

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

**- Geräuschqualität von Straßenverkehrslärm -
Möglichkeiten der psychophysiologischen Bewertung anhand von Herz-
frequenz und Hautleitfähigkeit sowie subjektiver Einschätzung**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

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

Jan Schönewolf

2006

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

gez.: Univ.-Prof. Dr. Dr. B. Nürnberg
Dekan

Referentin: Prof. Dr. S. Schwarze
Korreferent: em. Univ.-Prof. Dr. Dr. G. Jansen

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	5
2. Lärm und seine Wirkungen	7
2.1 Definitionen von Lärm	7
3. Fragestellung	10
4. Methoden	11
4.1 Hautleitfähigkeit	11
4.2 Herzfrequenz	13
4.3 Definition und Klassifikation der Schallreize	14
4.4 Versuchsaufbau	15
4.5 Subjektive Bewertung der Geräusche	16
4.6 Auswahl der Probanden	17
4.7 Voruntersuchung	17
4.8 Versuchsdurchführung	17
4.9 Analyse des Datenmaterials	20
5. Ergebnisse	23
5.1 Prüfung der Sensitivität der verwendeten Parameter als Indikator der physiologischen Reaktion auf Straßenverkehrsgeräusche	23
5.1.1 Reaktion der Herzfrequenz auf Straßenverkehrsgeräusche	23
5.1.2 Reaktion der Hautleitfähigkeit auf Straßenverkehrsgeräusche	24
5.2 Block D: Zweispurige Stadtstraßen mit niedriger Verkehrslast (750 Kfz/h), einseitig (8) vs. beidseitig (7) bebaut	24
5.2.1 Herzfrequenz	26
5.2.2 Hautleitfähigkeit	28
5.2.3 Subjektive Geräuschbewertung im paarweisen Vergleich	30
5.2.4 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse im Block D	31
5.3 Block A: Vierspurige Stadtstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h), einseitig (1) vs. beidseitig (17) bebaut	32
5.3.1 Herzfrequenz	34
5.3.2 Hautleitfähigkeit	35
5.3.3 Subjektive Geräuschbewertung im paarweisen Vergleich	38
5.3.4 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse im Block A	39

5.4	Block B: Vierspurige Ausfallstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h, 70 km/h), freies Feld (11) vs. lockere Bebauung (12)	40
5.4.1	Herzfrequenz	42
5.4.2	Hautleitfähigkeit	44
5.4.3	Subjektive Geräuschbewertung im paarweisen Vergleich	46
5.4.4	Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse im Block B	47
5.5	Block C: Zweispurige Stadtstraßen mit mittlerer Verkehrslast (1200 Kfz/h) und unterschiedlicher Verkehrsregulierung: Ampelkreuzung (20) vs. Kreisverkehr (21)	48
5.5.1	Herzfrequenz	50
5.5.2	Hautleitfähigkeit	51
5.5.3	Subjektive Geräuschbewertung im paarweisen Vergleich	52
5.5.4	Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse im Block C	53
6.	Diskussion	55
6.1	Kritische Wertung der physiologischen Parameter	55
6.2	Kritische Wertung der Erfassung der subjektiven Geräuschbewertung	57
6.3	Gesamtschau der Ergebnisse	58
6.3.1	Vergleich von Stadtstraßen mit einseitiger bzw. beidseitiger Bebauung	58
6.3.2	Vergleich von Ausfallstraßen	59
6.3.3	Vergleich von Straßen mit unterschiedlicher Verkehrsregulierung	60
6.4	Abschließende Beurteilung der Wertigkeit der Ergebnisse	60
7.	Zusammenfassung	62
8.	Literaturverzeichnis	63
9.	Anhang	66
9.1	Fragebogen „Paarvergleich“	66
9.2	Detaillierte Ergebnisse der Vergleiche der physiologischen Reaktionen für die einzelnen Geräuschpaare	67
	Lebenslauf	78
	Abstract	80

1. Einleitung

Die Belastung durch Verkehrslärm ist ein zunehmendes Problem unserer „mobilen“ Gesellschaft. Sowohl der Individualverkehr als auch der Schwerlastverkehr nehmen immer mehr zu. Die Hoffnung, dass entscheidende Anteile des Lastverkehrs auf die Schiene verlagert werden, erfüllt sich leider nicht.

Mit steigendem Umweltbewusstsein und dem Wissen über die gesundheitsschädigende Wirkung von Lärm gewinnt die Bekämpfung des Umweltlärms - hier vor allem des Straßenverkehrslärms - immer mehr an Bedeutung. So wurden zwar auf der Immissionsseite zahlreiche Lärmschutzmaßnahmen wie Lärmschutzwände an Autobahnen, nächtliche Geschwindigkeitsbegrenzungen, Verkehrsberuhigung etc. realisiert und auch durch technischen Fortschritt die Emissionen der einzelnen Schallquellen immer weiter reduziert. Dennoch steigt z. B. die Zahl der Kraftfahrzeuge weiter und mit ihr – trotz Schallpegelminderung am einzelnen Fahrzeug – auch die Lärmbelästigung. Dies lässt sich mit den Ergebnissen der Umfragen des Umweltbundesamtes belegen (Ortscheid & Wende 2002). Rund 2/3 der Bevölkerung fühlten sich in dieser Umfrage durch Straßenverkehr belästigt, knapp 20 % sogar sehr.

In der neuesten Studie des Umweltbundesamtes findet sich im Vergleich zu den früheren Untersuchungen ein Rückgang der Belästigung für den Straßenverkehr (Ortscheid & Wende 2006). Dies hängt jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit damit zusammen, dass sich die Stichprobe im Gegensatz zu früher wesentlich stärker aus Teilnehmern aus ländlichen Regionen zusammensetzte, so dass sich scheinbar eine Abnahme der Belästigung durch Straßenverkehrslärm ergibt. Immerhin geben auch in der neuesten Umfrage 60 % der Befragten an, sich durch Straßenverkehr belästigt zu fühlen, allerdings bezeichnen sich nur noch 10 % als stark belästigt

Die Automobilindustrie beschäftigt sich seit Jahrzehnten damit, die Geräuschemissionen ihrer Fahrzeuge zu verringern. Zunächst stand die Reduktion des Schallpegels im Fahrzeuginnenraum im Mittelpunkt, später kamen akustische Faktoren ins Spiel, die zunehmend die Wahrnehmung der Geräusche und das subjektive Wohlbefinden der Fahrzeuginsassen mitberücksichtigten (Schick 1994). Vor allem in Japan wurde dieser Aspekt ab Mitte der achtziger Jahre intensiv erforscht (Hashimoto 1994). Mitt-

lerweile ist die Geräuschqualität im Fahrzeuginnenraum essentieller Bestandteil der Konstruktion neuer Kraftfahrzeuge.

Im Rahmen eines von der Europäischen Union geförderten Verbundprojektes wurde ein neuer Ansatz zur Verminderung der Lärmbelästigung in Angriff genommen. Mit dem Projekt **SVEN** (**S**ound Quality of **V**ehicle **E**xterior **N**oise, Projekt No. G6RD-CT-1999-00113), an dem insgesamt acht europäische Projektpartner aus den unterschiedlichsten Bereichen (Akustik, Messtechnik, Automobilbranche, physiologische und psychologische Lärmwirkungsforschung) beteiligt waren, wurde der bisher beschrittene Weg der vornehmlichen Reduktion des Schallpegels verlassen. Stattdessen wurde nach Möglichkeiten gesucht, Geräuscheigenschaften, die diese besonders qualifizieren, zu identifizieren. Insbesondere sollte geprüft werden, ob und inwieweit sich das Konzept der „Sound Quality“, welches bisher für Geräusche im PKW-Innenraum angewendet wurde, auch für die Optimierung von PKW-Außengeräuschen nutzen lässt.

Die Aufgabe des Instituts für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der HHU-Düsseldorf bestand in diesem Verbundprojekt insbesondere darin, nach adäquaten psychophysiologischen Deskriptoren der wahrgenommenen Qualität von Geräuschen zu suchen, da diese die Voraussetzung für die wirkungsbezogene Beurteilung der Geräusche darstellen. Insgesamt wurden im Rahmen des SVEN-Projekts drei Versuchsreihen durchgeführt. In der ersten Versuchsreihe wurden verkehrstechnische Variablen wie Fahrzeugaufkommen pro Stunde, Verkehrsregulierung, höchstzulässige Geschwindigkeit oder Bebauungstyp variiert. In der zweiten Versuchsreihe wurde die Wirkung von verschiedenen PKW-Typen untersucht. In der dritten Reihe wurden technische Variationen simuliert und Unterschiede in der Lautstärke geprüft.

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen der ersten Versuchsreihe. Neben verschiedenen Fragebogen zur subjektiven Beurteilung der Geräusche wurden vier verschiedene Parameter der physiologischen Reaktion registriert, von denen Hautleitfähigkeit und Herzfrequenz Gegenstand dieser Arbeit sind. Die Auswertung der beiden anderen Parameter – Elektromyogramm und Fingerpulsamplitude – ist in der Arbeit von Zodrow (2005) nachzulesen.

2. Lärm und seine Wirkungen

2.1 Definitionen von Lärm

Beschäftigt man sich mit der physikalischen Komponente von Lärm sollte zunächst ein Blick auf Schallphänomene im Allgemeinen geworfen werden. Das menschliche Gehör reagiert auf Luftschwingungen im Bereich von 16 Hz bis 20 kHz, sobald diese einen gewissen Schalldruck überschreiten (Hörschwelle). Der Schallpegel L hat die Maßeinheit Dezibel (dB) und beschreibt den Schalldruck auf einer logarithmischen Verhältnisskala, bezogen auf die menschliche Hörschwelle. Eine Erhöhung des Schallpegels um 10 dB wird vom Menschen als doppelt so laut empfunden.

Zusätzlich hängt die Wahrnehmung von Schall von seiner Frequenz ab. Sehr tiefe und sehr hohe Frequenzen werden vom menschlichen Gehör bei gleichem Schalldruck als leiser wahrgenommen als Frequenzen im Bereich von 1 bis 4 kHz (optimaler menschlicher Hörbereich). Zur Anpassung des technischen Messvorgangs an die menschliche Wahrnehmung sind verschiedene Bewertungsfilter eingeführt worden. Der gängigste ist heutzutage wohl der A-Filter, da er sowohl die Gehörschädlichkeit als auch die subjektive Empfindung am besten abbildet. Mit dem A-Filter gemessene Schallpegel werden als A-bewertet bezeichnet und erhalten die Kennzeichnung dB(A).

Lärm kann mannigfaltige körperliche Reaktionen auslösen. Er kann sowohl den Gehörapparat als auch den gesamten Organismus schädigen. Eine Schallbelastung von z. B. 90 dB(A) führt im Allgemeinen zu einer Überbelastung der Haarzellen, weil Energieabgabe und Restitution im Ungleichgewicht stehen. Subjektiv wird diese vorübergehende Schädigung der Haarzellen als „Vertäubung“ empfunden. Nach einer ausreichenden Ruhezeit verschwindet diese wieder (Jansen et al. 1999). Treten diese Vertäubungen über Jahre und Jahrzehnte immer wieder auf, und reicht die Ruhezeit nicht mehr aus, um die Haarzellen zu restituieren, werden die Haarzellen so stark geschädigt, dass sie zugrunde gehen. Die Vertäubung lässt sich schließlich nicht mehr aufheben. Es tritt eine sog. permanente Vertäubung ein, die klinisch als Lärmschwerhörigkeit bezeichnet wird. Mit steigendem Schallpegel steigt das Risiko einer Lärmschwerhörigkeit entsprechend an. Bei sehr hohen Pegeln reichen schon kurzfristige Belastungen (Minutenbereich), um dauerhafte Schäden hervorzurufen.

Aber auch geringere Schallpegel können schon als Beeinträchtigung von Gesundheit und Wohlbefinden wirken. Je nach Situation und Konstellation werden sie häufig als belästigend empfunden und können das vegetative und zentrale Nervensystem erregen. Da diese Reaktionen außerhalb des Ohres ablaufen, bezeichnet man sie als extraaurale Lärmwirkungen. Extraaurale Wirkungen sind zum Beispiel:

- Katecholaminausschüttung
- Vasokonstriktion
- Pupillenerweiterung
- Verringerung der Magensaft- und Speichelproduktion
- Veränderung der Hirnströme
- Erhöhung der Atem- und Herzfrequenz
- Anstieg der Hautleitfähigkeit

Die Beziehung zwischen Schallpegel und extraauralen Reaktionen ist allerdings nicht so eng wie bei den auralen Wirkungen. Offenbar gibt es weitere Einflussfaktoren, die aus dem physikalischen Ereignis „Schall“ das komplexe Konstrukt „Lärm“ machen. Was macht Schall nun zu Lärm? Guski sagt dazu (1987): „Lärm ist Schall, der für Betroffene unerwünscht oder geeignet ist, sie psychisch, physisch, sozial oder ökonomisch zu beeinträchtigen.“

Jansen und Notbohm (1994) beschreiben die Verknüpfung von Lärm mit akustischen Maßen als schwierig, weil „...es sich bei Lärm meist um Geräusche handelt, also um mehr oder minder komplizierte Mischungen beliebiger Einzelfrequenzen.“ Hierfür führen sie weitere physikalisch messbare Eigenschaften eines Schallreizes an, die Bedeutung für die Reaktion des Betroffenen haben können:

- Bandbreite und Frequenzspektrum eines Geräusches
- Zeitliche Struktur des Geräusches, d. h. kontinuierliches oder intermittierendes Auftreten, Regelmäßigkeit oder Unregelmäßigkeit des Einsetzens, Länge der Pausen zwischen Einzelgeräuschen, Häufigkeiten von Pegelspitzen, etc.
- Impuls- und Tonhaltigkeit, d. h. Herausragen plötzlich einsetzender Pegelspitzen oder besonders charakteristischer Frequenzen aus dem Geräuschgemisch

- Rauigkeit, Schärfe und andere Feincharakteristika eines Geräusches
- Ort und Zeit des Auftretens (inkl. der Ortsüblichkeit bzw. Auffälligkeit des Geräusches in der betroffenen Umgebung)

Ishiyama und Hashimoto (1998) konnten in Laborexperimenten nachweisen, dass bei der Geräuschqualität von Verkehrsgeräuschen vor allem Rauigkeit, Schärfe, Fluktuationsgrad und prozentualer Anteil hoher Frequenzen zur Belästigung von Versuchspersonen beitragen.

Schwarze (1991) weist darauf hin, dass der Lärmbegriff „...je nach Situation und Fachrichtung unterschiedlich gehandhabt wird“. Sie führt weiter aus: „In der Wissenschaft versucht man, Kriterien herauszuarbeiten, die dazu beitragen, dass physikalisch beschreibbare Schallvorgänge als Lärm bewertet werden, so dass Schall also erst dadurch zu Lärm wird, dass er abträgliche Wirkungen auf Lebewesen hat.“ Auch sie benennt einige auf das Schallereignis bezogene Variablen:

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

Darüber hinaus geht sie noch auf das unterschiedliche Lärmempfinden des Einzelnen ein, da nicht jeder Betroffene ein Geräusch- oder Lärmereignis auch gleich empfindet. Dabei werden folgende Variablen benannt:

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

Übereinstimmend weisen alle Autoren darauf hin, dass es nicht nur die auralen, sondern auch die extraauralen Wirkungen sind, denen bei der Betrachtung des Phänomens Lärm erhöhte Aufmerksamkeit zukommen sollte. So führt Lärm im Extremfall zu einer ausgeprägten Stresssituation mit der gesamten Bandbreite an vegetativen bzw. physiologischen Reaktionen (Anstieg der Herzfrequenz, Schweißausbruch, Blutdruckanstieg etc.) und kann so über längere Zeit zu Gesundheitsschäden führen. Die interindividuelle Varianz der psychophysiologischen Reaktionen auf gleichartige Geräusche lässt allerdings darauf schließen, dass neben den klassischen physikalischen Parametern wie Schallpegel, Tonalität, Impulshaltigkeit noch weitere Geräuscheigenschaften vorhanden sein müssen, die die psychophysiologische Wirkung determinieren und damit die Qualität eines Geräusches bestimmen. An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass der Begriff „sound quality“, so wie er im englischen Sprachraum für die Beschreibung der akustischen Umwelt verwendet wird, leider nur unzulänglich mit dem Begriff „Geräuschqualität“ ins Deutsche übersetzt wird. Das Wort „sound“ impliziert deutlich mehr Aspekte als das Wort „Geräusch“. Dies lässt sich z. B. schon daran erkennen, dass man von dem „sound“ einer Stereo-Anlage oder dem „sound“ eines Sportwagens spricht. Hier werden offenbar auch Geräuscheigenschaften angesprochen, die sehr stark mit der subjektiven Bewertung einer akustischen Situation und damit verbundenen Assoziationen in Zusammenhang stehen.

3. Fragestellung

Es soll die Frage beantwortet werden, ob sich bei physikalisch gleichlauten Geräuschen unterschiedliche physiologische Wirkungen identifizieren lassen, die mit unterschiedlicher Geräuschqualität in Zusammenhang gebracht werden können. Dazu werden in diesem Experiment Versuchspersonen mit Verkehrslärm beschallt. Gleichzeitig werden Parameter, die die physiologische Reaktion des Organismus auf diesen Stimulus widerspiegeln, registriert. Schließlich sollen die physiologischen Parameter mit subjektiven Bewertungen der Geräusche in Beziehung gesetzt werden, um zu überprüfen, ob diese die gemessene Tendenz bestätigen.

4. Methoden

4.1 Hautleitfähigkeit

Elektrodermale Phänomene dürften neben kardiovaskulären Parametern die größte Bedeutung in der Psychophysiologie haben. Sie haben sich in vielen Studien als verlässlicher Indikator physiologischer Prozesse bewährt, nicht zuletzt in der Reaktion von Versuchspersonen auf unterschiedliche Schallreize.

Um das Phänomen der elektrodermalen Aktivität besser zu verstehen, sollen die anatomischen bzw. physiologischen Gegebenheiten des „reagierenden“ Organs „Haut“ nachfolgend kurz umrissen werden. Man unterteilt die Haut grob in die sog. Epidermis (Oberhaut), die Dermis (Corium) und die Subcutis (Unterhaut). Die für die elektrodermale Aktivität wichtigste Hautschicht ist die Epidermis, die sich wiederum in fünf Schichten gliedert. Als oberste Schicht findet man das Stratum corneum, eine Schicht aus verhornten Epithelzellen, darunter das Stratum lucidum, das nur an Handflächen und Fußsohlen vorhanden ist und zusammen mit dem Stratum corneum eine wesentliche Rolle bei der Wasserregulation spielt. Dann folgt das Stratum granulosum, in dem die Keratinisierung (Verhornung) der Hautzellen, die später nach außen wandern, absterben und als Stratum corneum die Hornschicht bilden, stattfindet. Den Abschluss zur Dermis bilden das Stratum spinosum und das Stratum basale, zusammen auch Stratum germinativum genannt. Diese beiden Schichten sind verantwortlich für die Regeneration der Haut. Des Weiteren sorgen die hier liegenden Keratinozyten durch die trajektorielle Ausrichtung ihrer Tonofibrillen für Stabilität.

Für elektrodermale Phänomene ist die Tatsache entscheidend, dass die Epidermis wohl eine Art Barriere bildet, durch die Ionen nur sehr schlecht hindurchtreten können und die somit dem Stromfluss einen erheblichen Widerstand entgegensetzt. Die darunter liegenden Schichten Dermis und Subcutis sind beide relativ gute elektrische Leiter und spielen daher für elektrodermale Phänomene keine Rolle, abgesehen davon, dass die sekretorischen Anteile der Schweißdrüsen in der Subcutis bzw. am Übergang Subcutis / Cutis liegen und deren Ausführungsgänge durch sie hindurch Richtung Epidermis und von dort zur Oberfläche ziehen.

Die Schweißdrüse selbst ist eine unverzweigte tubulöse Drüse, die aus einem Endstück und einem Ausführungsgang besteht. Das Endstück ist zu einer Art „Knäuel“

aufgewickelt, das wie oben bereits erwähnt, an der Grenze von Cutis und Subcutis liegt. Es enthält zwei Arten von Zellen, dunkle Zellen mit ekkrinem Sekretionsmodus, und helle Zellen, die vor allem dem Ionen- und Wassertransport dienen. Von diesem Endstück aus wird der Schweiß, der im Übrigen ein Ultrafiltrat des Blutes ist, über den Ausführungsgang an die Oberfläche befördert. Der Ausführungsgang besteht aus einem zweischichtigen kubischen Epithel, das der Natriumrückresorption dient. Die Endstrecke im Bereich der Epidermis ist korkenzieherartig geschlängelt und hat keine eigenen Wandzellen mehr. Die Regulation der Schweißdrüsen erfolgt sympathisch, wobei zu beachten ist, dass die postganglionäre Überträgersubstanz Acetylcholin ist. Bei den hier beschriebenen Schweißdrüsen handelt es sich um ekkrine Drüsen, die der Wärmeregulierung und der Ausscheidung von Stoffen dienen. Die hormonell gesteuerten apokrinen Schweißdrüsen oder auch Duftdrüsen sind für die Erfassung elektrodermalen Phänomene ungeeignet.

Auch wenn die physiologischen Abläufe elektrodermalen Phänomene noch nicht restlos aufgeklärt sind, geht man davon aus, dass die Schweißdrüsen eine tragende Rolle spielen (Boucsein 1988). Gestützt wird diese Aussage unter anderem durch den Nachweis fehlender Hautleitfähigkeitsreaktionen bei Menschen, die von Geburt an keine Schweißdrüsen besitzen. Schandry (1996) merkt dazu an, dass die Hautleitfähigkeit nachgewiesenermaßen an Stellen mit vielen Schweißdrüsen am größten ist, sprich an Handflächen und Fußsohlen. Eine Ausschaltung der Hautinnervation (z. B. durch Atropin) führt zu einem Ausbleiben der Hautleitfähigkeitsreaktion.

Nun wäre es ein Leichtes, den Schweiß als guten Leiter für den Anstieg der Leitfähigkeit verantwortlich zu machen. Es hat sich aber gezeigt, dass deren Anstieg bereits ca. eine Sekunde vor einer messbaren Zunahme der Hautfeuchtigkeit erfolgt. Es müssen also noch andere Phänomene eine Rolle spielen. Möglicherweise ist auch die Durchlässigkeit für Wasser der Schweißdrüsengänge im Bereich des Corneum bedeutsam (Schandry 1996).

Darüber hinaus ist auch die zentralnervöse Beteiligung elektrodermalen Reaktionen noch nicht restlos aufgeklärt. Als sicher gilt jedoch eine Beteiligung von Teilen des Rückenmarks, der *Formatio reticularis*, des limbischen Systems, des Hypothalamus und des Cortex, - hier vor allem der frontotemporalen Region, die eine wesentliche

Bedeutung für motivationale Prozesse hat, die auch bei elektrodermalen Reaktionen eine große Rolle zu spielen scheinen (Schandry 1996; Zilles und Rehkämper 1994)

4.2 Herzfrequenz

Die Zahl der Schläge des Herzens pro Minute (Herzfrequenz) ist in der Stressforschung wohl immer noch der am häufigsten verwendete Indikator zur Erfassung sympathischer Aktivierung, da fast jede psychische und /oder physische Anforderung mit einer Herzfrequenzänderung einhergeht. Die Herzfrequenz unterliegt dabei u. a. sowohl sympathischen als auch parasympathischen Einflüssen. Unter Ruhebedingungen überwiegt der parasympathische Einfluss über kardiale Anteile des Nervus vagus. Bei Stress bzw. Belastung nimmt die Sympathikus-Aktivität zu und der Vagus-Tonus wird gedämpft. Es kommt zu einer Akzeleration der Herzfrequenz. Im ZNS sind das Vasomotoren-Zentrum und der dorsale motorische Vagus Kern, die beide in der Medulla oblongata liegen, für die Regulierung der Herzfrequenz zuständig. Sie empfangen sowohl Impulse von peripheren Rezeptoren als auch von übergeordneten zentralnervösen Zentren, vor allem dem Hypothalamus (Schandry 1996).

Zur Erfassung der Herzfrequenz wurde in diesem Experiment die Methode der Fingerplethysmographie verwendet, ein in der Psychophysiologie seit Beginn der Stressforschung äußerst beliebtes Verfahren. Da die photoplethysmographischen Aufnehmer sehr klein sind, lassen sie sich an vielen Stellen des Körpers anbringen, ohne die Versuchsperson zu behindern oder zu stören.

Das Prinzip photoplethysmographischer Messungen beruht auf der unterschiedlichen Lichtdurchlässigkeit von stark und weniger stark durchblutetem Gewebe für rotes Licht. Bestrahlt man ein gut durchblutetes Gewebe mit rotem bis infrarotem Licht, führt dies zu einer starken Streuung der Lichtstrahlen beim Auftreffen auf Partikel (hauptsächlich Erythrozyten), die sich im Blut befinden, dadurch kommt es zu hohen Intensitätsverlusten. Bringt man nun, wie in diesem Fall, auf der Oberseite eines Fingers eine Strahlungsquelle auf und an der Unterseite einen Photodetektor, wird man feststellen, dass bei hoher Durchblutung weniger Licht aufgefangen wird als bei geringer Durchblutung. Eine ausführliche Beschreibung photoplethysmographischer Messungen findet sich bei Jennings et al. (1980). Die Ermittlung der Herzfrequenz

ergibt sich dementsprechend aus den unterschiedlichen „Durchblutungsphasen“ von Systole und Diastole. Es handelt sich dabei letztendlich um Volumenpulsationen.

4.3 Definition und Klassifikation der Schallreize

Bei den in diesem Experiment verwendeten Schallreizen handelt es sich um Verkehrslärm, aufgenommen in Pariser Straßen. Die Straßen unterschieden sich hinsichtlich der Anzahl der Fahrspuren, der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, der Verkehrsmenge, der Art der Bebauung (L-förmig = einseitig bebaut, U-förmig= beidseitig bebaut) oder der Art der Verkehrsregelung. Die Auswahl der Straßen in Paris erfolgte durch den französischen Projektpartner. Für die Klassifizierung L-/U-förmig wurde die französische Städtebaunorm NF-S 31-130 zugrunde gelegt. Unter städtebaulichen Gesichtspunkten wird eine Straße nämlich dann als U-förmig bezeichnet, wenn die U-ratio größer als 0,3 ist. Um ein möglichst realistisches Klangbild abzuliefern, wurden die Geräusche mit einem sog. Kunstkopf aufgenommen, der die Höreigenschaften des menschlichen Gehörs optimal abbildet. Von den ursprünglich 22 Aufnahmen wurden 8 ausgewählt, die paarweise (4 Paare) präsentiert wurden (Tab. 1).

Tab. 1: Die Geräuschpaare in der Übersicht

Geräuschpaar	Verkehrsaufkommen	Straßentyp und zulässige Geschwindigkeit	Spezielles Merkmal (Nr. des Geräusches)
Block A	hoch (3000 Kfz/h)	Stadtstraße ≤ 50 km/h, 4-spurig	einseitige Bebauung (1) ↔ beids. Bebauung (17)
Block B	hoch (3000 Kfz/h)	Ausfallstraße, ≤ 70 km/h, 4-spurig	unbebaut (11) ↔ bebaut (12)
Block C	mittel (1200 Kfz/h)	Kreuzung, Innenstadt ≤ 50 km/h	Ampelkreuzung (20) ↔ Kreisverkehr (21)
Block D	niedrig (750 Kfz/h)	Stadtstraße ≤ 50 km/h, 2-spurig	einseitige Bebauung (8) ↔ beids. Bebauung (7)

Jedes Geräuschpaar sollte folgende Kriterien erfüllen: Die Schallreize eines Paares sollten sich jeweils in einem spezifischen Merkmal unterscheiden, sich ansonsten aber so weit wie möglich ähneln. Dieses spezifische Merkmal sollte Rückschlüsse hinsichtlich der Zielsetzung des Experiments zulassen. Die Geräuschpaare werden

im folgenden „Block A-D“ genannt. Hinter der Beschreibung des speziellen Merkmals befindet sich die Geräuschnummer. Das Unterscheidungskriterium für jedes Geräuschpaar ist in der Spalte „spezielles Merkmal“ wiedergegeben. Die Originalgeräusche, die jeweils eine Länge von 10 Minuten hatten, wurden auf 4 Minuten gekürzt, da eine Dauer von 4 Minuten ausreicht, um den Verlauf der physiologischen Reaktion auf ein Geräusch zu analysieren. Dabei wurde Wert darauf gelegt, dass keine nicht zur eigentlichen „Geräuschkulisse“ gehörenden Schallreize (z. B. Horn eines Rettungswagens) in dem gewählten Geräuschabschnitt vorkommen. Anschließend wurden alle Geräuschpaare auf einen äquivalenten Dauerschallpegel (L_{eq}) von 83 dB(A) angeglichen, um zu vermeiden, dass Unterschiede des Schallpegels die Ergebnisse mit beeinflussen und Unterschiede in der Geräuschqualität möglicherweise überlagern.

4.4 Versuchsaufbau

Jedem Probanden wurden alle 4 Geräuschpaare (Blöcke A-D) vorgespielt. Um zu vermeiden, dass es durch eine immer gleiche Reihenfolge der Präsentation zu Reihenfolgeeffekten bei den Reaktionen der Probanden kommt, wurden die Geräuschpaare zu vier verschiedenen Sequenzen zusammengestellt (siehe Tab. 2).

Tab. 2: Verschiedene Sequenzen der Blöcke A – D

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

Des Weiteren wurde die Reihenfolge der Geräusche innerhalb eines Blocks so verändert, dass jedes Geräusch gleich oft an erster bzw. an zweiter Stelle zu hören war (Abb. 1).

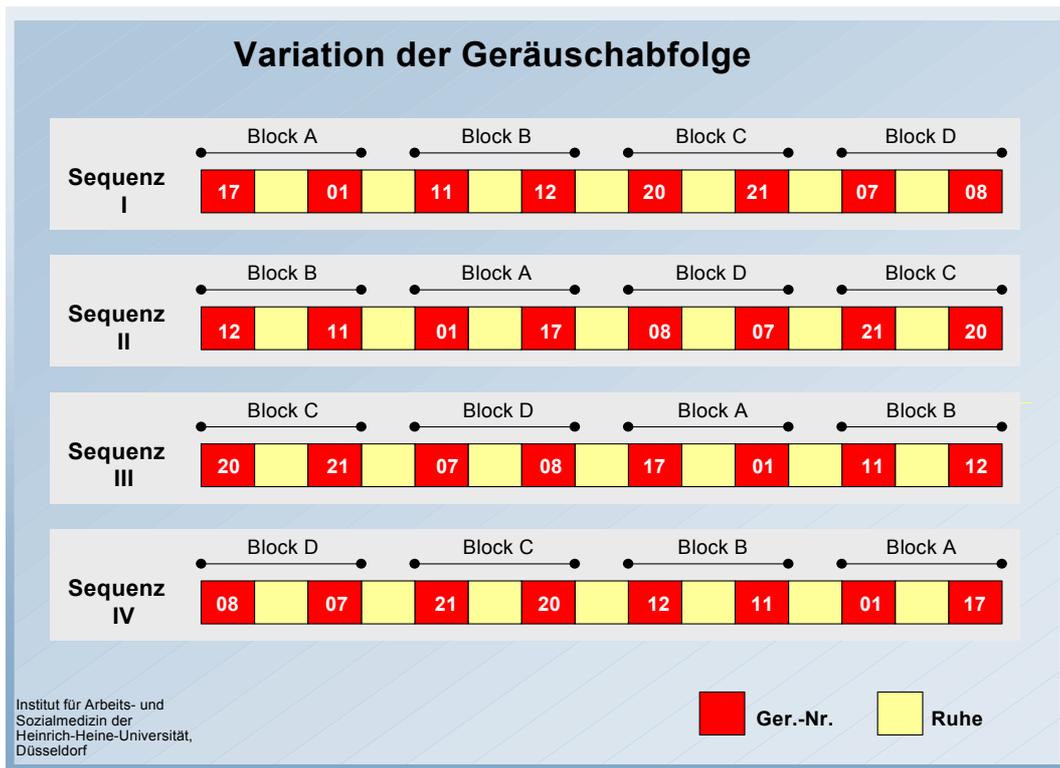


Abb. 1: Übersicht über die Variation der Geräuschabfolge

4.5 Subjektive Bewertung der Geräusche

Um auch den subjektiven Eindruck der Probanden hinsichtlich der Geräuschpaare zu erfassen, wurden ihnen im Anschluss an das Experiment Fragebögen vorgelegt (siehe Anhang 9.1). Dabei mussten die Probanden die Geräusche paarweise hinsichtlich folgender Qualitäten vergleichen: Welches Geräusch erscheint

- lauter
- gefährlicher
- unangenehmer
- belästigender
- aktivierender

Zur Antwort standen jeweils fünf Abstufungen in der Form:

- Geräusch A ist etwas lauter als Geräusch B,
- Geräusch A ist viel lauter als Geräusch B,
- beide sind gleich laut,
- Geräusch B ist etwas lauter als Geräusch A,
- Geräusch B ist viel lauter als Geräusch A.

4.6 Auswahl der Probanden

Die Probanden waren männlich, zwischen 20 und 30 Jahren alt und zum größten Teil Studenten der medizinischen Fakultät. Voraussetzungen für die Teilnahme am Versuch waren perfekte Kenntnisse der deutschen Sprache und ein dem Alter entsprechendes intaktes Gehör. Zur Überprüfung der Hörfähigkeit wurde ein Audiogramm durchgeführt (s. u.). Für ihre Teilnahme erhielten die Probanden eine finanzielle Entschädigung.

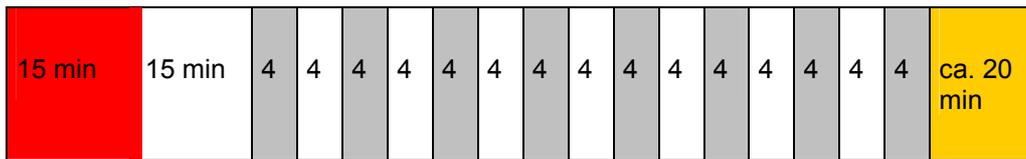
4.7 Voruntersuchung

Die Voruntersuchung diente dazu, die Tauglichkeit der Kandidaten festzustellen. Hierzu wurde von jedem Teilnehmer ein Audiogramm erstellt. Ein Hörverlust von 20 dB bei einer der getesteten Frequenzen (500, 750, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000 und 8000 Hz) führte hierbei zum Ausschluss. Für die Untersuchung wurde ein Gerät der Fa. Siemens (Beomat 500 SL) verwendet. Des Weiteren erhielt jede Versuchsperson (VP) einen Personalbogen zur Erfassung seiner persönlichen Daten und zur Zuordnung einer Versuchspersonennummer. Abschließend folgte eine kurze Simulation der Versuchsbedingungen. Die VP begab sich hierzu in den Testraum (eine ca. 8 m² große, schallarme und fensterlose Kammer). Die VP wurde an die Messgeräte angeschlossen (Hautleitfähigkeits-Elektroden, Fingerpulssensor, EMG) und es wurde eine kurze Geräuschprobe eingespielt. Zweck dieser Simulation war, die Probanden mit der beengten räumlichen Situation, in der sie 1,5 h mehr oder weniger still sitzend ausharren sollten, vertraut zu machen. Außerdem sollte ein Eindruck der Geräusche vermittelt werden, damit die Versuchspersonen wussten, was sie erwartet. Hierdurch lassen sich normalerweise übermäßige physiologische Schreckreaktionen vermeiden. Danach wurde ein Termin für den Hauptversuch vereinbart. Eine komplette Voruntersuchung dauerte in der Regel ca. 25 Minuten.

4.8 Versuchsdurchführung

Zu Versuchsbeginn begaben sich die Probanden direkt in die schalldichte Kammer. Hier sollten sie sich erst einmal 15 Minuten entspannen und akklimatisieren. Abb. 2 zeigt den zeitlichen Ablauf des Experiments.

_____ Physiologische Datenerfassung (75 min.) _____



_____ 60 min. _____



Abb. 2: Zeitplan des Versuchsablaufs

Die Tür blieb dabei noch geöffnet. Erst danach wurde die Versuchsperson (VP) an die Messgeräte angeschlossen (Abb. 3).



Abb. 3: Position des Probanden während des Versuchs in der schallarmen Kammer

Als Erstes wurde die Haut der Handinnenfläche entfettet, indem sie mit Äthylalkohol (70 %) abgerieben wurde. Dann wurden die beiden Elektroden zur Messung der

Hautleitfähigkeit geklebt. Bei der Wahl der Elektroden fanden die Standardisierungsvorschläge von Venables und Christie (1973) und Fowles et al. (1981) so weit wie möglich Berücksichtigung. Die Elektroden wurden nach der Methode von Walschburger (1975) an der linken Handinnenfläche positioniert, wobei die eine Elektrode über der Thenar-, die andere über der Hypothenarmuskulatur befestigt wird.

Verwendet wurden nichtpolarisierende Ag/AgCl-Elektroden, da es durch Polarisationsphänomene des Elektrode-Elektrolyt-Haut-Systems zu Verschiebungen des registrierten Signals kommen kann, die sich dem eigentlichen physiologischen Prozess überlagern (Schandry 1996). Die verwendete Elektronenpaste war isotonisch, d. h. ihre Elektrolytzusammensetzung entsprach der des Schweißes. Die Elektroden wurden dann mit einem Vitaport 1-System verbunden. Dabei handelt es sich um ein Gerät zur Registrierung physiologischer Parameter wie Herzfrequenz, Sauerstoffsättigung etc. Dieses Gerät wurde in der psychologischen Fakultät der Universität Köln für vergleichbare Fragestellungen entwickelt. Das Gerät ist mit einem PC verbunden, mit dem die Daten gespeichert und dargestellt werden können. Die Herzfrequenz wurde photoplethysmographisch ermittelt. Hierzu wurde der Aufnehmer am linken Zeigefinger angebracht und danach ebenfalls an das Vitaport System angeschlossen.

Die Probanden wurden eindringlich darauf hingewiesen, sich möglichst wenig zu bewegen, um das Risiko für Bewegungsartefakte zu minimieren. Wenn Bewegungen nicht zu vermeiden waren (Kratzen, etc.), sollten diese nach Möglichkeit in den Pausen zwischen zwei Geräuschen durchgeführt werden, da die Pausen nicht in die Datenauswertung einfließen. Anschließend wurde die Tür verschlossen und die Datenerfassung gestartet. Um einen Ruhegrundwert zu erreichen, eine sog. „Baseline“, wurde zunächst 15 Minuten abgewartet, damit sich die Versuchsperson weiter entspannen konnte. Danach wurde die Tonkassette (Compact Disc) gestartet. Wie im vorhergehenden Kapitel bereits beschrieben, enthielt jede CD acht Geräusche von vier Minuten Dauer. Jeweils zwei Geräusche, die nach der Beschallung subjektiv zu vergleichen waren, bildeten ein Paar. Nach jedem Geräusch folgte eine vierminütige Pause, so dass dieser Abschnitt insgesamt 60 Minuten dauerte.

Nach Ende der Versuchsphase wurden die Messaufnehmer entfernt, und es folgte eine kurze Pause. Abschließend wurden die Geräusche noch einmal einzeln angespielt und von den Probanden im Paarvergleich bewertet.

4.9 Analyse des Datenmaterials

Wie bereits erwähnt, konzentriert sich die Analyse des gewonnenen Datenmaterials auf den paarweisen Vergleich zweier Geräuschsituationen. Dazu wurden die Unterschiede in jeder Wirkungsvariable statistisch ausgewertet.

Für die Erfassung der Hautleitfähigkeit existieren keine Standardwerte. Die Messwerte sind von den jeweils verwendeten Geräten, Techniken etc. abhängig. Des Weiteren zeigt die Stärke des Messsignals der Hautleitfähigkeit wie auch der Mehrzahl der meisten übrigen biologischen Signale sowohl große interindividuelle Unterschiede als auch über einen längeren Zeitraum deutliche intraindividuelle Schwankungen, so dass absolute Messwerte nicht für die Auswertung verwendet werden können. Um dieses Problem zu lösen, war es notwendig, einen Ausgangswert als sog. „Baseline“ zu ermitteln. Diese wurde definiert als der Mittelwert der letzten 30 Sekunden vor Einsetzen des Geräusches. Dieser Wert wurde als 100 %-Wert bezeichnet, d. h. alle im Folgenden dargestellten Werte sind als prozentuale Abweichungen von dieser Baseline zu verstehen.

Im Gegensatz dazu ist die Herzfrequenz ein stabiler Faktor. Um interindividuelle Schwankungen auszugleichen und damit eine bessere Vergleichbarkeit zu gewährleisten, sind allerdings auch die Veränderungen der Herzfrequenz als prozentuale Abweichungen von einer Baseline angegeben. Daneben werden zum besseren Verständnis aber auch die absoluten Herzfrequenzwerte, die zu Beginn der jeweiligen Beschallung gemessen wurden, angegeben.

Für die grafische Darstellung wurden die Messwerte der physiologischen Parameter über Zeitintervalle gemittelt: Für die ersten 30 Sekunden wurden bei der Hautleitfähigkeit Mittelwerte über 2 Sekunden, bei der Herzfrequenz Mittelwerte über 5 Sekunden gebildet. Für die verbleibenden 3 ½ Minuten wurden für beide Parameter Mittelwerte über 10 Sekunden errechnet. Die unterschiedlichen Mittelungsintervalle haben

folgenden Hintergrund: Die Reaktionswerte sowohl für die Herzfrequenz als auch für die Hautleitfähigkeit sind in den ersten 30 Sekunden am aufschlussreichsten. Da die Herzfrequenz allerdings aus den Interbeatintervallen berechnet wird, treten gerade bei jungen Menschen sehr starke Streuungen der Werte auf, die mit der Mittelung über 5 Sekunden ausgeglichen werden.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikpaket SPSS Version 11.04. Es wurden für jeden Mittelwertvergleich bei den physiologischen Variablen Wilcoxon matched pairs signed ranks Tests durchgeführt. Im Text werden nur die Ergebnisse für diejenigen Intervalle aufgeführt, in denen bemerkenswerte Unterschiede zwischen den Reaktionen auf die Geräusche festgestellt wurden. Im Anhang 9.2 sind alle Ergebnisse aufgelistet. Für den paarweisen subjektiven Vergleich gilt: Im Text wird jeweils gegenübergestellt, wie viel Prozent der Stichprobe das eine oder das andere Geräusch für „lauter“, „belästigender“ etc. halten. Zur statistischen Signifikanzprüfung wurde hier der Student t-Test (Vergleich eines empirischen Mittelwertes mit theoretischem Mittelwert) verwendet. In den grafischen Darstellungen der Ergebnisse der subjektiven Geräuschbewertung werden im Prinzip nur die ersten vier Adjektive als Kreisdiagramm dargestellt. Das Adjektiv „aktivierender“ wird als Ergebnis jeweils beschrieben.

Am Ende des jeweiligen Kapitels wird für das jeweilige Geräuschpaar eine zusammenfassende Übersicht der erzielten Ergebnisse gegeben. Damit soll versucht werden, die mit den verschiedenen Parametern erhaltenen Reaktionsstärken graduell zu bewerten und schematisch zu visualisieren.

Die Stärke der physiologischen Reaktion wird mit nach oben gerichteten Pfeilen gewichtet:

● = Abfall der Kurve unter Baseline-Niveau

↑ = geringer Anstieg

↑ ↑ = Anstieg

↑ ↑ ↑ = starker Anstieg

Das Ergebnis der vergleichenden subjektiven Bewertung der Geräusche wird mit 1 bis 3 Sternchen verdeutlicht, wobei sehr geringe Änderungstendenzen mit einem Sternchen in Klammern angedeutet werden.

(*) = minimal stärkere Bewertung

* = etwas stärkere Bewertung

* * = stärkere Bewertung

* * * = deutlich stärkere Bewertung

Mit dieser Art von Visualisierung lässt sich die Information hinsichtlich der Bevorzugung oder Ablehnung eines Geräusches besser erkennen und zu einer übergreifenden Aussage verdichten.

5. Ergebnisse

5.1 Prüfung der Sensitivität der verwendeten Parameter als Indikator der physiologischen Reaktion auf Straßenverkehrsgeräusche

Um den Nachweis zu erbringen, dass die beiden hier untersuchten physiologischen Parameter (Herzfrequenz und Hautleitfähigkeit) überhaupt in der Lage sind, Reaktionen auf einen externen Stimulus adäquat zu erfassen, wurden die Reaktionswerte als Erstes übergreifend ausgewertet und dargestellt (Mittelwerte und Standardabweichungen s. Anhang 9.1, Tab. 15 und 16).

5.1.1 Reaktion der Herzfrequenz auf Straßenverkehrsgeräusche

Der Ausgangswert der Herzfrequenz wurde bei allen Probanden zu Geräuschbeginn jeweils auf 100 % gesetzt. In den ersten 30 Sekunden (dargestellt in 5 sec Intervallen) findet sich ein Anstieg bis maximal 104 % in der 20. Sekunde (Abb. 4).

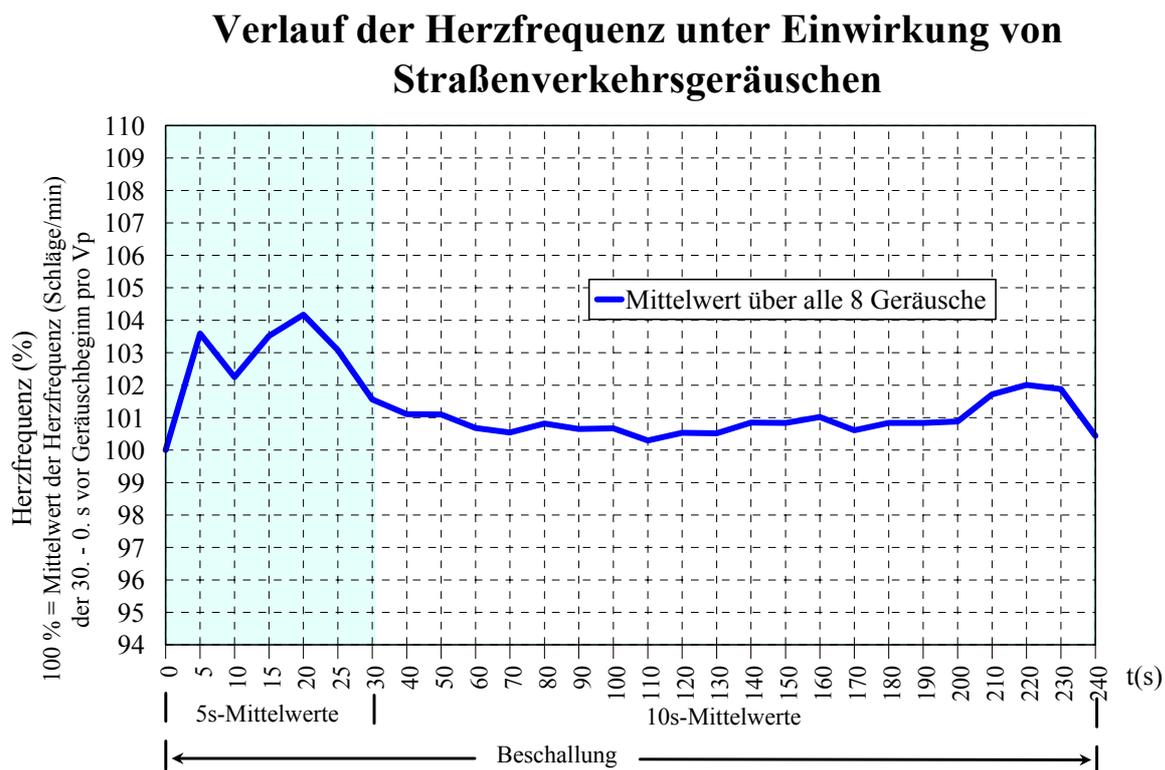


Abb. 4: Reaktion der Herzfrequenz auf Straßenverkehrsgeräusche
Mittelwerte über alle acht Geräusche

Danach fällt die Herzfrequenz wieder ab und liegt etwa ab der 40. Sekunde mit Werten zwischen 101 und 102 % nur noch knapp über dem Ausgangswert. Die Reaktion auf den Stimulus ist zwar eindeutig, aber nur relativ kurz anhaltend.

5.1.2 Reaktion der Hautleitfähigkeit auf Straßenverkehrsgeräusche

Auch bei der Hautleitfähigkeit zeigt sich eine prompte und deutliche Reaktion (Abb. 5). Das Niveau der Hautleitfähigkeit wird auf etwa 115 % des Ausgangswerts angehoben.

Verlauf der Hautleitfähigkeit unter Einwirkung von Straßenverkehrsgeräuschen

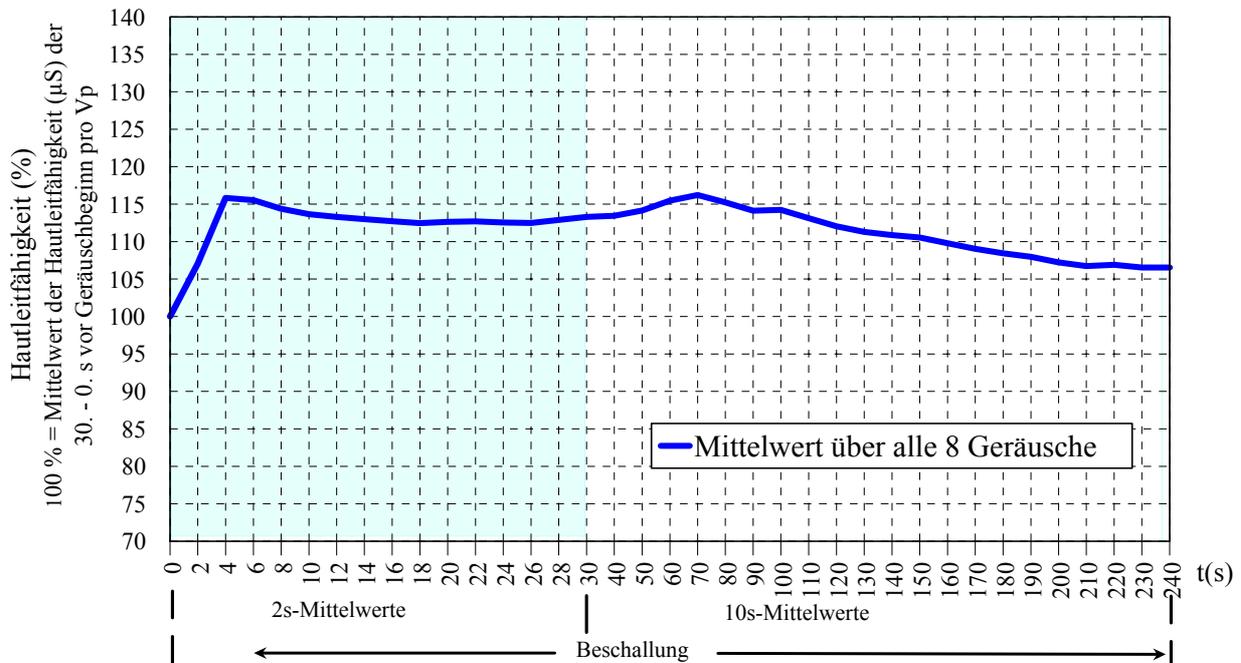


Abb. 5: Reaktion der Hautleitfähigkeit auf Straßenverkehrsgeräusche
Mittelwerte über alle acht Geräusche

Die Anhebung persistiert in dieser Größenordnung bis zur 100. Sekunde. Danach fällt sie auch nur allmählich ab, ohne jedoch in den 4 Minuten, die das Experiment dauert, den Ausgangswert wieder zu erreichen. Im Vergleich zu Herzfrequenz ist die Reaktion ebenfalls deutlich, in Bezug zur Dauer der Beschallung jedoch persistenter.

5.2 Block D: Zweispurige Stadtstraßen mit niedriger Verkehrslast (750 Kfz/h), einseitig (8) vs. beidseitig (7) bebaut

Bei dem Geräuschpaar Block D handelt es sich um zwei innerstädtische zweispurige Straßen. Die Rue de la Tombe d'Issoire ist beidseitig (Abb. 6, Geräusch 7) und die Rue de la Roquette ist einseitig bebaut (Abb. 7, Geräusch 8).



Abb. 6: Positionierung der Mikrofone in der Rue de la Tombe d'Issoire (7), beidseitig bebaut



Abb. 7: Positionierung der Mikrofone in der Rue de la Roquette (8), einseitig bebaut

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit beträgt auf beiden Straßen 50 km/h. Das Verkehrsaufkommen ist mit 750 Kfz/h als gering zu bezeichnen. Das bedeutet, dass das Verkehrsgeräusch stark fluktuiert und dass einzelne Schallereignisse herausgehört

werden können, wie z. B. einzelne Kfz oder Zweiräder. Wie man zusätzlich auf dem Bild sehen kann, ist die Messstation in der Rue de la Roquette unweit einer Bushaltestelle positioniert. Im Prinzip ist eine Bushaltestelle als charakteristische innenstadttypische Situation anzusehen. Akustisch gesehen ist hier jedoch mit stärkeren Einzelereignissen zu rechnen. Während das Anhalten des Busses an der Haltestelle akustisch wenig auffällig ist, treten beim Anfahren deutliche Beschleunigungsgeräusche des Dieselmotors auf, die zu einem Pegelanstieg führen. Ein solches akustisch herausragendes Ereignis fand etwa in der 45. bis 50. Sek. statt.

5.2.1 Herzfrequenz (Block D)

In Abb. 8 sind die Verläufe der Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Herzfrequenz als Kurven dargestellt (erste 30 Sekunden in 5-sec-Intervallen,

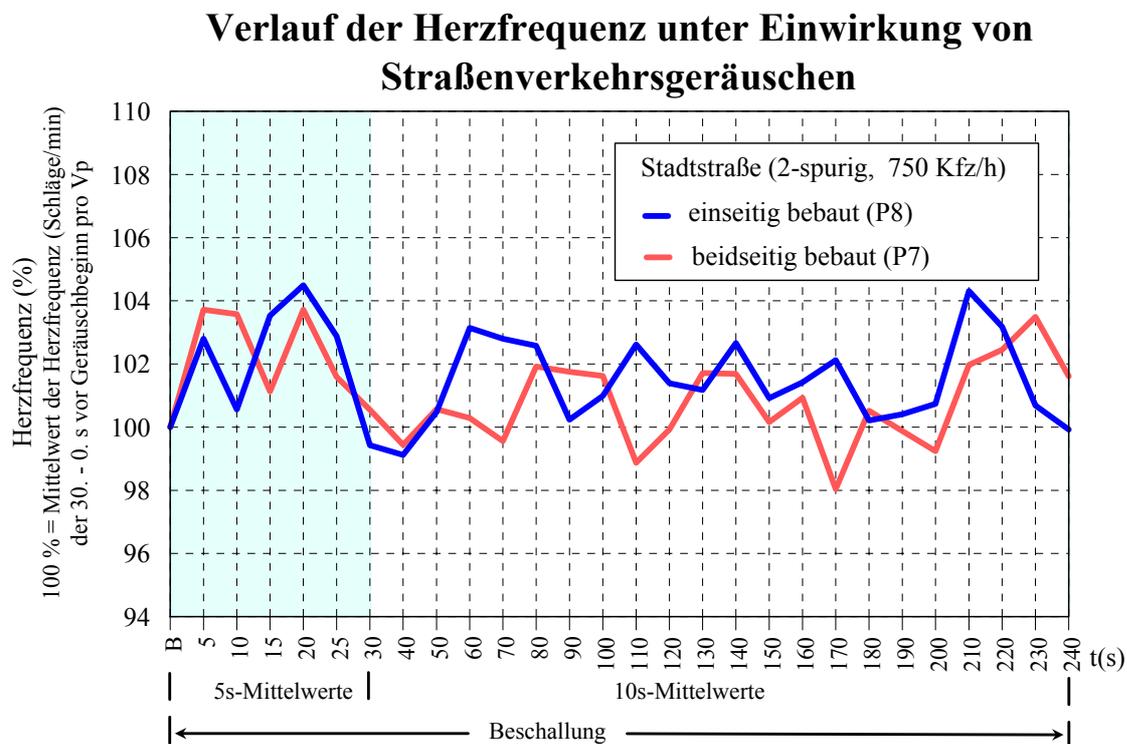


Abb. 8: Verläufe der Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Herzfrequenz bei Darbietung der Geräusche von zwei zweispurigen Stadtstraßen mit niedriger Verkehrslast (750 Kfz/h), einseitig (8) vs. beidseitig (7) bebaut (Block D)

restliche 3 ½ Minuten in 10-sec-Intervallen). Es ergaben sich als Ausgangswerte $63,1 \pm 9,4$ Schläge pro Minute (= 100 %) für die Aufnahme bei einseitiger Bebauung und $63,8 \pm 8,6$ Schläge pro Minute (= 100 %) bei beidseitiger Bebauung. Beide Kurven zeigen einen Anstieg bei Einsetzen des Geräusches, in beiden Fällen ist dieser

Anstieg nicht sonderlich hoch. Betrachtet man die Mittelwerte, wird diese Tendenz bestätigt. Allerdings fallen einige Intervalle ins Auge, in denen die Kurven Unterschiede zeigen. Am häufigsten ist die Frequenz bei einseitiger Bebauung stärker erhöht als bei dem Geräusch mit beidseitiger Bebauung. Insgesamt zeigen beide Herzfrequenzaufzeichnungen sehr wechselhafte Verläufe, die u. U. mit der starken Fluktuation des Geräusches zusammenhängen. Auffällig ist der Bereich zwischen 50. und 60. Sekunde für das Verkehrsgeräusch bei einseitiger Bebauung. Der in der Grafik erkennbare Anstieg hängt mit hoher Wahrscheinlichkeit mit dem Anfahrgeräusch des eingangs erwähnten Busses (45.-50. Sekunde) zusammen. Geringe Unterschiede finden sich noch in den Intervallen zwischen 100.-105. Sekunden, 105.-110. Sekunde und zwischen 160.-165. Sekunde (Tab. 3).

Tab. 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der prozentualen Veränderung (Ausgangswert = 100 %) der Herzfrequenz bei Darbietung der Geräusche von zwei zweispurigen Stadtstraßen mit niedriger Verkehrslast (750 Kfz/h), beidseitig (7) vs. einseitig (8) bebaut, für verschiedene Zeitintervalle (Block D)

Herzfrequenz bei Darbietung der Geräusche von zweispurigen Stadtstraßen mit niedriger Verkehrslast (750 Kfz/h) (Block D)						
Zeitintervall (s)	n	beidseitig bebaut (7)		einseitig bebaut (8)		Sig.
		Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	p
40-45	24	101,40	8,3	99,02	7,2	0,08
80-85	24	102,37	6,3	99,54	7,5	0,10
100-105	24	98,68	5,3	102,23	7,0	0,06
105-110	24	99,07	4,3	103,00	9,1	0,10
160-165	24	97,36	5,6	103,57	8,6	0,01
225-230	24	103,64	5,7	100,26	8,4	0,07
0-30	24	102,32	5,5	102,27	7,1	0,69
30-240	24	100,76	4,0	101,46	6,2	0,91
0-240	24	100,95	3,9	101,56	6,1	0,68

In den übrigen Bereichen der Messung lagen die Werte, wie in der Abbildung erkennbar, relativ nahe beieinander, wobei der Verlauf der Herzfrequenz während bei- der Geräusche insgesamt sehr unruhig ist.

5.2.2 Hautleitfähigkeit (Block D)

Abb. 9 zeigt den Verlauf der Mittelwerte des Hautleitfähigkeits-Niveaus in Bezug zum Ausgangswert (= 100 %).

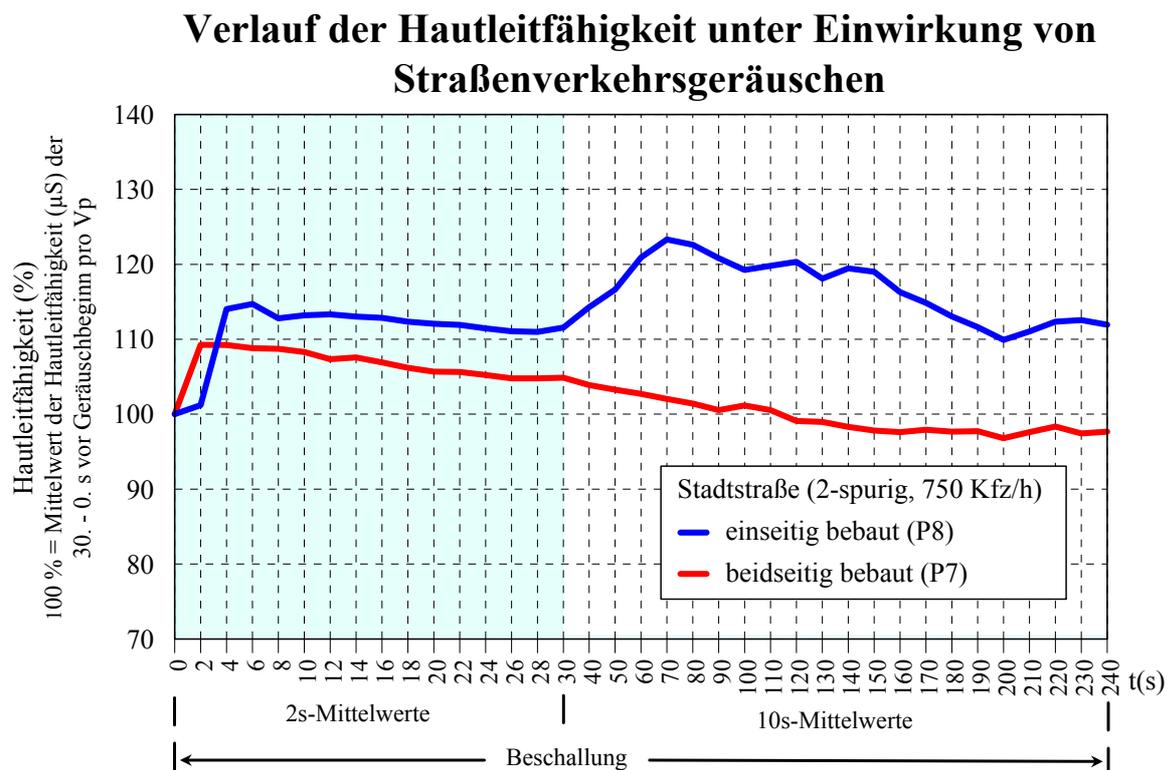


Abb. 9: Verläufe der Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Hautleitfähigkeit bei Darbietung der Geräusche von zwei zweispurigen Stadtstraßen mit niedriger Verkehrslast (750 Kfz/h), einseitig (8) vs. beidseitig (7) bebaut (Block D)

Während der ersten 30 Sekunden wurden Werte in 2-Sekunden-Intervallen erfasst, während der restlichen 3 ½ Minuten in 10-Sekunden-Intervallen. Wie in der Grafik zu sehen ist, steigen beide Kurven innerhalb der ersten Sekunden auf 110% im Vergleich zur Baseline an. Danach fällt die Kurve für die Straße mit beidseitiger Bebauung langsam, aber kontinuierlich ab. Die Kurve der Straße mit einseitiger Bebauung hingegen bleibt während der ersten 30 Sekunden über 110% und steigt etwa ab der 50. Sekunde nochmals deutlich an. Dann fällt sie nur ganz allmählich ab, unterschreitet jedoch zu keiner Zeit 110 %.

Diese kräftige Reaktion entspricht dem kurzfristigen Anstieg der Pulsfrequenz in diesem Zeitabschnitt und steht mit hoher Wahrscheinlichkeit mit dem Anfahrgeräusch des Busses in Verbindung. Beim Betrachten der Zahlenwerte (Tab. 4) der jeweiligen

Tab. 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der prozentualen Veränderung (Ausgangswert = 100 %) der Hautleitfähigkeit bei Darbietung der Geräusche von zwei zweispurigen Stadtstraßen mit niedriger Verkehrslast (750 Kfz/h), beidseitig (7) vs. einseitig (8) bebaut, für verschiedene Zeitintervalle (Block D)

Hautleitfähigkeit bei Darbietung der Geräusche von zweispurigen Stadtstraßen mit niedriger Verkehrslast (750 Kfz/h) (Block D)						
Zeitintervall (s)	n	beidseitig bebaut (7)		einseitig bebaut (8)		Sig
		Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	p
35-40	20	103,55	6,1	114,45	24,6	0,09
40-45	20	103,40	6,6	115,29	24,3	0,05
45-50	20	103,12	6,0	117,96	33,8	0,09
55-60	20	102,46	6,5	121,89	47,0	0,03
60-65	20	100,14	6,7	123,60	49,8	0,01
65-70	20	100,92	8,7	123,03	53,0	0,02
70-75	20	101,26	8,7	122,89	53,8	0,02
75-80	20	101,59	9,8	122,34	53,6	0,02
80-85	20	100,91	9,6	121,38	53,6	0,02
85-90	20	100,16	9,7	120,24	53,4	0,02
90-95	20	100,36	9,6	119,46	52,6	0,04
95-100	20	101,95	11,5	119,02	51,5	0,09
100-105	20	100,98	10,7	120,00	52,1	0,07
105-110	20	100,09	10,6	119,59	54,2	0,08
110-115	20	99,26	10,5	120,87	57,5	0,04

Fortsetzung **Tab. 4:**

Hautleitfähigkeit bei Darbietung der Geräusche von zweispurigen Stadtstraßen mit niedriger Verkehrslast (750 Kfz/h) (Block D)						
Zeitintervall (s)	n	beidseitig bebaut (7)		einseitig bebaut (8)		Sig
		Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	p
115-120	20	98,90	10,6	119,79	55,1	0,05
120-125	20	99,18	10,9	118,30	53,3	0,07
125-130	20	98,75	11,2	117,90	53,7	0,08
130-135	20	98,46	11,3	118,57	52,8	0,05
135-140	20	98,16	11,2	120,33	51,8	0,02
175-180	20	97,26	13,4	112,73	41,0	0,09
0-30	20	106,87	7,8	111,66	13,9	0,39
30-240	20	99,47	10,3	116,70	42,0	0,03
0-240	20	100,41	9,4	116,16	37,7	0,03

Intervalle lassen sich für eine Reihe von Intervallen statistisch signifikante Unterschiede aufzeigen, vor allem der Bereich zwischen 40. und 45. Sekunden ($p=0,04$), wobei im gesamten Bereich zwischen 30. bis zur 90. Sekunde, des Weiteren zwischen 130. bis zur 165. Sekunde interessante Werte gemessen wurden. Statistisch signifikante Unterschiede zeigen sich auch für die Mittelwerte über den gesamten Beschallungszeitraum von der 0. bis zur 240. Sekunde. Auffällig ist auch, dass die Standardabweichung für die Kurve bei einseitiger Bebauung recht hoch ist, was wohl darauf zurückzuführen ist, dass einige Teilnehmer überschießende Reaktionen zeigten. Der Reaktionsunterschied zwischen den beiden Geräuschen ist trotzdem durchgängig gegeben.

5.2.3 Subjektive Geräuschbewertung im paarweisen Vergleich (Block D)

Vergleicht man die Ergebnisse der Fragebögen, erhält man folgende Ergebnisse: Die einseitige Bebauungsform erscheint

- lauter (45,8 % gegenüber 29,2% für die beidseitige Bebauungsform)
- gefährlicher (41,6% gegenüber 20,9%)

- unangenehmer (54,2% gegenüber 33,6%)
- belästigender (58,3% gegenüber 20,9%)
- aktivierender (37,5% gegenüber 20,8%)

Nur beim Attribut „belästigender“ liegt ein signifikanter Wert vor ($p=0,023$), aber auch alle anderen Ergebnisse gehen eindeutig in die gleiche Richtung. In den Abbildungen zu den Fragebogen-Ergebnissen ist übrigens das letzte Item („aktivierend“) nicht enthalten, weil sich bei diesem nur geringe Unterschiede in der Bewertung zeigten. Abb. 10 zeigt die subjektive Bewertung der einzelnen Geräusche der ersten vier Adjektive als Kreisdiagramm:

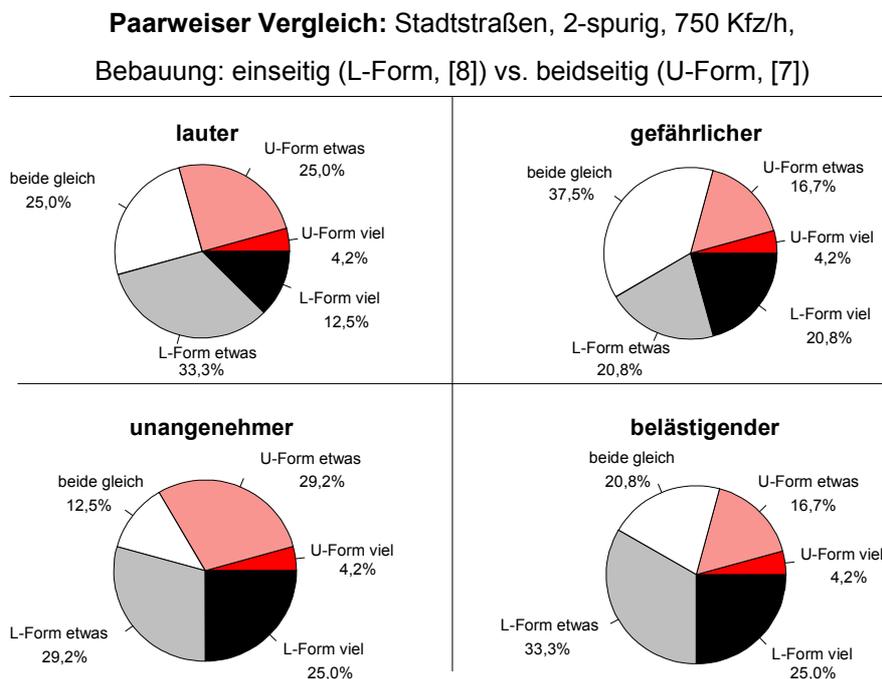


Abb. 10: Subjektive Bewertung der Geräusche von zwei zweispurigen Stadtstraßen mit niedriger Verkehrslast (750 Kfz/h), einseitig (8) vs. beidseitig (7) bebaut, im paarweisen Vergleich (Block D)

5.2.4 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse im Block D

Um die erhaltenen Ergebnisse als Gesamtheit zu beurteilen, werden in Tab. 5 die Tendenzen der Reaktionsunterschiede piktografisch dargestellt. Insgesamt lassen die Ergebnisse darauf schließen, dass bei gleichem L_{eq} das Geräusch in der Straße mit beidseitiger Bebauung bevorzugt wird.

Tab. 5: Zusammenfassende Gegenüberstellung der Reaktionen auf zwei Verkehrsgeräusche von zwei 2-spurigen Stadtstraßen mit niedriger Verkehrslast (750 Kfz/h, 50 Km/h), einseitig (8) vs. beidseitig (7) bebaut (Block D)

Parameter	Stärke der Reaktion auf Verkehrsgeräusche von 2-spurigen Stadtstraßen (750 Kfz/h, 50 km/h)	
	beidseitig bebaut (7)	einseitig bebaut (8)
Herzfrequenz	↑	↑
Hautleitfähigkeit	↑	↑ ↑
„lauter“		* *
„gefährlicher“		* *
„unangenehmer“		* *
„belästigender“		* * *
„aktivierender“		*

Darauf deuten vor allem die Ergebnisse von Hautleitfähigkeit und subjektivem Vergleich hin. Zwar sind nur wenige Bereiche statistisch signifikant, es lassen sich aber über weite Strecken recht eindeutige und übereinstimmende Tendenzen erkennen. Leider fügen sich die Herzfrequenzergebnisse nicht so deutlich in das ansonsten klare Bild ein. Soweit aber in der Herzfrequenz überhaupt Unterschiede im Kurvenverlauf zu finden sind, sprechen auch diese für eine schwächere Reaktion für das Straßengeräusch „beidseitige Bebauung“.

Die subjektive Bewertung ist eindeutig. Das Geräusch der Straße mit einseitiger Bebauung wird stärker abgelehnt, obwohl eher eine negativere Bewertung der Straße mit beidseitiger Bebauung zu erwarten war. Eine plausible Erklärung hierfür könnte das verstärkte Auftreten von unangenehmen Einzelereignissen durch die Bushaltestelle in der Rue de la Roquette (Anfahrgeräusch des Linienbusses) sein.

5.3 Block A: Vierspurige Stadtstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h), einseitig (1) vs. beidseitig (17) bebaut

Das Geräuschpaar Block A besteht aus zwei 4-spurigen Stadtstraßen mit hohem Verkehrsfluss (3000 Kfz/h). Auch hier unterscheidet sich wieder die Art und Weise der Bebauung. Während der Quai des Célestins (1) einseitig bebaut ist (Abb. 11), ist die Avenue du Général Leclerc (Abb. 12) beidseitig bebaut. Aufgrund der höheren Verkehrsdichte schwankt der Schallpegel nur mäßig und es lassen sich kaum Einzelereignisse identifizieren.



Abb. 11: Verkehrssituation Quai des Célestins, einseitig bebaut (1)



Abb. 12: Verkehrssituation Avenue du Général Leclerc, beidseitig bebaut (17)

5.3.1 Herzfrequenz (Block A)

Nachfolgend wird in Abb. 13 der Kurvenverlauf der Herzfrequenz während der jeweiligen Geräuscharbeitung in Block A dargestellt.

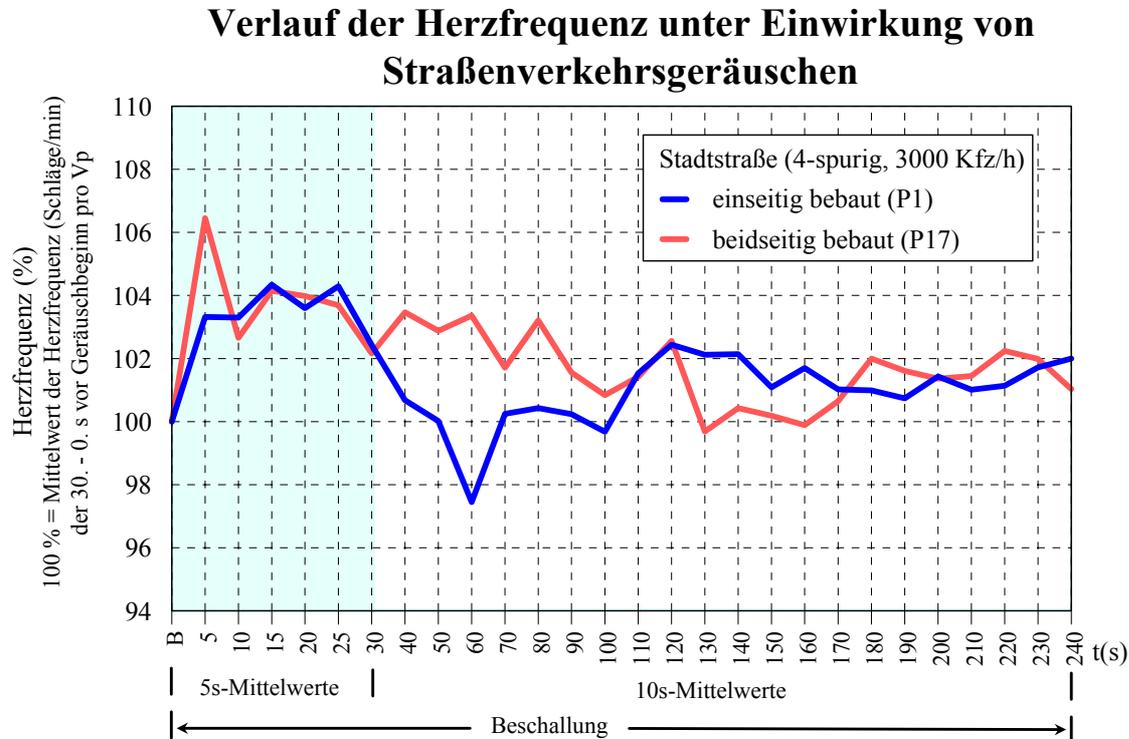


Abb. 13: Verläufe der Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Herzfrequenz bei Darbietung der Geräusche von zwei vierspurigen Stadtstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h), einseitig (1) vs. beidseitig (17) bebaut (Block A)

Hier bewegen sich die absoluten Werte der Baseline um $63,9 (\pm 9,2)$ Schläge pro Minute für die Kurve bei einseitiger Bebauung und $63,0 (\pm 7,5)$ für die beidseitige Bebauung. In beiden Fällen kommt es zu einem initialen Anstieg, wobei dieser bei beidseitiger Bebauung etwas stärker ausfällt. Außerdem verbleibt die Kurve bei der Straße mit beidseitiger Bebauung länger oberhalb der Baseline, während die Kurve bei der Straße mit einseitiger Bebauung ziemlich früh auf Baseline-Niveau zurückfällt.

Die Zahlenwerte in Tab. 6 bestätigen die stärkere anfängliche Reaktion beim Geräusch „beidseitige Bebauung“, des Weiteren zeigen sie signifikante Unterschiede der Mittelwerte in der Phase zwischen 50 bis 60 Sekunden, außerdem fällt noch der Bereich zwischen 40 bis 45 Sekunden ins Auge ($p=0,09$).

Tab. 6: Mittelwerte und Standardabweichungen der prozentualen Veränderung (Ausgangswert = 100 %) der Herzfrequenz bei Darbietung der Geräusche von zwei vierspurigen Stadtstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h), einseitig (1) vs. beidseitig (17) bebaut, für verschiedene Zeitintervalle (Block A)

Herzfrequenz bei Darbietung der Geräusche von zweispurigen Stadtstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h) (Block A)						
Zeitintervall(s)	n	einseitig bebaut (8)		beidseitig bebaut (7)		Sig.
		Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	p
40-45	24	98,99	6,9	103,37	10,2	0,10
50-55	24	97,43	8,5	102,76	9,9	0,06
55-60	24	97,46	7,0	103,96	9,1	0,01
125-130	24	103,71	10,1	99,66	7,7	0,10
0-30	24	103,60	8,1	103,85	7,8	0,59
30-240	24	100,92	6,5	101,59	7,2	0,89
0-240	24	101,26	6,4	101,87	7,2	0,91

5.3.2 Hautleitfähigkeit (Block A)

Die Hautleitfähigkeit zeigt einen anfänglich recht ähnlichen, ab der 4. Sekunde dann aber doch deutlich unterschiedlichen Kurvenverlauf für die beiden Geräusche (Abb. 14).

Bei beiden Geräuschen kommt es zu einem starken Anstieg des Hautwiderstandes auf 120% des Baseline-Niveaus direkt nach Geräuschbeginn. Danach verbleibt die Kurve bei der Straße mit beidseitiger Bebauung auf diesem Niveau und steigt während der 2. Minute sogar noch weiter auf 130% an. Die Kurve der Straße mit einseitiger Bebauung hingegen fällt nach initialem Abstieg relativ rasch wieder ab. Bereits nach 30 Sekunden ist sie wieder auf 110% gefallen und fällt während der Restzeit weiter ab.

Verlauf der Hautleitfähigkeit unter Einwirkung von Straßenverkehrsgeräuschen

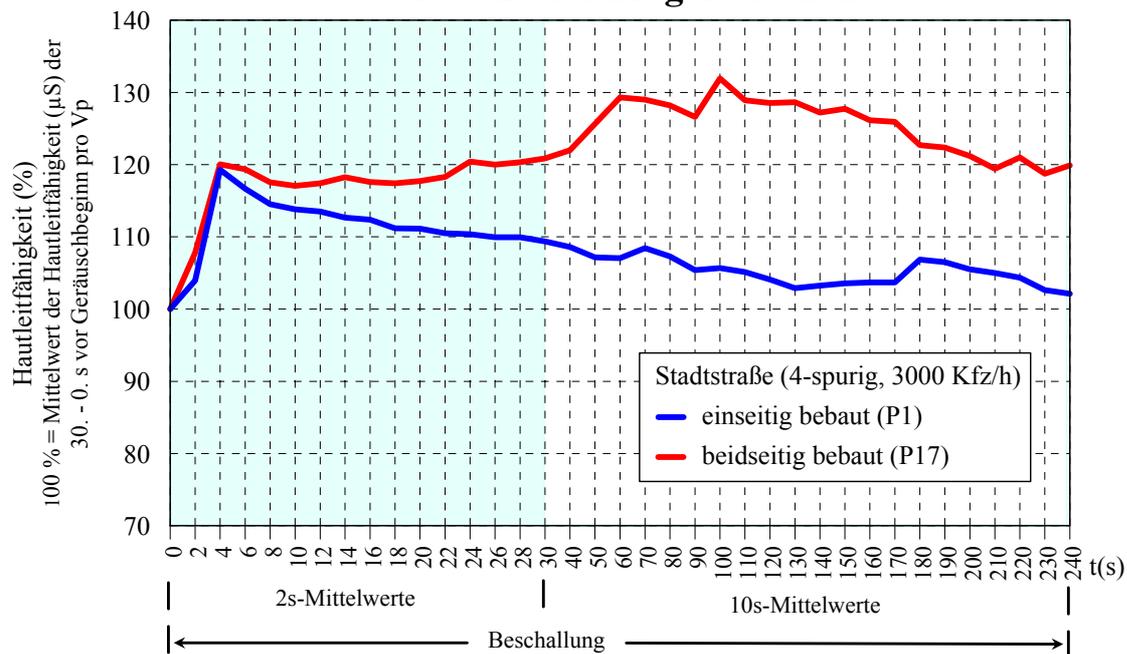


Abb. 14: Verläufe der Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Hautleitfähigkeit bei Darbietung der Geräusche von zwei vierspurigen Stadtstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h), einseitig (1) vs. beidseitig (17) bebaut (Block A)

Auch hier bestätigen die Mittelwerte wieder das graphische Bild (siehe auch Tab. 7). Aufgrund einer großen Varianz der Zahlenwerte, besonders der Kurve „beidseitige Bebauung“, besteht über die meiste Zeit keine statistische Signifikanz. Einzig der Bereich zwischen der 45. bis zur 55. Sekunde und zwischen der 55. bis zur 60. Sekunde fällt ins Auge (für 55-60s: $p=0,05$). Auffällig ist, dass die statistisch interessanten Bereiche für Herzfrequenz und Hautleitfähigkeit in dasselbe zeitliche Intervall fallen.

Tab. 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der prozentualen Veränderung (Ausgangswert = 100 %) der Hautleitfähigkeit bei Darbietung der Geräusche von zwei vierspurigen Stadtstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h), einseitig (1) vs. beidseitig (17) bebaut, für verschiedene Zeitintervalle (Block A)

Hautleitfähigkeit bei Darbietung von Geräuschen von zweispurigen Stadtstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h) (Block A)						
Zeitintervall (s)	n	einseitig bebaut (8)		beidseitig bebaut (7)		Sig.
		Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	p
20-25	20	110,44	11,2	119,11	21,77	0,09
25-30	20	109,80	10,72	120,33	26,31	0,03
30-35	20	109,10	10,40	121,56	32,47	0,03
35-40	20	108,09	10,40	122,39	34,81	0,05
40-45	20	107,80	11,48	124,97	42,45	0,05
45-50	20	106,52	10,8	126,30	49,0	0,03
50-55	20	107,34	11,9	127,93	49,6	0,02
55-60	20	106,74	13,0	130,71	51,7	0,02
60-65	20	108,68	17,44	129,48	50,64	0,02
65-70	20	108,20	17,59	128,49	51,15	0,03
70-75	20	108,01	19,36	128,93	53,06	0,03
75-80	20	106,60	17,58	127,49	51,79	0,03
80-85	20	105,73	16,53	126,75	51,94	0,05
85-90	20	105,08	16,22	126,49	51,86	0,05
90-95	20	105,48	16,63	131,64	60,64	0,06
95-100	20	105,91	15,67	132,25	57,84	0,06
100-105	20	105,84	15,99	129,68	56,27	0,07
105-110	20	104,42	14,84	128,15	56,41	0,09
120-125	20	103,69	14,76	129,59	61,54	0,10
125-130	20	102,12	14,77	127,69	58,36	0,04

Fortsetzung **Tab. 7:**

Hautleitfähigkeit bei Darbietung von Geräuschen von zweispurigen Stadtstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h) (Block A)						
Zeitintervall (s)	n	einseitig bebaut (8)		beidseitig bebaut (7)		Sig.
		Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	p
130-135	20	102,55	13,69	127,20	58,26	0,09
0-30	20	111,96	9,91	117,77	16,53	0,13
30-240	20	105,20	13,52	125,29	53,93	0,33
0-240	20	106,10	12,79	124,39	48,58	0,33

5.3.3 Subjektive Geräuschbewertung im paarweisen Vergleich (Block A)

Die Resultate der Fragebögen zeigen eine ziemlich klare Tendenz (s. Abb. 15), so wird das Verkehrsgeräusch der Straße mit beidseitiger Bebauung sehr viel negativer beurteilt.

Paarweiser Vergleich: Stadtstraßen, 4-spurig, 3000 Kfz/h, Bebauung: einseitig (L-Form, [1]) vs. beidseitig (U-Form, [17])

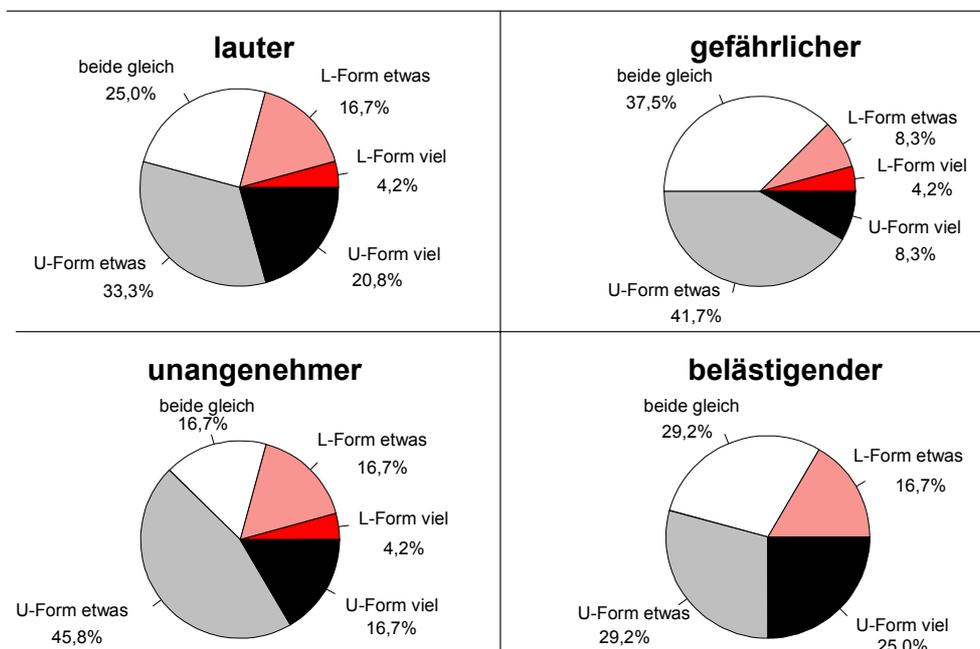


Abb. 15: Subjektive Bewertung der Geräusche von zwei 4-spurigen Stadtstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h), einseitig (1) vs. beidseitig (17) bebaut, im paarweisen Vergleich (Block A)

Im einzelnen erscheint diese Situation

- lauter (54,1% gegenüber 20,9% für die einseitige)
- gefährlicher (50,0% gegenüber 12,5%)
- unangenehmer (62,5% gegenüber 20,9%)
- belästigender (54,2% gegenüber 16,7%)
- aktivierender (45,9% gegenüber 12,5%)

Das deutlich negativere Urteil für die Straße mit beidseitiger Bebauung ist statistisch signifikant bei $p < 0,05$ für die ersten 3 Eigenschaften und bei $p < 0,01$ für die Eigenschaft „belästigend“.

5.3.4 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse im Block A

In Tab. 8 werden die Tendenzen der Reaktionsunterschiede piktografisch dargestellt. Insgesamt lassen die Ergebnisse darauf schließen, dass hier bei gleichem L_{eq} das Geräusch in der Straße mit einseitiger Bebauung bevorzugt wird.

Tab. 8 Zusammenfassende Gegenüberstellung der Reaktionen auf zwei Verkehrsgeräusche von zwei 4-spurigen Stadtstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h), einseitig (1) vs. beidseitig (17) bebaut (Block A)

Parameter	Stärke der Reaktion auf Verkehrsgeräusche von 4-spurigen Stadtstraßen (3000 Kfz/h, 50 km/h)	
	einseitig bebaut (1)	beidseitig bebaut (17)
Herzfrequenz	↑	↑
Hautleitfähigkeit	↑	↑ ↑
„lauter“		* *
„gefährlicher“		* *
„unangenehmer“		* *
„belästigender“		* * *
„aktivierender“		(*)

Im Gegensatz zu den Stadtstraßen mit wenig Verkehr (2-spurig, 750 Fahrzeuge pro Minute) schneidet bei höherer Verkehrslast (4-spurig, 3000 Fahrzeuge) die Situation „einseitige Bebauung“ besser ab bzw. wird besser toleriert. Es ergibt sich bei der

Messung der Herzfrequenz zwar nur ein einziger signifikanter Bereich (zw. 50-60 Sekunden), dennoch verbleibt das Niveau bei beidseitiger Bebauung nach einem initial steileren Anstieg konstant auf einem höheren Niveau.

Die Messung der Hautleitfähigkeit zeigt ein ähnliches Bild: nach einem relativ starken Anstieg beider Kurven auf ca. 120% der Baseline fällt die Kurve „einseitige Bebauung“ rasch wieder ab, die andere hingegen verbleibt zunächst auf diesem Niveau, um dann im weiteren Verlauf bis auf 130% anzusteigen. Des Weiteren fällt ins Auge, dass der einzig signifikante Bereich in das gleiche Zeitintervall fällt wie bei der Herzfrequenz, nämlich zwischen der 55. bis zu 60. Sekunde. Die allgemeine Tendenz bestätigend schließt der Paarvergleich mit einem eindeutigen Votum ab. In allen fünf Dimensionen fällt das Ergebnis deutlich schlechter bei beidseitiger Bebauung aus, im Übrigen statistisch signifikant für alle Adjektive bis auf das letzte („aktivierender“).

5.4 Block B: Vierspurige Ausfallstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h, 70 km/h), freies Feld (11) vs. lockere Bebauung (12)

Die Geräuschsituation des Blocks B wurde an zwei verschiedenen Stellen einer Ausfallstraße aufgenommen. Die Ausfallstraße zeichnet sich durch hohes Fahrzeugaufkommen (3000 Kfz/h) bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 70 km/h aus: Bei Geräusch 11 (Abb. 16) liegt größtenteils unbebaute Umgebung mit vereinzelt Häusern vor (freies Feld), während die Straßenseiten bei Geräusch 12 (Abb. 17) aufgelockert bebaut sind. Die Geräusche selbst zeigen nur geringe Schwankungen des Schallpegels.



Abb. 16: Verkehrssituation Ville du Bois/Parking Amarine, freies Feld (11)



Abb. 17: Verkehrssituation Ville du Bois, lockere Bebauung (12)

5.4.1 Herzfrequenz (Block B)

Abb. 18 zeigt die beiden Kurvenverläufe der einzelnen Geräusche.

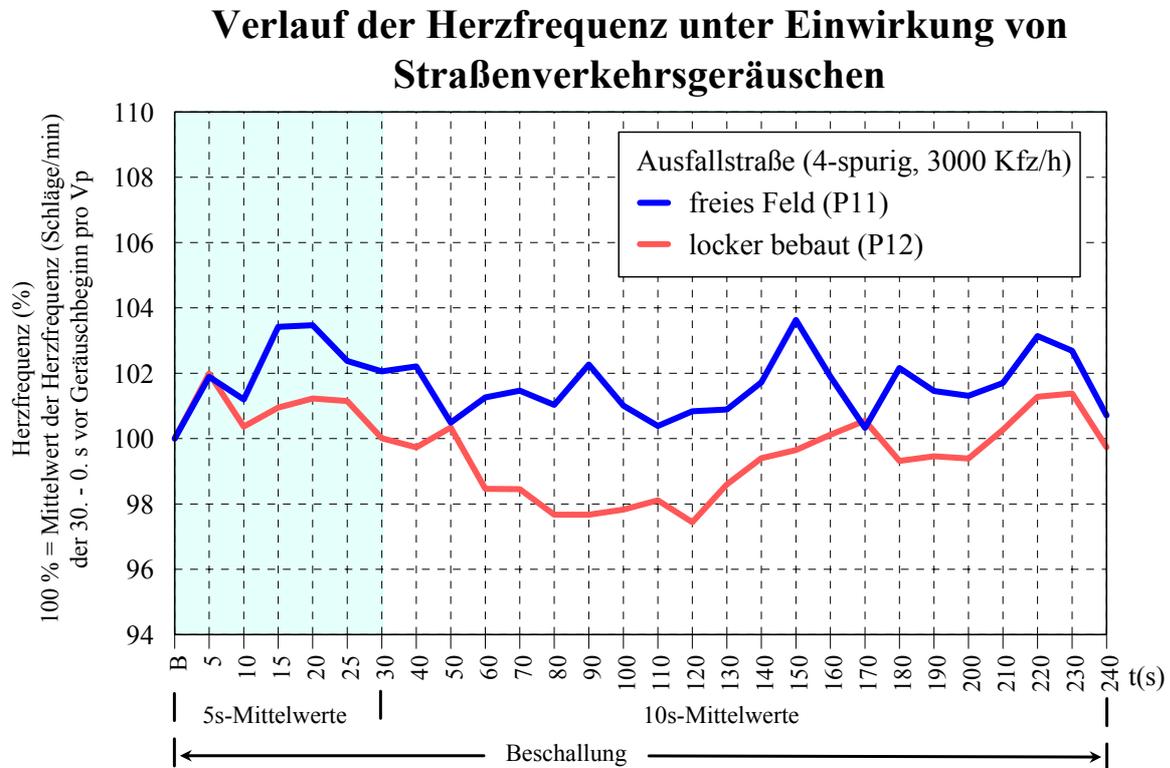


Abb. 18: Verläufe der Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Herzfrequenz bei Darbietung der Geräusche von zwei zweispurigen Ausfallstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h), freies Feld (unbebaut, 11) vs. lockere Bebauung (bebaut, 12) (Block B)

Die Baseline für die Situation „freies Feld“ liegt bei 63,0 ($\pm 9,4$) Schlägen pro Minute (= 100 %), der gleiche Wert ergibt sich für die Situation „lockere Bebauung“ ($\pm 7,5$). Nachdem beide Kurven innerhalb der ersten 5 Sekunden relativ gleichmäßig auf ein Niveau um 102% der Baseline ansteigen, unterscheiden sie sich im weiteren Verlauf doch relativ stark. Während die Kurve „freies Feld“ konstant über 100% bleibt, mitunter auf ein Niveau von fast 104% ansteigt (15.-20. Sek., 140.-160. Sek.), verläuft die Kurve der Situation „lockere Bebauung“ über weite Bereiche unter dem 100%-Niveau, der Mittelwert über die gesamten 4 Minuten beträgt 99,47% und liegt damit relativ nahe an der Baseline. Signifikante Unterschiede bestehen vor allem zwischen der 60. und der 150. Sekunde (s. Tab. 9).

Im Vergleich zu allen anderen Geräuschen zeigt der Verlauf der Herzfrequenz bei diesen beiden Geräuschen die geringsten Schwankungen, ist somit am ruhigsten. Dies lässt sich auch durch den Vergleich der Standardabweichungen der Mittelwerte über das gesamte Intervall von der 0. bis zur 240 Sekunde bestätigen. Während bei den Ausfallstraßen die Standardabweichung bei 4,0 bzw. 4,9 % liegt, sind die Standardabweichungen bei fast allen anderen Geräuschen meistens zwischen 6 und 7 %.

Tab. 9: Mittelwerte und Standardabweichungen der prozentualen Veränderung (Ausgangswert = 100 %) der Herzfrequenz bei Darbietung der Geräusche Ausfallstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h): freies Feld (11) vs. lockere Bebauung (12), für verschiedene Zeitintervalle (Block B)

Herzfrequenz bei Darbietung der Geräusche von Ausfallstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h) (Block B)						
Zeitintervall (s)	n	freies Feld		lockere Bebauung		Sig.
		Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	p
65-70	24	102,51	7,4	98,12	5,3	0,05
70-75	24	102,03	6,1	97,27	5,9	0,02
85-90	24	102,39	9,7	96,32	6,7	0,07
90-95	24	100,80	6,3	97,22	5,7	0,07
105-110	24	100,28	5,2	98,22	3,7	0,06
110-115	24	100,16	6,9	96,80	5,2	0,09
195-200	24	101,67	3,7	99,35	6,8	0,09
0-30	24	102,35	5,4	100,96	5,4	0,73
30-240	24	101,54	5,1	99,26	4,0	0,17
0-240	24	101,64	4,9	99,47	4,0	0,10

5.4.2 Hautleitfähigkeit (Block B)

Wie man in Abb. 19 erkennen kann, steigen beide Kurven in der Initialphase an, wobei die Kurve für die Straße mit lockerer Bebauung deutlich stärker steigt als diejenige der Straße mit freier Schallausbreitung. Im weiteren Verlauf fallen beide Kurven sehr langsam wieder ab und nähern sich dem Baseline-Niveau, wobei die Reaktion auf das Geräusch der Straße mit lockerer Bebauung kontinuierlich auf einem höheren Niveau bleibt bzw. weniger stark fällt. Signifikante Unterschiede bestehen dabei während der 5.- 45. Sekunde, dann noch einmal zwischen der 80. und 90. Sekunde (s. Tab. 10).

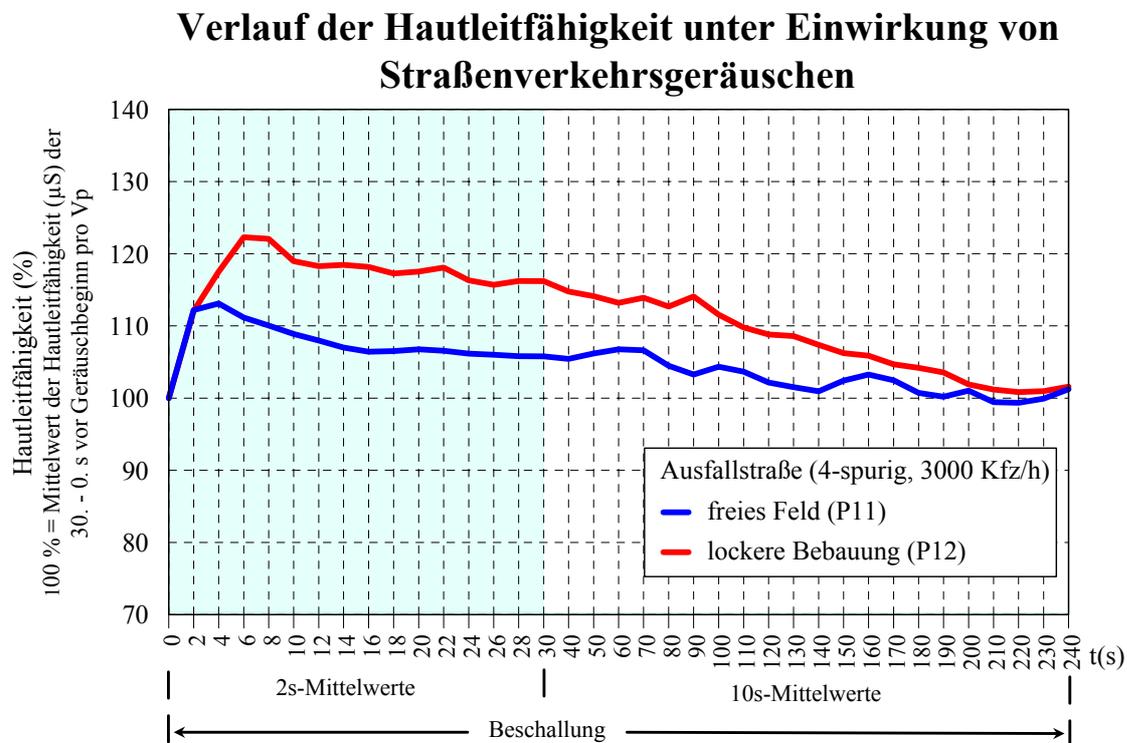


Abb. 19: Verläufe der Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Hautleitfähigkeit bei Darbietung der Geräusche von zwei zweispurigen Ausfallstraßen mit hoher Verkehrsbelastung (3000 Kfz/h), freies Feld (11) vs. lockere Bebauung (12) (Block B)

Tab. 10: Mittelwerte und Standardabweichungen der prozentualen Veränderungen (Ausgangswert = 100 %) der Hautleitfähigkeit bei Darbietung der Geräusche von Ausfallstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h), freies Feld (11) vs. lockere Bebauung (12), für verschiedene Zeitintervalle (Block B)

Hautleitfähigkeit bei Darbietung der Geräusche von Ausfallstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h) (Block B)						
Zeitintervall (s)	n	freies Feld (11)		lockere Bebauung (12)		Sig.
		Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	p
5-10	20	109,94	14,4	121,28	19,4	0,00
10-15	20	107,50	11,6	118,34	16,5	0,01
15-20	20	106,57	11,2	117,37	16,2	0,02
20-25	20	106,28	10,6	117,12	16,9	0,03
25-30	20	105,90	10,58	115,97	17,0	0,03
30-35	20	105,71	10,9	115,49	16,7	0,03
35-40	20	105,13	11,2	114,03	16,0	0,06
40-45	20	105,20	10,9	114,03	15,3	0,04
45-50	20	107,14	16,7	114,21	16,7	0,04
50-55	20	107,47	21,1	113,68	15,8	0,04
55-60	20	106,06	18,6	112,70	15,1	0,04
60-65	20	107,12	17,7	112,50	14,3	0,04
65-70	20	106,12	16,8	115,29	19,9	0,03
70-75	20	104,90	16,2	113,22	17,2	0,04
75-80	20	104,08	15,8	112,15	15,8	0,04
80-85	20	103,27	15,2	114,14	17,05	0,02
85-90	20	103,24	15,0	114,02	16,8	0,02
90-95	20	104,06	14,2	111,72	15,9	0,10
115-120	20	101,54	13,3	108,63	14,7	0,09
0-30	20	108,05	11,9	117,48	15,7	0,02
30-240	20	102,66	12,5	107,65	13,9	0,20
0-240	20	103,36	12,3	108,87	14,0	0,17

5.4.3 Subjektive Geräuschbewertung im paarweisen Vergleich (Block B)

Abb. 20 zeigt die Tortendiagramme der subjektiven Bewertung der beiden Ausfallstraßen. Die paarweisen Beurteilungen lassen keine eindeutige Tendenz erkennen, die für die Bevorzugung eines der beiden Verkehrsgeräusche spricht.

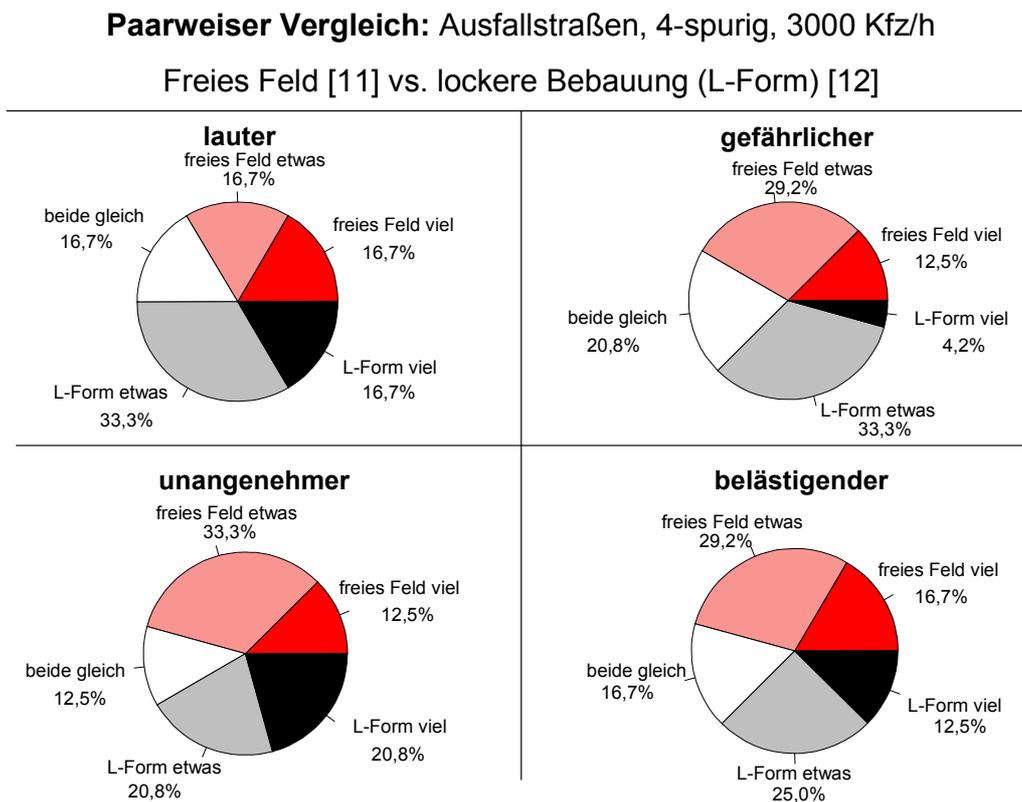


Abb. 20: Subjektive Bewertung der Geräusche von zwei vierspurigen Ausfallstraßen mit hoher Verkehrslast (3000 Kfz/h), freies Feld (11) vs. lockere Bebauung (L-Form, 12), im paarweisen Vergleich (Block B)

Die Situation „lockere Bebauung“ erscheint

- lauter (50,0% gegenüber 33,4%)

Demgegenüber erscheint die Situation „freies Feld“

- gefährlicher (41,7% gegenüber 37,5%)
- unangenehmer (45,8% gegenüber 41,6%)
- belästigender (45,9% gegenüber 37,5%)
- aktivierender (33,4% gegenüber 29,2%)

Insgesamt ist die Verteilung allerdings so ausgeglichen, dass die Unterschiede statistisch nicht signifikant sind.

5.4.4 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse im Block B

Tab. 11 zeigt piktografisch die Tendenzen der Reaktionen auf zwei Ausfallstraßen. Die Ergebnisse sind sehr uneinheitlich und es fällt schwer, hier eine eindeutige Aussage hinsichtlich der Präferenz einer Geräuschsituation zu treffen. So scheint die Reaktion der Herzfrequenz auf die Situation „freies Feld“ stärker zu sein, es kommt zu einem signifikanten Intervall über einen langen Zeitraum (60. bis 150. Sekunde). Gleichzeitig fällt bei Betrachtung der Hautleitfähigkeitsmessung ins Auge, dass nach einem deutlich stärkeren Anstieg für die Situation „lockere Bebauung“ auch beim anschließenden Abfall beider Kurven diese konstant auf einem höheren Niveau verbleibt, sie sich also gegensätzlich zur Herzfrequenz verhält.

Tab. 11 Zusammenfassende Gegenüberstellung der Reaktionen auf zwei Verkehrsgereusche von zwei Ausfallstraßen (3000 Kfz / h, 70 km/h) mit freier Schallausbreitung (11) gegenüber lockerer Bebauung (12) (Block B)

Parameter	Stärke der Reaktion auf Verkehrsgereusche von Ausfallstraßen (3000 Kfz/h, 50 km/h)	
	freies Feld (11)	locker bebaut (12)
Herzfrequenz	↑	○
Hautleitfähigkeit	↑	↑ ↑
„lauter“		*
„gefährlicher“	(*)	
„unangenehmer“	(*)	
„belästigender“	*	
„aktivierender“	(*)	

Diese Diskrepanz setzt sich bei der subjektiven Bewertung fort. Hier erscheint die Situation mit lockerer Bebauung zwar etwas lauter, alle anderen Adjektive gehen aber in die entgegengesetzte Richtung und lassen die Situation „freies Feld“ als etwas weniger tolerabel erscheinen. Allerdings sind die Unterschiede sehr gering und statistisch nicht signifikant.

Insgesamt sind die beiden Geräusche offenbar so ähnlich, dass nur zufällige Unterschiede zu verzeichnen sind; oder die Geräusche unterscheiden sich schon merklich in irgendeiner Qualität – die eine wird als „lauter“ empfunden, die andere als „unangenehmer“ und „belästigender“ – sind aber beide so wenig aktivierend, dass unsere physiologischen Messinstrumente (oder unser Verständnis der Reaktionsmechanismen) nicht ausreichen, um diese Unterscheidungsmerkmale nachzuvollziehen.

5.5 Block C: Zweispurige Stadtstraßen mit mittlerer Verkehrslast (1200 Kfz/h) und unterschiedlicher Verkehrsregulierung: Ampelkreuzung (20) vs. Kreisverkehr (21)

Bei dem Geräuschpaar im Block C handelt es sich um Stadtstraßen, die zu einer Kreuzung führen. Sie unterscheiden sich jedoch durch die Art der Verkehrsregulierung an der Kreuzung: Bei der Kreuzung Rue Faidherbe / Rue Chaligny (20) (Abb. 21) wird der Verkehr durch eine klassische Ampelanlage reguliert, während an der Place du Colonel Bourgoïn (21) (Abb. 22) der Verkehr über einen Kreisverkehr durchgeleitet wird. Das Verkehrsaufkommen betrug bei beiden Verkehrssituationen 1200 Kfz/h.



Abb. 21: Verkehrssituation „Ampel“ an der Kreuzung Rue Faidherbe / Rue Chaligny (20)



Abb. 22: Verkehrssituation „Kreisverkehr“ am Place du Colonel Bourgoin (21)

5.5.1 Herzfrequenz (Block C)

Abb. 23 zeigt den Kurvenverlauf der Herzfrequenz während der Geräusche im Block C.

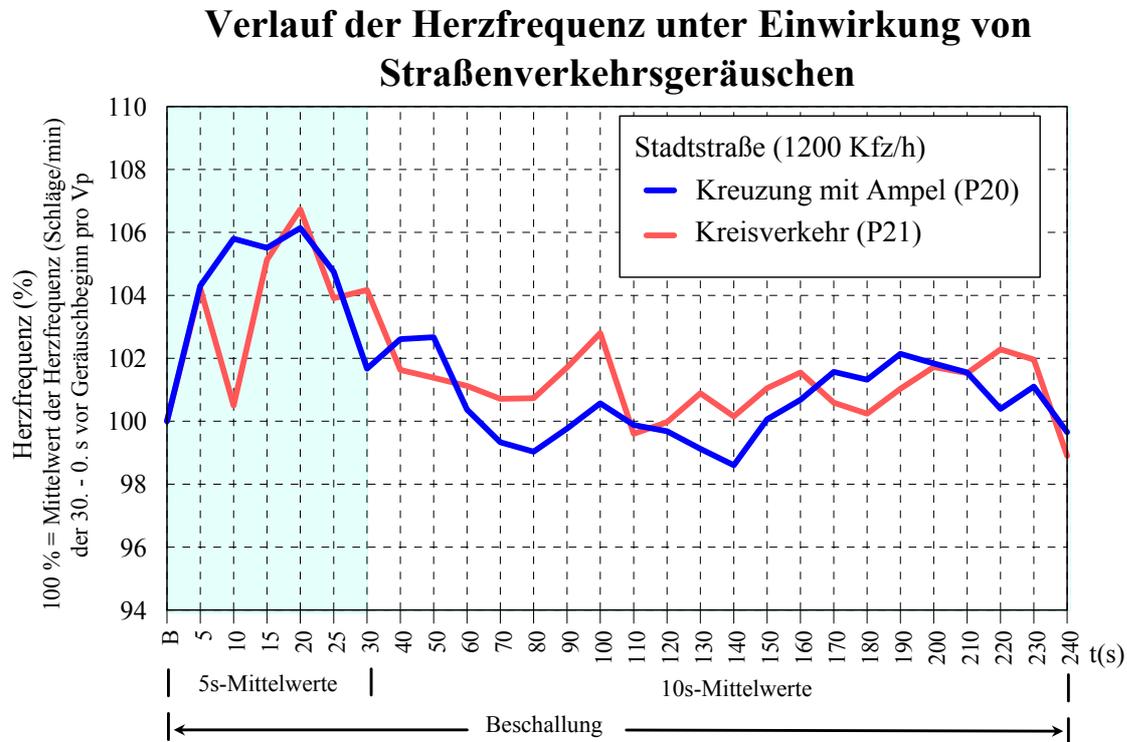


Abb. 23: Verläufe der Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Herzfrequenz bei Darbietung der Geräusche von zweispurigen Stadtstraßen mit mittlerer Verkehrslast (1200 Kfz/h) und unterschiedlicher Verkehrsregulierung: Ampelkreuzung (20) vs. Kreisverkehr (21) (Block C)

Die absoluten Werte der Herzfrequenz-Baseline betragen $64,1 (\pm 10,2)$ Schläge pro Minute (= 100 %) für die Aufnahme des Verkehrsgeräuschs der Ampelkreuzung und $63,4 (\pm 9,2)$ Schläge pro Minute (= 100 %) für das Verkehrsgeräusch des Kreisverkehrs. Beide Kurven steigen während der ersten 30 Sekunden an, wobei die Ampelkreuzungs-Kurve vielleicht etwas konstanter steigt. Im Großen und Ganzen gibt es aber keine großen Unterschiede zwischen beiden Kurven. Vergleicht man das Zahlenmaterial, bestätigt sich dieser Eindruck. Außer einem initialen Anstieg bewegen sich die Werte beider Kurven über die meiste Zeit im Bereich der Baseline. Zur besseren Übersicht siehe Tab. 12.

Tab. 12: Mittelwerte und Standardabweichungen der prozentualen Veränderung (Ausgangswert = 100 %) der Herzfrequenz bei Darbietung der Geräusche von zweispurigen Stadtstraßen mit mittlerer Verkehrslast (1200 Kfz/h) und unterschiedlicher Verkehrsregulierung: Ampelkreuzung (20) vs. Kreisverkehr (21), für verschiedene Zeitintervalle (Block C)

Herzfrequenz bei Darbietung der Geräusche von zweispurigen Stadtstraßen mit mittlerer Verkehrslast (1200 Kfz/h) (Block C)						
Zeitintervall (s)	n	Ampelkreuzung (20)		Kreisverkehr (21)		Sig. p
		Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	
90-95	24	100,54	9,1	104,10	7,3	0,10
0-30	24	104,66	8,9	104,04	8,0	0,82
30-240	24	100,56	7,0	101,01	6,1	0,93
0-240	24	101,07	6,9	101,39	6,1	0,80

5.5.2 Hautleitfähigkeit (Block C)

Abb. 24 gibt einen Überblick über den Verlauf der Hautleitfähigkeit während der Darbietung der einzelnen Geräusche im Block C.

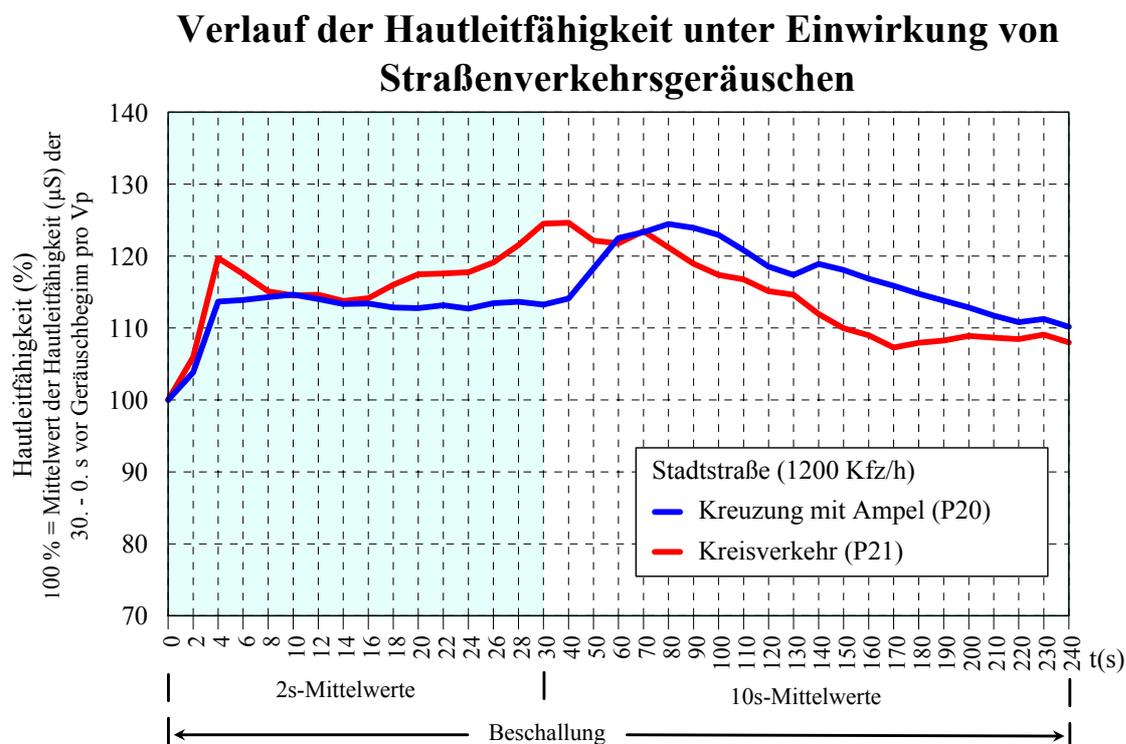


Abb. 24: Verläufe der Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Hautleitfähigkeit bei Darbietung der Geräusche von 2-spurigen Stadtstraßen mit mittlerer Verkehrslast (1200 Kfz/h) und unterschiedlicher Verkehrsregulierung: Ampelkreuzung (20) vs. Kreisverkehr (21) (Block C)

In beiden Fällen nimmt die Hautleitfähigkeit in der Initialphase kontinuierlich zu, wobei beim Kreisverkehr ein etwas steilerer Anstieg zu verzeichnen ist. Eine Minute nach Einsetzen der Geräusche fällt die Kurve des Kreisverkehrs wieder etwas ab, während die der Ampelkreuzung für eine weitere Minute auf einer Ebene um 120% verharrt, und auch gegen Ende verbleibt die Kurve „Ampelkreuzung“ auf einem höheren Niveau. Auf die Gesamtzeit bezogen lässt sich feststellen, dass die Kurve „Ampelkreuzung“ über die meiste Zeit eine etwas stärkere Reaktion zeigt. Die Zahlenwerte belegen dieses Bild, siehe dazu auch Tab. 13.

Tab. 13: Mittelwerte und Standardabweichungen der prozentualen Veränderung (Ausgangswert = 100 %) der Hautleitfähigkeit bei Darbietung der Geräusche von zweispurigen Stadtstraßen mit mittlerer Verkehrslast (1200 Kfz/h) und unterschiedlicher Verkehrsregulierung: Ampelkreuzung (20) vs. Kreisverkehr (21), für verschiedene Zeitintervalle (Block C)

Hautleitfähigkeit bei Darbietung der Geräusche von zweispurigen Stadtstraßen mit mittlerer Verkehrslast (1200 Kfz/h) (Block C)						
Zeitintervall (s)	n	Ampelkreuzung		Kreisverkehr		Sig.
		Mittelwert (% vom Ausgangswert)	SD	Mittelwert(% vom Ausgangswert)	SD	p
190-195	19	112,75	39,8	110,98	27,2	0,08
200-205	19	111,96	39,2	110,39	29,4	0,07
205-210	19	111,47	38,9	110,94	32,4	0,09
210-215	19	111,16	38,6	110,47	32,4	0,06
0-30	19	112,70	13,1	115,87	17,3	0,97
30-240	19	117,10	39,4	115,82	33,4	0,42
0-240	19	116,54	35,6	114,33	30,8	0,40

5.5.3 Subjektive Geräuschbewertung im paarweisen Vergleich (Block C)

Während die physiologischen Parameter keine Präferenz zugunsten eines der beiden Geräusche erkennen lassen, ist die subjektive Einschätzung der Geräusche eindeutig. Die Kreisdiagramme (Abb. 25) zeigen eine recht klare Bevorzugung der Geräusche des Kreisverkehrs.

**Paarweiser Vergleich: Stadtstraßen, 1200 Kfz/h,
Verkehrsregulierung: Kreuzung mit Ampel [20] vs. Kreisverkehr [21]**

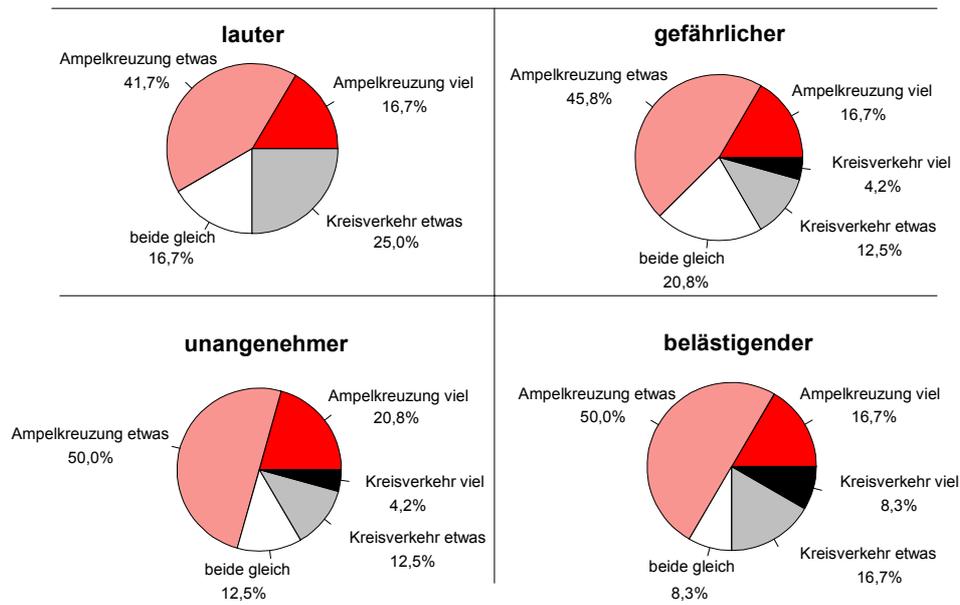


Abb. 25: Subjektive Bewertung der Geräusche von zwei zweispurigen Stadtstraßen mit mittlerer Verkehrslast (1200 Kfz/h) und unterschiedlicher Verkehrsregulierung: Ampelkreuzung (20) vs. Kreisverkehr (21), im paarweisen Vergleich (Block C)

Zusammenfassend erscheint die Lärmbelastung an einer Kreuzung

- lauter (58,4% gegenüber 25,0% für den Kreisverkehr)
- gefährlicher (62,5% gegenüber 16,7%)
- unangenehmer (70,8% gegenüber 16,7%)
- belästigender (66,7% gegenüber 25,0%)
- aktivierender (50% gegenüber 29,2%)

Statistisch signifikant sind hier die Attribute „lauter“ ($p < 0,05$), „gefährlicher“ ($p < 0,05$) und „unangenehmer“ ($p < 0,05$).

5.5.4 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse im Block C

Tab. 14 zeigt piktografisch die Tendenzen der Reaktionen auf zwei Stadtstraßen (1200 Kfz/h) mit unterschiedlicher Verkehrsregulierung: Ampelkreuzung (20) vs. Kreisverkehr (21).

Tab. 14 Zusammenfassende Gegenüberstellung der Reaktionen auf zwei Verkehrsgeräusche von zwei Stadtstraßen (1200 Kfz/h, 50 km/h) mit unterschiedlicher Verkehrsregulierung: Ampelkreuzung gegenüber Kreisverkehr (Block C)

Parameter	Stärke der Reaktion auf Verkehrsgeräusche von Stadtstraßen mit unterschiedlicher Verkehrsregulierung	
	Ampelkreuzung	Kreisverkehr
Herzfrequenz	↑	↑
Hautleitfähigkeit	↑ ↑ ↑	↑ ↑
„lauter“	* *	
„gefährlicher“	* *	
„unangenehmer“	* * *	
„belästigender“	*	
„aktivierender“	(*)	

Die Ergebnisse sprechen letztendlich für eine höhere Akzeptanz des Kreisverkehrs, wobei die Herzfrequenzkurve wiederum leider relativ wenig Aussagekraft hat. Sie verläuft nach kurzem Anstieg in beiden Fällen auf größtenteils gleichmäßigem Niveau. Es besteht nur ein kleiner signifikanter Bereich zwischen der 5. und der 10. Sekunde. Im Gegensatz dazu besteht kein einziger Signifikanzbereich bei der Hautleitfähigkeit, die Kurve „Kreuzung“ verbleibt aber dennoch über weite Strecken auf höherem Niveau, was für eine stärkere Reaktion spricht. Relativ eindeutig ist hingegen der Paarvergleich, hier schneidet das Verkehrsgeräusch der Ampelkreuzung deutlich schlechter ab. Es finden sich signifikante Ergebnisse bei den drei Adjektiven „lauter“, „gefährlicher“ und „unangenehmer“.

6. Diskussion

6.1 Kritische Wertung der physiologischen Parameter

Für die Erfassung der kurzzeitigen zentralnervösen Aktivierung durch externe Stimuli haben sich speziell in der Lärmforschung einfache, den Probanden nicht belastende Methoden der Registrierung physiologischer Parameter etabliert. Hierzu gehören besonders die periphere Volumenpulsation (Fingerpulsamplitude), die Herzfrequenz, die Hautleitfähigkeit, die Hauttemperatur, das Elektromyogramm (Stirn oder Unterarm) sowie die Atemfrequenz. Natürlich sind physiologische Parameter stets gewissen Schwankungen unterworfen und es lassen sich aufgrund individueller Veranlagungen und Voraussetzungen keine absoluten Referenzwerte vorgeben. Inter- und intraindividuelle Schwankungen der jeweiligen Signale lassen sich jedoch durch Ermittlung eines Ruhewertes als Ausgangswert (sog. „baseline“) ausgleichen, so dass eine Quantifizierung der physiologischen „Erregung“ der einzelnen Versuchspersonen ermöglicht wird. Auch in anderen Körperregionen bzw. Reaktionssystemen des vegetativen Nervensystems wie z. B. Gastrointestinaltrakt, Nebenniere(nrinde), Pupille oder Blutdruck lassen sich physiologische Antwortreaktionen aufzeigen. Allerdings ist deren Erfassung mit deutlich höheren methodischen Schwierigkeiten behaftet.

Ganz allgemein gilt, dass sich durch Lärmstimuli mit genügend hoher Intensität zuverlässig Reaktionen auslösen lassen, die eine Anhebung des Niveaus der zentralnervösen Aktivierung anzeigen (Schwarze 1991). Im Weiteren hatte sich in einer Studie zum binauralen Hören gezeigt, dass Geräuschquellen mit unterschiedlichem Informationsgehalt (z. B. verschiedene Industrielärmgeräusche) zu unterschiedlichen Verläufen bzw. Reaktionsstärken führen können trotz gleicher Lautstärke (gleicher Beurteilungspegel) (Schwarze et al. 1991, Schwarze et al. 1993, s. a. Abschlussbericht des gesamten Verbundprojektes Genuit et al. 1997).

Ausgehend von den wegweisenden Ergebnissen dieser Studie zum binauralen Hören war ein vergleichbares methodisches Design für die Fragestellung im SVEN-Verbundprojekt verwendet worden. Als Indikator der kurzzeitigen zentralnervösen Aktivierung waren hier ebenfalls insgesamt vier physiologische Parameter ausgewählt worden: Fingerpulsamplitude und Elektromyogramm stellten die Reaktionsparameter in der Arbeit von Zodrow (2005) dar. Herzfrequenz und Niveau der Hautleit-

fähigkeit (skin conductance level, SCL) sind in der vorliegenden Arbeit verwendet worden.

Da die Herzfrequenz auf nahezu jegliche Art von physiologischen oder psychologischen Reizen reagiert (sei es mit Frequenzbeschleunigung oder –abfall), war erwartet worden, dass sie auch bei den in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Experimenten zu eindeutig verwertbaren Antwortreaktionen führt und darüber hinaus auf die feinen akustischen Unterschiede der eingesetzten Verkehrsgeräusche differenzierend reagiert. Wie in der übergreifenden Darstellung der zusammengefassten Reaktion auf alle acht experimentellen Geräusche gezeigt werden konnte, kommt es mit einer Latenz von wenigen Sekunden nach Beginn der Beschallung zu einer im Mittel klaren Herzfrequenzbeschleunigung, die sich allerdings innerhalb von rund 30 Sekunden wieder weitgehend abbaut. Sie bleibt für den Rest des Experiments auf einem gegenüber dem Ausgangswert nur leicht erhöhten Niveau. Offenbar können gegenregulatorische Mechanismen die Erhöhung der Herzfrequenz wieder relativ schnell ausgleichen.

Bei der Bewertung der Hautleitfähigkeit kommen etwas andere Gesichtspunkte zum Tragen. Dieser Parameter wird gerne und auch mit großem Erfolg für psychophysiologische Studien verwendet, in denen z. B. emotionale Reize oder Auswirkungen erhöhter Leistungsanforderungen untersucht werden. Für die Analyse von Lärmwirkungen ist die Hautleitfähigkeit ebenfalls gut geeignet. Hier interessieren die kurzfristigen Reaktionen, die sich mit einer Latenz von etwa 1-3 Sekunden aufbauen und nach etwa 2-6 Sekunden ihren maximalen Wert erreichen. Im weiteren Verlauf der Stimulation geht das maximal erreichte Niveau nur allmählich wieder zurück. Durch intermittierende Reizerhöhung kann sich das Niveau wieder anheben. Diese Reaktionsform wurde auch in der übergreifenden Auswertung für alle acht Geräusche zusammen deutlich. Ausgehend von der baseline stellt sich in der 4. Sekunde ein Maximum ein, das in dieser Höhe für 1 ½ Minuten beibehalten wird. Danach kommt es zu einem Absinken des Levels, ohne dass während der Beschallung die Baseline wieder erreicht wird.

Als Fazit lässt sich festhalten, dass die im Experiment verwendeten physiologischen Parameter zuverlässig auf Schallreize reagierten und damit für die Erfassung von lärmbedingten Reaktionen grundsätzlich geeignet sind. Für die Darstellung von Re-

aktionsunterschieden, die sich auf die Geräuschqualität bezogen, sind sie allerdings in unterschiedlicher Güte geeignet. Im Prinzip zeigten beide Parameter zwar jeweils gleichsinnige Reaktionsrichtungen. Allerdings war die Reaktion der Herzfrequenz einerseits nur sehr kurzfristig, andererseits aber auch sehr sensibel auf bestimmte Änderungen im Geräuschverlauf. Der Verlauf des Hautleitfähigkeitsniveaus lieferte hingegen eher stabile Werte.

6.2 Kritische Wertung der Erfassung der subjektiven Geräuschbewertung

Die subjektive Geräuschbewertung fand aus methodischen Gründen erst am Ende der Registrierung der physiologischen Parameter statt. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass Ermüdungseffekte nach Beendigung der Registrierung durchaus einen Einfluss auf die Konzentration und Motivation zum erneuten Anhören der Geräusche und zum Ausfüllen der Fragebögen haben. Immerhin hatten die Versuchspersonen, bevor mit dem Ausfüllen der Fragebögen begonnen werden konnte, bereits über eine Stunde still sitzend im Versuchsraum verbracht. Außerdem erwärmte sich der Raum während des Experiments in der Regel etwas.

Optimal wäre gewesen, die subjektive Geräuschbewertung jeweils am Ende eines Blocks vorzunehmen. Vorversuche hatten jedoch ergeben, dass nach dem Bearbeiten der Fragebögen als Folge der damit verbundenen mentalen und muskulären Aktivierung eine Ruhezeit von mindestens 15-20 Minuten vor Beginn des folgenden Blocks notwendig gewesen wäre, um wieder zu stabilen Ruhewerten der physiologischen Parameter zu gelangen. Dadurch wäre das Experiment insgesamt deutlich zu lang geworden.

Erfreulich ist, dass trotz der möglichen Nachteile durch das gewählte Prozedere die Paarvergleiche bei den Blöcken A, C, D klare Ergebnisse lieferten. Es zeichnete sich jeweils eine klare Tendenz für die subjektive Bevorzugung eines der beiden Geräusche ab. Bei Block B hingegen waren die Bewertungen uneinheitlich. Hier unterscheiden sich die beiden Geräusche wohl so wenig, dass es auch auf kognitiver Ebene keine Bevorzugung oder Ablehnung eines der beiden gab.

6.3 Gesamtschau der Ergebnisse

6.3.1 Vergleich von Stadtstraßen mit einseitiger bzw. beidseitiger Bebauung

Ein entscheidender Faktor des Geräuscheindrucks von Verkehrslärm ist die Reflexion des Schalls von angrenzenden Gebäudefassaden. Dabei gilt, je enger die Straße, desto höher der Schallpegel aufgrund der Schallreflexion und desto unangenehmer der Geräuscheindruck. Das Ausmaß der Schallreflexion hängt dabei jedoch nicht nur von der Straßenbreite, sondern auch von der Höhe der angrenzenden Gebäude ab. Aus der Höhe der Gebäude H zur Straßenbreite L wird ein Quotient gebildet (sog. U-ratio) (s. auch Kap. 4.3). Die in Block D und A verwendeten beidseitig bebauten Straßen erfüllten beide die Regel, dass die U-ratio über 0,3 liegt. Bei in etwa gleicher Bebauungshöhe (18 m), ist die Rue de la Tombe d'Issoire (2-spurig) rund 18 m breit (U-ratio=1) und die Avenue du Général Leclerc (4-spurig) rund 25 m breit (U-ratio=0,72).

Wie die vergleichenden Zusammenstellungen zeigen, traten bei den Geräuschen mit einseitiger bzw. beidseitiger Bebauung, aber unterschiedlicher Straßenbreite zwar Unterschiede in der psychophysiologischen Bewertung auf, jedoch mit gegenteiliger Tendenz. Während bei der 2-spurigen Stadtstraße das Geräusch mit einseitiger Bebauung unangenehmer bewertet wurde, war bei der 4-spurigen und deshalb wesentlich breiteren Stadtstraße die Geräuschsituation mit beidseitiger Bebauung schlechter bewertet worden. Im Prinzip wurde aber erwartet, dass in beiden Blöcken die Straße mit einseitiger Bebauung besser bewertet würde als die einseitig bebaute.

Während also der Vergleich der Verkehrsgeräusche von zwei 4-spurigen Stadtstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen Ergebnisse zeitigt, die die Erwartungen bestätigen, muss es Gründe dafür geben, dass bei dem Vergleich von zwei 2-spurigen Stadtstraßen mit wenig Verkehr diese Erwartung nicht bestätigt wird.

Zunächst ist hier festzuhalten, dass die Verkehrsmenge von Block D und A sehr unterschiedlich ist. Bei einem Durchfluss von 3000 Kfz/h entsteht ein eher gleichförmiges Geräusch. Bei einer Verkehrsmenge von nur 750 Kfz/h schwankt der Schallpegel sehr deutlich und es lassen sich ggf. einzelne akustische Ereignisse identifizieren. Da bei dem Geräuschpaar mit 750 Kfz/h aufgrund des Vorhandenseins einer Bushaltestelle eine akustisch auffällige Konstellation entstand, wurde dieses Ge-

räusch schlechter bewertet und der Effekt der unterschiedlichen Bebauung trat in den Hintergrund.

Diese Hypothese wurde in einer separaten Auswertung von Schwarze et al. (2004) genauer untersucht. Dabei wurden die beiden Geräusche mit einseitiger Bebauung, nämlich das Geräusch (1) aus Block A und das Geräusch (8) aus Block D sozusagen in einem Quervergleich einander gegenüber gestellt. Die Ergebnisse der physiologischen Parameter und der subjektiven Bewertung waren eindeutig: Das Geräusch mit höherer Verkehrsdichte wurde klar präferiert. In einer Terzbandanalyse ließ sich die unterschiedliche Zeitstruktur der Geräusche darstellen. Die geringere Verkehrsdichte bewirkt, dass Einzelereignisse stärker aus dem Grundgeräuschpegel herausragen. Entsprechend ergibt sich auch zahlenmäßig eine größere Streuung der Schallspitzen: Die Differenz der Pegelhäufigkeiten zwischen L_{eq} und L_{50} beträgt bei der Straße (8) mit geringerer Verkehrsdichte 3,3 dB(A) und bei der höheren (1) nur 0,8 dB(A).

6.3.2 Vergleich von Ausfallstraßen

Zu dieser Interpretation passen auch die Ergebnisse, die für die Ausfallstraßen (Block B) erzielt wurden. Der Vergleich der Verkehrssituationen „lockere Bebauung“ gegenüber „freies Feld“ zeigt nämlich keine eindeutige Tendenz. Während beim Vergleich der Herzfrequenz die Kurve der Situation „freies Feld“ konstant über Baseline-Niveau verbleibt, fällt die Kurve der Situation „lockere Bebauung“ nach initialem Anstieg sogar unter die Baseline ab. Im Gegensatz dazu ist bei der Situation „lockere Bebauung“ anfangs ein stärkerer Anstieg der Hautleitfähigkeit zu verzeichnen. Ein ähnlich ambivalentes Bild ergibt sich bei den Paarvergleichen. Hier ist meist nur eine geringe Tendenz zugunsten eines der Geräusche zu verzeichnen. Es spielt offenbar keine Rolle, ob sich der Schall frei ausbreiten kann oder ob noch vereinzelt Häuser am Straßenrand stehen. Durch die Verkehrsmenge in Kombination mit der höheren Geschwindigkeit gibt es keine klar interpretierbaren Reaktionsunterschiede zwischen den beiden Ausfallstraßen, weder auf der physiologischen noch auf der psychologischen Ebene. Beide Situationen sind akustisch zu ähnlich. Einzelereignisse kommen hier praktisch nicht mehr vor, so dass die Zeitstruktur der Geräusche fast gleich erscheint.

6.3.3 Vergleich von Straßen mit unterschiedlicher Verkehrsregulierung

Beim Vergleich von Ampelkreuzung und Kreisverkehr zeichnet sich ein deutliches Bild zugunsten einer geringeren Belastung durch den Kreisverkehr ab. Diese Wertung wird jedoch am meisten durch die subjektive Geräuschbewertung gestützt, die sehr klare Tendenzen erkennen lässt. Die Reaktion der Herzfrequenz ist wie bei den anderen Blöcken eher wenig bedeutsam. Die Hautleitfähigkeit reagiert etwas stärker auf das Geräusch an der Ampelkreuzung.

Den Probanden war nicht bekannt, um welche Verkehrssituation es sich jeweils handelte. Da zur Zeit die Umwandlung von (Ampel)kreuzungen in einen Kreisverkehr aufgrund ihrer positiven Wirkungen (deutliche Senkung der Unfallgefahr) in den Medien sehr ausführlich diskutiert wird, wäre es möglich gewesen, dass die Probanden von vorneherein eine positive Grundeinstellung gegenüber dem Kreisverkehr hätten haben können. Dies war jedoch nicht der Fall. Beim Kreisverkehr liegt ein eher konstanter Verkehrsfluss vor, während an der Ampelkreuzung die Fahrzeuge häufiger anhalten müssen. Bei jedem Anfahren bei einer Grünphase müssen die Fahrzeuge erneut beschleunigt werden. Der akustische Eindruck, den die Geräusche beim Anhören vermitteln, ist allerdings nicht so stark unterschiedlich, wie man aufgrund der Verkehrsregulierung meinen könnte. Die subjektive Bewertung lässt sich offenbar von den Unterschieden in der zeitlichen Struktur leiten und da das Geräusch des Kreisverkehrs eher fließend ist, wird es als angenehmer als das Geräusch von der Ampelkreuzung empfunden.

6.4 Abschließende Beurteilung der Wertigkeit der Ergebnisse

Vergleicht man abschließend die Ergebnisse, die mit den physiologischen und subjektiven Parametern erzielt wurden, so lässt sich sagen, dass sich diese in der Regel gegenseitig stützen - sicherlich eine der wichtigsten Folgerungen. Die Fragebogenergebnisse erlauben es, den physiologischen Prozessen eine Wertung zuzuschreiben, die sonst unerkannt bliebe, da nicht klar ist, ob die „physiologische Erregung bzw. Aktivierung“ nun positiv oder negativ, angenehm oder unangenehm belegt ist. Vergleicht man die Aussagekraft der physiologischen Parameter, so muss man sa-

gen, dass die Hautleitfähigkeit gegenüber der Herzfrequenz die klareren Ergebnisse bringt.

Abschließend sollte nicht unerwähnt bleiben, dass diese Untersuchung trotz teilweise recht vielversprechender Ergebnisse nur eine Annäherung darstellt. Es besteht sicherlich nach wie vor Unklarheit darüber, welche akustischen Merkmale auf physiologischer und kognitiver Ebene besonders aktivierend wirken, da dabei auch viele individuelle Faktoren eine Rolle spielen dürften. Hierzu werden in Zukunft noch weitere Forschungsaktivitäten von Nöten sein.

7. Zusammenfassung

Diese Arbeit ist im Zusammenhang mit dem von der Europäischen Union geförderten Verbundprojekts SVEN (Sound Quality of Vehicle Exterior Noise, Projekt Nr. G6RD-CT-1999-00113) entstanden. Es werden Experimente beschrieben, die von Januar bis April 2001 im Schalllabor des Instituts für Arbeits- und Sozialmedizin der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf durchgeführt wurden. Dabei wurden in einem Laborexperiment 24 Versuchspersonen 8 Aufnahmen von Verkehrssituationen paarweise dargeboten. Es handelte 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 ausgesucht worden waren. Ziel dieser Arbeit war es, Unterschiede auf die applizierten Geräusche festzustellen, die mit den verkehrstechnischen Eigenschaften in Zusammenhang gebracht werden können. Gleichzeitig sollte die Eignung der aus der Lärmwirkungsforschung bekannten psycho-physiologischen Parametern Herzfrequenz und Hautleitfähigkeit für die differenzierte Beschreibung der erlebten Qualität von Verkehrsgeräuschen geprüft werden. Die Messergebnisse der physiologischen Parameter wurden dann mit subjektiven Geräuschbewertungen verglichen, die per Fragebogen erfasst wurden.

Zwischen den physiologischen Reaktionen und den subjektiven Geräuschbewertungen zeigten sich gute Übereinstimmungen, so dass sich diese beiden Messbereiche gegenseitig validieren, um Aussagen über die Präferenz bestimmter Geräusche zu ermöglichen.

Aufgrund der beobachteten Reaktionsunterschiede konnten Rückschlüsse auf bestimmte Eigenschaften der Verkehrsgeräusche gezogen werden. Ein hoher Stellenwert scheint der zeitlichen Struktur und der akustischen Auffälligkeit der Geräusche zuzukommen. Weitere Untersuchungen müssen klären, mit welchen akustischen Kenngrößen sich diese Eigenschaften objektiv beschreiben lassen.

8. Literaturverzeichnis

Boucsein, W.: Elektrodermale Aktivität. Berlin: Springer

Fowles, D.C.; Christie M.J.; Edelberg, R.; Grings, W.W.; Lykken, D.T.; Venables P.H.: Publication recommendations for electrodermal measurements. In: Psychophysiology 18(1981), S. 232-239

Genuit, K.; Blauert, J.; Bodden, M.; Jansen, G.; Schwarze, S.; Mellert, V.; Remmers, H.: Entwicklung einer Messtechnik zur physiologischen Bewertung von Lärmeinwirkungen unter Berücksichtigung der psychoakustischen Eigenschaften des menschlichen Gehörs. FB 774. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1997

Guski, R.: Lärm – Wirkungen unerwünschter Geräusche. Stuttgart: Verlag Hans Hu-be (1987), S. 8-9

Hashimoto, T.: Die japanische Forschung zur Bewertung von Innengeräuschen im Pkw. Zeitschrift f. Lärmbekämpfung 41 (1994), S. 69-71

Ishiyama, T.; Hashimoto, T.: Influence of sound quality to annoyance caused by road traffic noise. Aus: *Carter, N.; Job, R.F.S. (Hrsg.):* Noise effects '98. Proc. 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney (1994), S. 572-577

Jansen, G.; Notbohm, G.: Lärm. In: Wichmann, Schlipkötter, Fülgraff –Handbuch der Umweltmedizin, Ecomed Verlagsgesellschaft (1992), S. 1-6

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

Jansen, G.; Notbohm, G., Schwarze, S.: Gesundheitsbegriff und Lärmwirkungen. Verlag Metzler-Poeschel, Stuttgart (1999), S. 12-15

Jennings, J.R., Tahmoush, A.J. & Redmond, D.P.: Non-invasive measurement of peripheral vascular activity. In: I. Martin & P. H. Venables (Hrsg.), Techniques in psychophysiology, Chichester: Wiley (1980), S. 69-37.

Ortscheid, J.; Wende, H.: Lärmbelastung in Deutschland. Zeitschrift f. Lärmbekämpfung 49 (2002), S. 41-45

Ortscheid, J.; Wende, H.: Lärmbelastung in Deutschland. Ergebnisse der Befragung im Jahr 2004. Zeitschrift f. Lärmbekämpfung 53 (2006), S. 24-30

Schandry, R.: Lehrbuch Psychophysiologie – Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens. 3. korr. Auflage Weinheim: Psychologie Verlags Union (1996)

Schick, A.: Zur Geschichte der Bewertung von Innengeräuschen in Personenwagen. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 41 (1994), S. 61-68

Schwarze, S.: Langjährige Lärmbelastung und Gesundheit; Schriftenreihe der BA für Arbeitsschutz , Fb 636, Dortmund (1991), S. 14-17

Schwarze, S., Rosendahl, U., Obermann, M., Jansen, G.: Neue Gesichtspunkte zur gehörrichtigen Bewertung komplexer Geräusche anhand eines Vergleichs zwischen konventioneller und binauraler Schallmesstechnik. In: Fortschritte der Akustik, Kongressband zur DAGA '91 - Teil A, S. 541-544; Bad Honnef: DPG - GmbH (1991)

Schwarze, S.; Notbohm, G.; Jansen G.: Die Bedeutung des binauralen Hörens für die Stärke der physiologischen Reaktion auf Geräusche. Zeitschrift f. Lärmbekämpfung 40 (1993); 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), S. 675-677

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

Walschburger, P.: Zur Standardisierung und Interpretation elektrodermalen Messwerte in psychologischen Experimenten. Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie 22 (1975), S. 514-533

Zilles, K.; Rehkämper, G.: Funktionelle Neuroanatomie. 2. Auflage Berlin Heidelberg: Springer Verlag (1994)

Zodrow, G.: Psychophysiologische Bewertung von Verkehrsgeräuschen anhand von Fingerpulsamplitude und Elektromyogramm sowie subjektiver Beurteilung. Dissertation, Med. Fak. HHU-Universität Düsseldorf (2005)

9. Anhang

9.1 Fragebogen Paarvergleich

Geräuschvergleich (GV)

VP Nr. _____

Geräusche Nr. _____ und _____

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

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

Nun zur Beurteilung:

Geräusch A
viel lauter

Geräusch A
etwas lauter

beide
gleich laut

Geräusch B
etwas lauter

Geräusch B
viel lauter

Geräusch A
viel
gefährlicher

Geräusch A
etwas gefährli-
cher

beide
gleich
gefährlich

Geräusch B
etwas gefährli-
cher

Geräusch B
viel
gefährlicher

Geräusch A
viel
unangenehmer

Geräusch A
etwas unange-
nehmer

beide
gleich unange-
nehm

Geräusch B
etwas unange-
nehmer

Geräusch B
viel
unangenehmer

Geräusch A
viel
belästigender

Geräusch A
etwas belästi-
gender

beide
gleich belästi-
gend

Geräusch B
etwas belästi-
gender

Geräusch B
viel
belästigender

Geräusch A
viel
aktivierender

Geräusch A
etwas aktivie-
render

beide
gleich aktivie-
rend

Geräusch B
etwas aktivie-
render

Geräusch B
viel
aktivierender

9.2 Detaillierte Ergebnisse der Vergleiche der physiologischen Reaktionen für die einzelnen Geräuschpaare

Mittelwerte und Standardabweichungen für jedes 5-s-Intervall der Geräuschdarbietungen. Prüfung der Mittelwertunterschiede mit dem Wilcoxon matched pairs signed ranks Test.

- Alle Vergleiche mit Signifikanzniveau $p < .05$ sind dunkelgelb markiert und mit $p < .10$ hellgelb.
- Es sind jeweils alle Probanden mit gültigen Messwerten in beiden Geräuschen eines Paares einbezogen.

Tab. 15: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der Herzfrequenz während aller acht im Experiment verwendeten Straßenverkehrsgeräusche (sowohl Schläge/min als auch prozentuale Abweichung vom Ausgangswert (=100 %))

Über alle acht Straßenverkehrsgeräusche gemittelte Reaktion der Herzfrequenz					
Zeitintervall	N	Schläge pro Minute		Prozentwerte bezogen auf die Baseline	
		Mittelwert	SD	Mittelwert (%)	SD
Baseline	192	63,51	8,9	100,00	
% 0-5s	192	65,62	9,4	103,59	8,5
% 5-10s	192	64,71	9,2	102,25	9,3
% 10-15s	192	65,49	9,5	103,52	10,4
% 15-20s	192	65,97	9,9	104,17	9,8
% 20-25s	192	65,30	9,9	103,08	9,6
% 25-30s	192	64,38	10,0	101,56	9,4
% 30-35s	192	64,12	10,0	101,19	9,7
% 35-40s	192	63,99	9,7	101,03	9,5
% 40-45s	192	64,18	9,9	101,23	8,8
% 45-50s	192	63,96	9,5	100,98	8,9
% 50-55s	192	63,57	9,4	100,37	8,8
% 55-60s	192	63,98	9,4	100,99	8,7
% 60-65s	192	63,51	9,1	100,25	7,9
% 65-70s	192	63,86	9,2	100,82	8,4
% 70-75s	192	63,94	9,4	100,95	8,8
% 75-80s	192	63,82	9,6	100,69	8,5
% 80-85s	192	63,79	9,3	100,65	7,8
% 85-90s	192	63,82	9,6	100,65	8,2
% 90-95s	192	63,85	9,6	100,67	7,6
% 95-100s	192	63,82	9,7	100,66	8,2
% 100-105s	192	63,57	9,4	100,26	7,5
% 105-110s	192	63,63	9,5	100,34	7,7
% 110-115s	192	63,74	9,5	100,62	9,2
% 115-120s	192	63,68	9,5	100,44	8,1
% 120-125s	192	63,73	9,1	100,55	6,9
% 125-130s	192	63,71	9,4	100,50	7,7
% 130-135s	192	63,65	9,3	100,41	7,3
% 135-140s	192	64,20	9,5	101,28	8,0
% 140-145s	192	63,92	9,6	100,83	8,4
% 145-150s	192	63,89	9,1	100,86	7,4
% 150-155s	192	63,99	9,7	100,91	8,1
% 155-160s	192	64,16	10,0	101,14	7,9
% 160-165s	192	63,79	9,4	100,65	7,9
% 165-170s	192	63,78	9,6	100,57	7,6
% 170-175s	192	63,74	9,3	100,60	7,8
% 175-180s	192	64,05	9,4	101,09	8,2
% 180-185s	192	64,06	9,7	101,04	8,4
% 185-190s	192	63,78	9,4	100,64	8,1
% 190-195s	192	63,93	9,2	100,90	7,5
% 195-200s	192	63,92	9,1	100,86	7,1
% 200-205s	192	64,59	9,5	101,95	8,7
% 205-210s	192	64,30	9,5	101,49	8,6
% 210-215s	192	64,41	9,5	101,62	8,0
% 215-220s	192	64,92	9,8	102,41	8,6
% 220-225s	192	64,50	9,6	101,77	8,3
% 225-230s	192	64,63	9,4	101,99	7,7
% 230-235s	192	64,06	9,1	101,13	7,9
% 235-240s	192	63,19	8,9	99,76	7,5
% 0-30s	192	65,23	8,8	103,01	7,1
% 30-240s	192	63,94	8,8	100,89	5,8
% 0-240s	192	64,10	8,7	101,15	5,7

Tab. 16: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der Hautleitfähigkeit während aller acht im Experiment verwendeten Straßenverkehrsgeräusche) (Prozentwerte bezogen auf die Baseline)

Über alle acht Straßenverkehrsgeräusche gemittelte Reaktion der Hautleitfähigkeit			
Zeitintervall	N	Prozentwerte bezogen auf die Baseline	
		Mittelwert (%)	SD
% 0-5s	159	110,98	10,8
% 5-10s	159	114,45	14,1
% 10-15s	159	113,12	14,1
% 15-20s	159	112,56	15,3
% 20-25s	159	112,59	17,1
% 25-30s	159	112,84	19,7
% 30-35s	159	113,64	23,6
% 35-40s	159	113,26	24,0
% 40-45s	159	113,66	26,1
% 45-50s	159	114,64	29,8
% 50-55s	159	115,24	32,4
% 55-60s	159	115,72	34,7
% 60-65s	159	116,23	35,8
% 65-70s	159	116,19	36,9
% 70-75s	159	115,73	38,0
% 75-80s	159	114,75	37,0
% 80-85s	159	114,51	37,2
% 85-90s	159	113,75	36,8
% 90-95s	159	114,10	37,9
% 95-100s	159	114,36	36,9
% 100-105s	159	113,47	36,3
% 105-110s	159	112,79	36,6
% 110-115s	159	112,44	37,3
% 115-120s	159	111,65	36,4
% 120-125s	159	111,69	36,8
% 125-130s	159	110,91	35,9
% 130-135s	159	110,81	35,9
% 135-140s	159	110,93	36,2
% 140-145s	159	110,60	36,0
% 145-150s	159	110,50	35,1
% 150-155s	159	109,96	34,1
% 155-160s	159	109,62	33,7
% 160-165s	159	109,21	34,9
% 165-170s	159	108,88	33,0
% 170-175s	159	108,32	32,4
% 175-180s	159	108,56	32,7
% 180-185s	159	108,13	32,2
% 185-190s	159	107,80	32,6
% 190-195s	159	107,52	31,6
% 195-200s	159	106,94	31,1
% 200-205s	159	106,47	30,7
% 205-210s	159	106,98	31,5
% 210-215s	159	107,10	32,5
% 215-220s	159	106,72	31,5
% 220-225s	159	106,64	31,3
% 225-230s	159	106,43	31,4
% 230-235s	159	106,51	31,6
% 235-240s	159	106,58	31,4
% 0-30s	159	112,83	13,8
% 30-240s	159	110,99	31,9
% 0-240s	159	111,24	29,0

Tab. 17: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der Herzfrequenz während des Geräusches 2-spuriger Stadtstraßen (750 Kfz/h): beidseitige (7) gegenüber einseitige (8) Bebauung) (Prozentwerte bezogen auf die Baseline)

Herzfrequenz (Block D): beidseitige gegenüber einseitiger Bebauung						
Zeitintervall	N	beidseitig (7)		einseitig (8)		Signifikanz p =
		Mittelwert (%)	SD	Mittelwert (%)	SD	
% 0-5s	24	103,72	7,1	102,80	8,4	0,80
% 5-10s	24	103,58	9,1	100,56	9,3	0,22
% 10-15s	24	101,13	7,5	103,53	11,8	0,67
% 15-20s	24	103,72	8,4	104,49	9,3	0,84
% 20-25s	24	101,59	8,8	102,88	10,1	0,89
% 25-30s	24	100,55	6,7	99,43	8,1	0,36
% 30-35s	24	98,56	5,9	99,17	8,9	0,73
% 35-40s	24	100,33	5,0	99,08	8,0	0,38
% 40-45s	24	101,40	8,3	99,02	7,2	0,08
% 45-50s	24	99,73	8,0	101,94	6,3	0,35
% 50-55s	24	99,35	7,2	102,26	9,3	0,57
% 55-60s	24	101,23	9,4	104,03	11,3	0,55
% 60-65s	24	98,38	6,2	102,30	9,1	0,24
% 65-70s	24	100,75	7,6	103,29	9,5	0,73
% 70-75s	24	102,75	10,6	102,33	9,2	0,57
% 75-80s	24	101,10	8,4	102,83	9,8	0,78
% 80-85s	24	102,37	6,3	99,54	7,5	0,10
% 85-90s	24	101,13	6,0	100,94	7,6	0,95
% 90-95s	24	102,17	5,8	101,08	6,8	0,42
% 95-100s	24	101,06	9,1	100,91	8,6	0,86
% 100-105s	24	98,68	5,3	102,23	7,0	0,06
% 105-110s	24	99,07	4,3	103,00	9,1	0,10
% 110-115s	24	99,12	6,8	102,94	10,6	0,28
% 115-120s	24	100,74	7,8	99,85	9,2	0,49
% 120-125s	24	101,80	6,7	102,01	6,5	0,93
% 125-130s	24	101,61	8,1	100,34	6,9	0,38
% 130-135s	24	101,68	5,8	101,77	8,3	0,95
% 135-140s	24	101,70	6,4	103,55	8,0	0,38
% 140-145s	24	100,63	7,1	101,07	7,2	0,98
% 145-150s	24	99,70	6,3	100,78	6,9	0,65
% 150-155s	24	101,15	8,3	101,09	6,0	0,77
% 155-160s	24	100,70	7,5	101,75	7,4	1,00
% 160-165s	24	97,36	5,6	103,57	8,6	0,01
% 165-170s	24	98,73	5,6	100,66	8,1	0,57
% 170-175s	24	99,72	6,9	99,18	6,9	0,49
% 175-180s	24	101,32	6,5	101,24	8,5	0,98
% 180-185s	24	100,29	8,0	100,16	8,4	0,63
% 185-190s	24	99,46	5,5	100,66	9,1	0,91
% 190-195s	24	98,90	6,3	100,56	9,3	0,80
% 195-200s	24	99,59	6,2	100,93	8,2	0,80
% 200-205s	24	102,78	9,3	104,83	14,3	0,65
% 205-210s	24	101,16	6,5	103,79	15,8	0,82
% 210-215s	24	101,89	6,4	102,88	10,8	0,55
% 215-220s	24	103,01	4,3	103,49	10,6	0,84
% 220-225s	24	103,35	6,2	101,11	9,2	0,27
% 225-230s	24	103,64	5,7	100,26	8,4	0,07
% 230-235s	24	103,85	9,0	100,54	8,3	0,23
% 235-240s	24	99,37	6,0	99,30	7,8	0,69
% 0-30s	24	102,32	5,5	102,27	7,1	0,69
% 30-240s	24	100,76	4,0	101,46	6,2	0,91
% 0-240s	24	100,95	3,9	101,56	6,1	0,75

Tab. 18: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der Hautleitfähigkeit während des Geräusches 2-spuriger Stadtstraßen (750Kfz/h): beidseitige (7) gegenüber einseitiger (8) Bebauung) (Prozentwerte bezogen auf die Baseline)

Hautleitfähigkeit (Block D): beidseitige gegenüber einseitiger Bebauung						
Zeitintervall	N	beidseitig (7)		einseitig (8)		Signifikanz p =
		Mittelwert (%)	SD	Mittelwert (%)	SD	
% 0-5s	20	108,88	7,6	107,33	5,8	0,82
% 5-10s	20	108,42	9,6	113,35	12,0	0,25
% 10-15s	20	107,43	8,4	113,34	15,0	0,26
% 15-20s	20	106,12	8,4	112,49	16,8	0,30
% 20-25s	20	105,46	7,6	111,73	17,9	0,41
% 25-30s	20	104,85	7,0	111,11	18,7	0,41
% 30-35s	20	104,19	6,2	114,13	24,2	0,15
% 35-40s	20	103,55	6,1	114,45	24,6	0,09
% 40-45s	20	103,40	6,6	115,29	24,3	0,05
% 45-50s	20	103,12	6,0	117,96	33,8	0,09
% 50-55s	20	102,96	6,1	119,90	43,0	0,13
% 55-60s	20	102,46	6,5	121,89	47,0	0,03
% 60-65s	20	100,14	6,7	123,60	49,8	0,01
% 65-70s	20	100,92	8,7	123,03	53,0	0,02
% 70-75s	20	101,26	8,7	122,89	53,8	0,02
% 75-80s	20	101,59	9,8	122,34	53,6	0,02
% 80-85s	20	100,91	9,6	121,38	53,6	0,02
% 85-90s	20	100,16	9,7	120,24	53,4	0,02
% 90-95s	20	100,36	9,6	119,46	52,6	0,04
% 95-100s	20	101,95	11,5	119,02	51,5	0,09
% 100-105s	20	100,98	10,7	120,00	52,1	0,07
% 105-110s	20	100,09	10,6	119,59	54,2	0,08
% 110-115s	20	99,26	10,5	120,87	57,5	0,04
% 115-120s	20	98,90	10,6	119,79	55,1	0,05
% 120-125s	20	99,18	10,9	118,30	53,3	0,07
% 125-130s	20	98,74	11,2	117,90	53,7	0,08
% 130-135s	20	98,46	11,3	118,57	52,8	0,05
% 135-140s	20	98,16	11,2	120,33	51,8	0,02
% 140-145s	20	97,94	11,5	119,22	50,4	0,03
% 145-150s	20	97,68	12,1	118,79	49,3	0,04
% 150-155s	20	97,45	11,6	116,80	47,6	0,08
% 155-160s	20	97,74	11,8	115,75	45,6	0,14
% 160-165s	20	96,96	11,7	115,09	44,3	0,06
% 165-170s	20	98,89	13,4	114,61	42,9	0,14
% 170-175s	20	98,04	13,5	113,34	41,6	0,13
% 175-180s	20	97,26	13,4	112,73	41,0	0,09
% 180-185s	20	98,09	14,3	112,02	39,4	0,28
% 185-190s	20	97,36	14,4	111,22	38,6	0,30
% 190-195s	20	96,47	13,9	110,41	37,2	0,19
% 195-200s	20	97,13	15,0	109,44	36,4	0,39
% 200-205s	20	97,34	14,3	109,66	35,5	0,46
% 205-210s	20	97,83	14,1	112,40	36,3	0,43
% 210-215s	20	98,86	16,1	111,88	36,1	0,55
% 215-220s	20	97,86	15,6	112,83	36,8	0,28
% 220-225s	20	97,86	15,4	112,65	36,2	0,25
% 225-230s	20	97,00	15,2	112,44	36,4	0,19
% 230-235s	20	97,50	15,5	111,73	36,6	0,35
% 235-240s	20	97,80	15,8	112,12	35,9	0,30
% 0-30s	20	106,87	7,8	111,66	13,9	0,39
% 30-240s	20	99,47	10,3	116,70	42,0	0,03
% 0-240s	20	100,41	9,4	116,16	37,7	0,03

Tab. 19: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der Herzfrequenz während des Geräusches 4-spüriger Stadtstraßen (3000 Kfz/h): einseitige (1) gegenüber beidseitiger (17) Bebauung) (Prozentwerte bezogen auf die Baseline)

Herzfrequenz (Block A): einseitige gegenüber beidseitiger Bebauung						
Zeitintervall	N	einseitig (1)		beidseitig (17)		Signifikanz p =
		Mittelwert (%)	SD	Mittelwert (%)	SD	
% 0-5s	24	103,32	10,3	106,45	8,5	0,35
% 5-10s	24	103,30	10,1	102,66	9,3	0,51
% 10-15s	24	104,34	9,7	104,15	11,4	0,86
% 15-20s	24	103,60	10,4	103,98	10,4	0,78
% 20-25s	24	104,29	10,5	103,69	10,4	0,89
% 25-30s	24	102,43	9,1	102,16	9,1	0,93
% 30-35s	24	100,57	10,5	103,31	11,8	0,89
% 35-40s	24	100,78	9,3	103,64	12,1	0,61
% 40-45s	24	98,99	6,9	103,37	10,2	0,10
% 45-50s	24	101,05	9,1	102,40	10,5	0,61
% 50-55s	24	97,43	8,5	102,76	9,9	0,06
% 55-60s	24	97,46	7,0	103,96	9,1	0,01
% 60-65s	24	99,59	6,8	101,67	8,7	0,44
% 65-70s	24	100,91	10,2	101,75	10,0	0,75
% 70-75s	24	99,80	9,4	104,03	12,3	0,12
% 75-80s	24	101,06	7,9	102,39	11,3	0,69
% 80-85s	24	98,73	6,1	102,43	11,1	0,20
% 85-90s	24	101,75	8,4	100,68	9,6	0,71
% 90-95s	24	98,73	8,0	100,74	9,7	0,55
% 95-100s	24	100,64	8,7	100,94	9,6	0,91
% 100-105s	24	101,80	10,3	100,80	9,1	0,82
% 105-110s	24	101,25	9,3	102,04	9,4	0,78
% 110-115s	24	102,19	13,2	104,68	11,9	0,53
% 115-120s	24	102,69	11,0	100,44	7,8	0,39
% 120-125s	24	100,52	9,0	99,71	8,1	0,51
% 125-130s	24	103,71	10,1	99,66	7,7	0,10
% 130-135s	24	102,17	9,7	100,16	6,4	0,19
% 135-140s	24	102,11	8,8	100,70	9,4	0,59
% 140-145s	24	100,45	9,0	100,32	7,0	0,86
% 145-150s	24	101,74	8,0	100,05	7,2	0,61
% 150-155s	24	101,44	8,5	99,77	7,1	0,51
% 155-160s	24	101,96	9,2	100,01	7,6	0,63
% 160-165s	24	100,57	6,8	100,68	7,5	0,93
% 165-170s	24	101,47	7,5	100,62	7,5	0,55
% 170-175s	24	102,22	7,8	101,84	7,8	0,73
% 175-180s	24	99,75	8,9	102,17	7,3	0,42
% 180-185s	24	100,55	7,2	101,01	10,8	0,75
% 185-190s	24	100,93	9,1	102,21	8,5	0,91
% 190-195s	24	101,58	7,8	101,76	6,8	0,86
% 195-200s	24	101,28	8,1	100,95	7,3	0,95
% 200-205s	24	100,87	8,2	102,04	7,5	0,57
% 205-210s	24	101,15	6,9	100,85	6,8	0,80
% 210-215s	24	100,72	7,3	102,33	8,6	0,42
% 215-220s	24	101,56	8,2	102,14	9,6	0,84
% 220-225s	24	101,20	9,8	101,34	9,7	0,95
% 225-230s	24	102,23	8,5	102,64	8,1	0,78
% 230-235s	24	102,02	7,8	101,49	8,6	0,71
% 235-240s	24	101,98	9,1	100,58	7,8	0,48
% 0-30s	24	103,60	8,1	103,85	7,8	0,59
% 30-240s	24	100,92	6,5	101,59	7,2	0,89
% 0-240s	24	101,26	6,4	101,87	7,2	0,91

Tab. 20: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der Hautleitfähigkeit während des Geräusches 4-spüriger Stadtstraßen (3000 Kfz/h): einseitige (1) gegenüber beidseitiger (17) Bebauung) (Prozentwerte bezogen auf die Baseline)

Hautleitfähigkeit (Block A): einseitige gegenüber beidseitiger Bebauung						
Zeitintervall	N	einseitig (1)		beidseitig (17)		Signifikanz p =
		Mittelwert (%)	SD	Mittelwert (%)	SD	
% 0-5s	20	111,42	8,84	113,27	12,65	0,55
% 5-10s	20	114,89	10,41	117,82	14,33	0,91
% 10-15s	20	112,96	11,21	117,74	17,18	0,26
% 15-20s	20	111,50	11,35	117,57	18,94	0,18
% 20-25s	20	110,44	11,19	119,11	21,77	0,09
% 25-30s	20	109,80	10,72	120,33	26,31	0,03
% 30-35s	20	109,10	10,40	121,56	32,47	0,03
% 35-40s	20	108,09	10,40	122,39	34,81	0,05
% 40-45s	20	107,80	11,48	124,97	42,45	0,05
% 45-50s	20	106,52	10,84	126,30	48,96	0,03
% 50-55s	20	107,34	11,90	127,93	49,57	0,02
% 55-60s	20	106,74	12,98	130,71	51,74	0,02
% 60-65s	20	108,68	17,44	129,48	50,67	0,02
% 65-70s	20	108,20	17,59	128,49	51,15	0,03
% 70-75s	20	108,01	19,36	128,93	53,06	0,03
% 75-80s	20	106,60	17,58	127,49	51,79	0,03
% 80-85s	20	105,73	16,53	126,75	51,94	0,05
% 85-90s	20	105,08	16,22	126,49	51,86	0,05
% 90-95s	20	105,48	16,63	131,64	60,64	0,06
% 95-100s	20	105,91	15,67	132,25	57,84	0,06
% 100-105s	20	105,84	15,99	129,68	56,27	0,07
% 105-110s	20	104,42	14,84	128,15	56,41	0,09
% 110-115s	20	104,37	15,29	128,68	58,49	0,15
% 115-120s	20	103,80	14,62	128,39	57,97	0,14
% 120-125s	20	103,69	14,76	129,59	61,54	0,10
% 125-130s	20	102,12	14,77	127,69	58,36	0,04
% 130-135s	20	102,55	13,69	127,20	58,26	0,09
% 135-140s	20	103,93	13,87	127,21	60,56	0,25
% 140-145s	20	103,64	13,45	128,09	62,31	0,33
% 145-150s	20	103,51	13,71	127,41	60,22	0,33
% 150-155s	20	103,75	13,50	126,21	58,49	0,23
% 155-160s	20	103,64	13,13	126,06	59,33	0,26
% 160-165s	20	103,95	14,66	127,46	66,23	0,26
% 165-170s	20	103,40	14,35	124,40	59,94	0,26
% 170-175s	20	105,09	15,75	122,83	58,46	0,48
% 175-180s	20	108,61	20,61	122,58	57,10	0,88
% 180-185s	20	107,07	19,15	121,94	56,96	0,91
% 185-190s	20	105,94	17,19	122,78	59,95	0,79
% 190-195s	20	105,96	16,94	121,72	57,03	0,82
% 195-200s	20	105,07	15,88	120,68	55,33	0,85
% 200-205s	20	104,47	15,05	119,36	54,73	0,91
% 205-210s	20	105,53	16,32	119,49	55,86	0,77
% 210-215s	20	105,12	16,48	121,38	60,21	0,94
% 215-220s	20	103,61	14,65	120,64	55,78	0,82
% 220-225s	20	102,81	14,19	119,16	54,40	0,82
% 225-230s	20	102,45	13,90	118,32	53,73	0,88
% 230-235s	20	102,08	13,41	119,64	54,79	0,63
% 235-240s	20	102,17	14,74	120,13	55,42	0,53
% 0-30s	20	111,96	9,91	117,77	16,53	0,13
% 30-240s	20	105,20	13,52	125,29	53,93	0,33
% 0-240s	20	106,10	12,79	124,39	48,58	0,33

Tab. 21: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der Herzfrequenz während des Geräusches zweier Ausfallstraßen (3000 Kfz/h, unbebaut gegenüber bebaut) (Prozentwerte bezogen auf die Baseline)

Herzfrequenz (Block B): freies Feld gegenüber lockerer Bebauung						
Zeitintervall	N	freies Feld (11)		lockere Bebauung (12)		Signifikanz p =
		Mittelwert (%)	SD	Mittelwert (%)	SD t	
% 0-5s	24	101,89	7,5	101,99	7,2	0,69
% 5-10s	24	101,20	6,7	100,37	6,8	0,57
% 10-15s	24	103,42	7,9	100,95	8,4	0,30
% 15-20s	24	103,47	9,0	101,23	6,6	0,49
% 20-25s	24	102,38	8,9	101,15	6,8	0,67
% 25-30s	24	102,06	7,0	100,01	8,0	0,57
% 30-35s	24	103,66	8,9	99,65	7,1	0,06
% 35-40s	24	100,75	9,5	99,81	7,5	0,63
% 40-45s	24	101,26	7,2	101,17	7,9	0,89
% 45-50s	24	99,71	7,2	99,51	8,4	0,87
% 50-55s	24	101,19	8,4	97,83	7,2	0,12
% 55-60s	24	101,34	5,9	99,09	6,3	0,27
% 60-65s	24	100,43	7,0	98,78	8,3	0,22
% 65-70s	24	102,51	7,4	98,12	5,3	0,05
% 70-75s	24	102,03	6,1	97,27	5,9	0,02
% 75-80s	24	100,03	5,5	98,07	5,9	0,19
% 80-85s	24	102,16	6,8	99,02	6,4	0,17
% 85-90s	24	102,39	9,7	96,32	6,7	0,07
% 90-95s	24	100,80	6,3	97,22	5,7	0,07
% 95-100s	24	101,22	5,9	98,44	5,0	0,15
% 100-105s	24	100,51	7,5	97,99	4,9	0,23
% 105-110s	24	100,28	5,2	98,22	3,7	0,06
% 110-115s	24	100,16	6,9	96,80	5,2	0,09
% 115-120s	24	101,51	9,6	98,08	5,4	0,33
% 120-125s	24	101,31	6,7	98,85	4,4	0,18
% 125-130s	24	100,48	6,8	98,35	5,4	0,24
% 130-135s	24	100,82	6,3	100,50	6,2	0,95
% 135-140s	24	102,62	9,3	98,30	4,1	0,13
% 140-145s	24	104,50	11,4	99,52	5,1	0,21
% 145-150s	24	102,75	8,8	99,77	5,8	0,57
% 150-155s	24	101,98	11,3	99,94	5,2	0,73
% 155-160s	24	101,82	8,2	100,29	6,9	0,24
% 160-165s	24	101,18	10,2	100,44	6,8	0,46
% 165-170s	24	99,48	8,9	100,65	7,0	0,39
% 170-175s	24	103,06	8,6	98,81	5,3	0,19
% 175-180s	24	101,26	6,5	99,83	6,8	0,51
% 180-185s	24	102,13	5,9	100,35	6,1	0,44
% 185-190s	24	100,80	5,2	98,58	6,4	0,14
% 190-195s	24	100,95	6,2	99,44	7,0	0,32
% 195-200s	24	101,67	3,7	99,35	6,8	0,09
% 200-205s	24	101,57	5,6	100,20	7,4	0,57
% 205-210s	24	101,83	5,4	100,33	6,6	0,57
% 210-215s	24	103,44	9,0	100,62	6,8	0,51
% 215-220s	24	102,84	8,4	101,94	8,0	0,89
% 220-225s	24	102,15	5,2	100,34	8,3	0,32
% 225-230s	24	103,23	8,0	102,43	7,4	0,53
% 230-235s	24	101,55	5,9	100,10	6,8	0,29
% 235-240s	24	99,86	5,7	99,38	8,6	0,65
% 0-30s	24	102,35	5,4	100,96	5,4	0,73
% 30-240s	24	101,54	5,1	99,26	4,0	0,17
% 0-240s	24	101,64	4,9	99,47	4,0	0,15

Tab. 22: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der Hautleitfähigkeit während des Geräusches zweier Ausfallstraßen (3000 Kfz/h): freies Feld (11) gegenüber lockerer Bebauung (12)) (Prozentwerte bezogen auf die Baseline)

Hautleitfähigkeit (Block B): freies Feld (11) gegenüber lockerer Bebauung (12)						
Zeitintervall	N	freies Feld (11)		lockere Bebauung (12)		Signifikanz p =
		Mittelwert (%)	SD	Mittelwert(%)	SD	
% 0-5s	20	111,92	14,79	113,88	13,08	0,19
% 5-10s	20	109,94	14,94	121,28	19,35	0,00
% 10-15s	20	107,50	11,58	118,34	16,49	0,01
% 15-20s	20	106,57	11,23	117,37	16,22	0,02
% 20-25s	20	106,28	10,63	117,12	16,90	0,03
% 25-30s	20	105,90	10,48	115,97	17,01	0,03
% 30-35s	20	105,71	10,85	115,49	16,69	0,03
% 35-40s	20	105,13	11,17	114,03	15,97	0,06
% 40-45s	20	105,20	10,90	114,03	15,33	0,04
% 45-50s	20	107,14	16,66	114,21	16,69	0,04
% 50-55s	20	107,47	21,05	113,68	15,77	0,04
% 55-60s	20	106,06	18,57	112,70	15,06	0,04
% 60-65s	20	107,12	17,66	112,50	14,34	0,04
% 65-70s	20	106,12	16,79	115,29	19,93	0,03
% 70-75s	20	104,90	16,23	113,22	17,22	0,04
% 75-80s	20	104,08	15,80	112,15	15,76	0,04
% 80-85s	20	103,27	15,19	114,14	17,05	0,02
% 85-90s	20	103,24	14,97	114,02	16,83	0,02
% 90-95s	20	104,06	14,20	111,72	15,86	0,10
% 95-100s	20	104,64	13,40	111,41	15,20	0,13
% 100-105s	20	103,92	13,70	109,99	14,40	0,15
% 105-110s	20	103,43	14,05	109,59	14,66	0,18
% 110-115s	20	102,79	14,06	109,02	14,75	0,17
% 115-120s	20	101,54	13,27	108,63	14,71	0,09
% 120-125s	20	101,98	13,97	108,52	14,19	0,18
% 125-130s	20	101,04	13,83	108,68	15,42	0,16
% 130-135s	20	100,83	13,86	107,49	14,10	0,16
% 135-140s	20	101,06	16,17	107,26	14,56	0,18
% 140-145s	20	101,94	15,85	105,76	15,13	0,39
% 145-150s	20	102,90	14,23	106,67	14,48	0,23
% 150-155s	20	103,22	14,62	106,04	14,11	0,41
% 155-160s	20	103,28	14,75	105,72	14,64	0,41
% 160-165s	20	102,64	13,96	104,58	13,90	0,37
% 165-170s	20	102,29	14,02	104,79	14,51	0,26
% 170-175s	20	101,13	13,30	104,31	14,04	0,23
% 175-180s	20	100,29	13,20	104,09	14,10	0,25
% 180-185s	20	99,80	12,88	103,97	15,41	0,26
% 185-190s	20	100,57	13,62	103,15	14,56	0,50
% 190-195s	20	101,61	16,41	102,30	14,13	0,65
% 195-200s	20	100,43	15,05	101,47	13,78	0,68
% 200-205s	20	99,57	14,81	101,24	14,14	0,71
% 205-210s	20	99,31	13,89	101,15	14,37	0,60
% 210-215s	20	99,42	13,50	100,77	14,35	0,65
% 215-220s	20	99,25	12,86	100,88	15,96	0,82
% 220-225s	20	99,74	12,55	101,04	16,73	1,00
% 225-230s	20	100,07	12,86	100,88	15,88	0,79
% 230-235s	20	101,14	12,89	101,25	16,92	0,58
% 235-240s	20	101,30	12,74	101,91	16,05	0,71
% 0-30s	20	108,05	11,89	117,48	15,69	0,02
% 30-240s	20	102,66	12,50	107,65	13,92	0,20
% 0-240s	20	103,36	12,25	108,87	14,00	0,17

Tab. 23: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der Herzfrequenz während des Geräusches zweier Stadtstraßen mit unterschiedlicher Verkehrsregulierung (1200 Kfz/h): Ampelkreuzung (20) gegenüber Kreisverkehr (21) (Prozentwerte bezogen auf die Baseline)

Herzfrequenz (Block C): Ampelkreuzung gegenüber Kreisverkehr						
Zeitintervall	N	Ampelkreuzung (20)		Kreisverkehr (21)		Signifikanz p =
		Mittelwert (%)	SD	Mittelwert (%)	SD	
% 0-5s	24	104,30	9,9	104,22	8,8	0,65
% 5-10s	24	105,80	12,7	100,50	9,0	0,25
% 10-15s	24	105,51	12,6	105,13	12,8	0,73
% 15-20s	24	106,14	12,6	106,73	10,9	0,95
% 20-25s	24	104,75	11,3	103,91	9,6	0,55
% 25-30s	24	101,67	11,4	104,17	14,0	0,86
% 30-35s	24	102,63	12,4	102,00	10,6	0,57
% 35-40s	24	102,59	11,8	101,25	11,0	0,27
% 40-45s	24	102,73	10,9	101,90	10,8	0,76
% 45-50s	24	102,61	10,8	100,85	10,5	0,52
% 50-55s	24	100,93	9,9	101,23	9,0	0,82
% 55-60s	24	99,81	9,0	101,02	9,1	0,93
% 60-65s	24	99,51	6,6	101,35	9,6	0,89
% 65-70s	24	99,15	8,2	100,07	7,8	0,75
% 70-75s	24	98,90	7,4	100,52	6,8	0,89
% 75-80s	24	99,16	7,1	100,93	10,5	0,89
% 80-85s	24	99,28	7,8	101,67	8,6	0,73
% 85-90s	24	100,27	9,7	101,74	6,2	0,55
% 90-95s	24	100,54	9,1	104,10	7,3	0,10
% 95-100s	24	100,60	10,1	101,50	8,0	0,91
% 100-105s	24	100,25	7,7	99,84	6,7	0,91
% 105-110s	24	99,50	8,9	99,35	8,3	0,93
% 110-115s	24	99,98	8,1	99,09	6,2	0,80
% 115-120s	24	99,38	6,7	100,85	6,4	0,78
% 120-125s	24	99,63	6,9	100,55	6,4	0,80
% 125-130s	24	98,61	6,9	101,23	8,4	0,35
% 130-135s	24	97,12	7,2	99,08	7,4	0,30
% 135-140s	24	100,07	7,6	101,22	8,9	0,65
% 140-145s	24	100,00	11,1	100,15	7,6	0,39
% 145-150s	24	100,11	8,7	101,95	7,6	0,59
% 150-155s	24	100,55	8,9	101,35	8,8	0,53
% 155-160s	24	100,81	9,7	101,75	7,3	0,61
% 160-165s	24	101,30	8,9	100,06	7,4	0,53
% 165-170s	24	101,84	8,8	101,11	7,2	0,69
% 170-175s	24	100,54	9,4	99,46	9,2	0,61
% 175-180s	24	102,11	11,6	101,02	9,0	0,57
% 180-185s	24	101,90	9,4	101,97	10,7	0,82
% 185-190s	24	102,38	9,9	100,09	9,8	0,46
% 190-195s	24	102,71	9,8	101,28	6,7	0,46
% 195-200s	24	100,96	9,6	102,16	6,2	0,63
% 200-205s	24	101,40	8,1	101,92	6,7	0,78
% 205-210s	24	101,70	9,2	101,14	7,6	0,78
% 210-215s	24	99,67	7,8	101,38	6,7	0,51
% 215-220s	24	101,12	8,8	103,18	10,5	0,84
% 220-225s	24	101,54	10,1	103,10	7,3	0,54
% 225-230s	24	100,66	8,0	100,82	7,7	0,84
% 230-235s	24	100,81	8,8	98,71	7,7	0,17
% 235-240s	24	98,49	7,9	99,08	7,0	0,69
% 0-30s	24	104,66	8,9	104,04	8,0	0,82
% 30-240s	24	100,56	7,0	101,01	6,1	0,93
% 0-240s	24	101,07	6,9	101,39	6,1	0,80

Tab. 24: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) der Hautleitfähigkeit während des Geräusches zweier Stadtstraßen mit unterschiedlicher Verkehrsregulierung (1200 Kfz/h): Ampelkreuzung (20) gegenüber Kreisverkehr (21) (Prozentwerte bezogen auf die Baseline)

Hautleitfähigkeit (Block C): Ampelkreuzung gegenüber Kreisverkehr						
Zeitintervall	N	Ampelkreuzung (20)		Kreisverkehr (21)		Signifikanz p =
		Mittelwert (%)	SD	Mittelwert (%)	SD	
% 0-5s	19	108,30	6,8	112,05	12,7	0,69
% 5-10s	19	114,40	13,4	114,73	14,9	0,55
% 10-15s	19	113,65	15,8	113,54	13,6	0,66
% 15-20s	19	113,05	15,8	115,63	19,0	0,97
% 20-25s	19	112,97	15,9	117,66	25,6	0,97
% 25-30s	19	113,54	17,8	121,64	33,1	0,55
% 30-35s	19	113,16	19,0	126,50	42,1	0,45
% 35-40s	19	114,99	23,5	124,23	40,1	0,69
% 40-45s	19	115,96	26,0	123,57	41,9	0,75
% 45-50s	19	120,62	36,1	122,39	38,0	0,72
% 50-55s	19	121,68	37,8	122,25	41,1	0,84
% 55-60s	19	123,35	40,7	123,33	45,1	0,94
% 60-65s	19	122,47	40,6	125,49	50,4	0,81
% 65-70s	19	124,19	45,1	124,03	48,1	0,84
% 70-75s	19	125,14	49,1	123,34	47,6	1,00
% 75-80s	19	123,75	47,9	121,80	46,2	0,90
% 80-85s	19	124,26	50,0	121,62	45,0	0,87
% 85-90s	19	123,58	49,0	119,15	44,1	0,57
% 90-95s	19	122,95	47,5	119,07	42,0	0,97
% 95-100s	19	122,96	47,5	118,74	40,5	0,87
% 100-105s	19	121,34	46,9	117,96	38,8	0,72
% 105-110s	19	120,27	45,9	118,85	40,0	0,72
% 110-115s	19	119,03	44,8	117,54	38,0	0,52
% 115-120s	19	118,01	43,8	116,14	36,1	0,66
% 120-125s	19	117,77	43,9	116,62	35,8	0,28
% 125-130s	19	116,94	42,7	116,34	34,3	0,28
% 130-135s	19	119,25	46,1	114,36	32,5	0,66
% 135-140s	19	118,45	46,2	113,18	30,9	0,78
% 140-145s	19	118,12	45,0	112,28	29,3	0,78
% 145-150s	19	117,97	45,0	111,28	27,9	0,84
% 150-155s	19	117,41	44,3	111,05	26,6	0,78
% 155-160s	19	116,26	43,8	110,76	25,6	0,66
% 160-165s	19	115,90	42,7	109,35	24,4	0,75
% 165-170s	19	115,83	41,8	109,13	23,6	0,81
% 170-175s	19	114,89	41,5	109,26	24,3	0,63
% 175-180s	19	114,61	41,2	110,76	28,8	0,33
% 180-185s	19	114,36	40,6	110,30	28,0	0,36
% 185-190s	19	113,24	40,4	110,58	27,5	0,16
% 190-195s	19	112,75	39,8	110,98	27,2	0,08
% 195-200s	19	112,96	39,2	110,55	29,6	0,15
% 200-205s	19	111,96	39,2	110,39	29,4	0,07
% 205-210s	19	111,47	38,9	110,94	32,4	0,09
% 210-215s	19	111,16	38,6	110,47	32,4	0,06
% 215-220s	19	110,45	38,6	110,61	31,9	0,11
% 220-225s	19	111,39	38,7	110,86	33,8	0,23
% 225-230s	19	111,09	39,5	111,66	35,0	0,11
% 230-235s	19	110,45	39,7	110,60	34,1	0,13
% 235-240s	19	109,79	39,1	109,77	33,0	0,15
% 0-30s	19	112,70	13,1	115,87	17,3	0,97
% 30-240s	19	117,10	39,4	115,82	33,4	0,42
% 0-240s	19	116,54	35,6	115,79	30,9	0,40

Lebenslauf

Familienname: Schönewolf
Vorname: Jan
Geboren am/in: 06.02.75 in Hagen (Westfalen)
Familienstand: ledig
Eltern: Christa Schönewolf, geb. Pieper (Rechtsanwaltsgehilfin) und Bernd Schönewolf (Dipl. Ing. für Maschinenbau)

Bildungsweg

1981-1985 Grundschule Ennepetal Voerde
1985-1994 Reichenbach Gymnasium Ennepetal (Abschluss mit Abitur), in der 11. Klasse sechs Monate als Austauschschüler in Amherst, Ohio (USA)

Wehr- oder Zivildienst

1994-1995 15 Monate Zivildienst bei der Johanniter-Unfall-Hilfe in Ennepetal, Ausbildung zum Rettungssanitäter mit Einsatz auf Kranken- und Rettungswagen

Studium

1996 Aufnahme des Medizinstudiums an der Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf
1998 ärztliche Vorprüfung
1999 erster Teil der ärztlichen Prüfung
2000 zweiter Teil der ärztlichen Prüfung
2001 dritter Teil der ärztlichen Prüfung

med. Praktika / Famulaturen

1994 vierwöchiges Pflegedienstpraktikum, interdisziplinäre Intensivstation im Rahmen der Rettungssanitäter-Ausbildung, Marienhospital, Schwelm

- 1995 vierwöchiges Pflegedienstpraktikum, Intensivstation, internistische Station, Marienhospital, Schwelm,
- 1998 zweiwöchiges Pflegedienstpraktikum, internistische Notaufnahme, Universitätsklinik Düsseldorf, Stat. MA 01
- 2000 vierwöchige chirurgische Famulatur, St. Martinus-Krankenhaus, Düsseldorf
- 2001 vierwöchige Institutsfamulatur, Institut für Arbeits- und Sozialmedizin, HHU Düsseldorf
vierwöchige allgemeinmedizinische Praxisfamulatur
(Peter Spannagel, Facharzt für Allgemeinmedizin, Ennepetal)
- 2002 vierwöchige anästhesiologische Famulatur in der Universitätsklinik Düsseldorf (Orthopädie)
- 2003 Praktisches Jahr im Lukaskrankenhaus, Neuss, Wahlfach: Anästhesie

Berufstätigkeit

- 1997-1998 studentische Aushilfe im St. Martinus-Krankenhaus, Düsseldorf (Geriatric, Innere Abteilung)
- 2001-1999 studentische Aushilfe in der Universitätsklinik, Düsseldorf (chirurgische Stationen)
- 1999-2000 EDV-Tätigkeit bei der Firma Phone Media Service, Düsseldorf
- 2000-2001 EDV-Tätigkeit bei der Firma Netzquadrat GmbH, Düsseldorf
- 2001-2002 studentische Aushilfe, klinischer Bereich, Diabetes-Forschungs-Institut, Düsseldorf
- 2004 8 Monate Arzt im Praktikum, Lukaskrankenhaus Neuss, Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin
- 2004 seit Oktober 2004 Assistenzarzt, Lukaskrankenhaus Neuss, Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin

Sonstiges

- 1995-2000 ehrenamtliche Tätigkeit als Rettungssanitäter bei der Johanniter-Unfall-Hilfe in Ennepetal

ABSTRACT

Jan Schönewolf

– Geräuschqualität von Straßenverkehrslärm – Möglichkeiten der psychophysiologischen Bewertung anhand von Herzfrequenz und Hautleitfähigkeit sowie subjektiver Einschätzung

In den letzten 10 Jahren sind zahlreiche Maßnahmen (Lärmschutz, Verkehrsberuhigung, Reduktion der Fahrzeugaußengeräusche etc.) ergriffen worden, um der steigenden Belastung durch Straßenverkehrslärm zu begegnen. Gemessen an der nach wie vor hohen Belästigung der Bevölkerung, scheint ihre Wirkung allerdings begrenzt. Einen anderen Ansatz bietet das Konzept der Geräuschqualität, das zur Optimierung der akustischen Situation im Fahrzeuginneren bereits erfolgreich angewandt wird.

Die vorliegende Arbeit ist in Zusammenhang mit dem von der Europäischen Union geförderten Verbundprojekt SVEN (Sound Quality of Vehicle Exterior Noise, Projekt Nr. G6RD-CT-1999-00113) entstanden. Zentrale Fragestellung dieses Verbundprojektes war die Frage, ob sich die Verbesserung der Geräuschqualität auch auf den Bereich des Straßenverkehrs bzw. der Kfz-Außengeräusche übertragen lässt und wie diese operationalisiert werden kann. Die Daten der vorliegenden Arbeit wurden im Rahmen der Experimente gewonnen, die im Institut für Arbeits- und Sozialmedizin der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf durchgeführt wurden. Hier wurden in der schallarmen Kammer des Instituts 24 männlichen Probanden 8 Aufnahmen von alltäglichen städtischen Verkehrssituationen von Straßen in Paris dargeboten. Es handelte sich um jeweils 4-minütige Aufnahmen, die paarweise nach Kriterien wie Art der seitlichen Bebauung, Fahrzeugaufkommen pro Stunde, durchschnittliches Fahrtempo oder Regulierung des Kreuzungsverkehrs ausgesucht worden waren. Während der Beschallung wurden die Herzfrequenz und die Reaktion der Hautleitfähigkeit registriert. Die Messergebnisse der physiologischen Parameter wurden mit subjektiven Geräuschbewertungen in Beziehung gesetzt, die mittels Fragebogen erfasst wurden. Ziel dieser Arbeit war es, Unterschiede in der Reaktion auf die applizierten Geräusche festzustellen, die mit den verkehrstechnischen Eigenschaften in Zusammenhang gebracht werden können. Gleichzeitig sollte die Eignung der aus der Lärmwirkungsforschung bekannten psycho-physiologischen Parameter Herzfrequenz und Hautleitfähigkeit für die differenzierte Beschreibung der erlebten Qualität von Verkehrsgeräuschen geprüft werden.

Zwischen den verglichenen Geräuschen zeigten sich deutliche Unterschiede sowohl in der physiologischen Reaktion als auch in der subjektiven Bewertung, obwohl die Lautstärke aller Aufnahmen auf einen energieäquivalenten Mittelungspegel L_{eq} von etwa 83 dB(A) angeglichen worden war. Die physiologischen Reaktionen – hier vor allem die Hautleitfähigkeit – und die subjektiven Geräuschbewertungen zeigten gute Übereinstimmungen, so dass sich diese beiden Messbereiche gegenseitig validieren und Aussagen über die Präferenz bestimmter Geräusche ermöglichen.

Aufgrund der beobachteten Reaktionsunterschiede konnten Rückschlüsse auf bestimmte Eigenschaften der Verkehrsgeräusche gezogen werden. Ein hoher Stellenwert scheint der zeitlichen Struktur und der akustischen Auffälligkeit der Geräusche zuzukommen. Weitere Untersuchungen müssen klären, mit welchen akustischen Kenngrößen sich diese Eigenschaften objektiv beschreiben lassen.

