

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

**Psychophysiologische Bewertung von Verkehrsgeräuschen anhand
von Fingerpulsamplitude und Elektromyogramm sowie subjektiver
Beurteilung**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

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

Gregor Zodrow

2005

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

gez.: Prof. Dr. Raab Dekan

Referentin: Prof. Dr. Schwarze

Korreferent: Prof. Dr. Dr. Jansen

INHALTSVERZEICHNIS

<u>1. EINLEITUNG</u>	5
<u>2. LÄRM UND SEINE PSYCHOPHYSIOLOGISCHEN AUSWIRKUNGEN</u>	7
<u>2.1 AUFNAHME UND VERARBEITUNG VON SCHALLREIZEN</u>	7
<u>2.2 FINGERPULS</u>	8
<u>2.3 ELEKTROMYOGRAMM</u>	10
<u>3. FRAGESTELLUNG UND METHODE</u>	13
<u>3.1 FRAGESTELLUNG</u>	13
<u>3.2 DEFINITION UND KLASSIFIKATION DER GERÄUSCHE (SCHALLREIZE)</u>	13
<u>3.3 ERSTELLUNG DER GERÄUSCHKONSERVEN</u>	15
<u>3.4 BESCHREIBUNG DER STICHPROBE</u>	16
<u>3.5 PHYSIOLOGISCHE MESSPARAMETER</u>	16
<u>3.5.1 <i>Fingerpulsamplitude</i></u>	16
<u>3.5.2 <i>Elektromyogramm</i></u>	18
<u>3.5.3 <i>Besonderheiten physiologischer Messtechniken</i></u>	19
<u>3.6 SUBJEKTIVE GERÄUSCHBEWERTUNG UND SITUATIONSEINSCHÄTZUNG</u>	20
<u>3.7 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG</u>	22
<u>3.8 DATENANALYSE UND VORGEHEN BEI DER ERGEBNISDOKUMENTATION</u>	22
<u>4. ERGEBNISSE</u>	25
<u>4.1 STADTSTRABEN MIT GERINGEM VERKEHRSAUFKOMMEN (P8/P7)</u>	25
<u>4.1.1 <i>Fingerpulsamplitude</i></u>	26
<u>4.1.2 <i>Elektrische Muskelaktivität</i></u>	27
<u>4.1.3 <i>Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung</i></u>	28
<u>4.2 KREUZUNGEN MIT UNTERSCHIEDLICHER VERKEHRSREGULIERUNG (P20/P21)</u>	30
<u>4.2.1 <i>Fingerpulsamplitude</i></u>	31
<u>4.2.2 <i>Elektrische Muskelaktivität</i></u>	32
<u>4.2.3 <i>Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung</i></u>	33
<u>4.3 STADTSTRABEN MIT HOHEM VERKEHRSAUFKOMMEN (P1/P17)</u>	35
<u>4.3.1 <i>Fingerpulsamplitude</i></u>	36
<u>4.3.2 <i>Elektromyogramm</i></u>	37

<i>4.3.3 Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung</i>	39
<u>4.4 AUSFALLSTRAßEN MIT HOHEM VERKEHRSAUFKOMMEN (P11/P12)</u>	40
<i>4.4.1 Fingerpulsamplitude</i>	41
<i>4.4.2 Elektromyogramm</i>	42
<i>4.4.3 Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung</i>	44
<u>5. DISKUSSION</u>	45
<u>5.1 ZUSAMMENFASSENDE DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE</u>	45
<u>5.2 ZUSAMMENHANG MIT AKUSTISCHEN GRÖßEN</u>	49
<u>5.3 STELLENWERT DER ERGEBNISSE</u>	50
<u>6. ZUSAMMENFASSUNG</u>	51
<u>7. LITERATUR</u>	52
<u>ANHANG</u>	57
<u>GLOSSAR</u>	65
<u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</u>	68
TABELLENVERZEICHNIS	69
<u>LEBENS LAUF</u>	73
ABSTRACT	74

1. Einleitung

Lärm ist in unserer modernen Welt allgegenwärtig und ein immer größer werdendes Umweltproblem. Die ständige Belastung mit Umweltlärm führt zu negativen Auswirkungen auf den Menschen, vor allem in Form von subjektiv erlebter Belästigung und von gesundheitlichen Störungen (Schwarze & Thompson 1993).

Die dominierende Quelle im Umweltlärbereich ist der Verkehrslärm, wobei der Straßenverkehrslärm weit im Vordergrund steht (Ortscheid & Wende 2002). Entsprechend umfangreich ist die Zahl wissenschaftlicher Untersuchungen zu Auswirkungen von Verkehrslärm, die sich im Laufe der Jahrzehnte auch in praktischen Konsequenzen hinsichtlich Verkehrsregulierung, Geschwindigkeitsbegrenzungen und anderen Lärmschutzmaßnahmen niedergeschlagen haben. Relativ neu ist dagegen der methodische Ansatz, sich im Zusammenhang mit Verkehrslärm nicht nur mit der Reduzierung des Schallpegels, sondern auch mit der Geräuschqualität von Verkehrsgereuschen zu befassen (Kreber et al. 2002). Darunter sind all die akustischen Faktoren zu verstehen, die die Akzeptanz eines Geräusches durch den Hörer beeinflussen.

Untersuchungen, die sich mit der Qualität von Fahrzeuginnengeräuschen beschäftigen, gibt es schon seit mehr als 15 Jahren (Fujita et al. 1988, Ishiyama & Hashimoto 1998, Namba 1994). Ihre Ergebnisse konnten bereits erfolgreich für die Geräuschoptimierung im Fahrzeuginnenraum genutzt werden (Bednarzyk 1999, Hashimoto 1994, Schick 1994). Die Automobilkonzerne richteten eigene Forschungs- und Entwicklungsabteilungen ein, die sich ausschließlich mit dem Sound-Design des Kfz-Innenraums beschäftigen. Von besonderer Bedeutung erwies sich hierbei die Technik der binauralen Geräuschaufnahme und -wiedergabe, mit der eine wahrnehmungsgerechte Reproduktion der akustischen Bedingungen möglich wurde (Genuit 1995).

Im Kontext dieser Forschungsaktivitäten ist auch das von der Europäischen Kommission geförderte Verbund-Forschungsprojekt SVEN (Sound Quality of Vehicle Exterior Noise, Projekt Nr. G6RD-CT-1999-00113) zu sehen, an dem insgesamt acht Projektpartner aus fünf verschiedenen europäischen Ländern beteiligt waren: zwei Universitätsinstitute (zu denen das Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der Universität Düsseldorf gehört) und sechs Unternehmen aus der Akustik- bzw. Automobilbranche. Zielsetzung des Gesamtprojektes war, die Anwendbarkeit des Sound Quality Konzeptes auf die Verbesserung der Geräuschqualität von Verkehrslärm und Pkw-Außengeräuschen zu prüfen. Die Aufgabenstellung des Instituts für Arbeitsmedizin und

Sozialmedizin der Universität Düsseldorf konzentrierte sich dabei auf die Erarbeitung und Validierung von Deskriptoren, mit denen die wahrgenommene Qualität von Verkehrs- bzw. Fahrzeugaußengeräuschen am besten gemessen und beurteilt werden kann. Mit Hilfe dieser Deskriptoren sollten relevante Geräuschqualitäten bzw. Faktoren identifiziert werden, um die derzeit bestehenden Bedingungen (z. B. Fahrzeugaufkommen pro Stunde, durchschnittliches Fahrtempo, Kontinuität des Verkehrs und Art der Straßenbebauung) zu optimieren. Es wurden insgesamt drei Versuchsreihen durchgeführt. In der ersten Serie wurde das Instrumentarium zur Erfassung der psychophysiologischen Wirkung von Geräuschen erarbeitet und anhand von Straßenverkehrsgläuschen auf seine Tauglichkeit überprüft. In der zweiten Serie wurden Vorbeifahrtgeräusche von einzelnen Pkw im Hinblick auf ihre psychophysiologische Bewertung analysiert. In der dritten Versuchsreihe wurden technisch modifizierte Pkw-Gläusche eingesetzt und Unterschiede in der Lautstärke geprüft.

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen der ersten Versuchsreihe dieser EU-Studie. Zentrale Fragestellung dieser Arbeit ist, ob sich bestimmte psycho-physiologische Messmethoden (Fingerpuls und Elektromyogramm), die sich in der Lärmwirkungsforschung zur Erfassung von allgemeinen Lärmreaktionen schon bewährt haben, in Verbindung mit der subjektiven Bewertung auch für die differenzierte Beschreibung der erlebten Qualität von Verkehrsgeräuschen einsetzen lassen.

2. Lärm und seine psychophysiologischen Auswirkungen

2.1 Aufnahme und Verarbeitung von Schallreizen

Der Hörsinn ist eine der wichtigsten menschlichen Sinnesqualitäten, denn er gibt uns nicht nur Informationen über sichtbare, Schall erzeugende Objekte in unserer Umgebung, sondern auch über nicht sichtbare, unserem Blick verborgene. Seine Reizwahrnehmung lässt sich nicht kontrollieren oder willkürlich beeinflussen. Er ist ein Fernsinn, der ständig unsere Umgebung erfasst.

Gegenstände, die vibrieren und dadurch Luftmoleküle in Schwingung versetzen, verursachen Luftbewegungen, die sich wellenartig in Form von Verdichtungs-/Verdünnungsbezirken mit einer Geschwindigkeit von annähernd 343 m/s bzw. 1234,8 km/h ausbreiten. Diese Wellen stimulieren spezifische Sinneszellen in unserm Ohr, die als Geräusch wahrgenommen werden.

Geräusche variieren in ihrer Höhe, Lautstärke und in ihrem Aufbau. Die Höhe eines Geräusches ist definiert durch seine Vibrationsfrequenz, die in Hertz (Hz = Anzahl der Schwingungen pro Sekunde) angegeben wird. Die Lautstärke beschreibt die Intensität und die Kraft der Schwingung der Luft bzw. des vibrierenden Objektes (Amplitude = Schalldruck p). Der Aufbau eines Geräusches gibt dem Hörer Informationen über die spezifischen Eigenschaften einer Schallquelle. Die meisten natürlichen Geräusche sind komplexe Gebilde aus einer Vielzahl von verschiedenen Frequenzen und Intensitäten. Dennoch ist das Ohr in der Lage, innerhalb eines komplexen Geräusches unterschiedliche Frequenzen separat als einzelne Töne zu erfassen. Dies ermöglicht die Identifizierung der Herkunft einzelner Geräusche.

Lärmwirkungen lassen sich grundsätzlich unterteilen in aurale (das Gehör betreffende) und extra-aurale Wirkungen (andere Organsysteme betreffende) (Jansen 1991). Aurale Schallwirkungen entstehen durch die aufgenommene Schallenergie, die im Innenohr (Corti'sche Organ) in sinnesspezifische Erregung umgesetzt und in der Großhirnrinde als Höreindruck abgebildet wird. Auf dem Weg zur Großhirnrinde gehen von der Hörbahn Verzweigungen ab, die Kontakt mit anderen Zentren aufnehmen. Die durch diese Verbindungen entstehenden Effekte werden als extra-aurale Lärmwirkungen bezeichnet. Eine wichtige Verknüpfung stellt hierbei die Verbindung mit dem Zwischenhirn dar, da hier über das sympathische und parasympathische Nervensystem die Steuerung sämtlicher Organe und Organsysteme erfolgt. Ein wesentlicher Aspekt hierbei ist, dass feststellbare vegetative Veränderungen auf Schallreize nicht oder nur gering willentlich zu beeinflussen sind. Die ausgelösten physiologischen Veränderungen zeigen in ihrer Art der Beeinflussung

(Aktivierung und Deaktivierung spez. Organe) Gemeinsamkeiten im Sinne einer Bereitstellung von Energie, die allgemein als Ergotropisierung bzw. Sympathikotonie bezeichnet werden.

Beispiele extra-auraler Lärmwirkungen:

- Erweiterung der Pupillen
- Zunahme der Herzfrequenz
- Abnahme der Hautdurchblutung
- Zunahme des Blutdrucks
- Zunahme der Schweißsekretion
- Abnahme der Magensekretion
- Abnahme der Schleimsekretion
- Zunahme der Atmungsfrequenz
- Zunahme der Hormonsekretion der Nebenniere (Adrenalin, Kortikoide)

Bei diesen Aktivierungs- und Orientierungsreaktionen des sympathischen Nervensystems handelt es sich nicht um lärmspezifische Wirkungen, sondern um physiologische Antwortreaktionen auf einen gesetzten Stimulus, die durch andere Reize (Stressoren) genauso hervorgerufen werden können (Schandry 1996). Diese Antwortreaktionen können bei dauerndem Stressreiz bzw. fortgesetzter Lärmexposition zu chronischen Störungen bzw. Dysregulationen mit negativen Auswirkungen auf die Gesundheit führen. (Jansen 1986, Sokolov 1997)

2.2 Fingerpuls

Der Füllungsstatus peripherer Blutgefäße einer bestimmten, umgrenzten Region unterliegt Schwankungen. Diese lassen sich auch ohne Messapparaturen beobachten. So sind z. B. Erbleichen und Erröten sowie weiß bis bläulich verfärbte Extremitäten äußere Anzeichen für die Stärke der Durchblutung. Die Anwendung empfindlicher Messverfahren zeigt, dass bereits relativ geringfügige Änderungen im Aktivationsniveau zu Durchblutungsänderungen in der Peripherie führen. Dies gilt insbesondere für den Bereich niedriger Aktivierung. So sind z. B. Veränderungen im peripheren Blutvolumen eine Begleiterscheinung der Orientierungsreaktion, ausgelöst durch exogene Reize (z. B. Lärm).

Diese Veränderung wird an der Peripherie fast ausschließlich durch die Gefäßmotorik gesteuert. Dies bedeutet, dass Blutvolumenmessungen mittelbar die Vasomotorik beschreiben. Ein großer

Teil der Blutgefäße der Hand und vor allem der Finger (die bevorzugte Ableitorte bei den blutvolumetrischen Messungen sind) liegt in der Haut oder nur wenig darunter. Die Steuerung der Gefäßmotorik in der Haut geschieht ausschließlich durch sympathische Erregung über vaso-konstriktorische Fasern. Durchschneidung der Sympathikus-Fasern hat Vasodilatation zur Folge. Demnach unterliegen die Gefäße der Haut auch im Ruhezustand einem sympathischen Dauertonus. Als postganglionärer Überträgerstoff wirkt Noradrenalin (Alpha-Rezeptoren). Aufgrund ihrer ausschließlich sympathischen Innervation bilden die Blutgefäße der Haut ein Modellsystem zur Beobachtung der Aktivität im Sympathikus-Zweig des ANS (Adrenerges-Nerven-System).

Bei der Registrierung des Blutvolumens beobachtet man stets mehr oder weniger ausgeprägte Volumenschwankungen im Rhythmus des Herzschlags. Diese kommen durch die wechselweise ein- bzw. ausströmende Blutmenge zustande: In der Systole überwiegt der Einstrom (Volumenvergrößerung), während der diastolischen Phase findet ein Abstrom (Volumenverkleinerung) statt. Die Differenz zwischen maximalem und minimalem Blutvolumen innerhalb eines Herzzyklus nennt man Pulsvolumen oder die Pulsvolumenamplitude (PVA). Sie entspricht der mit jedem Herzschlag in das Gebiet hinein und wieder heraus transportierten Blutmenge.

Die Messung der peripheren Volumenpulsationen an der Fingerbeere ist mittlerweile eine seit Jahrzehnten etablierte Methode. Systematische Untersuchungen hierzu – seinerzeit mit Dehnungsmessstreifen als Messmethode – wurden vor allem von Jansen durchgeführt (Jansen 1967). Er hat in zahlreichen Laborexperimenten die Fingerpulsamplitude (FPA) als Messverfahren standardisiert und validiert. Die FPA gilt als aussagekräftigster Parameter für die Erfassung der physiologischen Wirkung von Schallreizen (Griefahn 1993, Jansen et al. 1980). Sie zeigt indirekt die periphere Durchblutung an, die sich je nach Stärke der sympathischen Impulse verändert (Jansen 1984). Es lässt sich eine eindeutige und monotone Beziehung zwischen Schallpegel und Ausmaß der Amplitudenreduktion aufzeigen. Des Weiteren zeigt die FPA bei minutenlang anhaltendem Schallreiz charakteristische Veränderungen, die auf eine nachhaltige Störung physiologischer Regulationsprozesse durch einen Stressor hinweisen. Dieser Effekt lässt sich sehr deutlich bei impulshaltigem Lärm bzw. bei Lärm hoher Intensitäten aufzeigen (Meyer-Falcke et al. 1995, Siegmann et al. 1996) .

Es gibt verschiedene Methoden, die Volumenschwankungen an der Fingerbeere zu messen. Heutzutage wird zur Erfassung der Volumenpulsationen gewählt die Photoplethysmographie, die sehr zuverlässig zu handhaben und am wenigsten störanfällig ist.

2.3 Elektromyogramm

Ein weiterer Parameter zur Erfassung der physiologischen Wirkung von Schallreizen ist die elektrische Muskelaktivität, die als Elektromyogramm gemessen wird (EMG). Sie eignet sich besonders für die Erfassung auch länger andauernder sympathischer Aktivierungsprozesse (Lippolt 1967, Schandry 1996). Quergestreifte Muskeln sind aus mehreren, meist parallel laufenden Muskelfasern aufgebaut. Diese Fasern sind zu Faserbündeln zusammengefasst, die aus 20 bis 60 Muskelfasern bestehen. Diese enden an den Sehnen und übertragen die Kontraktionskräfte auf das Skelettsystem.

Jede Muskelfaser wird von einer Nervenzelle (Motoneuron) und dessen neuromuskulärer Endplatte innerviert. Ein Motoneuron innerviert mehrere Muskelfasern und wird als motorische Einheit bezeichnet. Bei Aktivierung dieser Einheiten kommt es zu elektrischen Vorgängen in der Umgebung einer Muskelfaser. Durch eine Depolarisationswelle, die sich beim Aktionspotential entlang der Zellmembran fortpflanzt, werden Ionenverschiebungen im Zelläußeren induziert, die Schwankungen der elektrischen Feldstärke bewirken. Diese Potentialschwankungen breiten sich unter Abschwächung bis zur Körperoberfläche aus und können dort von Elektroden registriert werden.

Da von einer motorischen Einheit immer mehrere Fasern erregt werden, die untereinander einen gewissen räumlichen Abstand haben, ist ein einzelner Muskelaktionsimpuls im Oberflächen-EMG kaum zu beobachten. Eine Elektrode an der Hautoberfläche fängt also gleichzeitig immer sehr viele Muskelaktionspotentiale von verschiedenen Muskelzellen auf. Die registrierte elektrische Aktivität korreliert hoch mit der tatsächlichen Muskelanspannung.

Zu einer Erhöhung der Muskelspannung kann es durch zwei Prozesse kommen:

1. Die Zahl der aktiven motorischen Einheiten erhöht sich
2. die Entladungsfrequenz steigt an.

Diese beiden Phänomene wirken sich auf die Potentialverhältnisse zwischen den Elektroden aus und führen so zu einer Amplituden- bzw. Frequenzerhöhung des bioelektrischen Signals.

Bei der bipolaren Ableitung lässt sich das Zustandekommen des typischen biphasischen EMG-Signals folgendermaßen erklären: Die Welle der Oberflächennegativität wandert (mit ca. 5 m/s) längs der Muskelfaser. Demnach ist sie zunächst einer der beiden Elektroden näher; diese Elekt-

rode wird dann relativ zur anderen negativ. Zu einem späteren Zeitpunkt liegt das Gebiet negativer Ladung genau in der Mitte zwischen den beiden Elektroden. Beide „erfassen“ dann dasselbe Potential und es wird keine Potentialdifferenz registriert. Schließlich ist die depolarisierte Membranzone der zweiten Elektrode näher und die Spannung zwischen beiden kehrt ihr Vorzeichen um. Es entwickelt sich also eine biphasische Verlaufsform. Da von einer motorischen Einheit immer mehrere Fasern erregt werden, kommt es aufgrund der Laufzeitunterschiede auf der Strecke (Muskelfaser-Elektrode) zu einer Potentialkurve mit einer polyphasischen Gestalt.

Diese Kurve besteht also aus mehreren aufeinanderfolgenden Wellenberg und Wellentälern. Auch die Endplatten-Potentiale, die sich nicht längs der Faser fortpflanzen, sondern auf das Endplattengebiet beschränkt sind, tragen zum Zeitverlauf der aufgefangenen Potentialschwankungen bei.

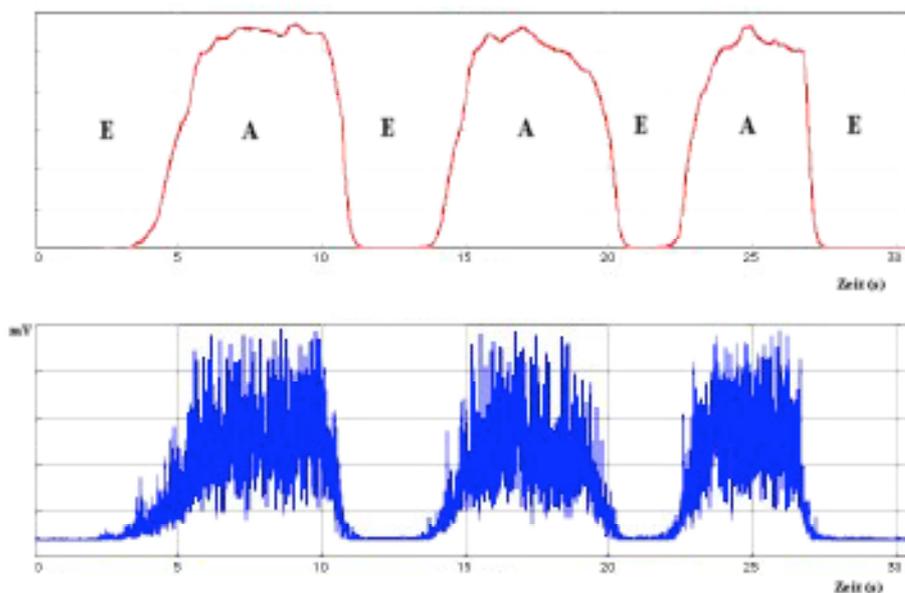


Abb.1: EMG-Registrierkurve (A = Anspannung E = Entspannung)

Die quergestreifte Muskulatur wird durch das somatische Nervensystem innerviert. Dieses System unterliegt der Steuerung durch die Willkür. Der Ruhetonus der quergestreiften Muskulatur unterliegt unwillkürlichen Reaktionen, die z. B. im Zusammenhang mit emotionalem Erleben und psychischer Belastung stehen, also vor allem eine psychophysische Aktiviertheit darstellen. Diese psychophysische Aktivität steht in einem direkten Zusammenhang zur Muskelspannung.

Die Registrierung der elektrischen Muskelaktivität stellt deshalb ein bedeutendes psychophysiologisches Messverfahren dar, das mit der Methode der Elektromyographie dargestellt bzw. aufgezeichnet werden kann. Die bei der Aufzeichnung entstandene Registrierkurve ist das Elektromyogramm (EMG), die ihr zugrundeliegende elektrische Aktivität ist das Muskelaktionspotential.

Für den Zusammenhang zwischen psychophysischer Aktiviertheit und der Muskelspannung ist in erster Linie die *Formatio reticularis* verantwortlich. Von dieser Region gehen sowohl erregende als auch hemmende Impulse aus, wobei dieses Gebiet den Einflüssen höherer Strukturen (Kortex, Basalganglien, Kleinhirn) unterliegt.

3. Fragestellung und Methode

3.1 Fragestellung

Während die Erfassung von psychophysiologischen Parametern als Antwortreaktion auf die Belastung mit hohen Schallpegeln seit Jahrzehnten in der Lärmforschung etabliert ist (Übersicht bei Schwarze 1991), ist ihr Einsatz zur Bewertung von Geräuschen, die sich nur in der Qualität des akustischen Höreindrucks unterscheiden, bislang nur in geringem Umfang erfolgt. So konnte im Rahmen eines Vergleichs von binaural und mit konventioneller Methodik aufgenommenen bzw. wiedergegebenen Geräuschen gezeigt werden, dass sich selbst geringe Unterschiede in der akustischen Wirkung von Industriegeräuschen mit psychophysiologischen Methoden abbilden und objektivieren lassen (Schwarze et al. 1993).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Eignung der psycho-physiologischen Messmethoden Fingerpulsamplitude und Elektromyogramm für die differenzierte Beschreibung der erlebten Qualität von Verkehrsgeräuschen zu prüfen. Des Weiteren werden die physiologischen Messergebnisse mit den subjektiven Bewertungen der Verkehrsgeräusche (Fragebogen) verglichen. Die physiologischen Effekte der Geräuscharbeitung, die Definition der Geräuschqualitäten und die genaue Art der Messmethodik wird im Folgenden erläutert.

3.2 Definition und Klassifikation der Geräusche (Schallreize)

Innerhalb der Studie SVEN wurden 21 Aufnahmen von Verkehrssituationen in Paris angefertigt. Die Verkehrssituation bzw. deren räumliche Gegebenheit war der entscheidende Faktor für die Auswahl der Aufnahmeplätze. Die Entscheidung über die Auswahl der Aufnahmeplätze in den Straßen wurde von Akustik-Experten des Forschungsprojektes SVEN getroffen.

Aus der Gesamtheit der 21 Aufnahmen wurden 8 ausgewählt, die jeweils paarweise einander zugeordnet wurden mit folgendem Kriterium:

Die zu bewertenden Geräuschpaare sollten sich in nur einer Eigenschaft (bzw. räumlichen Gegebenheit) unterscheiden und sonst möglichst ähnliche Situationen widerspiegeln.

Folgende Geräusche wurden ausgewählt und paarweise zu Blöcken zusammengefasst (Tab. 1).

Tab.1. Experimentelle Blöcke

Paare	Verkehrsaufkommen	Struktur	Räumliche Gegebenheit
Block A	hoch (3000 Kfz/h)	Stadtstraßen (4-spurig) ≤ 50 km/h	P1 einseitig bebaut P17 beidseitig bebaut
Block B	hoch (3000 Kfz/h)	Ausfallstraßen (4-spurig) 70-90 km/h	P11 freies Feld P12 mit Gebäuden
Block C	mittel (1200 Kfz/h)	Stadtstraßen Kreuzungen ≤ 50 km/h	P20 Kreuzung P21 Kreisverkehr
Block D	gering (750 Kfz/h)	Stadtstraßen (2-spurig) ≤ 50 km/h	P8 einseitig bebaut P7 beidseitig bebaut

Bei drei Geräuschpaaren stand die Art der Bebauung im Vordergrund (A, B, D). Unter akustischen Gesichtspunkten spielt es nämlich eine Rolle, ob eine Straße nur an einer Seite (einseitig) oder an beiden Seiten (beidseitig) bebaut ist. Je nachdem wie breit die Straße ist, kommt es zu Pegelerhöhungen bzw. zur Zunahme des subjektiven Lautheitseindrucks. Inwieweit sich daraus Unterschiede in der Geräuschqualität ergeben, ist bisher noch nicht untersucht worden.

Weiterhin stellte sich die Frage, ob es einen Unterschied hinsichtlich der Geräuschqualität gibt für Straßen, deren Verkehrsfluss mit einer Ampelanlage oder mit einem Kreisverkehr gesteuert wird. Der Vergleich der Wirkungen der Geräusche von Block C soll hierüber Aufschluss geben.

Da die Lautstärke einen erheblichen Einfluss auf die physiologischen Reaktionen hat und dadurch andere Faktoren und Unterschiede überdeckt werden könnten, wurde der Schallpegel aller 8 Aufnahmen angeglichen. Um eine sichere, kräftige Antwort in den physiologischen Reaktionen zu gewährleisten, wurde der äquivalente Dauerschallpegel aller Geräusche auf einen L_{Aeq} von 83 dB(A) angehoben.

3.3 Erstellung der Geräuschkonserven

Allen Probanden sollten während des Experiments alle acht Geräusche, die paarweise zu Geräuschblöcken kombiniert (4 mal 2) waren, vorgespielt werden. Um zu verhindern, dass durch die Reihenfolge der Darbietung der Geräusche ein unerwünschter Nebeneffekt entstehen könnte, wurde die Abfolge der Blöcke entsprechend variiert, indem 4 verschiedene Sequenzen (A-D) erstellt und jeweils einem Viertel der Probanden zugeteilt wurden (Tab. 2).

Tab. 2: Balancierte Sequenzen A-D

Sequenz 1	Sequenz 2	Sequenz 3	Sequenz 4
A	B	C	D
B	A	D	C
C	D	A	B
D	C	B	A

Innerhalb der Blöcke wurde ebenfalls ein Wechsel der Reihenfolge vorgenommen, so dass jedes Geräusch gleich häufig an erster bzw. an zweiter Position abgespielt wurde (Tab. 3). Um Versuchsleiter- oder Reihenfolgefehler während des Hauptversuches auszuschließen, wurde für jede Sequenz (1-4) eine CD (1-4) hergestellt, in der alle Abschnitte (Pausen und Geräusche) in der sequenzspezifischen Reihenfolge gespeichert waren.

Tab. 3: Überblick über die endgültige Reihenfolge der Geräusche

Sequenz	Block A		Block B		Block C		Block D	
1	17	01	11	12	20	21	07	08
Sequenz	Block B		Block A		Block D		Block C	
2	12	11	01	17	08	07	21	20
Sequenz	Block C		Block D		Block A		Block B	
3	20	21	07	08	17	01	11	12
Sequenz	Block D		Block C		Block B		Block A	
4	08	07	21	20	12	11	01	17

3.4 Beschreibung der Stichprobe

Über verschiedene Aushänge an den schwarzen Brettern o. ä. der Heinrich-Heine-Universität wurden interessierte männliche Personen aus der Population der Studierenden für die Teilnahme am Experiment angeworben und zu einem Vorgespräch eingeladen. Insgesamt wurden 24 Probanden zur Teilnahme ausgewählt (6 für jeden Block). Nach Abschluss des Experiments erhielten sie für ihre Teilnahme eine Aufwandsentschädigung von 40 DM. Die meisten waren Studierende aus der Medizinischen Fakultät.

Folgende Auswahlkriterien wurden zu Grunde gelegt

- Die Probanden waren männlich, zwischen 20 und 30 Jahre alt und sprachen sehr gut Deutsch (bzw. hatten Deutsch als Muttersprache).
- Alle Probanden hatten keine körperlichen oder psychischen Beschwerden und keinerlei chronische Erkrankungen des HNO-Bereichs.
- Zum Zeitpunkt des Versuchs wurden keine Medikamente eingenommen.
- Die Probanden waren Nichtraucher bzw. in der Lage, 4 h ohne Nikotin auszukommen (ohne Entzugserscheinungen), hatten zwei Stunden vor Versuchsbeginn keine koffeinhaltigen / teehaltigen Getränke und kein Nikotin zu sich genommen.
- Die Probanden mussten normalhörig sein. Zur objektiven Bewertung der Hörfähigkeit wurde ein Audiogramm erstellt. Bei einem Hörverlust von 20 dB(A) bei nur einer Frequenz wurde der Proband nicht in die Studie aufgenommen.

Die Probanden wurden angewiesen, vor dem Experiment ausreichend zu schlafen. Außerdem sollten sie eine besondere Lärmexposition im Vorfeld des Experiments vermeiden (laute Musik, Arbeitslärm, Fahren bei geöffnetem Fenster, etc.). In der definitiven Stichprobe war der Altersmedian 25 Jahre, das Minimum 22 und das Maximum 29 Jahre.

Zusätzlich wurden noch einige demographische Angaben erfragt, die hier der Vollständigkeit halber kurz aufgeführt werden:

Von den 24 Probanden hatten 96 % Abitur und 4 % einen Fachhochschulabschluss.

38 % lebten in einem 2 Personenhaushalt, 33 % in einem 1 Personenhaushalt und 29 % mit mehr als 2 Personen.

88 % wohnten in einem Mehrfamilien- oder Hochhaus, 8 % in einem Zweifamilien- o. Reihenhauses und 4 % in einem freistehenden Einfamilienhaus.

92 % leben in einer Umgebung mit einer Einwohnerzahl über 100.000, 4 % bis 100.000 und weitere 4 % bis 20.000.

3.5 Physiologische Messparameter

Wie in Abschnitt 2 schon erwähnt, sind die Messparameter FPA und EMG für die Lärmwirkungsforschung zur Messung von psycho-physiologische Reaktionen geeignet, deshalb wird im Folgenden auf die Rückwirkungsfreiheit und die Ausgangswertproblematik dieser Messparameter eingegangen.

3.5.1 Fingerpulsamplitude

Aufnehmer und Ableitort

Die Volumenmessung bezeichnet man in Medizin und Physiologie als Plethysmographie (gr. plethysmos: die Vergrößerung). Aufgrund bestimmter Eigenschaften ist die Photoplethysmographie in der Psychophysiologie das beliebteste plethysmographische Verfahren. Folgende Gründe sind hierfür zu nennen:

- Die Photoplethysmographie-Aufnehmer sind klein und lassen sich sehr leicht und schnell an fast allen Stellen des Körpers anbringen.
- Die Befestigung des Aufnehmers ist für die Versuchspersonen kaum störend oder behindernd.
- Aufgrund der geringen Größe des Aufnehmers lassen sich auch sehr kleine Areale beobachten.

Neben der inhaltlichen Bedeutung macht die relativ unkomplizierte Registriertechnik von Blutvolumenänderungen durch photoelektrische Verfahren diesen Indikator für psychophysiologische Messungen sehr attraktiv.

In dieser Studie wurde zur photoplethysmographischen Registrierung der Fingerpulsamplitude ein Pulsoximeter verwendet (Abb. 2). Im Prinzip besteht jedes Pulsoximeter aus einem Photoplethysmographie-Aufnehmer, einer Lichtquelle und einem photoelektrischen Wandler. Das durchtretende oder reflektierte Licht wird über eine Photozelle in ein elektrisches Signal umge-

wandelt. Als Lichtquelle setzt man rot strahlende Leuchtdioden ein. Diese erwärmen sich nicht und haben deshalb keinen Einfluss auf den Durchblutungszustand des zu untersuchenden Körperteils. Bei der Messung ist besonders darauf zu achten, dass kein direktes Licht in das photoempfindliche Bauteil fällt.



Abb. 2: Pulsoximeter

Das Prinzip der Photoplethysmographie beruht auf der unterschiedlichen Durchlässigkeit von durchblutetem und undurchblutetem Gewebe für rotes Licht. Strahlt man rotes bis infrarotes Licht in gut durchblutetes Gewebe ein, so treten hier aufgrund der sehr starken Streuung der Lichtwellen an Partikeln, die sich im Blut befinden (in erster Linie Erythrozyten), hohe Intensitätsverluste auf. Bringt man auf der Oberseite des Fingers eine geeignete Lichtquelle und auf der Unterseite einen Photodetektor an, so beobachtet man, dass bei hohem Durchblutungsgrad weniger Licht aufgefangen wird als bei geringerer Durchblutung. Bei gut durchblutetem Gewebe sind die Intensitätsverluste des durchgelassenen Lichtes durch Streuung wesentlich höher als bei wenig durchblutetem. Sind die Gefäße dilatiert, beobachtet man größere Pulsvolumenamplituden als bei kontrahierten Gefäßen. Dies liegt daran, dass bei entspannten Gefäßen mit jedem Herzschlag eine größere Blutmenge ein- und abströmt, da die Gefäße dehnbarer sind. Demzufolge ist der Unterschied zwischen maximaler Blutfüllung (systolische Phase) und minimaler Füllung (diastolischer Rückstrom) bei dilatierten Gefäßen größer als bei kontrahierten. Das Ausmaß dieses Unterschieds bestimmt die Pulsvolumenamplitude (Fingerpulsamplitude).

Eine ausführliche Beschreibung der Photoplethysmographie-Technik findet sich bei Jennings et al. (1980).

3.5.2 Elektromyogramm

In der Psychophysiologie werden zur EMG-Ableitung fast ausschließlich Oberflächenelektroden verwendet. Gut bewährt haben sich die verschiedenen Formen von Napf-Ag/AgCl-Elektroden, die man mit einer Elektrodenpaste, wie sie für EEG- oder EKG-Messungen verwendet wird, füllt. Ein Übergangswiderstand unter 5 kOhm ist anzustreben und lässt sich oft schon durch kräftiges Abreiben der Haut mit Aceton oder Ethylalkohol erzielen.

Fridlund u. Cacioppo haben für die Positionierung der EMG-Elektroden Standardisierungsvorschläge gemacht, die in ihren Leitlinien zur EMG-Methodik nachzulesen sind (Fridlund & Cacioppo 1986). Für Untersuchungen zum Einfluss psychischer Variablen auf das EMG haben sich als Ableitorte Muskeln an Unterarm und Finger als besonders günstig erwiesen. Die Elektroden sollten so angebracht sein, dass die eine am Muskelbauch, die andere am Muskelende liegt, um möglichst große Potentialunterschiede zwischen beiden Elektroden zu erzielen. Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse wird auch durch Faktoren wie Ermüdungszustand des Muskels und durch die Lage der Extremität beeinflusst.

Abb. 3 zeigt die Position der Elektroden bei EMG-Ableitung vom Unterarm. Die Strecke zwischen dem Epicondylus humeri und dem Proc. styloideus radii wird gedrittelt. Am proximalen Drittel erhält man so den Messpunkt B.

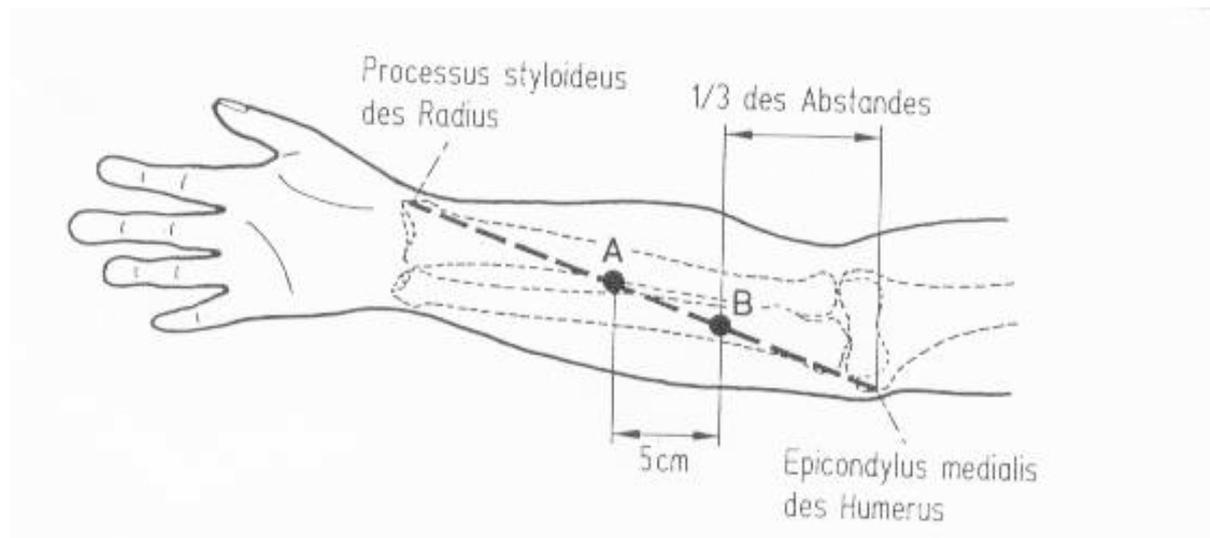


Abb. 3: Position der Elektroden bei EMG-Ableitung vom Unterarm

Der Messpunkt A wird hierzu in einem Abstand von 5 cm weiter distal gesetzt. Zur Beseitigung von Störsignalen (z. B. Überlagerung der EMG-Signale durch das EKG) wurde in dieser Studie noch eine dritte Elektrode als Referenz-Elektrode zwischen die beiden Messpunkte A und B geklebt.

3.5.3 Besonderheiten physiologischer Messtechniken

Wenn sich die Grenzschichten zwischen Signalaufnehmer (Pulsoximeter) und Haut gegeneinander bewegen oder die Berührungsflächen verändert werden, führt das u. a. zu Widerstandsänderungen und damit zu Spannungsschwankungen am Verstärkereingang. Ebenso kann die Bewegung der Elektrodenkabel in den sie umgebenden elektromagnetischen Feldern Ströme induzieren, die sich als Störsignale bemerkbar machen. Des Weiteren ist auf den festen Sitz der Elektroden zu achten. Bewegungsartefakte, die häufig während der EMG-Aufzeichnung auftreten, sind leicht als auffallend hochamplitudige Spitzen zu erkennen. Sie sind schwer zu verhindern, können aber anschließend manuell aus den gespeicherten Aufzeichnungen entfernt werden. Dies ist jedoch mit erhöhtem Aufwand verbunden. Folgende Maßnahmen wurden ergriffen, um Bewegungsartefakte zu reduzieren:

- a) Die Versuchspersonen wurden instruiert, sich möglichst ruhig zu verhalten und die von der Ableitung betroffene Extremität nicht zu bewegen.

- b) Die Versuchsperson sollte möglichst bequem und völlig entspannt sitzen mit angelehntem Kopf, damit bei längerer Dauer der Sitzung kein Druck auf Körperpartien entsteht, auf den sie zwecks Minderung dieser Missempfindung mit einer Veränderung der Körperhaltung reagiert.

3.6 Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung

Die subjektive Beurteilung der einzelnen Geräusche erfolgte mittels Fragebogen (Abb. 4). Hierzu wurde die Aussage „Insgesamt mag ich dieses Geräusch“ vorgegeben, die auf einer 9-stufigen numerischen Likertskala bewertet wurde. Weiterhin wurde auf einer bipolaren Verhältnisskala (von -4 bis +4) die subjektive Befindlichkeit während des Hörens des jeweiligen Geräusches erhoben.

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

Abb. 4: Fragen zur subjektiven Geräuschbewertung und Situationseinschätzung

Verhältnisskalen eröffnen die Möglichkeit, zusätzlich zu den Dimensionen der Verschiedenheit der Skalenpunkte und des Abstands zwischen den Skalenpunkten wie bei der Intervallskala auch noch das Verhältnis der Skalenpunkte zueinander zu betrachten.

3.7 Versuchsdurchführung

Anmeldetermin (1. Termin)

Probanden, die ihre Bereitschaft zur Teilnahme an dieser Untersuchung bekundet hatten, wurden zu einem Vorgespräch eingeladen. Im Rahmen dieses Vorgesprächs wurde entschieden, ob der Proband für die Teilnahme am Experiment geeignet ist (s. Kap. 3.4). Um den Probanden die Versuchssituation anschaulich zu demonstrieren und ihnen Gelegenheit zu geben sich einzugewöhnen, wurden sie dann in die schalldichte Kammer geführt (fensterloser, schwach beleuchteter, ca. 8 m_ großer Raum). Dem geplanten Versuchsaufbau entsprechend wurden sie an die Messapparaturen angeschlossen und probeweise mit einem Verkehrsgeräusch über 4 Min. beschallt. Dabei sollte auch darauf geachtet werden, ob sich der jeweilige Proband in der Kammer beeinträchtigt fühlt bzw. ob er claustrophobisch reagiert.

Hauptversuch (2. Termin)

Der Proband wurde zu einem vorher vereinbarten Termin wieder einbestellt. Er wurde in die schalldichte Kammer gebeten und instruiert, sich so gut wie möglich auf die Versuchssituation einzustellen und sich zu entspannen. Dabei sollte er versuchen, auf einem bequemen Sessel eine völlig entspannte Position einzunehmen, in der er ca. 75 min. ohne Bewegung verbringen könnte.

An der Innenseite des linken Unterarms der VP wurden drei Elektroden zur EMG-Ableitung angebracht. Dazu musste die Haut mit Alkohol gereinigt und von störenden Haaren befreit werden. Am linken Mittelfinger wurde zur Registrierung der Pulsationen an der Fingerbeere ein Pulsoximeter angebracht. (Zusätzlich wurde an der Handinnenfläche die Hautleitfähigkeit registriert. Darstellung bei Schönewolf, voraussichtl. 2006). Innerhalb der Kammer wurde mittels Mikrofon der Schallpegel kontinuierlich gemessen, um die Zeiträume der Beschallung oder eventuell auftretende störende Nebengeräusche kontrollieren zu können.

Die Aufzeichnung der physiologischen Parameter und des Schallpegels erfolgte mit Hilfe des elektronischen Datenerfassungssystems „Vitaport 1™“, das mit einem PC zur Speicherung und weiteren Verarbeitung der Daten verbunden war (siehe Kapitel 3.8).

Die Verkehrsgeräusche waren von den Projektpartnern mit einem Kunstkopf-System aufgenommen worden (s. Abb. 6 oder 19). Zur möglichst originalgetreuen Reproduktion der Kunstkopfeigenschaften mit optimaler Klangwiedergabe wurden die Geräusche über elektrostatische Kopfhö-

(„ZEITHF“) wurden ausgewählte Ablesezeitpunkte und für die Auswertung relevante Zeitabschnitte festgelegt.

Im letzten Schritt wurden dann die Daten als Einzelwerte und Mittelwerte über einen bestimmten Zeitraum aus dem gewünschten Kanal über eine Textdatei in das Software-Paket SPSS (Statistical Package for Social Sciences) eingelesen und standen nun für die statistische Auswertung zur Verfügung.

Die Analyse der Daten konzentriert sich auf den paarweisen Vergleich von physiologischen Reaktionen auf Verkehrsgeräusche. Hierzu wurden die physiologischen Parameter - Fingerpulsamplitude und Elektromyogramm – graphisch dargestellt. Sie zeigen während der Geräuschexposition einen Kurvenverlauf, der die unterschiedlichen Messergebnisse zu verschiedenen Messzeitpunkten widerspiegelt. Die initialen Antworten in den ersten 30 Sek. nach Geräuschexposition wurden in 2 Sek.- Intervallen dargestellt (blau unterlegt) und die übrigen 210 Sek. in 10 Sek.- Intervallen.

Für beide Variablen (FPA und EMG) gibt es keine definierten Standardwerte, weil diese auch immer abhängig von den verwendeten Messapparaturen sind und es des Weiteren erhebliche Variationen über die Zeit bei derselben Versuchsperson gibt. Deshalb kann die Antwort auf ein Geräusch immer nur als prozentuale Abweichungen im Bezug zur Baseline (100% Baseline = Mittelwert der Messwerte des letzten 30 Sek. vor der jeweiligen Geräuschpräsentation) bewertet werden.

Im Anhang sind weitere Details zu den physiologischen Werten der Kurvenverläufe gegeben mit den entsprechenden statistischen Signifikanzen. Die statistische Signifikanz wurde mittels t-Test berechnet für alle 5 Sek. Intervalle, für jede Sekunde der ersten 30 Sek. und für 0.-30. Sek. bzw. 0.-240. Sekunde. Werte gleich und unterhalb von 0.05 sind im statistischen Sinne signifikant.

Die Daten zur subjektiven Beurteilung der Geräusche wurden non-parametrisch auf Signifikanz getestet. Da die Beurteilungen jeweils paarweise erhoben wurden, konnte der „matched pairs signed ranks Test“ nach Wilcoxon eingesetzt werden.

4. Ergebnisse

4.1 Stadtstraßen mit geringem Verkehrsaufkommen (P8/P7)

Das Geräuschpaar Block D entstammt Verkehrslärmaufnahmen von zwei 2-spurigen Stadtstraßen mit geringem Verkehrsaufkommen (750 Kfz/h), aber unterschiedlicher Bebauung: einseitig bebaut (Abb. 6, P8) vs. beidseitig (Abb. 7, P7). Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt ≤ 50 km/h.



Abb. 6: Rue de la Roquette, einseitige Bebauung, 750 Kfz/h (P8)



Abb. 7: Rue de la Tombe d'Issoire, beidseitige Bebauung, 750 Kfz/h (P7)

4.1.1 Fingerpulsamplitude (FPA)

In Abb. 8 sind die Verläufe der Fingerpulsamplituden, die den Mittelwerten der Probanden entsprechen, während der 4-minütigen Beschallung dargestellt.

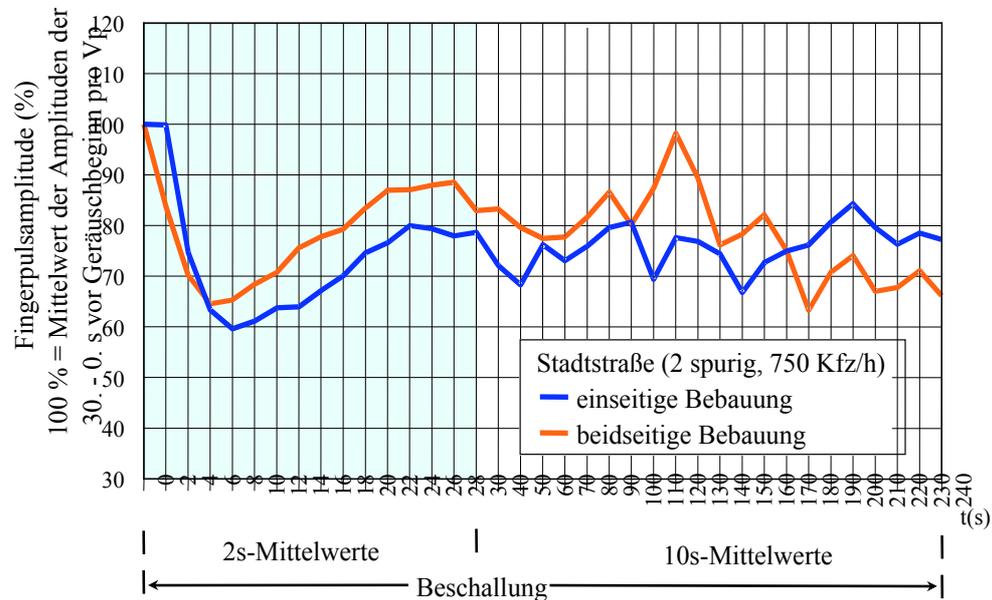


Abb. 8: Prozentuale Veränderung der FPA während 4-min. Beschallung mit Verkehrsgeräuschen von zwei Stadtstraßen mit wenig Verkehr (750 Kfz/h). Straßenbebauung einseitig (P8) vs. beidseitig (P7)

Beide Kurven zeigen eine starke Verringerung der FPA während der ersten 10 Sek. auf 60-65 % in Bezug zum Ausgangswert. Im weiteren Verlauf der Geräuscharbietung bleiben sie im Bereich von 65-90 %. Während der ersten 3 Minuten zeigt sich bei der einseitig bebauten Stadtstraße (Geräusch P8) eine deutlich stärkere und länger andauernde Verringerung der Amplitude als bei der beidseitig bebauten Stadtstraße (Geräusch P7).

In Tab. 4 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen mit der entsprechenden Signifikanz aufgeführt. Hierbei wurden die Zeitintervalle 0.-30. Sek., 30.-240. Sek. und 0.-240. Sek. betrachtet. Das erste Intervall zeigt eine 5 %-ige Reduzierung des Mittelwerts der FPA bei der einseitigen Bebauung im Vergleich zur beidseitigen Bebauung. Die Unterschiede sind statistisch nicht signifikant.

Tab. 4: Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen der FPA (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test) während 4-minütiger Beschallung mit Verkehrsgeräuschen von zwei Stadtstraßen mit wenig Verkehr (750 Kfz/h). Straßenbebauung einseitig (P8) vs. beidseitig (P7)

Zeit- Intervall	Anzahl der Probanden	beidseitig bebaut P7		einseitig bebaut P8		Signifikanz = p
		AM %	s	AM %	S	
0.-30. Sek.	24	77,97	17,0	72,84	23,0	0,38
30.-240. Sek.	24	77,65	18,4	75,69	24,3	0,75
0.-240. Sek.	24	77,67	17,8	75,28	23,3	0,69

Im Anhang in Tab. 19 sind alle Mittelwerte der 5 Sek. Intervalle während der Geräuschexposition aufgeführt. Hier zeigen sich einzelne signifikante Unterschied zwischen den Geräuschen P8 und P7 in den Intervallen 35.-45. Sek., 105.-120. Sek. und 170.-175. Sekunde.

4.1.2 Elektrische Muskelaktivität

Abb. 9 zeigt die elektrische Muskelaktivität, gemessen als EMG des Unterarms, bei der Präsentation der Geräusche P8 und P7.

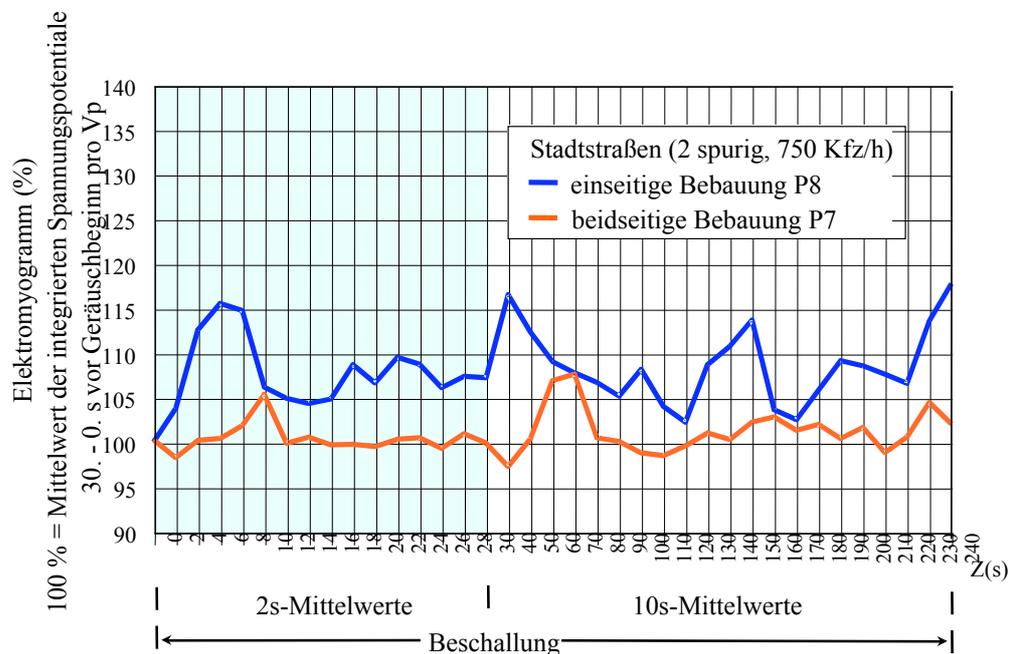


Abb. 9: Prozentuale Veränderung des EMG während 4-min. Beschallung mit Verkehrsgeräuschen von zwei Stadtstraßen mit wenig Verkehr (750 Kfz/h). Straßenbebauung einseitig (P8) vs. beidseitig (P7)

Das EMG zeigt die größere Dynamik von beiden physiologischen Parametern mit starken Fluktuationen. Aber die Grafik zeigt auch sehr deutlich, dass das EMG während der Beschallung mit P8 über die gesamte Zeit über der P7-Kurve liegt.

Wie in Tab. 5 aufgeführt, zeigt sich während der Geräuschpräsentation im Bezug auf die gesamten 240 Sek., aber auch während des ersten 0.-30. Sek. Intervalls ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden Verkehrslärmsituationen.

Tab. 5: Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen des EMG (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test) während 4-minütiger Beschallung mit Verkehrsgeräuschen von zwei Stadtstraßen mit wenig Verkehr (750 Kfz/h). Straßenbebauung einseitig (P8) vs. beidseitig (P7)

Zeit- Intervall	Anzahl der Probanden	beidseitig bebaut P7		einseitig bebaut P8		Signifikanz = p
		AM %	s	AM %	s	
0.-30. Sek.	24	100,67	9,8	108,37	13,9	0,03
30.-240. Sek.	24	100,98	14,6	108,59	12,2	0,06
0.-240. Sek.	24	100,94	13,9	108,59	11,9	0,05

Ebenso finden sich in der Detailauswertung (Anhang Tab. 20) weitere statistisch signifikante Unterschiede, und zwar für die Zeitabschnitte von der 30.-45. Sek., 125.-145. Sek. wie auch für die 175.-180. Sek..

4.1.3 Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung

Bei der subjektiven Situationseinschätzung fühlen sich die VP während des Geräusches P8 (einseitig bebaut, 750) unangenehmer ($p < .028$) und etwas stärker aktiviert ($p < .056$) als während des Geräusches P7 (beidseitig bebaut, 750). Zwar werden beide Situationen als unangenehm erlebt, aber unterschiedlich gewichtet. Bei der Frage, ob das Geräusch gemocht wird, findet sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Straßen.

Tab. 6: Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung während 4-minütiger Beschallung mit Verkehrsgeräuschen von zwei Stadtstraßen mit wenig Verkehr (750 Kfz/h), Straßenbebauung einseitig (P8) vs. beidseitig (P7), (AM= Mittelwert, s = Standardabweichung, p = Signifikanz im Wilcoxon-Test)

Subjektive Geräuschbewertung Situationseinschätzung	beidseitig bebaut P7		einseitig bebaut P8		Signifikanz p (Wilcoxon- Test)
	AM	s	AM	s	
(1) nicht mögen --- mögen (9)	4.17	1.4	3.63	1.7	0.122
(- 4) unangenehm --- angenehm (+ 4)	-0.38	1.4	-1.04	1.5	0.028
(- 4) deaktiviert --- aktiviert (+ 4)	0.25	1.2	0.75	1.3	0.056

4.2 Kreuzungen mit unterschiedlicher Verkehrsregulierung (P20/P21)

Das Geräuschpaar Block C besteht aus Aufnahmen von Pariser Straßenkreuzungen mit einem mittlerem Verkehrsaufkommen (1200 Kfz/h) bei einer vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeit von ≤ 50 km/h. Die Verkehrssituationen variieren in der Verkehrsleitung: Geräusch P21 entspricht einem Kreisverkehr, und Geräusch P20 einer Kreuzung mit Ampelanlage.



Abb. 10: Place du Colonel Bourgoin, Kreisverkehr, Verkehrsaufkommen 1200 Kfz/h (P21)



Abb. 11: Kreuzung Rue Faidherbe / Rue Chaligny, mit Ampelanlage, Verkehrsaufkommen 1200 Kfz/h (P20)

4.2.1 Fingerpulsamplitude

Abb. 12 zeigt den Kurvenverlauf der FPA in Bezug zur Baseline während der Geräuscharbietung (P20 – P21).

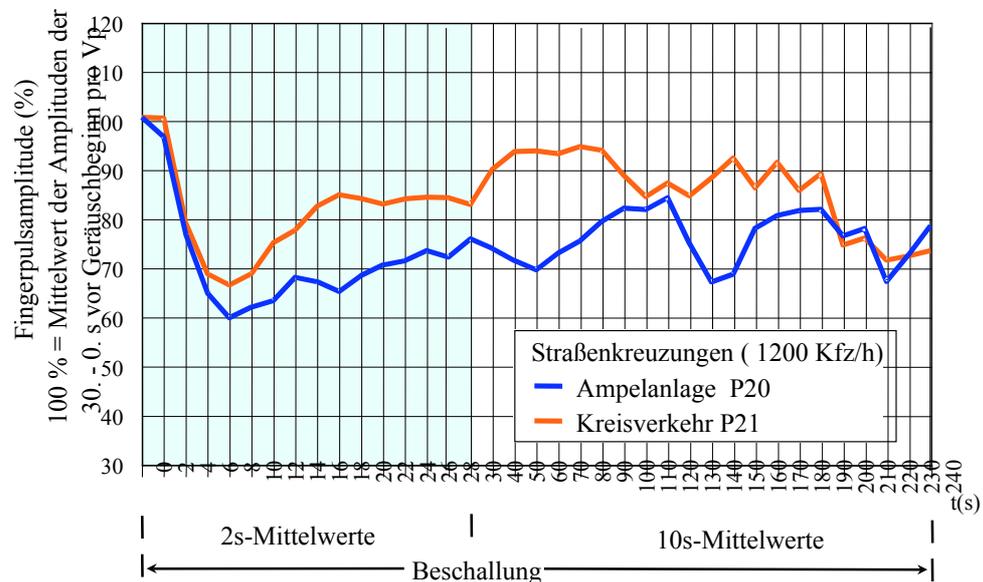


Abb. 12: Verlauf der FPA während 4 Min. Verkehrslärm von einer Kreuzung mit Ampelanlage (P20) bzw. von einem Kreisverkehr (P21), mittleres Verkehrsaufkommen 1200 Kfz/h

Beide Kurven zeigen eine schnelle und deutliche Reduzierung der Amplitude und erreichen ihr Minimum nach 8 Sek. der Geräuschpräsentation. Im Vergleich zeigt die Kurve der Kreisverkehrssituation (P21) eine deutlich geringere Reduzierung der Amplitude über die gesamten 240 Sek. der Geräuschexposition. Des Weiteren zeigt die Kurve (P 21) eine schnellere Rückbildung auf Werte über 80 % und im weiteren Verlauf einen Anstieg auf Werte über 90 % im Bezug zur Baseline. Die Kurve des Geräusches der Kreuzung mit Ampelanlage (P 20) bleibt während der ersten Minute bei einem Wert um 70 %, steigt dann in der zweiten Minute auf Werte von 80 % an und fällt dann noch mal steil auf Werte unter 70 %. Nur in der letzten Minute der beiden Geräuschpräsentationen nähern sich beide Kurven einem gleich tiefen Wert um 70 % an.

In Tab. 7 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der FPA mit der entsprechenden Signifikanz für den Vergleich P20/P21 aufgeführt. Hierbei wurden wieder die größeren Zeitintervalle betrachtet: 0.-30. Sek., 30.-240. Sek. und 0.-240. Sekunde. Obwohl in allen drei Zeitintervallen die Mittelwerte der Verkehrssituation mit Ampelanlage um 10 % niedriger liegen als die der Kreisverkehrssituation, sind die Intervalle statistisch nicht signifikant.

Tab. 7: Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen der FPA während 4 Min. Verkehrslärm von einer Kreuzung mit Ampelanlage (P20) bzw. von einem Kreisverkehr (P21), mittleres Verkehrsaufkommen 1200 Kfz/h.

Zeit- Intervall	Anzahl der Probanden	Ampelanlage P20		Kreisverkehr P21		Signifikanz = p
		AM %	s	AM %	s	
0.-30. Sek.	24	70,23	23,7	79,40	21,6	0,17
30.-240. Sek.	24	75,51	24,0	85,06	25,7	0,19
0.-240. Sek.	24	74,80	23,1	84,29	24,0	0,17

Dennoch zeigen sich in der Detailanalyse für mehrere 5 Sek. Intervalle in den Zeitabschnitten zwischen der 40.-80. Sek. und der 135.-150. Sek. signifikante Unterschiede (Anhang, Tab. 21).

4.2.2 Elektrische Muskelaktivität

Abb. 13 zeigt die elektrische Muskelaktivität bzw. deren prozentuale Niveau-Veränderungen während der Geräuscharbeitungen. Beide Kurven sehen sehr unruhig aus und zeigen häufige Auf- und Abbewegungen.

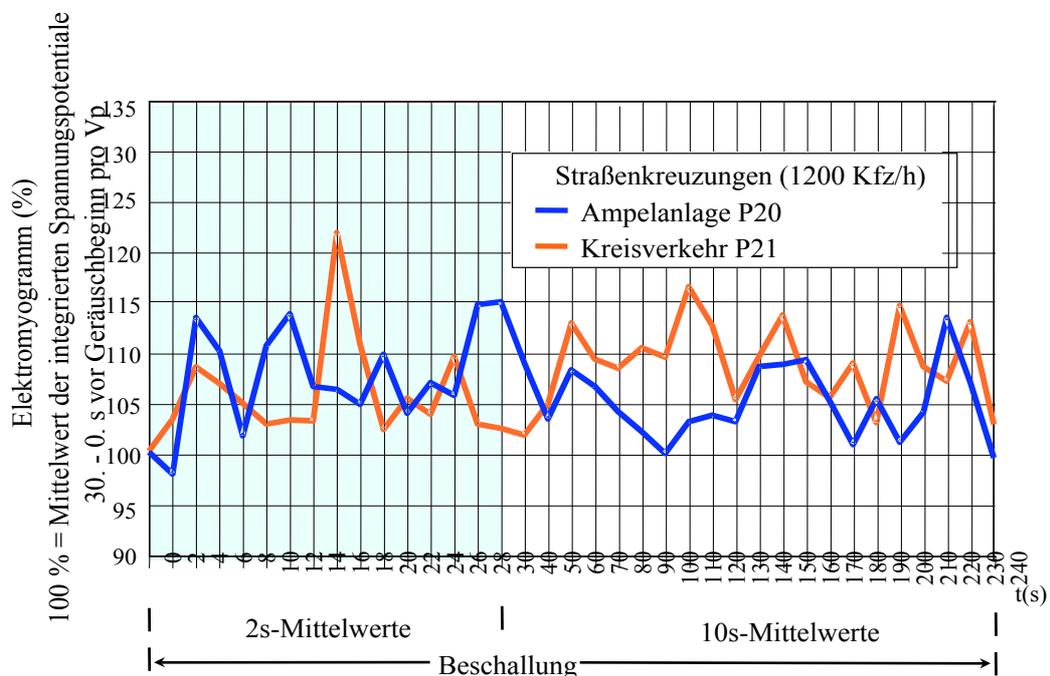


Abb. 13: Prozentuale Veränderung des EMG während 4 Min. Verkehrslärm von einer Kreuzung mit Ampel (P20) bzw. von einem Kreisverkehr (P21), mittl. Verkehrsaufkommen 1200 Kfz/h

In den ersten 30 Sek. findet sich eine stärkere Aktivität bei der Geräuschaufnahme der Ampelanlage. Doch besonders in der zweiten, aber auch in der dritten Minute ist der Kurvenverlauf der Geräuschaufnahme der Verkehrssituation Kreisverkehr die meiste Zeit auf einem höheren Niveau.

Tab. 8 zeigt die prozentuale Veränderung des EMG (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test) während der Geräuscharbeitung des Block C. Hierbei wurden wieder die verschiedenen Zeitintervalle betrachtet, 0.-30. Sek., 30.-240. Sek., 0.-240. Sekunde. Die verglichenen Mittelwerte sind statistisch nicht signifikant verschieden

Tab. 8: Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen des EMG während 4 Min. Verkehrslärm von einer Kreuzung mit Ampelanlage (P20) bzw. von einem Kreisverkehr (P21), mittleres Verkehrsaufkommen 1200 Kfz/h.

Zeit- Intervall	Anzahl der Probanden	Ampelanlage P20		Kreisverkehr P21		Signifikanz = p
		AM %	s	AM %	s	
0.-30. Sek.	24	109,62	23,0	107,16	20,3	0,70
30.-240. Sek.	24	104,96	14,5	109,85	22,4	0,37
0.-240. Sek.	24	105,56	14,6	109,51	22,1	0,47

Die Mittelwerte der Tab. 22 im Anhang entsprechen dem wechselhaften Kurvenverlauf und zeigen nur in den Zeitabschnitten von 100-105 Sek. und 195-200 Sek. einen signifikanten Unterschied.

4.2.3 Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung

Im Vergleich zum Kreisverkehr erzeugt die Ampelanlagensituation bei den Probanden ein signifikant stärkeres Gefühl des Unbehagens ($p < .032$) und tendenziell auch der Aktiviertheit ($p < .062$). Deshalb wurde sie bei der subjektiven Geräuschbewertung weniger gemocht ($p < .032$).

Tab. 9: Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung während 4 Min. Verkehrslärm von einer Kreuzung mit Ampelanlage (P20) bzw. von einem Kreisverkehr (P21), mittleres Verkehrsaufkommen 1200 Kfz/h, (AM= Mittelwert, s = Standardabweichung, p = Signifikanz im Wilcoxon-Test)

Subjektive Geräuschbewertung Situationseinschätzung	Ampel P20		Kreisverkehr P21		Signifikanz p (Wilcoxon-Test)
	AM	s	AM	s	
(1) nicht mögen --- mögen (9)	3.71	1.5	4.38	1.6	0.017
(- 4) unangenehm --- angenehm (+ 4)	-0.92	1.5	-0.13	1.6	0.032
(- 4) deaktiviert --- aktiviert (+ 4)	0.67	1.0	0.17	1.2	0.062

4.3 Stadtstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (P1/P17)

Das Geräuschpaar Block A entstammt Verkehrssituationen von 4-spurigen Pariser Stadtstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (3000 Kfz/h) bei einer Geschwindigkeit von ≤ 50 km/h. Die Verkehrssituationen unterscheiden sich hinsichtlich der Straßenbebauung: einseitig (P1) bzw. beidseitig (P17).



Abb. 14: Quai des Célestins (P1), 4-spurige Pariser Stadtstraße, einseitige Bebauung, Verkehrsaufkommen 3000 Kfz/h



Abb. 15: Avenue du Général Leclerc (P17), 4-spurige Pariser Stadtstraße, beidseitige Bebauung, Verkehrsaufkommen 3000 Kfz/h

4.3.1 Fingerpulsamplitude

Abb.16 zeigt die Kurvenverläufe der Fingerpulsamplitude im Bezug zur Baseline während der Darbietung der Straßenverkehrsgeräusche zweier Stadtstraßen mit hoher Verkehrsdichte, einseitig (P1) bzw. beidseitig bebaut (P17).

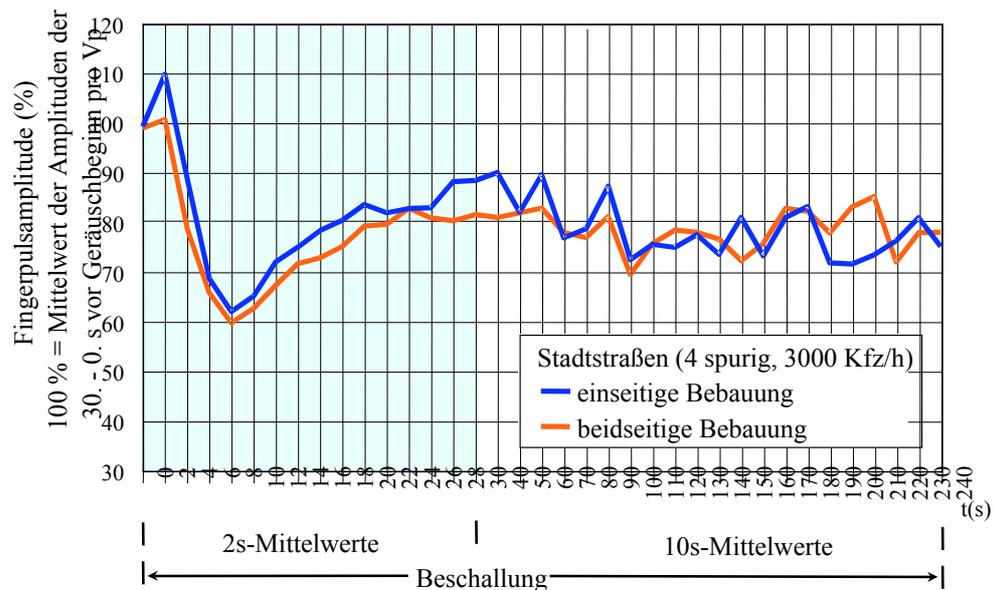


Abb. 16: Prozentuale Veränderung der Fingerpulsamplitude während 4 Min. Verkehrslärm von zwei Stadtstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (3000 Kfz/h), Straßenbebauung einseitig (P1) vs. beidseitig (P17)

Die Kurvenverläufe in Abb. 16 zeigen wieder die typischen Verringerungen der Fingerpulsamplituden während der ersten 10 Sek. der Geräuscharbeitung auf Werte um 60 % und anschließend einen langsamen Wiederanstieg auf Werte von 70-90 % der Baseline.

In Tab.10 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen mit der entsprechenden Signifikanz für diese beiden Geräusche aufgeführt. Hierbei wurden wieder die verschiedenen Zeitintervalle betrachtet: 0-30 Sek., 30-240 Sek., 0-240 Sekunde. Alle diese Intervalle sind statistisch nicht signifikant, und die Mittelwerte des Intervalls 30-240 Sek. sind nahezu identisch (78,78 % vs. 78,63 %).

Tab. 10 Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen der FPA (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test) während 4-minütiger Beschallung mit Verkehrsgeräuschen von 4-spurigen Stadtstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (P1-P17)

Zeit- Intervall	Anzahl der Probanden	einseitig bebaut P1		beidseitig bebaut P17		Signifikanz = p
		AM %	s	AM %	s	
0.-30. Sek.	24	81,18	23,8	75,82	23,5	0,44
30.-240. Sek.	24	78,78	21,4	78,63	20,5	0,98
0.-240. Sek.	24	79,09	21,0	78,27	20,2	0,89

Im Anhang Tab. 23 zeigen die Mittelwerte, deutlicher als der Graph, eine ausgeprägtere Verringerung in der ersten Minute bei dem Geräusch der beidseitigen Bebauung (P17). In der letzten Minute der Geräuschdarbietung zeigt sich, im Gegenteil zur vorherigen, eine ausgeprägtere Reduzierung der Mittelwerte der einseitigen Bebauung (P1). Es kann kein eindeutiger Unterschied zwischen den beiden Geräuschen festgestellt werden, außer der etwas stärkeren anfänglichen Antwort auf das Geräusch „beidseitig bebaut 3000“.

4.3.2 Elektromyogramm

Abb. 17 zeigt die elektrische Muskelaktivität bzw. die prozentualen Veränderungen während der Darbietung der zwei Stadtstraßen-Geräusche. Beide Kurven zeigen innerhalb der ersten 4 Sek. einen steilen Anstieg auf Werte um 115%. Die Kurve des Geräusch „einseitig bebaut 3000“ (P1) zeigt eine schnellere und stärkere Rückbildung mit Werten unterhalb der Baseline von 95%. Die Kurve des Geräusch „beidseitig bebaut 3000“ bleibt die ersten 30 Sek. oberhalb der Baseline und pendelt sich danach, mit Ausnahme des Intervalls bei 90 Sek., um 100 % der Baseline ein.

Tab. 11 zeigt die prozentuale Veränderung des EMG (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test) während der Geräuschdarbietung des Block A. Hierbei wurden wieder die verschiedenen Zeitintervalle betrachtet, 0.-30. Sek., 30.-240. Sek., 0.-240. Sekunde. Alle diese Intervalle sind statistisch nicht signifikant. Die Mittelwerte des Intervalls 0.-240. Sek. sind nahezu auf der Baseline bei 100,2% für P1 und 100,8% für P17.

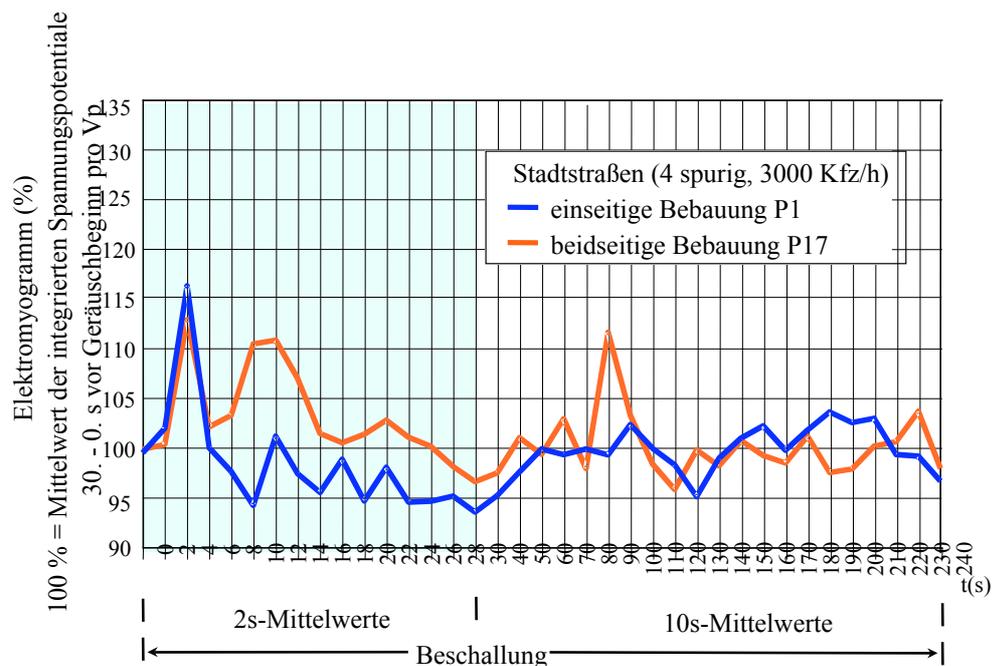


Abb. 17: Prozentuale Veränderung des EMG während 4 Min. Verkehrslärm von zwei Stadtstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (3000 Kfz/h), Straßenbebauung einseitig (P1) vs. beidseitig (P17)

Tab. 11: Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen des EMG während 4 Min. Verkehrslärm von zwei Stadtstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (3000 Kfz/h), Straßenbebauung einseitig (P1) vs. beidseitig (P17) (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test)

Zeit- Intervall	Anzahl der Probanden	einseitig bebaut P1		beidseitig bebaut P17		Signifikanz = p
		AM %	s	AM %	s	
0.-30. Sek.	24	100,16	16,8	104,84	19,4	0,38
30.-240. Sek.	24	100,22	5,7	100,27	10,0	0,98
0.-240. Sek.	24	100,20	6,7	100,84	10,6	0,80

Die Werte im Anhang Tab. 24 zeigen ein ähnliches Bild wie die Graphen mit anfänglich höheren Mittelwerten für das Geräusch „einseitig bebaut 3000“ (P1). Es gibt zwei kurze signifikante Intervalle in der 10-15 Sek. und in der 85-90 Sek. mit höheren Werten für das Geräusch „beidseitig bebaut 3000“ (P17), sonst aber keine weiteren signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Geräuschen.

4.3.3 Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung

Bei der subjektiven Geräuschbewertung fällt auf, dass das Geräusch der 4-spurigen Stadtstraße mit beidseitiger Bebauung (P17) weniger favorisiert wird. Die Probanden mochten das Geräusch mit beidseitiger Bebauung signifikant weniger ($p < .002$). Des Weiteren zeigte sich leicht eine Tendenz, dass sich die Probanden bei diesem Geräusch etwas unangenehmer und stärker aktiviert fühlen.

Tab. 12: Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung während 4 Min. Verkehrslärm von zwei Stadtstraßen mit hoher Verkehrsdichte (3000 Kfz/h). Straßenbebauung einseitig (P1) vs. beidseitig (P17), (AM= Mittelwert, s = Standardabweichung, p= Signifikanz im Wilcoxon-Test)

Subjektive Geräuschbewertung Situationseinschätzung	einseitig bebaut P1		beidseitig bebaut P17		Signifikanz p (Wilcoxon-Test)
	AM	S	AM	s	
(1) nicht mögen --- mögen (9)	4.21	1.6	3.38	1.4	0.002
(- 4) unangenehm --- angenehm (+ 4)	-0.38	1.4	-0.54	1.4	0.393
(- 4) deaktiviert --- aktiviert (+ 4)	0.50	1.1	0.79	1.1	0.132

4.4 Ausfallstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (P11/P12)

Das Geräuschpaar Block B entstammt Verkehrssituationen von 4-spurigen Pariser Ausfallstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (3000 Kfz/h) bei einer Geschwindigkeit von 70-90 km/h. Die Verkehrssituationen unterscheiden sich hinsichtlich der Straßenumgebung: freies Feld (P11) und lockere Bebauung (P12).



Abb. 18: Ville du Bois/Parking Amarine (P11), 4-spurige Ausfallstraße, freies Feld, (3000 Kfz/h)



Abb. 19: Ville du Bois (P12), 4-spurige Ausfallstraße mit Bebauung, (3000 Kfz/h)

4.4.1 Fingerpulsamplitude

Abb. 20 zeigt die Kurvenverläufe der Fingerpulsamplituden in Bezug zur Baseline während der Darbietung der Geräusche der beiden Ausfallstraßen (P11 freie Schallausbreitung / P12 mit lockerer Bebauung).

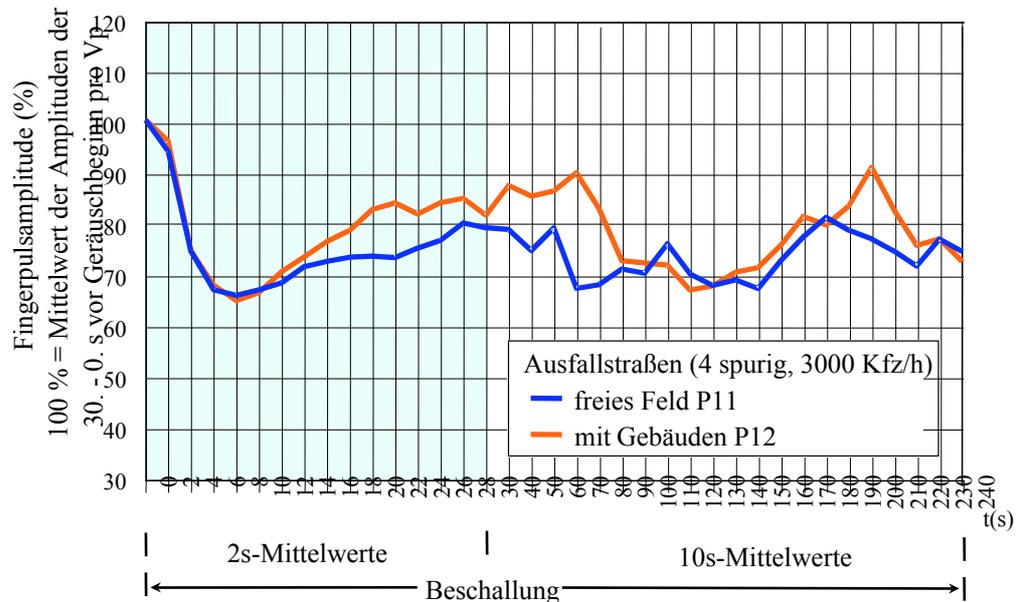


Abb. 20: Prozentuale Veränderung der Fingerpulsamplitude während 4 Min. Verkehrslärm von zwei Ausfallstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (3000 Kfz/h), Straßenumgebung freies Feld (P11) vs. lockere Bebauung (P12)

Die Kurvenverläufe in Abb. 20 zeigen am Anfang der Geräuscharbeitung eine Verringerung auf Werte um 65% bezogen auf die Baseline. Die Kurve des Verkehrsgeräuschs mit Gebäuden (P12) zeigt im weiteren Verlauf eine etwas schnellere Erholung auf Werte zwischen 80 und 90%, während die Kurve des Verkehrsgeräuschs freies Feld (P11) einige Prozent tiefer liegt. Nach der 80. Sek. nähern sich beide Kurven wieder und verlaufen von der 90. Sek. an wieder nahezu parallel, mit Ausnahme eines Ausreißers der Kurve P12 in der 200. Sek. auf einen Wert von 90%. Insgesamt lassen die Kurven keine großen Unterschiede erkennen.

In Tab.13 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen mit der entsprechenden Signifikanz für die beiden Ausfallstraßen aufgeführt. Hierbei wurden wieder die verschiedene Zeitintervalle betrachtet: 0.-30. Sek., 30.-240. Sek., 0.-240. Sekunde. Die Intervalle sind statistisch nicht signifikant verschieden.

Tab. 13: Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen der FPA (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test) während 4-minütiger Beschallung mit Verkehrsgeräuschen von zwei Ausfallstraßen mit hoher Verkehrsdichte: freies Feld (P11) vs Bebauung (P12)

Zeit- Intervall	Anzahl der Probanden	Freies Feld P11		Gebäude P12		Signifikanz = p
		AM %	s	AM %	s	
0.-30. Sek.	24	73,82	24,9	77,55	19,4	0,57
30.-240. Sek.	24	72,99	29,0	77,82	21,7	0,52
0.-240. Sek.	24	73,09	28,0	77,77	20,8	0,51

In Anhang Tab. 25 zeigen die Werte ein ähnliches Bild wie die Graphen mit anfänglich höheren Mittelwerten für das Geräusch mit Gebäuden P12, dieser Unterschied ist im Zeitraum zwischen der 60.-70. Sek. statistisch signifikant.

4.4.2 Elektromyogramm

Abb. 21 zeigt die prozentualen Veränderungen der elektrischen Muskelaktivität während der Darbietung der Geräusche der Ausfallstraßen (P11/P12). Beide Kurven zeigen innerhalb der ersten 2-4 Sek. einen steilen Anstieg. P11 steigt kurzfristig auf 110%, die Kurve während des Geräuschs P12 steigt auf einen Wert zwischen 120-125% bei 4 Sek., bevor sie sich nach 20 Sek. wieder der Baseline (100%) annähern. Nach 100 Sek. findet sich noch einmal ein Anstieg weg von der Baseline. Die Kurve des Geräuschs mit Gebäuden fällt in der 100 Sek. auf 95% und in der 170 Sek. sogar auf Werte unter 95%. Die Verläufe sind insgesamt sehr unregelmäßig.

Tab. 14 zeigt die prozentualen Veränderungen des EMG (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test) während der Geräuscharbietung des Block B. Hierbei wurden wieder die verschiedenen Zeitintervalle betrachtet:

0-30 Sek., 30-240 Sek., 0-240 Sekunde. Die Intervalle sind statistisch nicht signifikant.

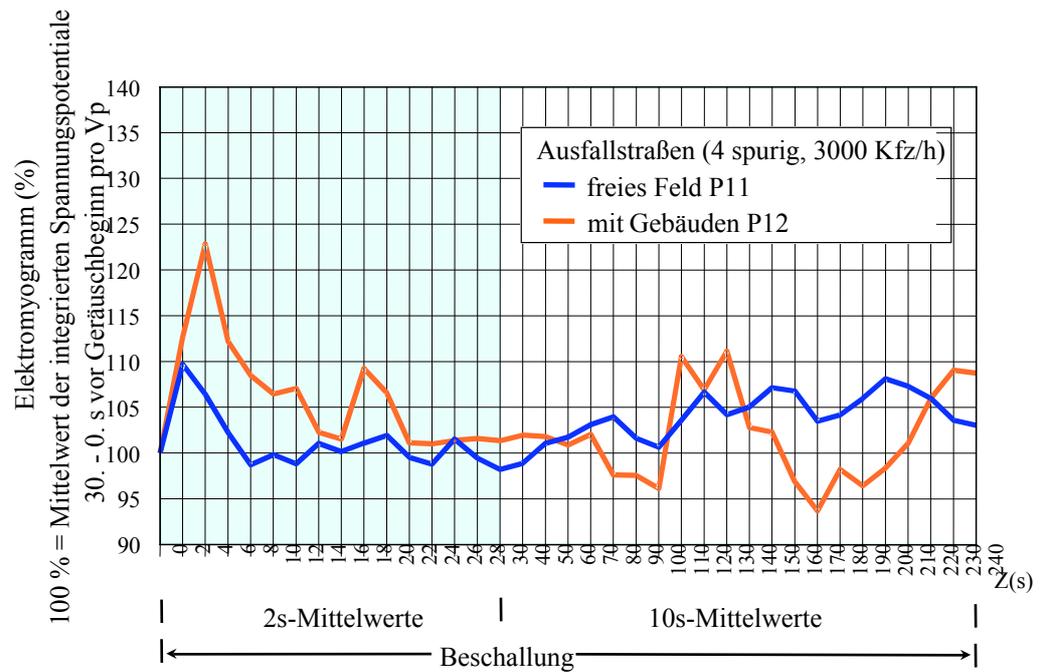


Abb. 21: Prozentuale Veränderung des EMG während 4 Min. Verkehrslärm von zwei Ausfallstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (3000 Kfz/h), Straßenumgebung freies Feld (P11) vs. lockere Bebauung (P12)

Tab. 14: Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen des EMG (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test) während 4-minütiger Beschallung mit Verkehrsgeräuschen von zwei Ausfallstraßen mit hoher Verkehrsdichte: freies Feld (P11) vs. Bebauung (P12) (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test)

Zeit-Intervall	Anzahl der Probanden	Freies Feld P11		Gebäude P12		Signifikanz = p
		AM %	s	AM %	s	
0.-30. Sek.	24	101,62	7,3	108,93	27,1	0,21
30.-240. Sek.	24	104,10	10,8	101,88	10,8	0,48
0.-240. Sek.	24	103,79	9,6	102,74	10,7	0,72

Im Detailvergleich zeigt sich (Tab. 26 im Anhang), dass die Tiefstwerte der Kurve P12 in den Intervallen 155.-165. Sek. und 180.-185. Sek. die einzigen signifikanten Unterschiede zwischen diesen beiden Geräuschen aufweisen.

4.4.3 Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung

Bei der subjektiven Geräuschbewertung finden sich nur geringfügige Unterschiede zwischen den beiden Geräuschen (P11/P12). Es wird allenfalls eine Tendenz sichtbar, dass das Geräusch P12 „mit Gebäuden 3000“ etwas mehr gemocht wird. Dies ist das erste Geräusch, das in der 9-stufige Likertskala den Mittelpunkt in Richtung „Ich mag dieses Geräusch“ überschritten hat (Mittelwert = 4.58). Insgesamt betrachtet werden die beiden Ausfallstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (P11/P12) offenbar sehr ähnlich empfunden.

Tab. 15: Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung während 4 Min. Verkehrslärm von zwei 4-spurigen Ausfallstraßen mit hoher Verkehrsdichte (3000 Kfz/h), freies Feld (P11) im Vergleich zu aufgelockerter Bebauung (P12), (AM= Mittelwert, s = Standardabweichung, p= Signifikanz im Wilcoxon-Test)

Subjektive Geräuschbewertung Situationseinschätzung	Freies Feld P11		Mit Gebäuden P12		Signifikanz p (Wilcoxon-Test)
	AM	s	AM	s	
(1) nicht mögen -- -mögen (9)	3.88	1.4	4.58	1.4	0.128
(- 4) unangenehm --- angenehm (+ 4)	-0.50	1.3	-0.42	1.1	0.892
(- 4) deaktiviert --- aktiviert (+ 4)	0.25	1.5	0.08	1.2	0.595

5. Diskussion

5.1 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse

Die meisten physiologischen Parameter, und hier vor allem FPA und EMG, sind dynamische Größen, die sich im Verlauf der Zeit ändern bzw. die spontanen Schwankungen unterworfen sind. Außerdem sind sie interindividuell sehr variabel. Aus diesem Grunde lassen sich keine Referenzwerte, die einen sog. Normbereich definieren könnten, angeben. Es ist aber möglich, bezogen auf definierte Ausgangswerte innerhalb eines definierten Zeitabschnitts, Verläufe zu betrachten und miteinander zu vergleichen. Natürlich können nicht acht Messverläufe gleichzeitig miteinander verglichen werden. Im dargestellten Experiment wurde deshalb der paarweise, direkte Vergleich gewählt, der sich auch aus der paarweisen Auswahl der Verkehrsgeräusche ergeben hatte. Wenn man eine übergreifende Wertung der Ergebnisse anstrebt, bietet sich die Möglichkeit an, nicht die gemessenen Daten zahlenmäßig zu betrachten, sondern eine Gewichtung der Reaktionsstärke vorzunehmen.

Für die Auswertung der Fragebogen der subjektiven Geräuschbewertung und Situationseinschätzung gelten diese Einschränkungen ebenfalls, wenn auch in geringerem Maße. Mit Fortdauer des Experiments und dadurch bedingten Änderungen der Stimmungs- bzw. Aufmerksamkeitslage kam es auch hier zu einer Beeinflussung der psychologischen Daten. Der Vermeidung von systematischen Effekten, die z. B. durch Nichtbeachtung der randomisierten Reihenfolge der Geräuschdarbietung eintreten können, oder von ungünstigen Effekten durch die experimentelle Situation (z. B. Erwärmung des Raumes im Laufe des Experiments) kommt deshalb ein hoher Stellenwert zu. Gleichwohl ist es möglich, durch eine übergreifende Betrachtung der Fragebogen-Ergebnisse zu einer integrierenden Beurteilung der Verkehrsgeräusche zu kommen.

Tab. 16 zeigt im Überblick die subjektiven Geräuschbewertungen und Situationseinschätzungen über alle 8 Geräusche. Die Geräusche der beidseitig bebauten 4-spurigen Stadtstraße mit 3000 Kfz/h (P17), der Stadtstraße mit einseitiger Bebauung mit 750 Kfz/h (P8) und die Kreuzung mit Ampelanlage (P20) wurden als die unangenehmsten und am stärksten aktivierenden beschrieben bzw. bewertet. Demgegenüber wurden das Geräusch des Kreisverkehrs (P21) und das Geräusch der Ausfallstraße mit Gebäuden (P12) in diesen Kategorien favorisiert bzw. im Paarvergleich positiver bewertet. Natürlich muss beachtet werden, dass die Unterschiede zwischen den Geräuschen relativ gering sind und ihre Bedeutung nur im Zusammenhang mit der feststellbaren Rangreihenfolge haben.

Tab. 16: Überblick über alle 8 Geräusche bei der subjektiven Geräuschbewertung und Situations-einschätzung, dargestellt in der Rangreihenfolge von Rangplatz 1: am meisten „negativ“ bis Rangplatz 8: am wenigsten „negativ“ AM = Skalenmittelwerte

Verkehrs- geräusche	(1) nicht mögen --- mögen (9)		(- 4) unangenehm -- angenehm (+ 4)		(- 4) deaktiviert --- aktiviert (+ 4)	
	AM	Rang	AM	Rang	AM	Rang
Stadtstraße beidseitig bebaut, <50 km/h, 2-spurig, 750Kfz/h (P7)	4.17	5	-0.38	6	0.25	5
Stadtstraße einseitig bebaut, <50 km/h, 2-spurig, 750 Kfz/h (P8)	3.63	2	-1.04	1	0.75	2
Kreuzung mit Ampelanlage, <50 km/h, 2-spurig, 1200 Kfz/h (P20)	3.71	3	-0.92	2	0.67	3
Kreuzung mit Kreisverkehr, <50 km/h, 2-spurig, 1200 Kfz/h (P21)	4.38	7	-0.13	8	0.17	7
Stadtstraße einseitig bebaut, <50 km/h, 4-spurig, 3000 Kfz/h (P1)	4.21	6	-0.38	6	0.50	4
Stadtstraße beidseitig bebaut, <50 km/h, 4-spurig, 3000 Kfz/h (P17)	3.38	1	-0.54	3	0.79	1
Ausfallstraße, freies Feld, 70-90 km/h, 4-spurig, 3000 Kfz/h (P11)	3.88	4	-0.50	4	0.25	5
Ausfallstraße, mit Gebäuden, 70-90 km/h, 4-spurig, 3000 Kfz/h (P12)	4.58	8	-0.42	5	0.08	8

Auffallend ist, dass bei den meisten Geräuschpaaren ein Geräusch im Vergleich eindeutig schlechter beurteilt wird. Diese Bewertung der verschiedenen Verkehrsgeräusche wird als Tendenz von den physiologischen Messergebnissen gestützt. Bei der Betrachtung dieser Bewertung muss daran gedacht werden, dass es durch die paarweise Darbietung der Geräusche zu einer verstärkten negativen Bewertung des für die Probanden unangenehmeren Geräusches kommen kann.

Tabelle 17 gibt in komprimierter Form einen gewichteten Gesamtüberblick über die verschiedenen Messergebnisse der physiologischen und psychologischen Parameter für alle Geräusche, damit eine vergleichende Betrachtung möglich wird.

Tab. 17: Vergleichender Überblick über alle Geräusche mit den dazugehörigen gewichteten Ergebnissen der physiologischen und psychologischen Parameter

Verkehrsgläusche	Messparameter		Geräuschbewertung		
	FPA	EMG	mögen	angenehm	aktivierend
Stadtstraße (P7) beidseitig bebaut 750 Kfz/h	↓	0	0	+	-
Stadtstraße (P8) einseitig bebaut 750 Kfz/h	↓↓	↑↑	-	---	+
Ampelanlage 1200 Kfz/h (P20)	↓↓↓	↑	-	--	++
Kreisverkehr 1200 Kfz/h (P21)	↓	↑↑	+	+	-
Stadtstraße (P1) einseitig bebaut 3000 Kfz/h	↓↓	0	0	+	-
Stadtstraße (P17) beidseitig bebaut 3000 Kfz/h	↓↓	↑	+	---	++
Ausfallstraße (P11) freies Feld 3000 Kfz/h	↓↓	↑	0	--	-
Ausfallstraße (P12) mit Gebäuden 3000 Kfz/h	↓	↑	++	-	0

Legende: Bezug auf die Abweichungen vom Skalenmittelwert über die gesamte Stichprobe

		AM	≤	-1.0	---
-1.0	<	AM	≤	-0.5	--
-0.5	<	AM	≤	-0.2	-
-0.2	<	AM	<	0.2	0
0.2	≤	AM	<	0.5	+
0.5	≤	AM	<	1.0	++
		AM	≥	1.0	+++

Richtung, Größe und Anzahl der Pfeile beschreiben die Tendenz und die Stärke der physiologischen Reaktion während des Experimentes. Die „0“ bedeutet, dass keine relevante Reaktion festzustellen war bzw. dass kein Reaktionsunterschied besteht. Für die subjektive Geräuschbewertung wurde die Intensität der Antwort zu den entsprechenden Geräuschen mit der Anzahl der Zeichen bezogen auf die Differenz der subjektiven Geräuschbewertung zwischen dem jeweiligen Geräuschpaar dargestellt, und zwar „-“ für negativ bzw. „+“ für positiv bewertend. Die Wertung basiert auf den Abweichungen vom jeweiligen Skalenmittelwert über die gesamte Stichprobe (s. Legende zu Tab. 17).

Die in Tabelle 17 zusammengefassten Ergebnisse zeigen beim ersten Geräuschpaar (P7-P8), dass bei dem Geräusch „einseitig bebaut 750“ (P8) alle physiologischen Reaktionen stärker ausfallen als bei dem Geräusch „beidseitig bebaut 750“ (P7). Bei der subjektiven Geräuschbewertung zeigt sich ebenfalls eine eindeutig höhere bzw. negativere Bewertung des Geräuschs „einseitig bebaut 750“ (P8). Da der Schallpegel L_{eq} der beiden Aufnahmen gleich ist und die Verkehrsdichte beider Straßen ca. 750 Kfz/h betrug, muss hier ein sehr spezifisches akustisches Phänomen vorliegen, welches diesen eindeutigen Unterschied zwischen diesen beiden Aufnahmen erklären kann. Weitere akustische Untersuchungen, um eventuell einzelne auffällige Ereignisse zu entdecken, sind nötig, um diese Ergebnisse erklären zu können.

Die Ergebnisse des Geräuschpaares der Kreuzungssituation (P20 Ampelanlage + P21 Kreisverkehr) zeigen eine deutlich stärkere Reaktion der FPA bei der Aufnahme der Ampelanlage. Bei der subjektiven Geräuschbewertung zeigt sich hierzu in Übereinstimmung eine negativere Bewertung der Ampelanlagensituation. Verglichen mit dem vorherigen Geräuschpaar sind hier die physiologischen Ergebnisse zwar nicht so deutlich verschieden, aber dafür zeigen die Ergebnisse der Geräuschbewertung klare Unterschiede zwischen diesen beiden Verkehrssituationen.

Die zusammengefassten physiologischen Ergebnisse des Geräuschpaares der 4-spurigen Stadtstraße mit 3000 Kfz/h einseitig- und beidseitig bebaut, zeigen eine negative Tendenz zum Geräusch „beidseitig bebaut 3000“. Die Ergebnisse der subjektiven Geräuschbewertung zeigen ebenso eine negative Bewertung des Geräusch „beidseitig bebaut 3000“ (P17) an. Verglichen mit den anderen Ergebnissen sind die Ergebnisse der physiologischen Parameter hier als Tendenz zu sehen, die von der subjektiven Geräuschbewertung gestützt wird.

Die beiden Geräusche der Ausfallstraßen „freies Feld 3000“ und „mit Gebäuden 3000“ zeigten im direkten Vergleich keine deutlichen Unterschiede in den physiologischen Reaktionen. Dies liegt vielleicht an der Ähnlichkeit der beiden Geräusche, so dass das leichte Überwiegen des einen oder anderen Parameters eher als zufällig zu sehen ist. Insgesamt zeigt sich aber eine leichte Tendenz zur Favorisierung des Geräuschs „mit Gebäuden 3000“. Dies wird von der subjektiven Geräuschbewertung gestützt, denn hier ist eine positive Tendenz oder Unterstützung in diesem Sinne erkennbar.

5.2 Zusammenhang mit akustischen Größen

Tab. 18 enthält die Werte der Mittelungspegel, der Lautheit (sone) und des Artikulation Index. Am interessantesten ist die Betrachtung der Lautheit. Für die Geräuschpaare P 7/8 und P 01/17 besteht eine große Übereinstimmung zwischen der Lautheit und der subjektiven Bewertung, weil das Geräusch, welches subjektiv negativer bewertet wurde, auch ungünstigere Werte bei der Lautheit erhalten hat. Andererseits trifft diese Beobachtung nicht für die Geräuschpaare P11/12 bzw. P20/P21 zu. Wie Detailanalysen zeigen konnten, müssen weitere in der zeitlichen Struktur der Geräusche zu suchende Eigenschaften die positive bzw. negative Bewertung eines Geräusches mitbeeinflussen (Schwarze et al. 2004).

Tab. 18: Zusammenhang mit akustischen Kenngrößen

	P 1	P 17	P 7	P 8	P 11	P 12	P 20	P 21
L_{Aeq}	84,02	84,02	84,19	83,90	84,18	83,57	83,90	83,80
Loudness	62,81	66,40	63,03	67,73	59,16	67,99	68,48	71,46
Art. Ind. %	10,20	6,70	17,00	13,80	12,90	13,40	11,10	7,20
mögen	4,21	3,38	4,17	3,63	3,88	4,58	3,71	4,38
angenehm	-0,38	-0,54	-0,38	-1,04	-0,50	-0,42	-0,92	-0,13
aktivierend	0,50	0,79	0,25	0,75	0,25	0,08	0,67	0,17

5.3 Stellenwert der Ergebnisse

Ziel des in der vorliegenden Arbeit beschriebenen und diskutierten Experiments war es, zu prüfen, ob sich die physiologischen Messparameter Fingerpulsamplitude und Elektromyogramm, die seit Jahrzehnten in der Lärmwirkungsforschung eingesetzt werden, auch für die Erfassung der Qualität von Verkehrsgeräuschen eignen. Zur Wertung der registrierten physiologischen Veränderungen werden diese den subjektiven Beurteilungen der Geräusche gegenüber gestellt (Fragebogen).

Die physiologischen Messparameter haben sich bei den untersuchten Situationen als zuverlässige Indikatoren bewiesen:

- Das Reaktionsmuster beider Parameter während der Geräuschpräsentation passt und entspricht den Erwartungen. Sowohl FPA als auch EMG zeigen während der Darbietung synchrone Veränderungen, die eindeutig als Aktivierung zu werten sind. Es gibt keine konträren Veränderungen wie z. B. Verringerung der FPA (als Zeichen der Anspannung) mit gleichzeitiger Abnahme des EMG-Niveaus (als Zeichen der Entspannung).

- Auch im Paar-Vergleich fallen die Reaktionsstärken in den meisten Fällen übereinstimmend aus und lassen eine Präferenz für das eine oder das andere Geräusch erkennen. Die einzige Ausnahme stellt hierbei der Vergleich der Verkehrsgeräusche der Ausfallstraßen P11-P12 dar. Hier lassen sich keine Reaktionsunterschiede zwischen den Geräuschen feststellen. Dies lässt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit darauf zurückführen, dass die Unterschiede in der Bebauung akustisch keinen nennenswerten Unterschied hervorbringen (gleiche Straße, unterschiedliche Aufnahmeorte), so dass sich die Geräusche sehr ähnlich sind. Aufgelockerte Bebauung scheint im Vergleich zur Schall-Ausbreitung im freien Feld bei gleicher Verkehrsdichte und Geschwindigkeit zur gleichen psychophysiologischen Wirkung zu führen.

Das normale Muster der physiologischen Reaktionen bei den vier Vergleichen zeigt eine Dominanz überwiegend eines Parameters, meistens der Fingerpulsamplitude. Die FPA ist unter methodischen Gesichtspunkten die Methode, die am zuverlässigsten Reaktionswerte zeigt, deren Werte als Signal gut identifizierbar sind und bei der Artefakte sehr gut erkannt bzw. eliminiert werden können.

Die physiologischen Parameter und die subjektive Geräuschbewertung zeigen, nicht nur bei den Geräuschpaaren bei denen ein Geräusch eindeutig negativer beschrieben wird, sondern auch dort, wo diese Unterschiede zwischen den beiden Geräuschen nicht so offensichtlich sind, eine deutliche Übereinstimmung. Demzufolge unterstützt die subjektive Geräuschbewertung die Tendenzen der manchmal sehr komplexen physiologischen Reaktionen und die physiologischen Werte untermauern die subjektiven Urteile. Die beiden Methoden validieren sich gegenseitig.

6. Zusammenfassung

Basierend auf dem Konzept der Geräuschqualität sind in den vergangenen Jahren erstaunliche Erfolge auf dem Sektor der Verbesserung der akustischen Situation in Pkw-Innenräumen erzielt worden. In Anbetracht der erheblichen Belästigung der Bevölkerung durch Verkehrslärm stellt sich die Frage, ob sich dieses Konzept auch für Verbesserungen der Geräuschqualität von Straßenverkehrsgeräuschen bzw. von Kfz-Außengeräuschen nutzen lässt. In der vorliegenden experimentellen Arbeit werden detailliert Methodik und Ergebnisse von Experimenten beschrieben, die im Schalllabor des Institut für Arbeit und Sozialmedizin der Universität Düsseldorf von Januar bis April 2001, im Rahmen des von der Europäischen Kommission geförderten Forschungsprojektes SVEN, (Sound quality of Vehicle Exterior Noise Projekt Nr. G6RD-CT-1999-00113) durchgeführt wurden. Zentrale Fragestellung war, ob sich die erlebte Geräuschqualität von Straßenverkehrsgeräuschen als psychophysiologische Dimension zuverlässig erfassen lässt. Hierzu wurden in der schallarmen Kammer des Instituts für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin im Rahmen eines Laborexperiments 24 männlichen Probanden 8 Aufnahmen von alltäglichen Straßenverkehrssituationen paarweise dargeboten. Dabei handelte es sich um jeweils 4-minütige Aufnahmen von Pariser Stadtstraßen, die nach Kriterien wie Fahrzeugaufkommen pro Stunde, durchschnittlichem Fahrtempo, Kontinuität des Verkehrs und Art der Bebauung ausgewählt worden waren. Während der Beschallung wurden verschiedene physiologische Reaktionsparameter aufgezeichnet, von denen Fingerpulsamplitude und Elektromyogramm für diese Arbeit ausgewertet wurden. Außerdem wurde mit verschiedenen Fragebögen die subjektive Bewertung der gehörten Straßenverkehrsgeräusche erfasst. Obwohl die Lautstärke aller Aufnahmen auf einen energieäquivalenten Mittelungspegel L_{eq} von etwa 83 dB(A) angeglichen wurde, zeigten sich im paarweisen Vergleich ähnlicher Verkehrssituationen (z. B. zwei Straßen mit gleicher Verkehrsdichte, aber unterschiedlicher Bebauung oder zwei Straßenkreuzungen mit Verkehrsampel vs. Kreisverkehr) deutliche Unterschiede in den physiologischen und gleichzeitig in den subjektiven Reaktionen auf die Geräusche. Zwischen den physiologischen Messungen und erfragten Bewertungen ergaben sich insgesamt gute Übereinstimmungen. Daraus lässt sich schließen, dass die physiologischen Maße als reliable Indikatoren des Aktivationslevels des ZNS anzusehen sind. Die Ergebnisse der physiologischen und subjektiven Parameter sind zueinander kongruent, so dass sich beide Messbereiche gegenseitig validieren. Inwieweit sich mit diesen Methoden auch differenzierte Aussagen zu bestimmten Reaktionsmustern auf spezifische Pkw-Geräusche machen lassen und ob sich solche „Geräuschprofile“ plausibel mit akustischen Deskriptoren verbinden lassen, wird in nachfolgenden Versuchsserien des SVEN-Projekts untersucht.

7. Literatur

Bednarzyk, M.:

Qualitätsbeurteilung der Geräusche industrieller Produkte – Der Stand der Forschung, abgehandelt am Beispiel der Kfz-Innenraumgeräusche.

Fortschr.-Ber. VDI-Reihe 12 Nr. 396. Düsseldorf: VDI-Verlag 1999

Fridlund, A.J. & Cacioppo, J.T.:

Guidelines for human electromyographic research.

Psychophysiology 1986; 23: S.567-589.

Fujita, K., Nishiyama, T. & Hayakawa Y.:

Research on sound quality, evaluation methods for exhaust noise.

JSAE Review, 1988, (9(2)), 28-33

Genuit, K.:

Einsatzmöglichkeiten der gehörgerechten Schallanalyse im Kraftfahrzeug.

Fortschritte der Akustik – DAGA '95. Bad Honnef: DPG-GmbH 1995, 883 – 886

Griefahn, B.:

Vaskuläre Reaktion auf Lärm: Wirkungsmechanismus - intervenierende Variablen - Einfluss der Hauttemperatur.

Z. Lärmbekämpfung 1993, 40, 123-128.

Hashimoto, T.: Die japanische Forschung zur Bewertung von Innengeräuschen im Pkw. Z.

Lärmbekämpf., (1994), 41, 69 – 71

Ishiyama, T. & Hashimoto, T.:

Influence of sound quality on annoyance caused by road traffic noise.

7th Int. Congr. on Noise as a Public Health Problem (ICBEN), Sydney, Australia, 1998, 572-578

Jansen, G.:

Zur nervösen Belastung durch Lärm. Beihefte zum Zentralblatt f. Arbeitsmedizin und Arbeitsschutz, 9. Darmstadt: Steinkopff 1967

Jansen, G.:

Psychosomatische Lärmwirkungen und Gesundheit: Z. Arb.wiss. 38 (10NF), 205-210, 1984

Jansen, G.:

Zur „erheblichen Belästigung“ und „Gefährdung“ durch Lärm.
Z. Lärmbekämpfung 1986; 33: S. 2-7.

Jansen, G.:

Physiological effects of noise.
In: Harris CM (ed) Handbook of acoustical measurements and noise control. 3rd edition.
Mc Graw-Hill New York 1991.

Jansen, G., Rehm, S. & Gros, E.:

Untersuchungen zur Frage der Lärmempfindlichkeit.
Z. Lärmbekämpfung 1980; 27: S. 9-12.

Jennings, J.R., Tahmouh, A.J. & Redmond, D.P.:

Non- invasive measurement of peripheral vascular activity.
In: I. Martin & P. H. Venables (Eds.), Techniques in psychophysiology.
Chichester: Wiley 1980; S. 69-37.

Krebber, W.; Genuit, K.; Sottek, R.:

Road traffic noise – a matter of sound quality?
Institute of Noise Control Engineering INCE (ed.): Proceedings of INTER-NOISE 2002. CD-ROM

Lippolt, O.C.J.:

Electromyography
In: PH. Venables & I. Martin (Eds.): A manual of psychophysiological methods.
Amsterdam: Holland 1967; S. 245-297

Meyer-Falcke, A., Lanzendörfer, A. & Jansen, G.:

Psycho-physiological effects of impulsive noise on a man: contrasting the reactions to artificial and realistic noise.

In: Newman, M. (ed): Proceedings ICA 95; Vol. II. Trondheim 1995.

Namba, S.:

Noise – quantity and quality.

Proc. Int. Congr. on Noise Control Engineering (Inter-Noise), Yokohama, Japan, 1994, 2-23

Ortscheid, J. & Wende, H :

Lärmbelastung in Deutschland Ergebnisse einer repräsentativen Umfrage.

Z. Lärmbekämpfung.: 2/2002, S.41-45

Schandry, R.:

Lehrbuch der Psychophysiologie.

Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens.

Psychologie Verlag Union Weinheim 1996.

Schick, A.:

Zur Geschichte der Bewertung von Innengeräuschen in Personenwagen.

Z. Lärmbekämpf., 41 (1994) 61 – 68

Schwarze, S.:

Langjährige Lärmbelastung und Gesundheit. Schriftenreihe Forschung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung,

Fb 636. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1991

Schwarze, S. & Thompson, S.:

Research on Non-Auditory Physiological Effects of Noise since 1988: Review and Perspectives.

In: Vallet, M. (ed.): Noise as a Public Health Problem, Proceedings of the 6th International Congress, Vol. 3, pp. 252-259, Actes INRETS No 34 ter, Lyon: 1993

Schwarze, S., Notbohm, G. & Jansen, G.:

Die Bedeutung des binauralen Hörens für die Stärke der physiologischen Reaktion auf Geräusche.

Z. Lärmbekämpfung 1993; 40: S. 151-160.

Schwarze S., Notbohm G. & Gärtner, C.:

Psychophysiologische Bewertung von Verkehrslärm an Stadtstraßen in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte

In: Baumgartner, E. & Stork, J. (Hrsg.): Arbeitsmedizinische Aspekte der Metallbearbeitung - Gesundheitsschutz bei Einsatz neuer Technologien. Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Arbeits- und Umweltmedizin gemeinsam mit der Österreichischen Gesellschaft für Arbeitsmedizin – 44. Jahrestagung, Eigenverlag Arbeitsmedizinisches Zentrum Hall in Tirol. 2004, pp. 675-677

Schönewolf, J.:

Psychophysiologische Bewertung von Verkehrsgeräuschen anhand von Herzfrequenz und Hautwiderstand sowie subjektiver Einschätzung der Geräuscheigenschaften

Dissertation. Heinrich-Heine-Universität, voraussichtl. 2005

Siegmann, S., Brinkmann, H., Faust, M., Kellermann, M., Köckemann, R., Linnemeier, A., Notbohm, G., Rheingans, J, Richter, L., Seifert, M., Siegmund, K., Weber, K. & Borsch-Galetke, E.:

Extraaurale Reaktionen bei Belastung mit hochenergetischen Impulsschallen. Z. Lärmbekämpfung 1999; 46: S. 88-102.

Sokolov, EN.:

The neuronal mechanisms of the orienting reflex.

In: Sokolov EN & Vinogradova OS (Eds): Neuronal mechanisms of the orienting reflex.

Wiley New York 1997; S. 217-235.

Anhang

Tab. 19: Messwerte der FPA, Geräuschpaar P8-P7, Stadtstraßen, 2-spurig, 750Kfz/h (AM = Mittelwert; S = Standardabweichung) (Das Intervall von 0-5 beschreibt die 1.-5. Sek, 5-10 die 6.-10. Sek. usw.)

Zeit Intervall	N	P8 AM	P8 S	P7 AM	P7 S	p =
% 0-5s	24	74,60	13,7	83,89	19,5	0,06
% 5-10s	24	66,38	21,0	60,98	22,5	0,39
% 10-15s	24	74,48	22,6	64,35	27,7	0,17
% 15-20s	24	80,66	24,0	71,35	29,8	0,24
% 20-25s	24	86,73	19,7	78,54	31,7	0,29
% 25-30s	24	86,34	23,0	78,71	29,9	0,33
% 30-35s	24	81,67	23,3	75,71	25,9	0,41
% 35-40s	24	84,89	20,5	68,60	26,3	0,02
% 40-45s	24	82,44	22,3	65,15	24,6	0,01
% 45-50s	24	76,79	24,9	71,47	26,1	0,47
% 50-55s	24	75,12	22,2	75,26	26,7	0,98
% 55-60s	24	79,80	21,7	77,14	26,9	0,71
% 60-65s	24	78,15	22,6	75,54	26,6	0,72
% 65-70s	24	77,29	20,7	70,52	25,8	0,32
% 70-75s	24	81,86	23,4	75,37	28,5	0,39
% 75-80s	24	81,35	27,4	76,35	28,0	0,53
% 80-85s	24	85,96	24,9	77,20	30,9	0,28
% 85-90s	24	87,16	23,1	82,09	29,8	0,51
% 90-95s	24	82,90	18,3	80,59	29,9	0,75
% 95-100s	24	77,42	17,4	80,79	34,5	0,67
% 100-105s	24	83,74	22,7	70,51	32,4	0,11
% 105-110s	24	90,92	26,3	68,27	31,7	0,01
% 110-115s	24	95,86	27,1	77,47	31,8	0,04
% 115-120s	24	100,48	31,6	77,76	31,2	0,02
% 120-125s	24	94,87	37,7	78,44	29,6	0,10
% 125-130s	24	83,82	33,0	75,30	29,7	0,35
% 130-135s	24	76,95	34,7	75,65	30,0	0,89
% 135-140s	24	75,32	38,2	73,14	28,5	0,82
% 140-145s	24	78,93	34,0	65,53	26,5	0,13
% 145-150s	24	77,64	30,8	68,06	25,5	0,25
% 150-155s	24	82,40	34,8	69,96	26,6	0,17
% 155-160s	24	81,89	31,6	75,44	28,1	0,46
% 160-165s	24	82,10	33,9	76,50	29,9	0,55
% 165-170s	24	67,98	26,6	73,48	29,2	0,50
% 170-175s	24	57,95	18,3	74,14	29,9	0,03
% 175-180s	24	68,63	19,2	78,19	28,8	0,18
% 180-185s	24	68,89	21,6	80,19	31,8	0,16
% 185-190s	24	72,72	21,8	81,17	33,6	0,31
% 190-195s	24	72,82	22,3	83,62	32,8	0,19
% 195-200s	24	75,36	24,9	85,03	31,0	0,24
% 200-205s	24	70,58	25,3	80,92	29,8	0,20
% 205-210s	24	63,46	19,4	78,33	33,0	0,06
% 210-215s	24	63,59	20,4	78,24	31,7	0,06
% 215-220s	24	72,03	23,0	74,38	29,7	0,76
% 220-225s	24	70,37	20,3	77,90	30,7	0,32
% 225-230s	24	71,86	18,9	79,15	32,8	0,35
% 230-235s	24	67,90	18,7	79,62	29,8	0,11
% 235-240s	24	64,45	19,5	74,91	27,8	0,14
% 0-30s	24	77,97	17,0	72,84	23,0	0,38
% 30-240s	24	77,65	18,4	75,69	24,3	0,75
% 0-240s	24	77,67	17,8	75,28	23,3	0,69

Tab. 20: Messwerte des **EMG**, Geräuschpaar **P8-P7**, Stadtstraßen, 2-spurig, 750Kfz/h (AM = Mittelwert; S = Standardabweichung)

Zeit Intervall	N	P8 AM	P8 S	P7 AM	P7 S	p =
% 0-5s	24	99,83	7,3	110,50	34,4	0,14
% 5-10s	24	103,35	14,3	111,60	15,7	0,06
% 10-15s	24	100,32	10,8	105,58	14,3	0,16
% 15-20s	24	100,01	11,9	106,86	17,1	0,11
% 20-25s	24	100,03	12,6	108,46	21,4	0,10
% 25-30s	24	100,89	15,4	107,35	22,7	0,25
% 30-35s	24	96,86	11,9	111,71	24,9	0,01
% 35-40s	24	97,06	13,9	121,50	35,7	0,00
% 40-45s	24	98,38	16,0	115,98	34,0	0,03
% 45-50s	24	101,78	19,3	108,75	24,4	0,28
% 50-55s	24	107,61	27,6	110,05	23,6	0,74
% 55-60s	24	105,69	23,6	108,06	18,1	0,70
% 60-65s	24	111,42	32,2	110,03	20,1	0,86
% 65-70s	24	103,38	17,4	105,58	14,7	0,64
% 70-75s	24	100,79	16,0	106,34	16,8	0,25
% 75-80s	24	99,64	15,1	107,06	14,9	0,09
% 80-85s	24	100,52	16,3	105,30	12,9	0,26
% 85-90s	24	99,07	14,8	105,02	9,9	0,11
% 90-95s	24	98,70	15,4	104,84	9,5	0,10
% 95-100s	24	98,32	16,5	111,53	18,5	0,01
% 100-105s	24	97,96	17,8	106,28	14,3	0,08
% 105-110s	24	98,39	17,7	101,72	6,3	0,39
% 110-115s	24	99,28	17,1	102,76	9,4	0,39
% 115-120s	24	99,32	16,8	101,67	10,6	0,56
% 120-125s	24	101,08	17,0	105,46	15,3	0,35
% 125-130s	24	100,39	17,0	112,01	22,0	0,05
% 130-135s	24	100,91	17,5	111,60	18,8	0,05
% 135-140s	24	99,11	16,5	109,98	14,1	0,02
% 140-145s	24	103,73	22,0	120,85	30,4	0,03
% 145-150s	24	100,22	17,4	106,60	20,2	0,25
% 150-155s	24	104,87	22,8	105,69	16,5	0,89
% 155-160s	24	100,24	15,0	101,54	9,8	0,72
% 160-165s	24	100,34	14,6	104,25	15,5	0,37
% 165-170s	24	101,76	17,8	100,80	7,1	0,81
% 170-175s	24	104,57	26,6	104,03	9,1	0,93
% 175-180s	24	98,85	12,9	107,66	10,5	0,01
% 180-185s	24	99,48	14,0	108,71	11,8	0,02
% 185-190s	24	100,75	14,1	109,64	15,0	0,04
% 190-195s	24	101,90	16,2	108,48	14,9	0,15
% 195-200s	24	100,84	16,1	108,68	17,5	0,11
% 200-205s	24	98,70	15,9	106,69	14,5	0,08
% 205-210s	24	98,35	16,4	108,57	18,1	0,05
% 210-215s	24	99,16	14,4	107,08	16,9	0,09
% 215-220s	24	101,42	15,1	106,09	15,4	0,29
% 220-225s	24	103,97	16,3	110,93	27,4	0,29
% 225-230s	24	104,37	23,5	116,39	26,6	0,10
% 230-235s	24	103,94	16,2	121,94	30,9	0,02
% 235-240s	24	99,53	12,7	113,74	20,0	0,01
% 0-30s	24	100,67	9,8	108,37	13,9	0,03
% 30-0s	24	100,98	14,6	108,59	12,2	0,06
% 0-240s	24	100,94	13,9	108,59	11,9	0,05

Tab. 21: Messwerte der FPA, Geräuschpaar P20-P21, Ampelkreuzung / Kreisverkehr, 1200 Kfz/h. (AM = Mittelwert; S = Standardabweichung)

Zeit Intervall	N	P20 AM	P20 S	P21 AM	P21 S	p =
% 0-5s	24	83,69	23,8	85,38	15,5	0,77
% 5-10s	24	61,36	25,8	66,86	19,6	0,41
% 10-15s	24	65,79	27,5	76,92	25,8	0,16
% 15-20s	24	66,79	27,5	83,01	31,2	0,06
% 20-25s	24	71,50	27,2	83,04	28,7	0,16
% 25-30s	24	73,52	27,4	82,90	31,3	0,27
% 30-35s	24	72,59	26,8	87,59	37,1	0,12
% 35-40s	24	74,87	28,0	91,21	39,8	0,11
% 40-45s	24	73,74	27,9	91,26	40,5	0,09
% 45-50s	24	68,77	29,4	94,79	41,6	0,02
% 50-55s	24	72,58	28,8	94,31	36,9	0,03
% 55-60s	24	66,27	22,5	92,00	35,2	0,00
% 60-65s	24	72,90	24,5	88,19	32,5	0,07
% 65-70s	24	72,62	25,4	96,97	39,1	0,01
% 70-75s	24	73,04	27,5	96,34	41,8	0,03
% 75-80s	24	77,51	29,2	91,81	34,0	0,12
% 80-85s	24	77,08	26,4	92,21	32,5	0,08
% 85-90s	24	81,23	27,5	94,36	35,9	0,16
% 90-95s	24	81,70	27,8	88,62	33,2	0,44
% 95-100s	24	81,89	27,4	87,65	31,6	0,50
% 100-105s	24	80,14	26,2	88,35	34,1	0,35
% 105-110s	24	82,88	31,9	79,22	27,1	0,67
% 110-115s	24	83,03	33,3	84,22	30,9	0,90
% 115-120s	24	84,69	33,3	88,90	35,4	0,67
% 120-125s	24	74,33	32,7	87,26	31,7	0,17
% 125-130s	24	75,12	32,8	80,62	29,9	0,55
% 130-135s	24	72,08	27,4	85,64	29,6	0,11
% 135-140s	24	61,88	21,0	89,64	31,6	0,00
% 140-145s	24	67,33	25,1	91,40	36,1	0,01
% 145-150s	24	69,75	29,1	91,99	27,5	0,01
% 150-155s	24	76,34	30,6	85,90	26,6	0,25
% 155-160s	24	79,27	33,5	85,25	30,3	0,52
% 160-165s	24	80,86	36,8	88,68	30,1	0,42
% 165-170s	24	79,78	33,7	92,92	31,5	0,17
% 170-175s	24	80,76	30,7	84,36	35,3	0,71
% 175-180s	24	81,85	30,8	85,81	38,3	0,69
% 180-185s	24	84,88	38,9	88,26	38,3	0,76
% 185-190s	24	78,18	40,4	88,81	35,1	0,34
% 190-195s	24	76,84	33,8	71,78	23,1	0,55
% 195-200s	24	75,65	32,0	76,09	22,9	0,96
% 200-205s	24	79,47	40,0	73,37	26,2	0,54
% 205-210s	24	76,01	35,7	77,30	32,2	0,90
% 210-215s	24	66,37	26,5	67,84	25,4	0,85
% 215-220s	24	67,75	25,9	73,84	28,7	0,44
% 220-225s	24	70,67	27,6	76,13	32,3	0,53
% 225-230s	24	74,19	32,1	67,20	25,8	0,41
% 230-235s	24	77,22	34,2	67,82	27,5	0,30
% 235-240s	24	79,31	32,4	77,72	31,0	0,86
% 0-30s	24	70,23	23,7	79,40	21,6	0,17
% 30-240s	24	75,51	24,0	85,06	25,7	0,19
% 0-240s	24	74,80	23,1	84,29	24,0	0,17

Tab. 22: Messwerte des **EMG**, Geräuschpaar **P20-P21**, Ampelkreuzung / Kreisverkehr, 1200Kfz/h (AM = Mittelwert; S = Standardabweichung)

Zeit Intervall	N	P20 AM	P21 S	P21 AM	P21 S	p =
% 0-5s	24	118,79	76,5	103,49	11,8	0,34
% 5-10s	24	105,57	23,0	106,04	19,5	0,94
% 10-15s	24	109,98	36,2	104,27	17,7	0,49
% 15-20s	24	105,04	13,7	119,11	45,7	0,16
% 20-25s	24	106,97	14,6	105,91	22,9	0,85
% 25-30s	24	112,28	17,6	104,88	20,3	0,18
% 30-35s	24	110,95	17,7	101,71	21,5	0,11
% 35-40s	24	106,41	9,4	101,54	18,6	0,26
% 40-45s	24	104,35	14,6	102,31	18,0	0,67
% 45-50s	24	102,07	14,1	107,28	21,4	0,32
% 50-55s	24	107,50	22,0	111,13	24,7	0,59
% 55-60s	24	108,48	19,8	120,31	48,5	0,27
% 60-65s	24	104,64	12,1	110,00	24,9	0,35
% 65-70s	24	108,15	21,0	108,56	19,7	0,94
% 70-75s	24	103,94	14,7	108,94	18,4	0,30
% 75-80s	24	103,92	15,0	107,79	16,7	0,40
% 80-85s	24	102,27	10,3	110,79	25,7	0,14
% 85-90s	24	101,66	10,9	110,06	24,8	0,14
% 90-95s	24	99,54	15,4	108,86	19,8	0,08
% 95-100s	24	100,18	18,5	110,11	22,2	0,10
% 100-105s	24	101,81	17,6	126,99	57,9	0,05
% 105-110s	24	104,09	17,2	112,82	30,1	0,22
% 110-115s	24	103,12	19,0	115,01	33,3	0,14
% 115-120s	24	104,06	20,0	110,40	28,6	0,38
% 120-125s	24	103,49	17,8	106,44	26,5	0,65
% 125-130s	24	102,40	12,0	103,97	19,5	0,74
% 130-135s	24	106,68	20,3	106,90	22,5	0,97
% 135-140s	24	109,96	27,3	112,28	28,9	0,78
% 140-145s	24	111,01	25,4	116,85	33,8	0,50
% 145-150s	24	106,04	16,2	110,59	24,8	0,46
% 150-155s	24	110,22	22,0	107,38	18,7	0,63
% 155-160s	24	107,76	17,2	106,67	24,7	0,86
% 160-165s	24	103,79	12,3	105,59	18,9	0,70
% 165-170s	24	106,18	20,3	105,23	15,3	0,86
% 170-175s	24	100,95	20,3	111,01	23,9	0,12
% 175-180s	24	100,52	21,7	106,73	16,1	0,27
% 180-185s	24	106,76	24,1	103,77	17,8	0,63
% 185-190s	24	103,59	17,2	101,99	19,0	0,76
% 190-195s	24	101,80	14,2	108,10	33,8	0,40
% 195-200s	24	100,12	14,1	126,85	57,8	0,03
% 200-205s	24	100,26	21,5	103,90	16,3	0,51
% 205-210s	24	107,49	28,0	113,15	30,0	0,50
% 210-215s	24	117,29	39,0	106,22	16,4	0,21
% 215-220s	24	108,85	22,3	107,92	18,4	0,88
% 220-225s	24	109,96	30,1	114,21	26,7	0,61
% 225-230s	24	103,54	17,3	127,90	89,8	0,20
% 230-235s	24	101,45	18,0	115,27	55,9	0,25
% 235-240s	24	97,42	15,6	100,00	12,4	0,53
% 0-30s	24	109,62	23,0	107,16	20,3	0,70
% 30-240s	24	104,96	14,5	109,85	22,4	0,37
% 0-240s	24	105,56	14,6	109,51	22,1	0,47

Tab. 23: Messwerte der FPA, Geräuschpaar P1-P17, Stadtstraßen, 4-spurig, 3000 Kfz/h (AM = Mittelwert; S = Standardabweichung)

Zeit Intervall	N	P1 AM	P1 S	P17 AM	P17 S	p =
% 0-5s	24	94,53	21,7	84,95	23,9	0,15
% 5-10s	24	64,96	27,2	61,49	18,5	0,61
% 10-15s	24	74,96	27,6	70,38	24,2	0,54
% 15-20s	24	81,87	27,6	76,26	30,1	0,50
% 20-25s	24	82,94	26,9	81,11	36,0	0,84
% 25-30s	24	87,65	29,7	81,03	34,2	0,48
% 30-35s	24	93,12	27,6	80,54	33,8	0,16
% 35-40s	24	88,26	23,3	82,27	36,5	0,50
% 40-45s	24	81,15	21,2	81,43	36,3	0,97
% 45-50s	24	84,24	19,5	83,34	32,2	0,91
% 50-55s	24	86,84	21,0	87,15	39,4	0,97
% 55-60s	24	93,74	26,6	79,57	34,3	0,12
% 60-65s	24	80,57	30,2	77,36	28,7	0,71
% 65-70s	24	74,42	26,7	79,23	25,7	0,53
% 70-75s	24	76,81	25,3	75,91	25,7	0,90
% 75-80s	24	81,86	28,0	78,63	26,4	0,68
% 80-85s	24	87,95	34,7	83,64	30,1	0,65
% 85-90s	24	87,93	33,9	79,56	33,3	0,39
% 90-95s	24	75,89	32,2	68,61	24,7	0,38
% 95-100s	24	70,30	27,6	70,51	23,0	0,98
% 100-105s	24	74,59	30,3	75,66	25,2	0,89
% 105-110s	24	77,93	28,3	76,40	19,5	0,83
% 110-115s	24	76,94	22,4	78,24	19,2	0,83
% 115-120s	24	74,27	22,1	79,32	24,0	0,45
% 120-125s	24	77,83	25,2	76,97	23,7	0,90
% 125-130s	24	78,54	27,5	79,69	24,3	0,88
% 130-135s	24	75,24	25,6	77,13	24,2	0,79
% 135-140s	24	73,11	26,2	76,67	26,3	0,64
% 140-145s	24	80,09	27,9	71,93	23,2	0,28
% 145-150s	24	83,22	28,5	72,91	20,4	0,16
% 150-155s	24	74,83	22,5	73,18	22,8	0,80
% 155-160s	24	72,95	22,8	78,93	24,6	0,39
% 160-165s	24	78,81	25,6	81,78	27,6	0,70
% 165-170s	24	84,47	29,1	84,78	34,1	0,97
% 170-175s	24	86,88	37,9	85,92	34,3	0,93
% 175-180s	24	80,78	32,3	79,44	32,1	0,89
% 180-185s	24	76,65	28,3	76,56	29,5	0,99
% 185-190s	24	68,38	24,9	79,86	29,6	0,15
% 190-195s	24	70,30	22,2	82,72	32,9	0,13
% 195-200s	24	74,21	25,9	84,51	27,3	0,19
% 200-205s	24	76,36	30,9	86,44	28,6	0,25
% 205-210s	24	71,86	29,2	85,10	27,3	0,11
% 210-215s	24	74,84	28,4	72,16	21,5	0,71
% 215-220s	24	79,03	29,8	72,14	23,3	0,38
% 220-225s	24	82,27	30,9	74,84	26,5	0,38
% 225-230s	24	80,96	29,1	81,64	24,1	0,93
% 230-235s	24	79,96	30,2	78,51	23,9	0,85
% 235-240s	24	71,70	29,6	78,21	26,1	0,42
% 0-30s	24	81,18	23,8	75,82	23,5	0,44
% 30-2400s	24	78,78	21,4	78,63	20,5	0,98
% 0-240s	24	79,09	21,0	78,27	20,2	0,89

Tab. 24: Messwerte des **EMG**, Geräuschpaar **P1-P17**, Stadtstraßen, 4-spurig, 3000 Kfz/h (AM = Mittelwert; S = Standardabweichung)

Zeit Intervall	N	P1 AM	P1 S	P17 AM	P17 S	p =
% 0-5s	24	116,54	55,8	107,64	41,8	0,53
% 5-10s	24	97,47	13,2	104,72	23,3	0,19
% 10-15s	24	96,40	13,1	110,77	31,6	0,05
% 15-20s	24	97,71	13,9	102,66	14,7	0,24
% 20-25s	24	97,48	16,0	101,98	18,1	0,37
% 25-30s	24	95,60	16,5	99,14	15,7	0,45
% 30-35s	24	95,28	13,4	96,97	15,2	0,69
% 35-40s	24	96,58	14,2	98,19	9,7	0,65
% 40-45s	24	97,91	13,3	99,60	10,4	0,63
% 45-50s	24	98,48	9,7	102,69	11,9	0,18
% 50-55s	24	100,48	6,3	98,23	11,8	0,41
% 55-60s	24	100,31	6,9	100,70	17,1	0,92
% 60-65s	24	101,49	8,5	103,57	16,4	0,58
% 65-70s	24	98,19	9,2	102,52	16,6	0,27
% 70-75s	24	99,97	7,8	98,44	12,6	0,61
% 75-80s	24	100,79	10,1	97,67	11,6	0,33
% 80-85s	24	98,87	9,9	99,11	13,1	0,94
% 85-90s	24	100,77	8,5	124,46	47,5	0,02
% 90-95s	24	103,22	8,8	106,09	18,4	0,49
% 95-100s	24	102,18	10,7	100,78	13,4	0,69
% 100-105s	24	102,65	12,3	99,35	13,0	0,37
% 105-110s	24	98,27	9,4	97,63	9,7	0,82
% 110-115s	24	98,33	9,8	96,31	6,2	0,40
% 115-120s	24	99,44	15,6	95,55	10,1	0,31
% 120-125s	24	95,48	8,6	99,86	9,8	0,11
% 125-130s	24	96,13	10,8	99,98	10,7	0,22
% 130-135s	24	99,59	12,8	99,88	16,3	0,94
% 135-140s	24	99,35	8,1	96,73	12,8	0,40
% 140-145s	24	100,79	9,2	99,26	11,7	0,62
% 145-150s	24	102,03	8,5	102,44	13,1	0,90
% 150-155s	24	101,16	9,5	99,47	12,3	0,60
% 155-160s	24	104,02	12,3	99,23	12,3	0,19
% 160-165s	24	99,99	9,7	98,57	15,5	0,71
% 165-170s	24	100,50	12,3	98,61	17,9	0,67
% 170-175s	24	101,01	8,6	100,17	14,2	0,81
% 175-180s	24	103,35	8,8	102,46	17,9	0,83
% 180-185s	24	105,85	10,8	99,92	15,3	0,13
% 185-190s	24	101,98	8,4	95,37	14,6	0,06
% 190-195s	24	101,21	10,9	97,64	16,5	0,38
% 195-200s	24	104,61	25,9	98,37	13,4	0,30
% 200-205s	24	103,07	17,4	100,62	12,4	0,58
% 205-210s	24	103,58	16,5	100,00	11,7	0,39
% 210-215s	24	100,95	14,0	100,63	14,1	0,94
% 215-220s	24	98,75	9,6	100,86	14,5	0,56
% 220-225s	24	99,33	11,4	101,22	9,8	0,54
% 225-230s	24	100,05	17,5	106,44	19,0	0,23
% 230-235s	24	96,41	12,9	100,25	15,3	0,35
% 235-240s	24	98,19	13,2	95,84	16,0	0,58
% 0-30s	24	100,16	16,8	104,84	19,4	0,38
% 30-240s	24	100,22	5,7	100,27	10,0	0,98
% 0-240s	24	100,20	6,7	100,84	10,6	0,80

Tab. 25: Messwerte der FPA, Geräuschpaar P11-P12, Ausfallstraßen, 4-spurig, 3000 Kfz/h (AM = Mittelwert; S = Standardabweichung)

Zeit Intervall	N	P11 AM	P11 S	P12 AM	P12 S	p =
% 0-5s	24	80,90	17,5	83,21	13,4	0,61
% 5-10s	24	66,09	22,8	65,70	18,5	0,95
% 10-15s	24	69,88	25,4	72,48	22,8	0,71
% 15-20s	24	73,14	30,3	79,64	26,3	0,43
% 20-25s	24	73,99	31,0	82,55	26,4	0,31
% 25-30s	24	78,55	32,5	82,80	25,0	0,61
% 30-35s	24	81,47	31,6	84,75	29,0	0,71
% 35-40s	24	75,46	30,2	89,39	28,2	0,11
% 40-45s	24	74,60	30,2	86,91	26,7	0,14
% 45-50s	24	74,00	31,5	83,07	29,7	0,31
% 50-55s	24	79,80	32,6	82,54	30,1	0,76
% 55-60s	24	77,79	33,3	89,55	27,9	0,19
% 60-65s	24	69,68	31,4	90,04	29,0	0,02
% 65-70s	24	64,13	29,1	89,22	32,5	0,01
% 70-75s	24	67,44	29,0	80,58	29,3	0,13
% 75-80s	24	67,80	30,6	84,53	29,5	0,06
% 80-85s	24	72,52	31,8	83,06	29,1	0,24
% 85-90s	24	68,85	34,5	61,56	20,3	0,38
% 90-95s	24	67,85	34,8	69,08	21,4	0,88
% 95-100s	24	71,92	37,1	74,62	23,4	0,76
% 100-105s	24	75,59	39,7	76,37	21,9	0,93
% 105-110s	24	75,74	35,9	66,54	19,7	0,28
% 110-115s	24	73,82	33,5	63,83	20,9	0,22
% 115-120s	24	65,69	28,7	69,27	21,8	0,63
% 120-125s	24	64,87	25,0	68,19	20,7	0,62
% 125-130s	24	70,13	26,0	66,51	20,7	0,60
% 130-135s	24	69,87	27,0	68,86	21,8	0,89
% 135-140s	24	67,31	25,7	71,32	21,0	0,56
% 140-145s	24	65,45	20,2	72,55	24,7	0,28
% 145-150s	24	68,29	23,5	69,41	27,2	0,88
% 150-155s	24	70,63	29,9	71,99	25,8	0,87
% 155-160s	24	73,98	36,4	78,71	26,8	0,61
% 160-165s	24	75,06	36,4	81,49	27,6	0,49
% 165-170s	24	78,98	35,0	80,56	27,0	0,86
% 170-175s	24	81,77	37,6	76,78	30,1	0,61
% 175-180s	24	79,91	36,0	81,82	33,0	0,85
% 180-185s	24	80,51	33,9	81,79	30,5	0,89
% 185-190s	24	76,15	33,0	84,31	28,4	0,36
% 190-195s	24	76,88	34,3	89,74	34,3	0,20
% 195-200s	24	76,42	39,7	91,51	37,8	0,18
% 200-205s	24	75,91	40,9	88,99	32,0	0,22
% 205-210s	24	72,52	32,5	75,58	22,9	0,71
% 210-215s	24	69,90	30,2	73,11	26,7	0,70
% 215-220s	24	72,62	34,0	77,55	31,1	0,60
% 220-225s	24	75,30	36,7	79,50	33,1	0,68
% 225-230s	24	77,87	46,3	73,69	25,0	0,70
% 230-235s	24	73,94	41,0	72,72	19,6	0,90
% 235-240s	24	74,38	35,9	71,57	21,5	0,74
% 0-30s	24	73,82	24,9	77,55	19,4	0,57
% 30-240s	24	72,99	29,0	77,82	21,7	0,52
% 0-240s	24	73,09	28,0	77,77	20,8	0,51

Tab. 26: Messwerte des **EMG**, Geräuschpaar **P11-P12**, Ausfallstraßen, 4-spurig, 3000 Kfz/h (AM = Mittelwert; S = Standardabweichung)

Zeit Intervall	N	P11 AM	P11 S	P12 AM	P12 S	p =
% 0-5s	24	108,26	29,8	119,80	49,1	0,33
% 5-10s	24	101,81	13,7	115,27	49,0	0,20
% 10-15s	24	99,78	5,6	103,86	20,1	0,34
% 15-20s	24	100,57	7,0	111,63	42,6	0,22
% 20-25s	24	98,84	7,8	100,21	14,6	0,69
% 25-30s	24	100,91	9,7	101,74	14,3	0,82
% 30-35s	24	98,31	8,7	101,62	12,9	0,30
% 35-40s	24	99,43	9,5	102,31	15,1	0,43
% 40-45s	24	100,41	8,5	101,01	14,0	0,86
% 45-50s	24	101,69	8,0	102,61	16,7	0,81
% 50-55s	24	101,59	8,1	101,62	15,8	0,99
% 55-60s	24	101,91	11,7	100,15	15,3	0,66
% 60-65s	24	103,95	13,6	99,96	12,6	0,30
% 65-70s	24	102,30	14,2	104,10	15,4	0,68
% 70-75s	24	104,69	14,9	98,76	11,0	0,12
% 75-80s	24	103,25	14,6	96,48	11,4	0,08
% 80-85s	24	102,82	10,6	98,19	13,1	0,19
% 85-90s	24	100,42	7,9	96,94	13,4	0,28
% 90-95s	24	99,20	6,5	96,50	13,3	0,38
% 95-100s	24	102,08	10,9	95,80	14,9	0,10
% 100-105s	24	102,66	8,5	113,46	27,1	0,07
% 105-110s	24	104,51	9,6	107,64	22,1	0,53
% 110-115s	24	106,00	14,1	104,37	16,3	0,71
% 115-120s	24	107,28	14,5	109,49	18,9	0,65
% 120-125s	24	104,44	15,5	108,82	17,5	0,36
% 125-130s	24	103,96	16,9	113,43	23,2	0,11
% 130-135s	24	104,90	17,6	104,12	11,0	0,86
% 135-140s	24	105,16	20,7	101,47	10,4	0,44
% 140-145s	24	106,52	22,0	103,57	15,0	0,59
% 145-150s	24	107,78	22,0	101,07	13,4	0,21
% 150-155s	24	108,40	20,7	99,30	13,5	0,08
% 155-160s	24	105,15	19,9	94,47	12,6	0,03
% 160-165s	24	104,50	19,9	93,04	14,5	0,03
% 165-170s	24	102,45	19,9	94,35	13,5	0,11
% 170-175s	24	103,41	19,8	96,22	12,8	0,14
% 175-180s	24	104,93	19,9	100,21	14,6	0,35
% 180-185s	24	106,06	20,6	96,02	12,2	0,05
% 185-190s	24	105,89	22,5	96,86	11,6	0,09
% 190-195s	24	107,52	23,7	97,74	12,9	0,08
% 195-200s	24	108,73	23,2	99,04	9,2	0,06
% 200-205s	24	108,08	20,6	101,18	14,9	0,19
% 205-210s	24	106,52	17,0	100,96	13,0	0,21
% 210-215s	24	105,43	16,4	107,04	19,1	0,76
% 215-220s	24	106,53	13,2	104,90	14,2	0,68
% 220-225s	24	103,75	13,1	110,27	20,6	0,20
% 225-230s	24	103,44	12,2	107,81	21,0	0,38
% 230-235s	24	103,48	12,0	115,14	32,6	0,11
% 235-240s	24	102,57	11,6	102,32	19,8	0,96
% 0-30s	24	101,62	7,3	108,93	27,1	0,21
% 30-240s	24	104,10	10,8	101,88	10,8	0,48
% 0-240s	24	103,79	9,6	102,74	10,7	0,72

Glossar

AI

Der Articulation Index wurde von den Bell Telephone Laboratories 1940 entwickelt, einer der frühesten Versuche um ein maschinelles Maßsystem für die Verständlichkeit der Sprache zu finden. Er basiert auf der Idee, dass die Antwort Sprachlicher Kommunikationssysteme in 20 Frequenzbänder aufgeteilt werden kann, wobei jedes unabhängig seinen Beitrag zur Verständlichkeit leistet und alle Beiträge zusammen in der Summe ein individuelles Band darstellen. Der Articulation Index variiert von 0=0% (absolut unverständlich) bis 1=100% (perfekte Verständlichkeit). Ein Articulation Index unter 0.3=30% ist unbefriedigend, 0.3-0.5=30%-50% befriedigend, 0.5-0.7=50%-70% gut und von 0.7-1=70%-100% besser bis hervorragend.

dB

Das "Dezibel" (engl. = decibel) ist der zehnte Teil eines Bels (benannt nach Alexander Graham Bell) der Zahlenwert ist ein Zehntel des dekadischen Logarithmus' eines Verhältnisses ist also 1/10 Bel.

SPL

(engl.= "sound pressure level")

Der Schalldruckpegel SPL (eine Schallfeldgröße) beschreibt die Stärke (Amplitude) eines Schallereignisses im Vergleich zum Bezugspegel von 0 dB.

Hertz

Die Drehzahl Hertz (Kurzzeichen Hz) ist die SI-Einheit für die Frequenz. (benannt nach dem deutschen Physiker Heinrich Rudolf Hertz) Das Hertz gibt die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde an.

L_{Am}

A-bewerteter Mittelungspegel. Bezeichnung für einen Schalldruckpegel konstanter Größe, der einem über die Zeit schwankenden Schalldruckpegelverlauf entspricht. Man errechnet den Dauerschallpegel über einen mathematischen Mittelungsvorgang.

(L_{Aeq} = energieäquivalenter Mittelungspegel)

Likertskala

Rensis Likert führte die Likertskala 1932 für die Felderhebung in der Einstellungsforschung ein. Hierbei wird das Maß der Zustimmung, bzw. Ablehnung, durch die Befragten selbst gewichtet. Bei numerischen Likertskalen sind nur die Endpunkte verbalisiert und die restlichen Werte durch Zahlen repräsentiert.

Loudness

Die Loudness (Lautheit) ist die Bezeichnung für die Intensität einer Schallwahrnehmung. Die Loudness wird in Phon gemessen. Loudness wird definiert nach dem Weber-Fechner-Gesetz. Sie ist eine Funktion der Schallempfindlichkeit des Ohres im jeweiligen Frequenzbereich. Die untere Hörgrenze liegt zwischen 0 und 1 Phon, die obere Hörgrenze bei 130 Phon. Stärkere Geräusche werden als Schmerz wahrgenommen und können bei längerer Einwirkungsdauer zu Hörschäden führen. Die Lautheit 1 Sone hat einen Ton der Lautstärke 40 Phon, 100 Sone haben einen Ton der Lautstärke 100 Phon. Da das Phon nur durch subjektiven Hörvergleich bestimmt werden kann, wird heute international das Dezibel (dB) als Einheit des Schallpegels empfohlen.

Signifikanz

In der Hypothesenprüfung der Inferenzstatistik geht es um die Prüfung, ob der mit Hilfe einer Stichprobe gefundene Wert durch Zufall zu Stande gekommen ist oder, ob er einen wahren Wert in der Grundgesamtheit repräsentiert. In der Statistik heißen Ergebnisse signifikant, wenn es unwahrscheinlich ist, dass sie durch Zufall zustande gekommen sind. Bei dieser Arbeit sind Werte gleich und unterhalb von 0.05 im statistischen Sinne signifikant.

t-Test

Der t-Test ist ein Verfahren aus der empirischen Sozialforschung zur statistischen Hypothesenprüfung zum Vergleich der Mittelwerte zweier unabhängiger Stichproben aus normal verteilten Grundgesamtheiten.

Wilcoxon-Test

Der Wilcoxon-Test wird auch matched pairs signed ranks test genannt. Er wird gerne als Alternative zu dem gepaarten t-Test verwendet, da für die Anwendung keine Verteilungsvoraussetzungen erfüllt sein müssen (non-parametrisches Verfahren). Er eignet sich besonders für den Vergleich von Werten, die wiederholt an denselben Probanden erhoben wurden. Die Absolutwerte der Differenzen werden in eine Rangfolge gebracht. Aus den Rängen der Differenzen werden Rangsummen für die (ursprünglich) positiven und negativen Werte gebildet. Die Summen der Ränge der werden miteinander verglichen.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: EMG-Registrierkurve (A = Anspannung E = Entspannung).....	11
Abb. 2: Pulsoximeter.....	18
Abb. 3: Position der Elektroden bei EMG-Ableitung vom Unterarm	20
Abb. 4: Fragen zur subjektiven Geräuschbewertung und Situationseinschätzung.....	21
Abb. 5: Zeitplan des experimentellen Versuchsablaufs.....	23
Abb. 6: Rue de la Roquette, einseitige Bebauung, Verkehrsaufkommen 750 Kfz/h (P8).....	25
Abb. 7: Rue de la Tombe d'Issoire, beidseitige Bebauung, Verkehrsaufkommen 750 Kfz/h (P7)	25
Abb. 8: Prozentuale Veränderung der FPA während 4-min. Beschallung mit Verkehrsgerauschen von zwei Stadtstraßen mit wenig Verkehr (750 Kfz/h). Straßenbebauung einseitig (P8) vs. beidseitig (P7).	26
Abb. 9: Prozentuale Veränderung des EMG während 4-min. Beschallung mit Verkehrsgerauschen von zwei Stadtstraßen mit wenig Verkehr (750 Kfz/h). Straßenbebauung einseitig (P8) vs. beidseitig (P7)	27
Abb. 10: Place du Colonel Bourgoïn, Kreisverkehr, Verkehrsaufkommen 1200 Kfz/h (P21).	30
Abb. 11: Kreuzung Rue Faidherbe / Rue Chaligny, mit Ampelanlage, Verkehrsauf- kommen 1200 Kfz/h (P20).....	30

Abb. 12: Verlauf der FPA während 4 Min. Verkehrslärm von einer Kreuzung mit Ampelanlage (P20) bzw. von einem Kreisverkehr (P21), mittleres Verkehrsaufkommen 1200 Kfz/h.....	31
Abb. 13: Prozentuale Veränderung des EMG während 4 Min. Verkehrslärm von einer Kreuzung mit Ampelanlage (P20) bzw. von einem Kreisverkehr (P21), mittleres Verkehrsaufkommen 1200 Kfz/h.....	32
Abb. 14: Quai des Célestins, 4-spurige Pariser Stadtstraße, einseitige Bebauung, Verkehrsaufkommen 3000 Kfz/h (P1).....	35
Abb. 15: Avenue du Général Leclerc, 4-spurige Pariser Stadtstraße, beidseitige Bebauung, Verkehrsaufkommen 3000 Kfz/h (P17).....	35
Abb. 16: Prozentuale Veränderung der Fingerpulsamplitude während 4 Min. Verkehrslärm von zwei Stadtstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (3000 Kfz/h), Straßenbebauung einseitig (P1) vs. beidseitig (P17).....	36
Abb. 17: Prozentuale Veränderung des EMG während 4 Min. Verkehrslärm von zwei Stadtstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (3000 Kfz/h), Straßenbebauung einseitig (P1) vs. beidseitig (P17).....	38
Abb. 18: Ville du Bois / Parking Amarine, 4-spurige Ausfallstraße, freies Feld, Verkehrsaufkommen 3000 Kfz/h (P11).....	40
Abb. 19: Ville du Bois, 4-spurige Ausfallstraße, mit Bebauung, Verkehrsaufkommen 3000 Kfz/h (P12)	40
Abb. 20: Prozentuale Veränderung der Fingerpulsamplitude während 4 Min. Verkehrslärm von zwei Ausfallstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (3000 Kfz/h), Straßenumgebung freies Feld (P11) vs. lockere Bebauung (P12)	41
Abb. 21: Prozentuale Veränderung des EMG während 4 Min. Verkehrslärm von zwei Ausfallstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (3000 Kfz/h), Straßenumgebung freies Feld (P11) vs. lockere Bebauung (P12)	43

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Experimentelle Blöcke	14
Tab. 2: Balancierte Sequenzen A-D.....	15
<u>Tab. 3: Überblick über die endgültige Reihenfolge der Geräusche</u>	<u>14</u>
Tab. 4: Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen der FPA (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test) während 4-minütiger Beschallung mit Verkehrsgläuschen von zwei Stadtstraßen mit wenig Verkehr (750 Kfz/h). Straßenbebauung einseitig (P8) vs. beidseitig (P7).....	27
Tab. 5: Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen des EMG (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test) während 4-minütiger Beschallung mit Verkehrsgläuschen von zwei Stadtstraßen mit wenig Verkehr (750 Kfz/h). Straßenbebauung einseitig (P8) vs. beidseitig (P7)	28
Tab. 6: Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung während 4-min Verkehrsgläuschen von zwei Stadtstraßen mit wenig Verkehr (750 Kfz/h), Straßenbebauung einseitig (P8) vs. beidseitig (P7), (AM= Mittelwert, s = Standardabweichung, p = Signifikanz im Wilcoxon-Test).....	28
Tab. 7: Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen der FPA während 4 Min. Verkehrslärm von einer Kreuzung mit Ampelanlage (P20) bzw. von einem Kreisverkehr (P21), mittleres Verkehrsaufkommen 1200 Kfz/h.....	32
Tab. 8: Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen des EMG während 4 Min. Verkehrslärm von einer Kreuzung mit Ampelanlage (P20) bzw. von einem Kreisverkehr (P21), mittleres Verkehrsaufkommen 1200 Kfz/h.....	33
Tab. 9: Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung während 4 Min. Verkehrslärm von einer Kreuzung mit Ampelanlage (P20) bzw. von einem Kreisverkehr (P21), mittleres Verkehrsaufkommen 1200 Kfz/h, (AM= Mittelwert, s = Standardabweichung, p = Signifikanz im Wilcoxon-Test).....	33

Tab. 10: Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen der FPA (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test) während 4-minütiger Beschallung mit Verkehrsgläuschen von 4-spurigen Stadtstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (P1-P17).37

Tab. 11: Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen des EMG während 4 Min. Verkehrslärm von zwei Stadtstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (3000 Kfz/h), Straßenbebauung einseitig (P1) vs. beidseitig (P17) (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test).....38

Tab. 12: Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung während 4 Min. Verkehrslärm von zwei Stadtstraßen mit hoher Verkehrsdichte (3000 Kfz/h). Straßenbebauung einseitig (P1) vs. beidseitig (P17) (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test)39

Tab. 13: Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen der FPA während 4-minütiger Beschallung mit Verkehrsgläuschen von zwei Ausfallstraßen mit hoher Verkehrsdichte: freies Feld (P11) vs. Bebauung (P12) (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test)42

Tab. 14: Vergleich von ausgewählten Zeitintervallen des EMG während 4-minütiger Beschallung mit Verkehrsgläuschen von zwei Ausfallstraßen mit hoher Verkehrsdichte: freies Feld (P11) vs. Bebauung (P12) (Mittelwert, Standardabweichung, Signifikanz mittels t-Test)43

Tab. 15: Subjektive Geräuschbewertung und Situationseinschätzung während 4 Min. Verkehrslärm von zwei 4-spurigen Ausfallstraßen mit hoher Verkehrsdichte (3000 Kfz/h), freies Feld (P11) im Vergleich zu aufgelockerter Bebauung (P12) (AM= Mittelwert, s = Standardabweichung, p= Signifikanz im Wilcoxon-Test).....44

Tab. 16: Überblick über alle 8 Geräusche bei der subjektiven Geräuschbewertung und Situationseinschätzung, dargestellt in der Rangreihenfolge von Rangplatz 1: am meisten „negativ“ bis Rangplatz 8: am wenigsten „negativ“46

Tab. 17: Vergleichender Überblick über alle Geräusche mit den dazugehörigen gewichteten Ergebnissen der physiologischen und psychologischen Parameter.....47

Tab. 18: Zusammenhang mit akustischen Kenngrößen.	49
Tab. 19: Messwerte der FPA Geräuschpaar P8-P7 , Stadtstraßen, 2-spurig, 750Kfz/h.....	57
Tab. 20: Messwerte des EMG Geräuschpaar P8-P7 , Stadtstraßen, 2-spurig, 750Kfz/h.....	58
Tab. 21: Messwerte der FPA Geräuschpaar P20-P21 , Ampelkreuzung/Kreisverkehr, 1200Kfz/h.	59
Tab. 22: Messwerte des EMG Geräuschpaar P20-P21 , Ampelkreuzung/Kreisverkehr, 1200Kfz/h.	60
Tab. 23: Messwerte der FPA Geräuschpaar P1-P17 , Stadtstraßen, 4-spurig, 3000 Kfz/h.....	61
Tab. 24: Messwerte des EMG Geräuschpaar P1-P17 , Stadtstraßen, 4-spurig, 3000 Kfz/h.	62
Tab. 25: Messwerte der FPA Geräuschpaar P11-P12 , Ausfallstraßen, 4-spurig, 3000 Kfz/h.	63
Tab. 26: Messwerte der EMG Geräuschpaar P11-P12 , Ausfallstraßen, 4-spurig, 3000 Kfz/h.	64

Lebenslauf

Gregor Stefan Zodrow
Lichtstraße 37
40235 Düsseldorf
Tel.:0211/689723

Geburtsdatum: 08.04.1973

Geburtsort: Düsseldorf

Eltern: Zodrow, Rudolf, Konstrukteur
Zodrow, Margret geb. Beersma, Kontoristin
Zwei Brüder

Staatsangehörigkeit: Deutsch

Religion: Röm.-kath.

Famlienstand: Ledig

Schul Ausbildung: 1979 - 1983 Montessori Grundschule
1983 - 1989 Realschule Schlüterstraße
1989 - 1991 Gymnasium Rückertstraße
1991 - 1993 Georg-Büchner-Gymnasium

Schulabschluss: Allgemeine Hochschulreife (Abitur)

Wehr- oder Zivildienst: Als dritter Sohn vom Dienst freigestellt.

Weiterbildung: 16.08.93 - 16.09.93
Krankenpflegedienst Praktikum Marien-Hospital Düsseldorf

01.12.93 - 30.06.94
Mitarbeiter im Pflegedienst des
St. Josef-Hospitals Neuss

01.11.94 - 20.03.96
Heilpraktikerausbildung an der Deutschen
Paracelsus Schule für Naturheilverfahren

SS 96: Studium der Medizin an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
SS 99: Ärztliche Vorprüfung
SS 00: 1. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
SS 03: 2. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
SS 05: 3. Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

ABSTRACT

Psychophysiologische Bewertung von Verkehrsgeräuschen anhand von Fingerpulsamplitude und Elektromyogramm sowie subjektiver Beurteilung

Das Konzept der Geräuschqualität ist in den vergangenen Jahren mit großem Erfolg für die Verbesserung der akustischen Situation in Pkw-Innenräumen angewandt worden. In Anbetracht der erheblichen Belästigung der Bevölkerung durch Verkehrslärm stellt sich die Frage, ob sich Verbesserungen der Geräuschqualität auch für Kfz-Außengeräusche erzielen lassen. Mit der vorliegenden Arbeit, die im Rahmen des europäischen Verbundprojektes SVEN (Sound quality of Vehicle Exterior Noise) durchgeführt wurde, wird untersucht, ob sich die erlebte Geräuschqualität von Straßenverkehrsgeräuschen anhand von Fingerpulsamplitude und Elektromyogramm sowie subjektiver Bewertung zuverlässig erfassen lässt. In der schallarmen Kammer des Instituts für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin wurden im Rahmen eines Laborexperiments 24 männlichen Probanden 8 Aufnahmen von alltäglichen Straßenverkehrssituationen paarweise dargeboten. Dabei handelte es sich um jeweils 4-minütige Aufnahmen von Pariser Stadtstraßen, die nach Kriterien wie Fahrzeugaufkommen pro Stunde, durchschnittlichem Fahrtempo, Kontinuität des Verkehrs und Art der Bebauung ausgewählt worden waren. Während der Beschallung wurden verschiedene physiologische Reaktionsparameter aufgezeichnet, von denen Fingerpulsamplitude und Elektromyogramm für diese Arbeit ausgewertet wurden. Außerdem wurde mit verschiedenen Fragebögen die subjektive Bewertung der gehörten Straßenverkehrsgeräusche erfasst.

Obwohl die Lautstärke aller Aufnahmen auf einen energieäquivalenten Mittelungspegel L_{eq} von etwa 83 dB(A) angeglichen wurde, zeigten sich im paarweisen Vergleich ähnlicher Verkehrssituationen (z. B. zwei Straßen mit gleicher Verkehrsdichte, aber unterschiedlicher Bebauung oder zwei Straßenkreuzungen mit Verkehrsampel vs. Kreisverkehr) deutliche Unterschiede in den physiologischen und gleichzeitig in den subjektiven Reaktionen auf die Geräusche. Zwischen den physiologischen Messungen und erfragten Bewertungen ergaben sich insgesamt gute Übereinstimmungen. Daraus lässt sich schließen, dass die physiologischen Maße als reliable Indikatoren des Aktivationslevels des ZNS anzusehen sind. Die Ergebnisse der physiologischen und subjektiven Parameter sind zueinander kongruent, so dass sich beide Messbereiche gegenseitig validieren. Inwieweit sich mit diesen Methoden auch differenzierte Aussagen zu bestimmten Reaktionsmustern auf spezifische Pkw-Geräusche machen lassen und ob sich solche „Geräuschprofile“ plausibel mit akustischen Deskriptoren verbinden lassen, wird in nachfolgenden Versuchsserien untersucht.

DANKSAGUNG:

Ich danke Frau Professor Schwarze für ihre engagierte Begleitung dieser Arbeit.

Ich danke allen Mitarbeitern des Instituts für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin, die an dem Projekt SVEN mitgearbeitet haben:

Herrn Dipl.-Psych. Gert Notbohm,

Herrn Dipl.-Psych. Detlef Bleyl,

Frau Dr. phil. Claudia Gärtner,

Frau Sonja Losberg,

den Kollegen Herrn Schönewolf und Herrn Talimi.

Ich danke auch meinen Eltern, der ganzen Familie, besonders meinem Bruder Martin und allen Freunden und Freundinnen für ihre Unterstützung.