	5	6	7	8	9
dröhnend	1	2	3	4	5	6	7	8	9
tonhaft	1	2	3	4	5	6	7	8	9
scharf	1	2	3	4	5	6	7	8	9
kraftvoll	1	2	3	4	5	6	7	8	9

überhaupt
nicht

in höchstem
Maße

Insgesamt mag ich dieses
Geräusch

1 2 3 4 5 6 7 8 9

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

sehr unangenehm -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 sehr angenehm

sehr still deaktiviert -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 sehr aufgeregt aktiviert

– vergleichende Bewertung für jedes Geräuschpaar –

Bitte stellen Sie sich die beiden soeben gehörten Geräusche noch einmal vor und vergleichen Sie diese miteinander.

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

Nun zur Beurteilung:

Geräusch A viel lauter	Geräusch A etwas lauter	beide gleich laut	Geräusch B etwas lauter	Geräusch B viel lauter
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Geräusch A viel gefährlicher	Geräusch A etwas gefährlicher	beide gleich gefährlich	Geräusch B etwas gefährlicher	Geräusch B viel gefährlicher
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Geräusch A viel unangenehmer	Geräusch A etwas unangenehmer	beide gleich unangenehm	Geräusch B etwas unangenehmer	Geräusch B viel unangenehmer
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Geräusch A viel belästigender	Geräusch A etwas belästigender	beide gleich belästigend	Geräusch B etwas belästigender	Geräusch B viel belästigender
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Anhang 2: Fragebogen zur Einstellung gegenüber Autos und Autofahren

Im folgenden Fragebogen möchten wir Sie bitten, uns Auskunft über Ihre Pkw-Nutzung und Ihre Einstellung gegenüber Autos zu geben. Beantworten Sie die Fragen bitte vollständig und ehrlich.

1. Haben Sie einen Führerschein? € ja € nein

2. Nutzen Sie regelmäßig ein Auto € ja € nein

3. Wie viele Kilometer fahren Sie im Jahr? Beruflich: _____ km / Jahr

Privat: _____ km / Jahr

Die folgenden Fragen beziehen sich auf das von Ihnen privat genutzte Fahrzeug.

4. Besitzen Sie ein eigenes Auto? € ja € nein

5. Besitzen Sie ein eigenes Motorrad? € ja € nein

6. Seit welchem Alter haben Sie ein eigenes Auto? Seit dem Alter von _____ Jahren

7. Welches Fahrzeug fahren Sie aktuell? Modell _____

Es handelt sich um einen € Benziner

€ Diesel

€ sonstiges: _____

8. Wenn Sie sich völlig frei entscheiden könnten (unabhängig von den Kosten usw.), welches Auto würden Sie gerne fahren? _____

9. Welche Kriterien sind für Sie beim tatsächlichen Autokauf wichtig?

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

10. Wie würden Sie Ihre Fahrweise beschreiben? € eher sportlich

€ eher defensiv

Kreuzen Sie die Antwortmöglichkeit an, die **Ihrer Meinung nach** am besten auf Sie zutrifft.

Sie dürfen für jede Aussage nur **ein** Kreuzchen vergeben.

Uns interessiert Ihre ganz persönliche Meinung zu den Aussagen, die wir Ihnen vorgeben.

Aus diesem Grund gibt es auch keine richtigen oder falschen Antworten.

Wenn Sie sich nicht sicher sind, welche Antwortmöglichkeit Sie ankreuzen sollen, wählen Sie bitte diejenige, die am ehesten auf Sie zutrifft.

Wir haben folgende Aussage bewertet:

Die Äußerung stimmt für mich:	gar nicht	weni g	mittel- mäßig	ziem- lich	sehr
Ich besuche gerne Automobilausstellungen	1	2	3	4	5

Da diese Äußerung für uns ziemlich zutrifft, haben wir unser Kreuz in die Spalte „ziemlich“ gesetzt.

Die Äußerung stimmt für mich:	gar nicht	weni g	mittel- mäßig	ziem- lich	sehr
1 Ich interessiere mich für neue Automodelle	1	2	3	4	5
2 Bereits bei der Herstellung eines Autos sollte darauf geachtet werden, dass ein Motor so leise wie möglich ist.	1	2	3	4	5
3 Für einen „satten“ Motor-Sound kann ich mich begeistern	1	2	3	4	5
4 Jeder Autofahrer sollte durch sein Fahrverhalten dazu beitragen, dass sein Auto wenig Lärm verursacht.	1	2	3	4	5
5 Geschwindigkeitsbegrenzungen und Fahrverbote zur Reduktion von Autolärm sollten vermehrt eingeführt werden.	1	2	3	4	5
6 Ein Auto ist mehr als ein Fortbewegungsmittel.	1	2	3	4	5
7 Ein Auto ist für mich nur ein Transportmittel.	1	2	3	4	5
8 Ohne Auto ist man nur ein halber Mensch.	1	2	3	4	5
9 Ich kann mich für Sportwagen begeistern.	1	2	3	4	5
10 Damit ein Auto besser klingt, sollte man es tunen.	1	2	3	4	5
11 Ich schaue mir gerne Formel-1-Rennen an.	1	2	3	4	5
12 Im Allgemeinen stehe ich Autos eher negativ gegenüber.	1	2	3	4	5
13 Manche Autos klingen besser als andere.	1	2	3	4	5
14 Je teurer das Auto, desto besser der Klang.	1	2	3	4	5

Anhang 3: Fragebogen zur Abklärung physischer Beeinträchtigungen, zum Konsum von Genussgiften und Medikamenten sowie zu früherer und aktueller Lärmbelastung

Da wir physiologische Messungen durchführen werden, ist es sehr wichtig für uns zu wissen, ob es Faktoren außerhalb unseres Versuches gibt, die diese physiologischen Werte beeinflussen könnten.

Deshalb, bitten wir Sie, die folgenden Fragen ehrlich und vollständig auszufüllen.

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

Sind Sie zur Zeit erkältet? € ja € nein

Fühlen Sie sich aus einem anderen Grund unwohl? € ja € nein

Wenn ja, geben Sie bitte die Art, Dauer und Stärke Ihrer Beschwerden an

(z. B. Kopfschmerzen): _____

Sind oder waren Sie beruflich starker Lärmbelastung ausgesetzt? € ja € nein

Wenn ja, welcher? _____

Haben Sie bisher schon einmal für längere Zeit in der Nähe einer starken Lärmquelle gelebt?
(Wohnort am Flughafen, Autobahn, etc)? € ja € nein

Wenn ja, welche? _____

Wie würden Sie Ihr Wohnumfeld beschreiben?

€ sehr ruhig € eher ruhig € eher laut € sehr laut

Gehen Sie oft in Diskotheken? nie selten oft sehr oft

Wie häufig hören Sie Musik über Kopfhörer? nie selten oft sehr oft

Sind sie zu Hause oder bei der Arbeit dem Lärm von Maschinen ausgesetzt?

nie selten oft sehr oft

Haben Sie in den letzten 24 Stunden laute Musik gehört? € ja € nein

Wenn ja: Bis vor wie vielen Stunden? vor ca. _____ Stunden

Und für wie lange? für ca. _____ Stunden

Haben Sie in den letzten 24 Stunden die folgenden Getränke zu sich genommen?

Kaffee zuletzt vor ca. _____ Stunden _____ Tassen (0,2 l)

schwarzer Tee zuletzt vor ca. _____ Stunden _____ Tassen (0,2 l)

Cola zuletzt vor ca. _____ Stunden _____ Gläser (0,2 l)

alkoholische Getränke zuletzt vor ca. _____ Stunden

Art und Menge der alkoholischen Getränke: _____

Anhang 4: Analyse der Angaben zu physischen Beeinträchtigungen, zu früherer und aktueller Lärmbelastung, zum Konsum von Genussgiften und Medikamenten, soziodemografische Angaben

	junge Frauen	junge Männer	ältere Frauen	ältere Männer	Gesamt
<i>Sind Sie zur Zeit erkältet?</i>¹⁾					
Anzahl „ja“-Antworten	1	1	0	1	3
<i>Fühlen Sie sich aus einem anderen Grund unwohl?</i>					
Anzahl „ja“-Antworten	0	0	0	0	0
<i>Sind oder waren Sie beruflich starker Lärmbelastung ausgesetzt?</i>²⁾					
Anzahl „ja“-Antworten	1	1	1	2	5
<i>Haben Sie bisher schon einmal für längere Zeit in der Nähe einer starken Lärmquelle gelebt (Wohnort am Flughafen, Autobahn, etc.)?</i>³⁾					
Anzahl „ja“-Antworten	0	1	3	6	10
<i>Wie würden Sie Ihr Wohnumfeld beschreiben</i>					
sehr ruhig	2	4	5	0	11
eher ruhig	12	9	8	16	45
eher laut	3	3	3	1	10
sehr laut	0	0	0	0	0
<i>Gehen Sie oft in Diskotheken?</i>					
nie	3	0	8	8	19
selten	10	14	8	9	41
oft	4	2	0	0	6
sehr oft	0	0	0	0	0
<i>Wie häufig hören Sie Musik über Kopfhörer?</i>					
nie	2	1	10	6	19
selten	8	6	5	9	28
oft	7	5	0	2	14
sehr oft	0	1	1	0	2
<i>Sind Sie zu Hause oder bei der Arbeit dem Lärm von Maschinen ausgesetzt?</i>					
nie	13	9	11	10	43
selten	4	6	5	7	22
oft	0	1	0	0	1
sehr oft	0	0	0	0	0
<i>Haben Sie in den letzten 24 Stunden laute Musik gehört?</i>					
Anzahl „ja“-Antworten	0	1	0	2	3
Bis vor wie vielen Stunden?		5 min		23 Std / k.A.	
Für wie lange?		5 min		0,5 Std. / k.A.	

Anmerkungen:

¹⁾ Erkältungen: Genauere Nachfragen ergaben, dass es sich jeweils lediglich um einen leichten Schnupfen handelte und sich die Versuchspersonen dadurch nicht beeinträchtigt fühlten. Auch im Audiogramm waren bei keiner dieser Personen Beeinträchtigungen des Hörvermögens zu erkennen.

²⁾ Berufliche Lärmbelastungen, Art der Lärmbelastungen (alle Nennungen): 10 Jahre laute Bandproben 1x wöchentlich; Maschinengeräusch in der Produktion; Arbeiten während Umbau + Renovierung Haus / Büro; vor 8 Jahren, laute Funkwarnfrequenzen; Call Center.

³⁾ Lärmbelastung Wohnung, Art der Lärmbelastung: Hauptverkehrsstraße, Autobahn, Feuerwache, Flughafen

		junge Frauen	junge Männer	ältere Frauen	ältere Männer	Gesamt
Konsum von Genussgiften und Medikamenten						
<i>Koffeinhaltige Getränke (Kaffee, schwarzer Tee, Cola)</i>						
Anzahl Konsumenten		11	13	15	11	50
wann zuletzt (vor x Std.)	Wertebereich	1–20	0–16	1–6	0,5–18	0–20
	Mittelwert	5,27	5,77	3,03	4,87	4,64
Menge (Tassen /Gläser à 0,2 l)	Wertebereich	0,5–2	0,5–4	0,5–3	1–4	0,5–4
	Mittelwert	1,09	1,58	1,29	1,72	1,42
<i>Alkoholische Getränke</i>						
Anzahl Konsumenten		0	2	1	3	6
wann zuletzt (vor x Std.)	Wertebereich		17–18	17	7–24	7–24
	Mittelwert		17,5	17	17	17,17
Menge		0,5–0,6 l	2 Gl	1–5 Gl / 1 Gl		
was		Bier	Wein	Bier / Wein		
Nikotin						
Anzahl Raucher		1	5	2	1	9
gerauchte Menge an Zigaretten ¹⁾		1 pro Woche	5 pro Monat bis 20 tägl.	3–7 pro Tag	1 pro Tag	5 pro Monat bis 20 tägl.
innerhalb der letzten 5 Std. geraucht, Anzahl „ja“-Antworten		1	3	1	0	5
Menge der in den letzten 5 Std. gerauchten Zigaretten ¹⁾ : Wertebereich		1	1–2	1	0	1–2
Wie lange haben Sie letzte Nacht geschlafen?						
Wertebereich		6–9	5–11	4–9	5–8	4–11
Mittelwert		7,62	7,53	7,22	6,80	7,30
Median		8	7,5	7	7	7
Wie lange schlafen Sie normalerweise?						
Wertebereich		6–9	6–9	4–8	5–8	4–9
Mittelwert		7,81	7,31	7,00	6,69	7,20
Median		8	7	7	6,75	7
Differenz Schlafdauer aktuell minus normale Schlafdauer²⁾						
Wertebereich		-2–2	-1–3	-1–2	-1–1	-2–3
Mittelwert		-0,22	0,22	0,22	0,11	0,08
Median		0	0	0	0	0
Nehmen Sie regelmäßig/momentan Medikamente ein?³⁾						
Anzahl „ja“-Antworten		0	2	2	0	4
Haben Sie heute Medikamente eingenommen?³⁾						
Anzahl „ja“-Antworten		1	1	2	0	4
Haben Sie heute vergessen Medikamente einzunehmen?						
Anzahl „ja“-Antworten		0	0	0	0	0

Anmerkungen:

¹⁾ Die Versuchspersonen gaben lediglich an, Zigaretten geraucht zu haben, aber keine Zigarren oder Pfeifen.

²⁾ Schlafdefizite konnten nicht festgestellt werden. 40 Versuchspersonen haben in der vergangenen Nacht genauso lange geschlafen, wie normalerweise. 12 Versuchspersonen haben länger (1–3 Stunden) als normal geschlafen und 12 Versuchspersonen weniger (1–2 Stunden) geschlafen als normalerweise.

³⁾ Bei den eingenommenen Medikamenten handelt es sich um Schnupfenmittel, Antihistaminika, Schüssler Salze, Mittel gegen Hyperthyreose.

	junge Frauen	junge Männer	ältere Frauen	ältere Männer	Gesamt
<i>Soziodemografische Angaben</i>					
Alter					
Wertebereich	20–30	20–29	42–54	40–55	20–55
Mittelwert	23,24	25,56	47,00	46,41	35,53
Median	22	25,5	46,5	47	35
<i>Ihre bisherige Schulbildung (höchster erreichter Abschluss)</i>					
kein Schulabschluss	0	0	0	0	0
Hauptschulabschluss	0	0	0	0	0
Berufsabschluss/Lehre	0	1	0	0	1
mittlere Reife	0	0	6	1	7
Abitur	17	13	6	5	41
(Fach-)Hochschulabschluss	0	2	4	10	16

Anhang 5: Physiologische Ausgangsdaten der Versuchspersonen bei Versuchsbeginn

a) Kardiovaskuläre Daten

		junge Frauen	junge Männer	ältere Frauen	ältere Männer	Gesamt
Pulsfrequenz	Wertebereich	49–132	54–112	56–88	48–104	48–132
	Mittelwert	74,76	70,50	70,00	74,53	72,52
	Median	69	68	71	75	70
systolischer Blutdruck	Wertebereich	97–136	104–163	92–167	113–171	92–171
	Mittelwert	119,29	131,88	121,94	140,94	128,56
	Median	120	130	121,5	140	129
diastolischer Blutdruck	Wertebereich	58–85	60–85	59–87	66–101	58–101
	Mittelwert	70,82	70,88	76,69	81,65	75,05
	Median	70	71	78	78	75

b) Audiometrie

Hörverlust in den verschiedenen Frequenzbereichen in dB.

		junge Frauen	junge Männer	ältere Frauen	ältere Männer	Gesamt
rechts 0,5 kHz	Wertebereich	5–20	5–20	0–15	5–20	0–20
	Mittelwert	11,76	11,88	10,63	11,47	11,44
	Median	10	10	10	10	10
rechts 1 kHz	Wertebereich	0–20	0–20	5–20	5–20	0–20
	Mittelwert	7,94	9,38	11,56	11,47	10,08
	Median	10	10	10	10	10
rechts 2 kHz	Wertebereich	0–10	0–10	5–25	0–20	0–25
	Mittelwert	4,71	5,63	11,56	11,18	8,26
	Median	5	5	10	10	10
rechts 4 kHz	Wertebereich	0–15	0–20	5–30	0–20	0–30
	Mittelwert	2,94	8,75	12,19	11,76	8,86
	Median	0	10	10	15	5
rechts 6 kHz	Wertebereich	0–20	0–20	0–40	0–25	0–40
	Mittelwert	4,71	6,56	13,44	13,82	9,62
	Median	5	5	10	10	10
links 0,5 kHz	Wertebereich	5–15	5–15	5–20	5–15	5–20
	Mittelwert	10	9,69	10,94	9,71	10,08
	Median	10	10	10	10	10
links 1 kHz	Wertebereich	5–15	0–15	5–20	0–15	0–20
	Mittelwert	7,94	7,81	11,56	7,94	8,79
	Median	10	7,5	10	10	10
links 2 kHz	Wertebereich	0–10	0–15	5–20	0–25	0–25
	Mittelwert	3,82	5	10,94	11,76	7,88
	Median	5	5	10	10	5
links 4 kHz	Wertebereich	0–15	0–20	0–30	5–40	0–40
	Mittelwert	3,24	8,13	11,88	16,18	9,85
	Median	0	7,5	10	10	5
links 6 kHz	Wertebereich	0–10	0–15	0–40	0–25	0–40
	Mittelwert	4,12	6,88	12,81	12,94	9,17
	Median	5	5	10	15	10

Anhang 6: Statistische Kennwerte zur MANOVA zeitlicher Verlauf für Fingerpulsamplitude und elektrodermale Aktivität

Innersubjekteffekte

	Art der Interaktion	df	F-Wert	p
FPA	Zeit	6,565; 3387,372	116,627	,000
	Zeit * Alter	6,565; 3387,372	4,827	,000
	Zeit * Geschlecht	6,565; 3387,372	10,031	,000
	Zeit * Alter * Geschlecht	6,565; 3387,372	2,633	,012
EDA	Zeit	2,676; 1359,579	226,909	,000
	Zeit * Alter	2,676; 1359,579	2,661	,053
	Zeit * Geschlecht	2,676; 1359,579	9,065	,000
	Zeit * Alter * Geschlecht	2,676; 1359,579	1,168	,319

Anmerkungen: df = Freiheitsgrade, keine ganzzahligen Werte, da wegen fehlender Varianzhomogenität die Korrektur nach Greenhouse-Geisser verwendet wurde.

p = Signifikanzniveau

Zwischensubjekteffekte

	Art der Haupteffekte und der Interaktion	df	F-Wert	p
FPA	Alter	1, 516	13,251	,000
	Geschlecht	1, 516	12,412	,000
	Alter * Geschlecht	1, 516	16,606	,000
EDA	Alter	1, 508	3,541	,060
	Geschlecht	1, 508	17,376	,000
	Alter * Geschlecht	1, 508	,204	,652

Anmerkungen: df = Freiheitsgrade

p = Signifikanzniveau

Anhang 7: FPA bei Vorbeifahrgeräuschen – Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s) aller Teilgruppen für jeden einzelnen Zeitabschnitt. Angaben in Prozent, bezogen auf 30. bis 1. s vor Geräuschbeginn = 100 %

Sekunde	weiblich 20–30 J.		männlich 20–30 J.		weiblich 40–45 J.		männlich 40–55 J.	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
0–2	104,67	24,1	100,09	24,0	101,90	21,1	102,39	22,9
2–4	100,27	25,5	94,79	22,6	100,40	22,7	98,33	23,0
4–6	85,46	25,4	69,54	19,8	90,27	22,5	84,36	22,5
6–8	76,21	26,5	53,51	17,0	80,14	20,9	70,10	20,5
8–10	72,45	27,0	46,95	16,5	75,10	22,0	63,67	20,4
10–12	73,54	28,3	47,86	17,5	72,52	21,1	61,80	21,1
12–14	74,62	27,3	51,83	17,4	71,77	18,9	65,63	22,4
14–16	75,60	27,1	56,01	20,2	72,12	18,9	67,38	23,3
16–18	77,56	27,1	58,38	21,0	73,43	19,6	70,55	24,0
18–20	79,49	27,4	60,86	22,3	73,44	20,2	72,62	24,8
20–22	80,33	28,5	63,91	23,1	75,30	20,8	74,23	25,4
22–24	81,08	31,1	64,43	25,6	77,03	23,6	75,13	25,3
24–26	80,78	32,6	64,26	25,8	75,40	22,3	77,53	25,7
26–28	81,89	35,3	63,10	25,7	74,42	23,1	76,29	26,0
28–30	79,99	35,3	62,18	23,8	75,39	25,0	77,59	27,9
30–35	82,58	37,9	63,42	24,7	76,55	25,0	77,72	27,7
35–40	81,04	40,0	62,79	26,2	76,74	25,7	80,24	28,4
40–45	80,86	38,0	63,52	27,4	75,96	26,9	81,20	28,0
45–50	79,15	35,1	64,67	29,6	77,89	29,7	83,76	28,6
50–55	76,26	37,2	63,69	30,1	77,64	32,5	84,80	27,7
55–60	78,01	40,3	65,21	30,1	80,50	33,5	85,40	26,2
60–65	76,17	38,8	63,16	30,8	79,33	32,4	84,57	26,5
65–70	75,51	37,0	63,57	31,2	77,85	33,0	83,05	28,0
70–75	75,10	33,8	63,76	30,4	76,36	28,8	82,95	27,7
75–80	73,79	33,0	63,74	30,4	74,86	27,5	82,75	28,5
80–85	75,02	32,9	65,99	31,6	76,59	27,3	81,66	29,7
85–90	73,16	31,5	66,50	31,9	76,03	26,9	79,90	27,4
90–95	73,48	32,4	67,38	30,7	76,69	28,9	80,67	27,9
95–100	74,44	32,7	65,31	30,2	77,37	30,8	82,29	26,1
100–105	76,05	35,5	64,65	29,6	77,89	34,2	81,16	26,1
105–110	78,57	40,7	63,67	29,3	79,35	35,4	82,29	25,2
110–115	78,07	43,5	63,36	28,2	77,26	32,9	82,23	25,6
115–120	78,20	43,3	67,18	29,3	77,85	32,2	82,74	25,9

Anhang 8: EDA bei Vorbeifahrgeräuschen – Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s) aller Teilgruppen für jeden einzelnen Zeitabschnitt. Angaben in Prozent, bezogen auf 30. bis 1. s vor Geräuschbeginn = 100 %

Sekunde	weiblich 20–30 J.		männlich 20–30 J.		weiblich 40–45 J.		männlich 40–55 J.	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
0–2	99,45	3,7	99,02	3,2	99,14	5,6	99,77	4,9
2–4	106,82	9,5	111,19	10,5	107,39	14,7	106,29	8,3
4–6	125,71	25,8	128,18	21,7	131,13	43,2	123,88	19,3
6–8	129,78	29,0	124,70	20,9	136,16	45,8	126,36	22,5
8–10	128,78	29,4	120,61	18,6	133,86	41,1	123,82	21,0
10–12	126,89	28,8	118,07	16,8	131,86	38,6	122,06	19,8
12–14	125,34	28,1	116,55	15,9	130,13	36,4	120,82	19,6
14–16	124,27	27,5	115,33	15,2	128,54	34,5	119,79	19,6
16–18	123,09	27,2	114,32	14,6	127,24	33,0	118,54	18,5
18–20	122,34	27,9	113,46	14,0	126,57	32,0	117,71	17,8
20–22	121,54	27,5	112,92	13,8	125,93	31,2	116,85	17,4
22–24	120,76	27,4	112,34	13,6	125,43	30,7	116,39	17,2
24–26	120,35	27,2	111,79	13,2	125,07	30,6	116,15	16,9
26–28	120,11	27,1	111,52	12,8	124,53	30,2	115,95	16,7
28–30	119,47	26,9	111,26	13,1	124,04	30,3	115,38	16,6
30–35	118,77	27,9	110,68	13,0	123,56	30,2	114,76	16,3
35–40	118,00	28,2	110,50	13,4	122,85	30,0	113,97	16,4
40–45	117,28	27,7	110,25	13,4	121,92	29,1	113,04	16,0
45–50	116,61	26,9	110,09	13,9	121,27	28,2	112,51	15,6
50–55	116,06	27,1	109,49	13,6	120,37	27,5	111,66	15,3
55–60	115,46	26,8	109,26	14,0	119,95	27,4	111,03	14,9
60–65	115,60	29,3	108,65	13,5	119,36	27,6	111,14	15,5
65–70	114,94	28,8	108,05	13,3	119,26	27,2	110,62	15,4
70–75	114,95	28,7	107,66	13,1	119,74	28,3	109,87	15,2
75–80	114,81	28,3	107,13	13,2	119,80	28,4	109,34	14,9
80–85	114,02	28,0	106,77	13,5	118,72	26,9	109,01	14,9
85–90	113,42	28,0	106,24	13,0	118,02	25,8	108,71	15,0
90–95	112,77	27,1	105,47	12,5	116,89	24,6	108,01	14,5
95–100	112,24	26,7	104,97	12,2	116,36	24,2	107,61	14,9
100–105	111,82	27,2	104,80	12,6	115,48	23,9	107,09	14,5
105–110	111,16	26,7	104,24	12,5	114,36	23,0	106,66	14,6
110–115	110,53	26,0	103,58	12,0	113,78	22,3	106,26	14,1
115–120	110,15	26,9	103,25	11,8	113,25	21,4	106,34	14,8

Anhang 9: Herzfrequenz bei Vorbeifahrgeräuschen – Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s) aller Teilgruppen für jeden einzelnen Zeitabschnitt. Angaben in Schläge/min.

Sekunde	weiblich 20–30 J.		männlich 20–30 J.		weiblich 40–45 J.		männlich 40–55 J.	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
30.–1. vor Geräusch	71,99	14,0	69,34	9,1	65,69	10,3	71,43	13,8
0–10	72,82	14,3	69,78	8,1	66,99	10,6	72,12	13,5
10–20	73,26	14,5	71,07	8,7	67,61	10,4	72,17	13,5
20–30	72,91	13,8	70,42	8,2	67,14	9,9	72,59	13,5
30–40	72,14	14,2	69,33	8,4	66,51	10,4	71,34	13,8
40–50	71,93	14,6	69,19	8,9	65,73	10,2	70,96	14,1
50–60	72,01	14,6	69,46	8,7	65,74	10,0	70,74	14,3
60–70	71,78	14,8	69,61	8,7	65,99	10,5	71,25	13,9
70–80	72,02	14,1	69,53	8,4	66,46	10,4	71,34	13,6
80–90	72,07	13,5	69,15	8,5	66,41	10,2	71,58	13,6
90–100	71,51	13,5	69,46	8,6	66,17	9,9	71,50	13,8
100–110	71,50	14,0	69,72	8,7	66,12	10,0	71,21	13,7
110–120	71,56	14,1	69,72	8,7	65,78	10,1	71,37	13,7

Anhang 10: HRV (gemessen als SDNN und RMSSD in ms) bei Vorbeifahrgeräuschen – Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s) für alle vier Teilgruppen für jeden einzelnen Zeitabschnitt

Teilgruppe junge Frauen			
	N	\bar{x}	s
SDNN vor Geräusch	105	49,0041	21,09458
SDNN Geräusch	105	44,9319	16,29717
SDNN nach Geräusch	105	54,5965	23,70627
RMSSD vor Geräusch	105	37,8155	18,36415
RMSSD Geräusch	105	37,8246	19,53430
RMSSD nach Geräusch	105	39,4322	20,79472
Gültige Werte (Listenweise)	105		

Teilgruppe junge Männer			
	N	\bar{x}	s
SDNN vor Geräusch	112	58,9369	26,47531
SDNN Geräusch	112	53,3781	22,97824
SDNN nach Geräusch	112	64,3950	30,82056
RMSSD vor Geräusch	112	41,1512	23,02950
RMSSD Geräusch	112	39,8306	22,63868
RMSSD nach Geräusch	112	41,2224	21,71599
Gültige Werte (Listenweise)	112		

Teilgruppe ältere Frauen			
	N	\bar{x}	s
SDNN vor Geräusch	91	42,3768	15,75403
SDNN Geräusch	91	43,9651	16,61038
SDNN nach Geräusch	91	46,0014	17,63492
RMSSD vor Geräusch	91	34,4673	19,78706
RMSSD Geräusch	91	35,3631	22,21351
RMSSD nach Geräusch	91	34,5318	20,23486
Gültige Werte (Listenweise)	91		

Teilgruppe ältere Männer			
	N	\bar{x}	s
SDNN vor Geräusch	91	45,0240	15,05187
SDNN Geräusch	91	43,6630	16,92169
SDNN nach Geräusch	91	49,7658	20,80011
RMSSD vor Geräusch	91	26,5111	14,33682
RMSSD Geräusch	91	25,4607	11,41024
RMSSD nach Geräusch	91	26,8806	13,70562
Gültige Werte (Listenweise)	91		

Anhang 11: Ergebnisse zur generellen Geräuschbeurteilung –
Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s) bei den einzelnen Geräuschen in den drei Fragen
für die 4 Teilgruppen und die gesamte Stichprobe

Kodierung der Geräusche in den Tabellen:

0a: Kreisverkehr

0b: Ampelsituation

1a: Motorgeräusch 50 km/h, Diesel-Pkw mit serienmäßigem Motor

1b: Motorgeräusch 50 km/h, Diesel-Pkw mit modifiziertem Motorgeräusch

2a: Reifengeräusch 70 km/h, Diesel-Pkw mit serienmäßigen Reifen

2b: Reifengeräusch 70 km/h, Diesel-Pkw mit modifiziertem Reifengeräusch

3a: Bremsen – Leerlauf – Anfahren, untere Mittelklasse, Otto-Motor

3b: Bremsen – Leerlauf – Anfahren, obere Mittelklasse, Otto-Motor

4a: Bremsen – Leerlauf – Anfahren, untere Mittelklasse, Diesel-Motor

4b: Bremsen – Leerlauf – Anfahren, obere Mittelklasse, Otto-Motor

**„Insgesamt mag ich dieses Geräusch überhaupt nicht“ (Skalenwert 1)
bis „...in höchstem Maße“ (Skalenwert 9)**

Geräusch	jung (20–30 Jahre)		älter (40–55 Jahre)				Gesamt			
	weiblich	männlich	weiblich	männlich	weiblich	männlich	\bar{x}	s		
0a	2,94	1,6	2,69	1,5	2,29	1,4	3,06	1,4	2,77	1,5
0b	2,41	1,3	2,38	1,5	2,07	2,2	2,41	1,5	2,33	1,6
1a	2,06	1,1	2,63	0,9	2,40	0,9	2,35	1,4	2,35	1,1
1b	2,24	1,3	2,81	1,0	2,27	1,3	2,29	1,3	2,40	1,2
2a	2,47	0,7	3,56	1,5	2,67	1,2	2,29	1,4	2,74	1,3
2b	2,41	1,8	3,44	1,4	2,80	1,7	2,53	1,5	2,78	1,6
3a	2,47	1,5	2,87	1,4	2,33	1,1	3,59	2,1	2,83	1,6
3b	3,21	1,9	2,75	1,4	2,17	1,1	3,21	1,9	2,85	1,7
4a	3,00	1,6	2,31	0,9	2,20	1,0	3,00	1,8	2,65	1,4
4b	3,29	1,5	2,91	1,5	2,03	1,1	3,47	2,1	2,95	1,7
Geräusch 1 bis 4	2,76	1,5	2,89	1,3	2,31	1,2	2,94	1,8	2,74	1,5

Anmerkungen: \bar{x} = Mittelwert, s = Standardabweichung

Bitte geben Sie an, wie Sie sich beim Hören des Geräusches fühlen:
 „sehr unangenehm“ (Skalenwert -4) bis „sehr angenehm“ (Skalenwert + 4)

Geräusch	jung (20–30 Jahre)				älter (40–55 Jahre)				Gesamt	
	weiblich		männlich		weiblich		männlich		\bar{x}	s
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
0a	-0,71	2,0	-1,44	1,7	-2,67	0,8	-1,06	1,8	-1,43	1,8
0b	-1,53	1,8	-2,06	1,6	-3,20	0,9	-1,88	2,0	-2,14	1,7
1a	-2,18	1,5	-1,69	1,3	-2,19	1,2	-2,24	1,8	-2,08	1,4
1b	-2,12	1,4	-1,75	1,3	-2,06	1,1	-2,12	1,7	-2,02	1,4
2a	-1,29	1,6	-1,00	1,9	-1,69	1,4	-1,94	1,6	-1,48	1,6
2b	-1,47	1,8	-0,63	1,6	-1,56	1,5	-1,94	1,7	-1,41	1,7
3a	-1,35	1,8	-1,50	1,3	-2,19	1,2	-0,76	2,4	-1,44	1,8
3b	-0,79	1,8	-1,75	1,3	-2,22	1,2	-1,09	2,2	-1,45	1,8
4a	-1,29	1,7	-2,50	1,0	-2,13	1,1	-1,41	2,1	-1,82	1,6
4b	-0,71	1,4	-1,75	1,5	-2,25	1,4	-0,94	2,2	-1,39	1,8
Geräusch 1 bis 4	-1,27	1,7	-1,61	1,5	-2,08	1,3	-1,45	2,1	-1,59	1,7

Anmerkungen: \bar{x} = Mittelwert, s = Standardabweichung

Bitte geben Sie an, wie Sie sich beim Hören des Geräusches fühlen:
 „sehr still/deaktiviert“ (Skalenwert -4) bis „sehr aufgeregt/aktiviert“ (Skalenwert + 4)

Geräusch	jung (20–30 Jahre)				älter (40–55 Jahre)				Gesamt	
	weiblich		männlich		weiblich		männlich		\bar{x}	s
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
0a	0,82	1,7	1,31	1,7	2,13	1,3	0,94	1,7	1,28	1,7
0b	1,18	2,1	1,75	1,8	2,67	1,3	1,65	2,3	1,78	1,9
1a	1,53	1,4	1,00	1,8	1,56	1,5	1,88	1,7	1,50	1,6
1b	1,41	1,4	1,13	1,7	1,56	1,5	1,88	1,8	1,50	1,6
2a	1,35	1,3	0,25	1,7	0,88	1,7	1,06	2,0	0,89	1,7
2b	1,12	1,4	-0,19	1,8	0,56	2,2	1,24	1,8	0,70	1,8
3a	1,65	1,3	1,44	1,0	1,75	1,7	1,24	1,9	1,52	1,5
3b	1,09	1,5	1,34	1,3	1,69	1,7	1,50	1,8	1,40	1,6
4a	1,24	1,6	1,50	1,3	1,44	1,5	1,18	1,9	1,33	1,6
4b	0,82	1,4	1,34	1,3	1,69	1,7	1,47	1,9	1,33	1,6
Geräusch 1 bis 4	1,21	1,4	1,05	1,5	1,45	1,7	1,44	1,8	1,29	1,6

Anmerkungen: \bar{x} = Mittelwert, s = Standardabweichung

Anhang 12: Ergebnis der Hauptkomponentenanalyse über die Daten der Adjektivliste –
 Zuordnung der einzelnen Items zu den vier resultierenden Faktoren

Faktor:	unangenehm	lärmig	gefährlich	sportlich
belästigend	,867	,153	,070	-,046
laut	,759	,295	,118	,154
aufdringlich	,758	,228	,272	,116
angenehm	-,829	-,039	-,045	,209
akzeptabel	-,860	-,045	-,108	,174
aggressiv	,520	,260	,433	,414
bassig	,062	,774	,020	,129
hallend	,081	,712	,308	-,045
groß	,304	,685	,154	,005
tonhaft	-,188	,664	,258	,222
dröhnend	,349	,620	,141	,033
röhrend	,347	,609	,101	,256
kraftvoll	,136	,569	,023	,488
pulsierend	,147	,493	,263	,058
überraschend	,016	,055	,786	,002
alarmierend	,379	,194	,704	,213
gefährlich	,513	,121	,556	,309
mechanisch	,064	,340	,554	-,123
scharf	,142	,376	,540	,193
Aufmerksamkeit fordernd	,401	,341	,438	,245
sportlich	-,029	,030	,003	,910
teuer	-,231	,274	,255	,659
rau	,328	,373	,284	,229
statistische Merkmale der 4 Faktoren:				
Eigenwert	8,26	3,05	1,52	1,33
aufgeklärte Varianz in %	35,91	13,27	6,59	5,79
Cronbachs Alpha	,894	,839	,805	,694

Anhang 13: Vier Faktoren der Adjektivliste –

Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s) bei den einzelnen Geräuschen in den entsprechenden Skalenwerten für die 4 Teilgruppen und die gesamte Stichprobe (Kodierung der Geräusche in den Tabellen wie in Anhang 6)

Faktor „gefährlich“ (Skala von 1 bis 9)

Geräusch	jung (20–30 Jahre)				älter (40–55 Jahre)				Gesamt	
	weiblich		männlich		weiblich		männlich		\bar{x}	s
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s		
0a	4,05	1,4	4,74	1,5	4,74	1,5	4,83	1,3	4,89	1,5
0b	4,92	1,6	5,26	1,6	5,26	1,6	5,90	1,3	5,62	1,5
1a	4,60	1,6	4,80	1,5	4,80	1,5	5,19	1,4	4,94	1,4
1b	4,81	1,9	4,84	1,3	4,84	1,3	5,11	1,5	5,03	1,5
2a	4,13	1,7	4,22	1,4	4,22	1,4	4,69	1,6	4,42	1,5
2b	4,26	1,7	3,93	1,2	3,93	1,2	4,83	1,8	4,45	1,6
3a	4,67	1,4	4,44	1,3	4,44	1,3	4,88	1,5	4,73	1,4
3b	4,77	1,4	5,02	1,5	5,02	1,5	5,05	1,5	5,04	1,5
4a	4,62	1,6	4,93	1,6	4,93	1,6	4,73	1,6	4,99	1,5
4b	4,55	1,6	4,90	1,4	4,90	1,4	4,99	1,6	4,99	1,5
Geräusch 1 bis 4	4,57	1,6	4,70	1,4	5,24	1,3	4,95	1,5	4,86	1,5

Anmerkungen: \bar{x} = Mittelwert, s = Standardabweichung

Faktor „sportlich“ (Skala von 1 bis 9)

Geräusch	jung (20–30 Jahre)				älter (40–55 Jahre)				Gesamt	
	weiblich		männlich		weiblich		männlich		\bar{x}	s
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s		
0a	2,71	1,4	2,50	0,9	3,33	1,8	2,47	1,4	2,74	1,4
0b	3,12	1,6	2,66	1,1	3,70	1,8	3,24	2,0	3,17	1,6
1a	3,35	2,2	3,19	1,8	4,22	2,1	3,76	1,5	3,63	1,9
1b	3,41	2,3	3,38	1,6	4,59	2,3	3,65	1,8	3,75	2,0
2a	2,44	1,2	2,91	1,6	3,06	1,7	2,85	1,7	2,81	1,5
2b	2,12	1,1	2,81	1,6	3,25	1,7	2,88	1,9	2,76	1,6
3a	5,82	2,2	3,50	2,0	4,34	2,2	4,97	1,8	4,68	2,2
3b	5,22	2,2	4,39	2,2	4,52	2,3	4,59	1,5	4,69	2,1
4a	4,50	1,9	3,41	1,6	4,09	1,9	3,97	1,8	4,00	1,8
4b	5,53	1,9	4,47	2,4	4,56	2,1	4,60	2,0	4,80	2,1
Geräusch 1 bis 4	4,31	2,3	3,69	2,0	4,17	2,1	4,05	1,9	4,06	2,1

Anmerkungen: \bar{x} = Mittelwert, s = Standardabweichung

Faktor „lärmig“ (Skala von 1 bis 9)

	jung (20–30 Jahre)				älter (40–55 Jahre)				Gesamt	
	weiblich		männlich		weiblich		männlich		\bar{x}	s
Geräusch	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s		
0a	5,24	1,2	5,40	1,3	6,16	0,8	4,80	1,3	5,38	1,2
0b	5,57	1,4	5,52	1,2	5,94	1,4	5,29	1,3	5,57	1,3
1a	5,13	1,8	4,87	1,3	5,47	1,1	4,73	1,6	5,04	1,5
1b	5,28	1,9	4,97	1,2	5,30	1,1	4,97	1,6	5,13	1,5
2a	4,66	1,9	4,86	1,4	4,76	1,5	4,62	1,9	4,72	1,7
2b	4,12	1,6	4,68	1,1	4,46	1,4	4,39	1,9	4,41	1,5
3a	5,64	1,6	5,20	1,1	5,76	1,1	5,04	1,7	5,41	1,4
3b	5,43	1,6	5,02	1,1	5,88	1,3	4,95	1,4	5,32	1,4
4a	5,93	1,6	5,66	1,3	5,80	1,3	5,37	1,2	5,69	1,3
4b	5,01	1,5	5,13	1,0	5,64	1,0	5,09	1,4	5,22	1,3
Geräusch 1 bis 4	5,16	1,7	5,05	1,2	5,46	1,3	4,92	1,5	5,15	1,5

Anmerkungen: \bar{x} = Mittelwert, s = Standardabweichung

Faktor „unangenehm“ (Skala von 1 bis 9)

	jung (20–30 Jahre)				älter (40–55 Jahre)				Gesamt	
	weiblich		männlich		weiblich		männlich		\bar{x}	s
Geräusch	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s		
0a	6,31	1,4	6,45	1,6	7,78	0,9	6,62	1,4	6,77	1,4
0b	7,04	1,1	6,90	1,3	8,12	0,7	7,11	1,6	7,27	1,3
1a	6,91	1,1	6,91	1,2	7,23	1,2	7,20	1,3	7,06	1,2
1b	7,03	1,3	6,81	1,3	7,25	0,9	7,24	1,7	7,08	1,3
2a	6,48	1,4	5,53	1,7	6,84	1,3	6,73	1,6	6,40	1,5
2b	6,39	1,8	5,47	1,4	6,57	1,1	6,57	1,7	6,26	1,6
3a	6,84	1,3	6,64	1,1	7,06	1,3	6,49	1,7	6,76	1,3
3b	6,56	1,5	6,78	1,1	7,23	1,2	6,55	1,8	6,77	1,5
4a	6,72	1,5	7,30	0,8	7,55	0,9	6,65	1,7	7,04	1,3
4b	6,21	1,3	6,76	1,2	7,57	0,9	6,46	1,8	6,74	1,4
Geräusch 1 bis 4	6,59	1,4	6,57	1,3	7,21	1,1	6,69	1,7	6,76	1,4

Anmerkungen: \bar{x} = Mittelwert, s = Standardabweichung

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere an Eides statt, dass die Dissertation selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erstellt worden ist und die hier vorgelegte Dissertation nicht von einer anderen Medizinischen Fakultät abgelehnt worden ist.

14.06.2012, Michael Frerich