



Evaluierung subjektiver Skalierungsmethoden von Straßen- und Schienenverkehrslärm

Toningenieurprojekt

LV-Nr.: 17.0046

Betreuer: o.Univ.-Prof. Dr. Robert Höldrich

Michael Cik

WS 2013/14

Kurzfassung

Der Straßen- und Schienenverkehrslärm zählt zu jener Umweltbelastung, von der sich die Bevölkerung wegen ihrer direkten Wahrnehmbarkeit in ihrem Wohlbefinden am meisten gestört fühlt. Der Einfluss der Lärmempfindlichkeit auf die erlebte Belastung wurde bereits in zahlreichen Studien untersucht und ist empirisch abgesichert. Jedoch ist ihre Bedeutung bei der Bewertung von Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen noch relativ unklar und die Forschung ist bemüht neue Bewertungsinstrumente zu untersuchen. Der Verkehrslärm wurde mit digitaler binauraler Kopftechnik an homogenen Straßen- bzw. Schienenabschnitten mit freier Schallausbreitung aufgenommen. Mit diesen Aufnahmen wurden definierte Fahrzeuggeräusch-Samples erstellt, die in einem Hörversuch von 200 Probanden bewertet wurden. Die subjektiv empfundene Lästigkeit wurde in Form einer „Personal Noise Ranking Scale“ (11-teilige Skala von „wenig lästig“ bis „sehr lästig“) bewertet und zusätzlich wurde die psychophysische Methode des Cross-Modality-Matching mittels Handdynamometer als Bewertungsinstrument eingesetzt.

Abstract

Noise is known as one of the most frequently reported negative environmental effects of traffic. Influence of noise sensitivity on experienced stress has been investigated in numerous studies. However, its meaning is still relatively unclear in the evaluation of road and rail traffic noise and the research is still working on new rating methodologies.

In a first step, pass-by road and rail vehicle noise samples were binaurally recorded under predefined conditions with a dummy head measurement system and synthetically composed to defined road and rail vehicle ensembles considering different characteristics. In the hearing tests 200 persons in different sessions were selected and tested under laboratory conditions. The annoyance of the vehicle ensembles was rated on an 11-graded interval scale (Personal Noise Ranking Scale) from "less annoying" to "very annoying" and also by a dynamometer which measures

the intensity of the strength by test persons based on the Cross-Modality-Matching-Method.

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	5
1.1	Problemstellung und Ziel	5
1.2	Datenerhebung und Bewertungs-(Skalierungs-)methoden	5
2	Untersuchungsmethode (Hörversuch).....	6
2.1	Untersuchungsteilnehmer	6
2.2	Untersuchungsmaterial	6
2.2.1	Lärmempfindlichkeitsfragebogen.....	6
2.2.2	Fragebogen „Lästigkeitsindex“	7
2.2.3	Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen	7
2.2.4	Geräuschsamples	7
2.2.5	Personal Noise Ranking Scale - PNRs.....	9
2.2.6	Handkraftdynamometer	10
2.3	Untersuchungsdurchführung.....	11
2.4	Daten-Aufbereitung und –Selektion.....	15
3	Auswertungen, Analysen und Ergebnisse	17
3.1	Reproduzierbarkeit der Lästigkeitsurteile	17
3.2	Personal Noise Ranking Scale - Ergebnisse der subjektiven Lästigkeitsurteile der Hörversuche.....	17
3.2.1	Vergleich Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm und Rauschen ..	26
3.3	Zusammenhang zwischen dem $L_{A,eq}$ und den Bewertungen auf der Personal Noise Ranking Scale.....	27
3.3.1	Paarvergleiche zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm.....	31
3.3.2	Lineare Regressionsanalysen: Lästigkeit in Abhängigkeit des $L_{A,eq}$	34
3.4	Zusammenhang zwischen den subjektiven Bewertungen auf der Personal Noise Ranking Scale und der objektiven psychoakustischen Parameter	39
3.5	Handkraftbewertung der Lästigkeit.....	44

3.5.1	Vergleich Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm und Rauschen ..	45
3.5.2	Zusammenhang zwischen dem $L_{A,eq}$ und der Handkraftbewertung der Lästigkeit	46
3.5.3	Paarvergleiche zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm.....	47
3.6	Zusammenhang zwischen der Personal Noise Ranking Scale und der Handkraftbewertung der Lästigkeit	50
3.7	Lärmempfindlichkeit	51
3.7.1	Diskriminanzanalyse zur Vorhersage der Lärmempfindlichkeit	54
3.8	Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen	55
4	Zusammenfassung.....	59

1 Allgemeines

Die Datenerhebung für dieses Toningenieur-Projekt wurde im Zuge eines Forschungsvorhabens an der Technischen Universität Graz (Institut für Straßen- und Verkehrswesen) durchgeführt. Detaillierte Auswertungen der Hörversuche zum Thema subjektive Bewertungsmethoden und die statistischen Analysen wurden im Rahmen des Toningenieurprojektes abgehandelt.

1.1 Problemstellung und Ziel

Der Straßen- und Schienenverkehrslärm zählt zu jener Umweltbelastung, von der sich die Bevölkerung wegen ihrer direkten Wahrnehmbarkeit in ihrem Wohlbefinden am meisten gestört fühlt. Der Einfluss der Lärmempfindlichkeit auf die erlebte Belastung wurde bereits in zahlreichen Studien untersucht und ist empirisch abgesichert. Jedoch ist ihre Bedeutung bei der Bewertung von Straßen- und Schienenverkehrsgläuschen noch relativ unklar und die Forschung ist bemüht neue Bewertungsinstrumente zu untersuchen.

1.2 Datenerhebung und Bewertungs-(Skalierungs-)methoden

Der Verkehrslärm wurde mit digitaler binauraler Kopftechnik („HEAD acoustics“) an 600 m langen homogenen Straßen- bzw. Schienenabschnitten mit freier Schallausbreitung in einem Abstand von 100 m aufgenommen. Mit diesen Aufnahmen wurden im Labor für Psychoakustik 22 definierte Fahrzeuggeräusch-Samples erstellt, die in einem Hörversuch von 200 Probanden bewertet wurden. Die subjektiv empfundene Lästigkeit wurde in Form einer „Personal Noise Ranking Scale“ (11-teilige Skala von „wenig lästig“ bis „sehr lästig“) bewertet und zusätzlich wurde die psychophysische Methode des Cross-Modality-Matching mittels Handdynamometer als Bewertungsinstrument eingesetzt.

2 Untersuchungsmethode (Hörversuch)

2.1 Untersuchungsteilnehmer

An der Untersuchung (Hörversuch) nahmen insgesamt 200 Probanden teil. Nach Durchführung der Tonaudiometrie mussten 20 Personen ausgeschlossen werden, da ihr Hörvermögen nicht den Einschlusskriterien (vermindertes Hörvermögen) der Studie entsprach. Von den verbleibenden 180 Untersuchungsteilnehmern waren 82 (46 %) Personen männlich und 98 (54%) weiblich. Das mittlere Alter betrug 30,7 Jahre, wobei die jüngste Person 18 und die älteste 64 Jahre alt war. Wie in Abb. 2.1 zu sehen ist, war ein Großteil der Untersuchungsteilnehmer zwischen 18 und 29 Jahre alt. Dies liegt an dem hohen Anteil an Studenten.

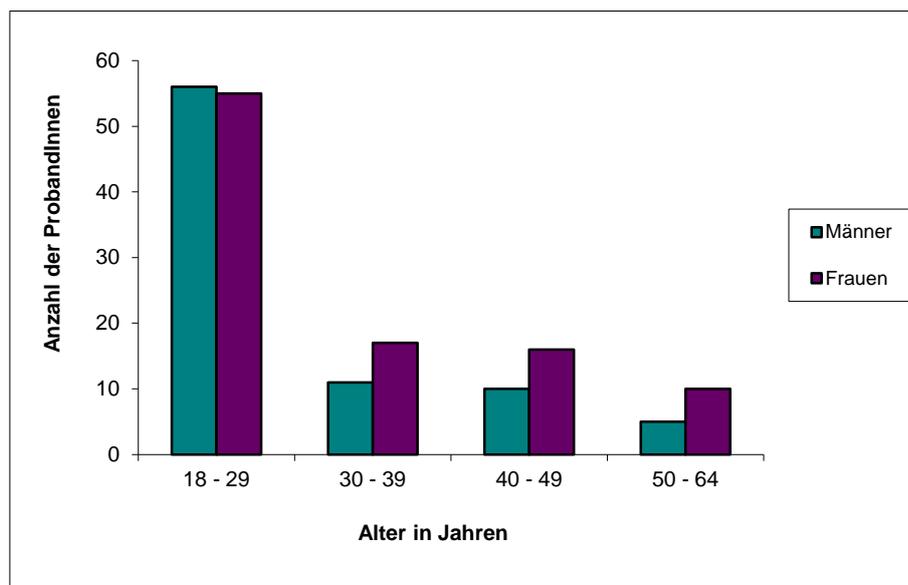


Abb. 2.1: Alter der Untersuchungsteilnehmer

2.2 Untersuchungsmaterial

2.2.1 Lärmempfindlichkeitsfragebogen

Zur Erfassung der Lärmempfindlichkeit der Untersuchungsteilnehmer wurde ein standardisierter Kurzfragebogen vorgegeben (Zimmer & Ellermeier, 1998b). Dieses Verfahren besteht aus 9 Items, die Reaktionen auf Lärmsituationen abfragen wie z.B. „Ich wache beim geringsten Geräusch auf“. Aufgrund der guten psychometrischen

Eigenschaften ist dieses Verfahren geeignet, zwischen hoch und niedrig lärmempfindlichen Personen zu unterscheiden.

2.2.2 Fragebogen „Lästigkeitsindex“

Bei dem Fragebogen „Lästigkeitsindex“ handelt es sich um ein von der Forschungsgruppe selbst entwickeltes Verfahren, das aus 16 rating-skalierten Fragen besteht. Erhoben werden dabei unter anderem die wahrgenommene Stärke der Lärmbelastung im Wohngebiet, die Belästigung durch Verkehrslärm in unterschiedlichen Lebenssituationen und persönliche Einstellungen gegenüber Lärm. Die Auswertungen dieses Fragebogens werden nicht im Detail in dieser Arbeit angeführt.

2.2.3 Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen

Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF; Steyer et al. 1997) ist ein Instrument zur Erfassung dreier bipolar konzipierter Dimensionen der aktuellen psychischen Befindlichkeit: Gute-Schlechte Stimmung (GS), Wachheit-Müdigkeit (WM) und Ruhe-Unruhe (RU). Das Instrument erfasst den momentanen Zustand der Person in der aktuellen Situation hinsichtlich ihrer Befindlichkeit. Der MDBF besteht insgesamt aus 24 einfachen Adjektiven wie z.B. „wohl“ oder „müde“, welche auf einer fünfstufigen Antwortskala mit den Endpunkten „überhaupt nicht“ und „sehr“ bewertet werden.

2.2.4 Geräuschsamples

Die in der Untersuchung eingesetzten Geräuschsamples wurden vom Institut für Straßen- und Verkehrswesen der Technischen Universität Graz aufgenommen und bearbeitet. Die Aufnahmen wurden mittels binauraler digitaler Kunstkopftechnik (HEAD acoustics) an definierten Orten mit freier Schallausbreitung durchgeführt. Die Geräusche (Vorbeifahrten von Straßen- und Schienenfahrzeugen) wurden im Kollektiv über einen bestimmten Zeitraum aufgenommen und mittels Audionachbearbeitung in definierte Form von Einzel-Vorbeifahrten gebracht. Aus Einzel-Vorbeifahrten der Geräuschdatenbank wurden definierte, für den Hörversuch verwendete

Geräuschsamples mit einer definierten Dauer von 1 Minute erstellt. Insgesamt wurden 22 Fahrzeuggeräuschsamples einzelner Güter- und Personenzüge bzw. synthetisch erzeugte Kfz-Ensembles bestehend aus einer definierten Anzahl von PKW und LKW Einzel-Vorbeifahrten verwendet.

Tabelle 2.1 enthält den Sample-Namen, die Art des Verkehrsmittels und eine Kurzbeschreibung der Samples.

Tabelle 2.1: Beschreibung der Straßen- und Schienenverkehrssamples

Samplename	Typ	Beschreibung
PZ_A	Personenzug	Lokomotive + 4 Wagons / 75 km/h
PZ_B	Personenzug	Lokomotive + 5 Wagons / 116 km/h
PZ_C	Personenzug	Lokomotive + 4 Wagons / 120 km/h
PZ_D	Personenzug	Lokomotive + 4 Wagons / 80 km/h
GZ_A	Güterzug	2 Lokomotiven + 29 Wagons / 75 km/h
GZ_B	Güterzug	Lokomotive + 12 Wagons / 80 km/h
GZ_C	Güterzug	2 Lokomotiven + 22 Wagons / 75 km/h
GZ_D	Güterzug	Lokomotive + 22 Wagons / 80 km/h
SMA_A	Kfz-Ensemble	10 PKW 80 km/h / 2 LKW 60 km/h
SMA_B	Kfz-Ensemble	10 PKW 100 km/h / 2 LKW 90 km/h
SMA_C	Kfz-Ensemble	10 PKW 130 km/h / 2 LKW 90 km/h
SMA_D	Kfz-Ensemble	10 PKW 130 km/h / 2 LKW 90 km/h
Beton_A	Kfz-Ensemble	10 PKW 130 km/h / 2 LKW 90 km/h
Beton_B	Kfz-Ensemble	10 PKW 100 km/h / 2 LKW 90 km/h
Beton_C	Kfz-Ensemble	18 PKW 100 km/h / 4 LKW 90 km/h
Beton_D	Kfz-Ensemble	10 PKW 80 km/h / 2 LKW 60 km/h
Straße_55dB	Kfz-Ensemble	10 PKW 130 km/h / 2 LKW 90 km/h / SMA
Straße_65dB	Kfz-Ensemble	10 PKW 80 km/h / 2 LKW 60 km/h / Beton
Straße_75dB	Kfz-Ensemble	18 PKW 130 km/h / 4 LKW 90 km/h / Beton
Schiene_55dB	Personenzug	Lokomotive + 5 Wagons / 116 km/h
Schiene_65dB	Güterzug	Lokomotive + 12 Wagons / 80 km/h
Schiene_75dB	Güterzug	2 Lokomotiven + 26 Wagons / 80 km/h

Der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel ($L_{A,eq}$) der Fahrzeugsamples liegt in einem Bereich zwischen 51 dB und 75 dB.

Weiters wurden im Experiment Soundsamples mit synthetisch erzeugtem dem Frequenzspektrum des Verkehrslärms entsprechendem Rosa Rauschen mit einem $L_{A,eq}$ von 50 dB, 60dB, 70dB und 80 dB als Vergleichsparameter implementiert.

Alle Geräuschsamples hatten eine Dauer von genau einer Minute. Um den Einfluss der Reihenfolge der Geräuschpräsentation auf die Lästigkeitsbewertung zu kontrollieren, wurden die Untersuchungsteilnehmer auf drei Experimentalgruppen bzw. Sound-Sets aufgeteilt, in denen die Geräuschsamples in unterschiedlicher Abfolge dargeboten wurden. Um die Reproduzierbarkeit der Urteile zu überprüfen wurden die Geräusche den Probanden teilweise wiederholt vorgegeben, sodass von jeder Person insgesamt 31 Lästigkeitsbewertungen durchgeführt werden mussten.

2.2.5 Personal Noise Ranking Scale - PNRS

Die Testmethoden zur Messung von Empfindungsgrößen lassen sich grob in zwei Gruppen einteilen, je nachdem ob die Probanden selbst aktiv in die Messung eingreifen, oder ob sie vom Versuchsleiter die Reizgrößen dargeboten bekommt, die sie anschließend beurteilen müssen.

Beim hier durchgeführten Hörversuch wurde eine softwaremäßige Versuchsanordnung entwickelt. Die Versuchsperson kann durch Anklicken eines Startsymbols an dem dafür installierten Monitor selbst den Versuchsablauf steuern. So hat die Versuchsperson die Möglichkeit, jede der zu testenden Größen miteinander zu vergleichen, für sich selbst eine Rangordnung festzulegen, gegebenenfalls eine Testgröße mehrmals anzuhören und die dabei wahrgenommene Lästigkeit durch das Anklicken eines Markers in der Lästigkeitsskala zu beurteilen. Diese Urteile können zu jedem Zeitpunkt innerhalb einer Bewertung verändert werden.

Das Skalenniveau der Lästigkeit wurde auf einer Intervallskala von 11 Stufen dargestellt (in Anlehnung an die IC BEN-Skalierung (*International Commission on Biological Effects of Noise*)). Es wurden nur die Bereiche „wenig lästig“ bis „sehr lästig“ definiert. Die weitere Einteilung des Lästigkeitsurteils wurde jedem Probanden selbst überlassen, um so wenig wie möglich Einfluss auf die Testperson zu nehmen.

2.2.6 Handkraftdynamometer

Die Kraftmessung mittels Handdynamometer wurde in dieser Studie als Bewertungsinstrument getestet. Dies sollte ermöglichen, die Stärke der durch die Geräusch-Samples ausgelösten Lästigkeitsempfindung experimentell zu messen. Dabei sollten die Untersuchungsteilnehmer ein eigens angefertigtes Handkraftmessgerät (Dynamometer) umso stärker drücken, je lästiger das Geräusch wahrgenommen wurde. Dieses Verfahren wurde erstmals von Stevens (1975) eingesetzt, um Zusammenhänge zwischen der Intensität physikalischer Reize und der korrespondierenden Empfindungsstärke zu bestimmen. Es handelt sich dabei um eine aus der wissenschaftlichen Disziplin der Psychophysik stammende Methode des Cross-Modality-Matching bei dem die Intensität einer Sinnesempfindung - in diesem Fall die Stärke des Drucks der auf das Dynamometer ausgeübt wird - die Intensität einer zweiten Sinnesempfindung (in diesem Fall die subjektiv empfundene Lästigkeit) beschreiben soll.

Abb. 2.2 zeigt das im Experiment eingesetzte Handkraftdynamometer. Das Messgerät konnte links oder rechts des Probanden angebracht werden, sodass die Lästigkeitsbewertung mit der dominanten Hand durchgeführt werden konnte.



Abb. 2.2: Handkraftdynamometer

2.3 Untersuchungsdurchführung

Die gesamte Untersuchungsdurchführung aller relevanten Parameter wurde im Labor für Psychoakustik im Verkehrswesen am Institut für Straßen- und Verkehrswesen durchgeführt.

Vor Beginn der Datenerhebung wurde allen Probanden ein ausführliches Informationsblatt über den Zweck und den genauen Ablauf der Untersuchung vorgelegt.

Im Anschluss daran wurden die Probanden aufgefordert, den mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogen (MDBF) und den Fragebogen „Lästigkeitsindex“ zu bearbeiten.

Daraufhin wurden die Teilnehmer zur Audiometrie in die reflexionsarme Schallbox gebeten. Waren die Ergebnisse der audiometrischen Untersuchung im Normalbereich, wurden im Anschluss daran die ersten otoakustischen Messungen durchgeführt, welche jedoch in dieser Arbeit nicht weiter beschrieben werden.

Für die darauf folgende Lästigkeitsbewertung der Geräuschsamples wurden die UntersuchungsteilnehmerInnen gebeten, auf einem Stuhl im Sweet Spot der Audiowiedergabeeinrichtung Platz zu nehmen. Vor ihnen stand ein Computer-Monitor mit einer grafischen Benutzeroberfläche (siehe Abb. 2.3) und direkt neben ihnen ein

kleiner Tisch auf dem das Handkraftdynamometer und die Computer-Maus platziert waren (siehe Abb. 2.4).

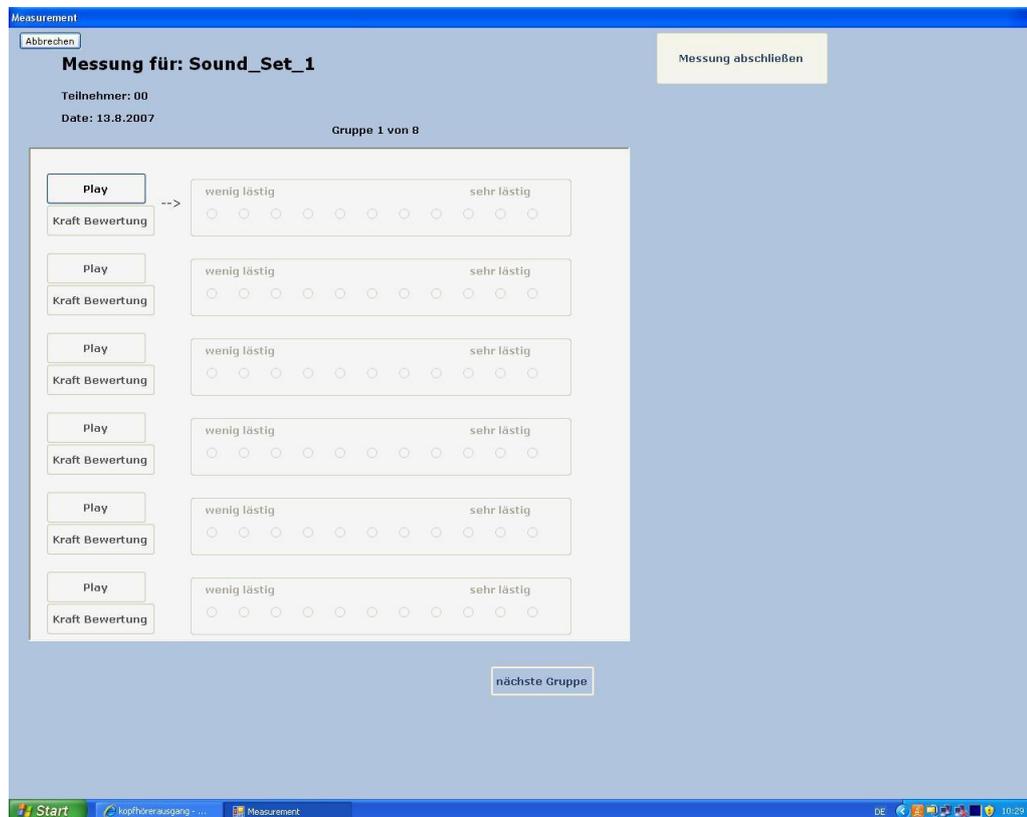


Abb. 2.3: Grafische Benutzeroberfläche



Abb. 2.4: Durchführung der Lästigkeitsbewertung

Jeder Proband bekam eine standardisierte, mündliche Instruktion vom Untersuchungsleiter und musste danach vier Testsamples absolvieren. Nach Abklärung

möglicher Fragen durch den Untersuchungsleiter, wurden die Probanden für die Durchführung der Bewertung allein gelassen.

Jede einzelne Bewertung wurde von den Untersuchungsteilnehmern selbst gestartet. Durch Mausklick konnte das jeweilige Geräusch über die Audiowiedergabeeinrichtung abgespielt werden. Im Anschluss daran wurden zuerst die Kraftbewertung und danach die Lästigkeitsbewertung mittels Personal Noise Ranking Scale aktiviert. Die Probanden konnten dabei zwar die Durchführung des Experiments selbst steuern, nicht jedoch die Reihenfolge der Geräusche die im Vorhinein durch die drei Sound-Sets (Beispiel des Versuchsplans Sound-Set 1 siehe Abb. 2.5) definiert wurde. Zur besseren Übersichtlichkeit war das Experiment in sechs Gruppen eingeteilt. Nach Bearbeitung einer Gruppe konnte der Probanden selbstständig zur nächsten Gruppe gehen. Weiters gab es für die Probanden die Möglichkeit durch Betätigung des „Messung unterbrechen“ Buttons eine kurze Pause einzulegen.

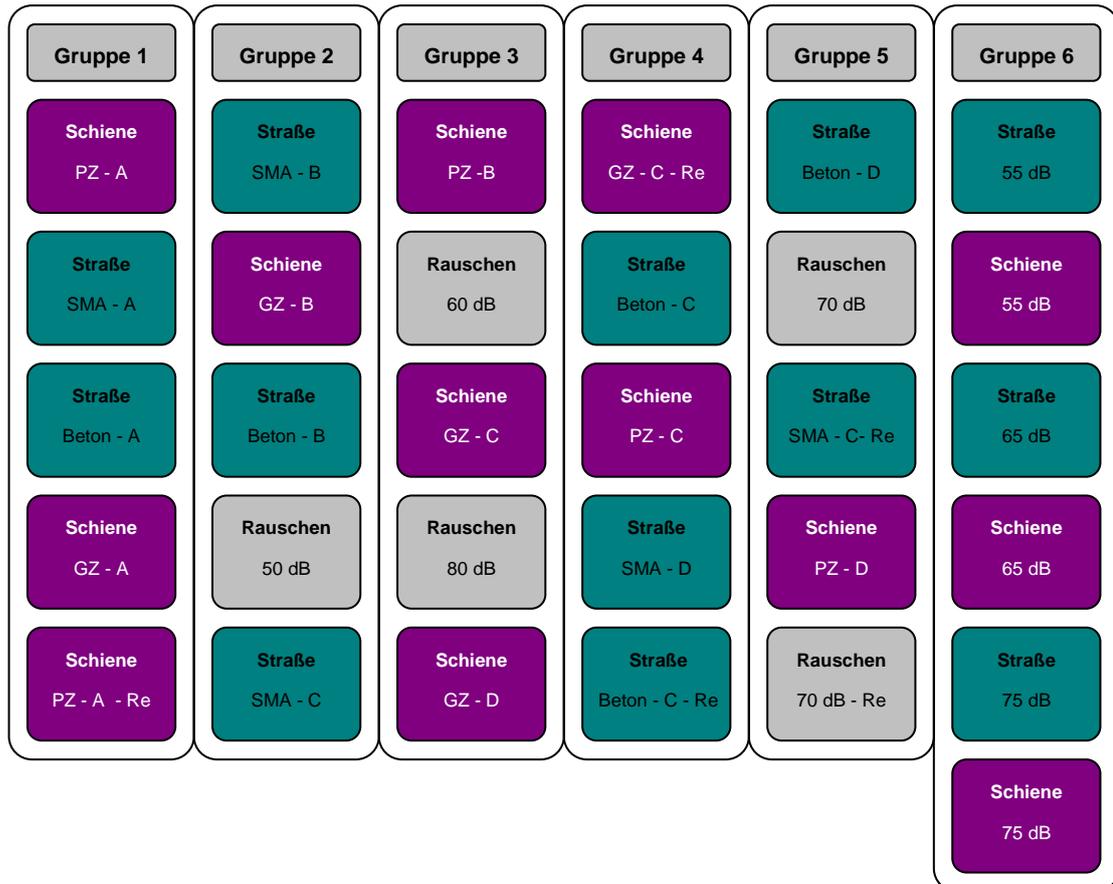


Abb. 2.5: Versuchsplan des Sound Set 1 (Re...Reproduzierbarkeitsensemble)

Vor Durchführung der Lästigkeitsbewertungen wurden die Probanden nach Betätigung des „Play“-Buttons über die Wiedergabeeinrichtung dazu aufgefordert, sich zuerst ein nicht lästiges und danach ein stark lästiges Geräusch vorzustellen und jeweils dazu eine Kraftbewertung abzugeben. Dies sollte den Probanden dabei helfen, ihre Bewertungen im Experiment besser einordnen zu können.

Nach Abgabe aller Lästigkeitsbewertungen wurden die Probanden über die Wiedergabeeinrichtung gebeten, das Handkraftdynamometer drei Mal nacheinander so fest als möglich zu drücken. Der höchste dieser drei Werte wurde dann für die Auswertung der Kraftbewertung als Maximalkraft des jeweiligen Probanden angenommen.

Nach Abschluss der Lästigkeitsbewertungen wurde eine zweite DPOAE Messung durchgeführt. Zuletzt wurden die Untersuchungsteilnehmer gebeten, ein zweites Mal den MDBF und danach den Lärmempfindlichkeitsfragebogen zu bearbeiten. Abbildung

2.6 zeigt den gesamten Versuchsablauf des psychoakustischen Experiments mit der jeweils benötigten Zeitdauer der einzelnen Abschnitte.

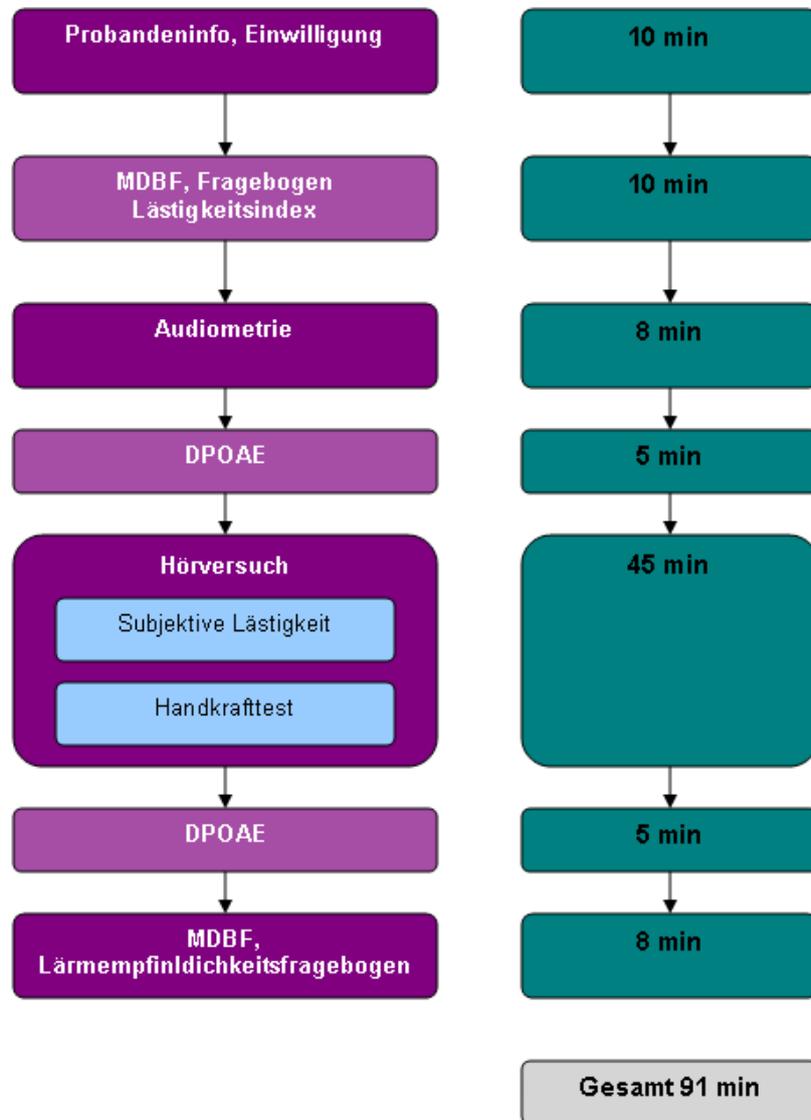


Abb. 2.6: Versuchsablauf des psychoakustischen Experiments

2.4 Daten-Aufbereitung und –Selektion

Um die Kraftbewertungen der Lästigkeit zwischen den Probanden vergleichbar zu machen, mussten die Rohdaten auf die Maximalkraft der Personen relativiert werden. Dazu wurde der höchste Wert der drei Maximalkraftmessungen pro Person als individuelle Maximalkraft herangezogen. Dann wurden alle Kraftbewertungen einer

Person relativ zu ihrer Maximalkraft berechnet. Alle folgenden Auswertungen zur Kraftbewertung wurden mit diesen relativen Kraftmessungen durchgeführt.

Um den negativen Einfluss von so genannten „Ausreißern“ auf die statistischen Ergebnisse zu minimieren, wurde vor Beginn der Auswertung eine Datenselektion durchgeführt. Zur Selektion der Rohdaten sollten sowohl die Lästigkeitsurteile auf der „Personal Noise Ranking Scale“ als auch die Handkraftbewertungen herangezogen werden. Dazu wurde die mittlere Lästigkeitsbeurteilung bzw. die mittlere relative Kraftbewertung über alle Geräusche berechnet. Diese beiden Variablen wurden daraufhin einer explorativen Datenanalyse unterzogen und es wurden alle Probanden aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen, deren mittleres Lästigkeitsurteil bzw. deren mittlere Kraftbewertung außerhalb von zwei Standardabweichungen vom Durchschnitt der Stichprobe lag. Anhand dieses Kriteriums wurden insgesamt neun Probanden aus der weiteren Auswertung ausgeschlossen, wodurch sich die Stichprobe für die statistischen Berechnungen auf 171 Untersuchungsteilnehmer reduzierte.

3 Auswertungen, Analysen und Ergebnisse

3.1 Reproduzierbarkeit der Lästigkeitsurteile

Um die Reproduzierbarkeit der Lästigkeitsurteile zu überprüfen und somit ein Maß für die Reliabilität der Urteile angeben zu können, wurden insgesamt 5 der Geräusch-Samples innerhalb des Experiments doppelt vorgegeben. Aus den Mittelwerten der Beurteilungen dieser Geräusche kann gefolgert werden, dass die Probanden konsistente Urteile lieferten. So wurde zum Beispiel das Sample „PZ_A“ bei der ersten Vorgabe mit einem mittleren Wert auf der *Personal Noise Ranking Scale* von 4,5 und bei der wiederholten Vorgabe im Mittel mit 4,3 beurteilt. Dasselbe Geräusch wurde mit einer mittleren relativen Handkraft von 0,44 bzw. 0,46 eingestuft. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich auch bei den anderen Reproduzierbarkeitssamples. Somit kann zumindest von einer kurzfristig hohen Reliabilität der Lästigkeitsurteile ausgegangen werden.

3.2 Personal Noise Ranking Scale - Ergebnisse der subjektiven Lästigkeitsurteile der Hörversuche

In der nachfolgenden Abbildung (Abb. 3.1) werden alle Ergebnisse der Lästigkeitsurteile der Probanden nach Bereinigung der Rohdaten ($n = 171$) für alle 31 Hörversuchssamples (26 definierte Soundsamples inkl. der 5 Reproduzierbarkeitssamples) dargestellt.

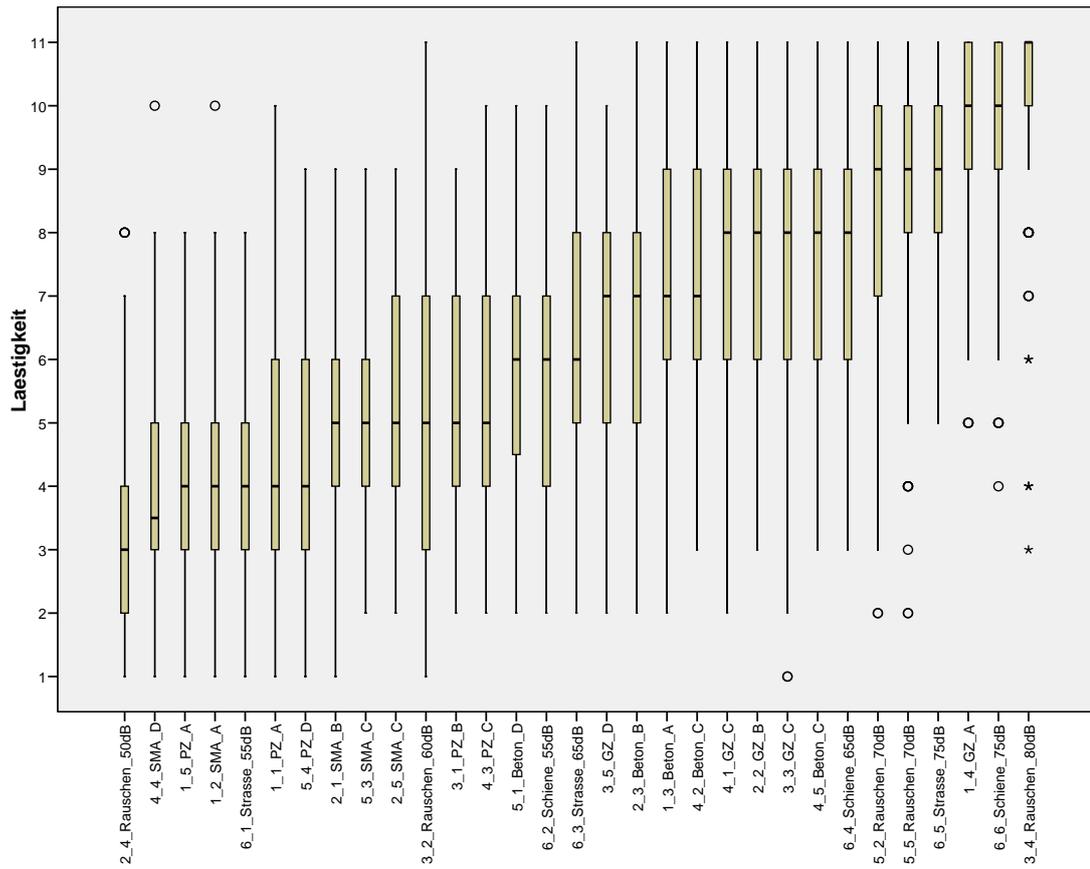


Abb. 3.1: Boxplot der Personal Noise Ranking Scale (Lästigkeit) in Bezug auf alle 31 definierten Soundsamples

Tabelle 3.1: Beschreibung aller 31 Soundsamples und Zuordnung zu den einzelnen Kategorien und dem A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegel $L_{A,eq}$

Samplename	Typ	$L_{A,eq}$ [dB]
PZ_A	Schiene	51,1
PZ_B	Schiene	55,27
PZ_C	Schiene	57,72
PZ_D	Schiene	53,69
GZ_A	Schiene	72,06
GZ_B	Schiene	65,01
GZ_C	Schiene	69,03
GZ_D	Schiene	63,79
SMA_A	Straße	57,89
SMA_B	Straße	60,39
SMA_C	Straße	61,17
SMA_D	Straße	55,17
Beton_A	Straße	69,66
Beton_B	Straße	68,64
Beton_C	Straße	71,46
Beton_D	Straße	64,64
Straße_55dB	Straße	55
Straße_65dB	Straße	65
Straße_75dB	Straße	75
Schiene_55dB	Schiene	55
Schiene_65dB	Schiene	65
Schiene_75dB	Schiene	75
Rauschen_50dB	Rauschen	50
Rauschen_60dB	Rauschen	60
Rauschen_70dB	Rauschen	70
Rauschen_80dB	Rauschen	80
PZ_A_repro	Schiene	51,1
GZ_C_repro	Schiene	69,03
Beton_C_repro	Straße	71,46

SMA_C_repro	Straße	61,17
Rauschen_70dB_repro	Rauschen	70

In den nachfolgenden Abbildungen (3.1.1 bis 3.1.26) ist der Verlauf des Schalldruckpegels L_A [dB] aller 26 Soundsamples über die definierte Dauer von einer Minute dargestellt.

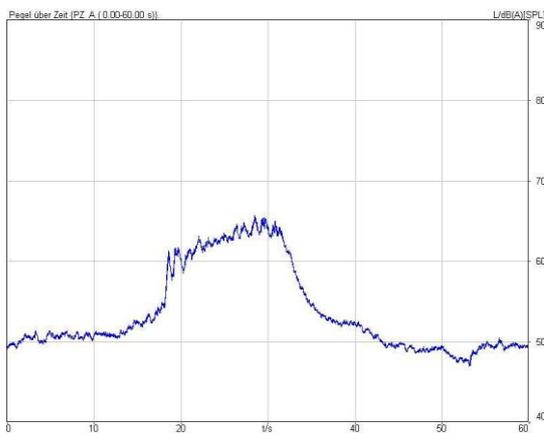


Abb.: 3.1.1: PZ_A: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 51,1$ dB)

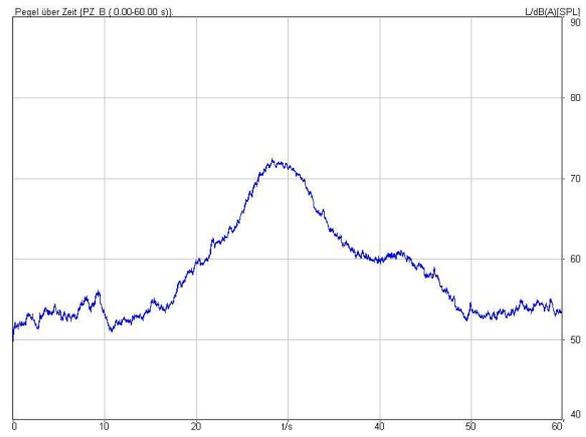


Abb.: 3.1.2: PZ_B: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 55,27$ dB)

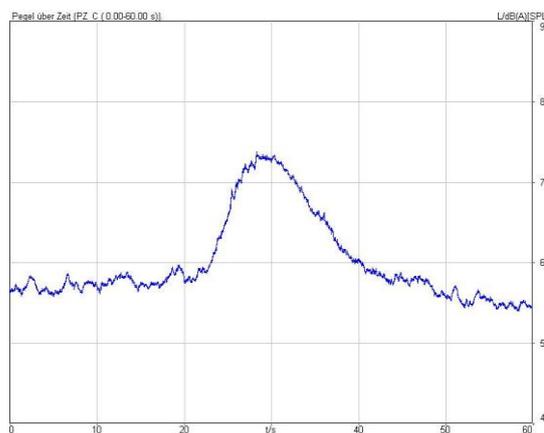


Abb.: 3.1.3: PZ_C: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 57,72$ dB)

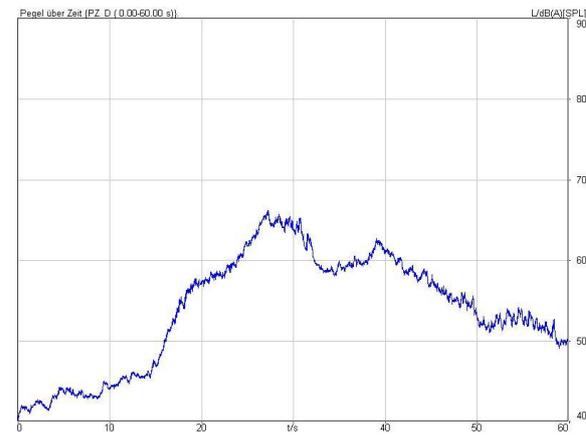


Abb.: 3.1.4: PZ_D: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 53,69$ dB)

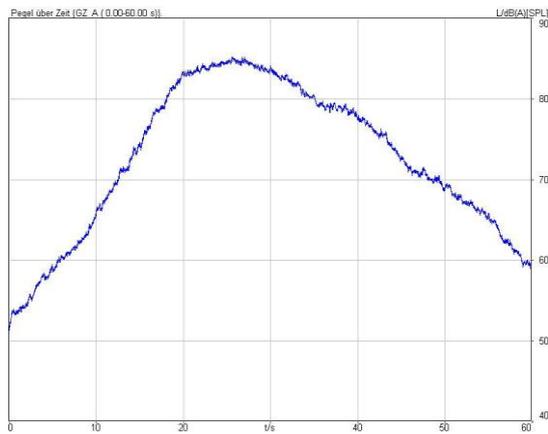


Abb.: 3.1.5: GZ_A: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 72,06$ dB)

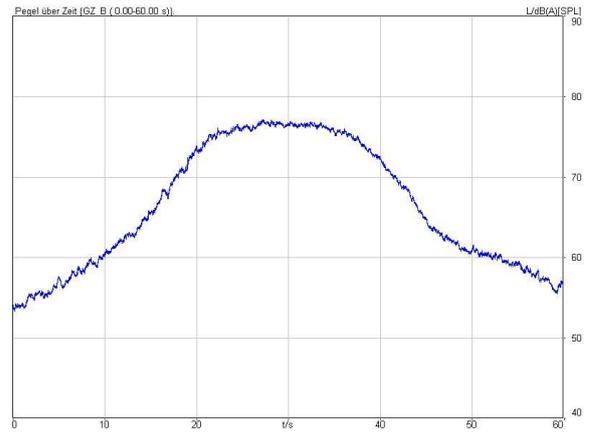


Abb.: 3.1.6: GZ_B: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 65,01$ dB)

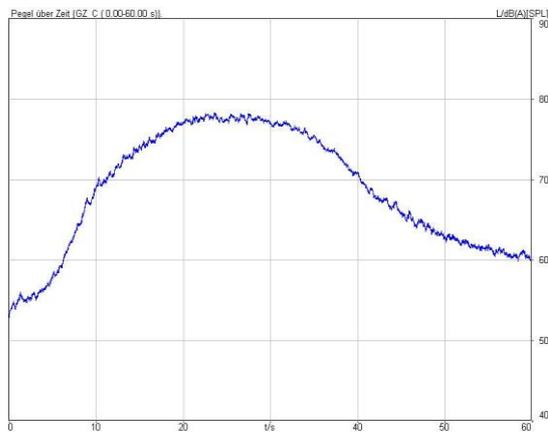


Abb.: 3.1.7: GZ_C: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 69,03$ dB)

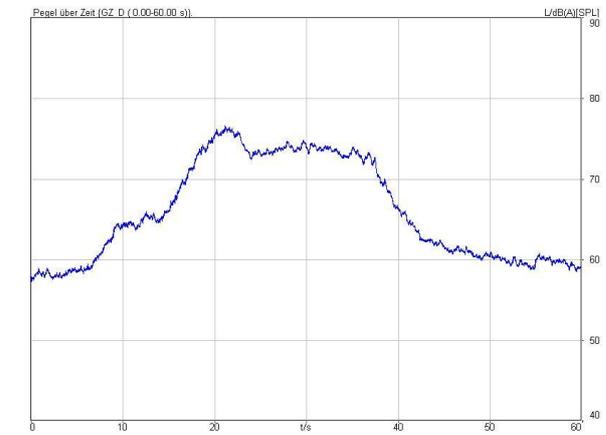


Abb.: 3.1.8: GZ_D: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 63,79$ dB)

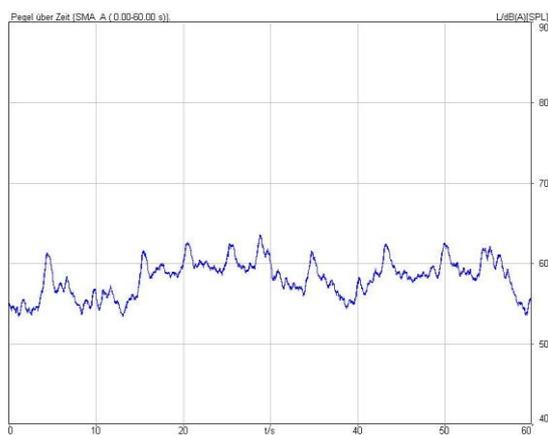


Abb.: 3.1.9: SMA_A: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 57,89$ dB)

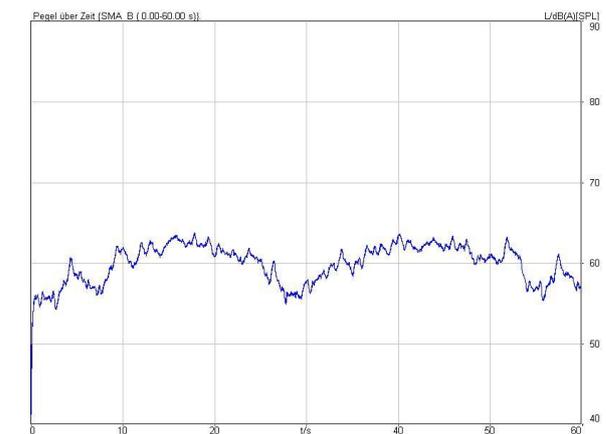


Abb.: 3.1.10: SMA_B: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 60,39$ dB)

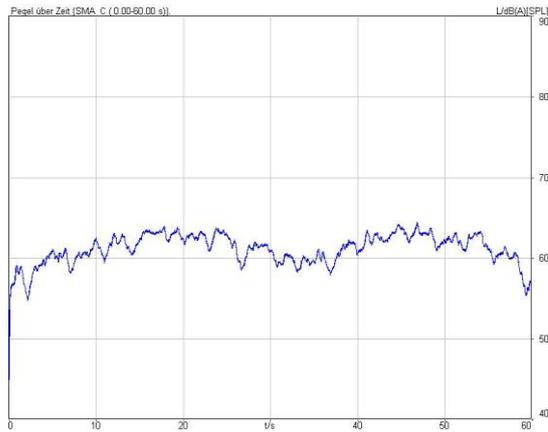


Abb.: 3.1.11: SMA_C: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 61,17$ dB)

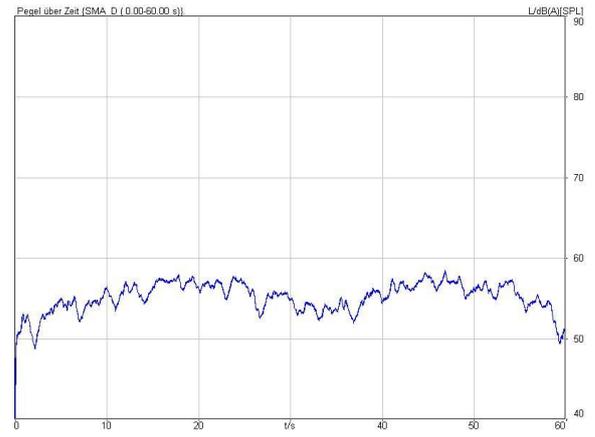


Abb.: 3.1.12: SMA_D: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 55,17$ dB)

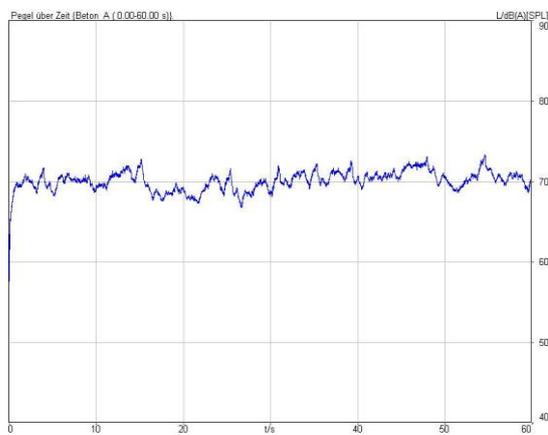


Abb.: 3.1.13: Beton_A: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 69,66$ dB)

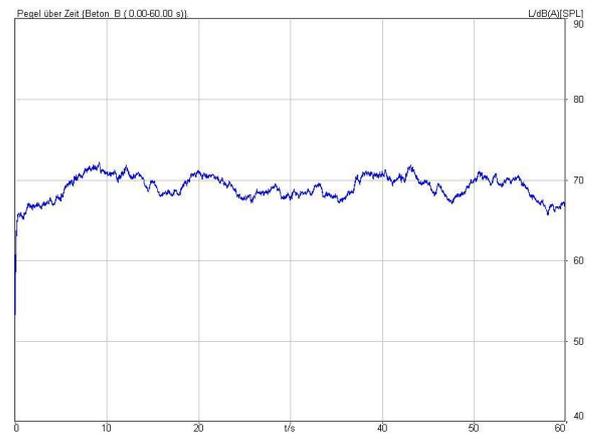


Abb.: 3.1.14: Beton_B: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 68,64$ dB)

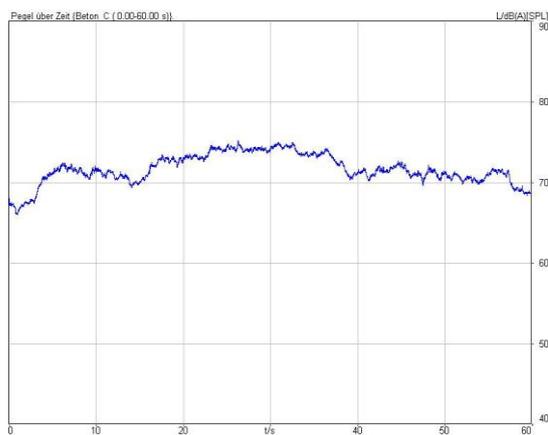


Abb.: 3.1.15: Beton_C: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 71,46$ dB)

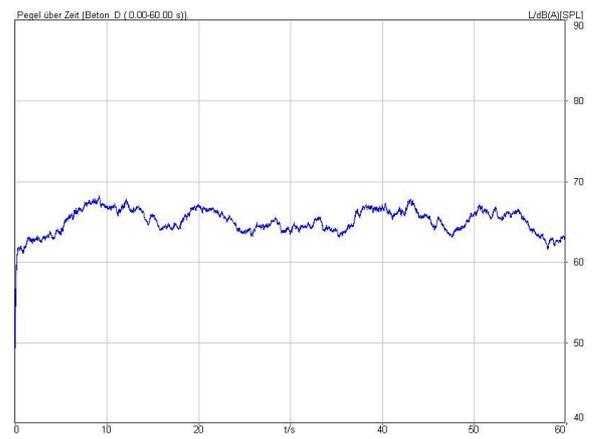


Abb.: 3.1.16: Beton_D: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 64,64$ dB)

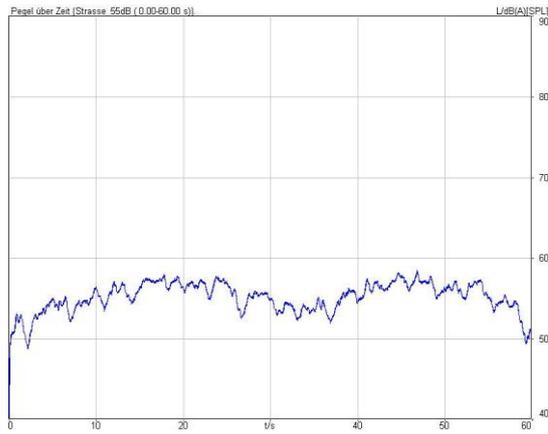


Abb.: 3.1.17: Strasse_55dB: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 55$ dB)

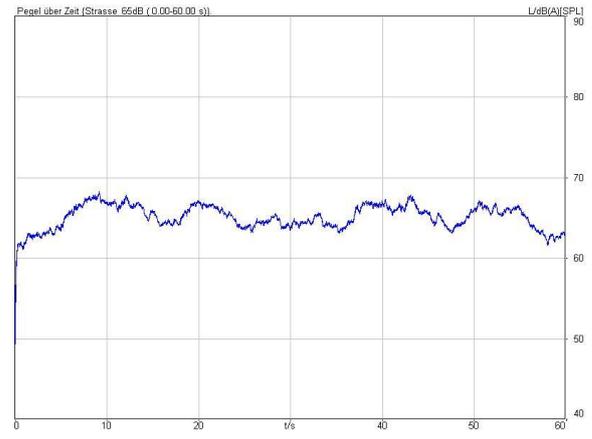


Abb.: 3.1.18: Strasse_65dB: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 65$ dB)

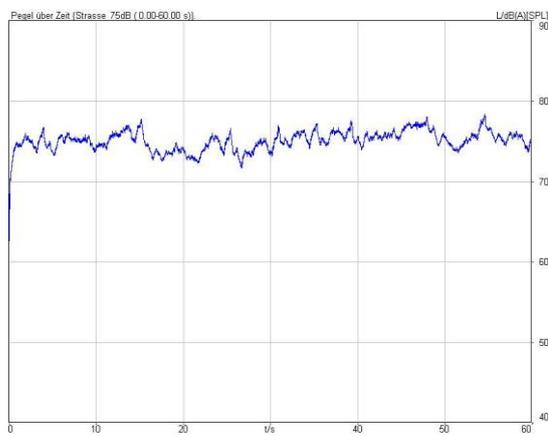


Abb.: 3.1.19: Strasse_75dB: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 75$ dB)

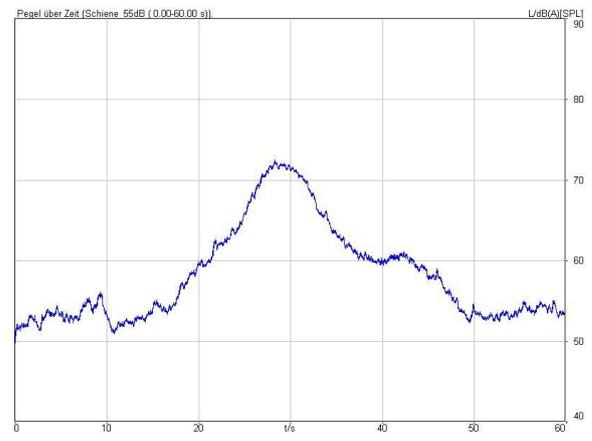


Abb.: 3.1.20: Schiene_55dB: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 55$ dB)

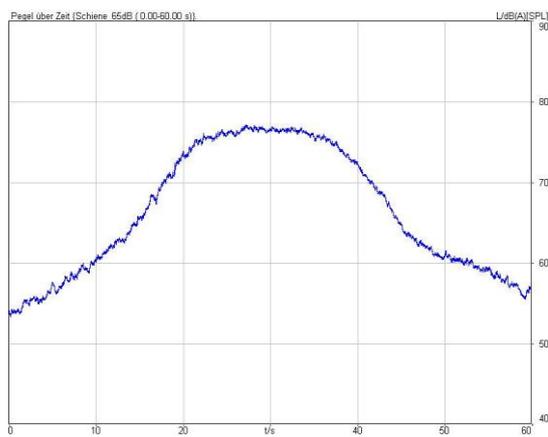


Abb.: 3.1.21: Schiene_65dB: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 65$ dB)

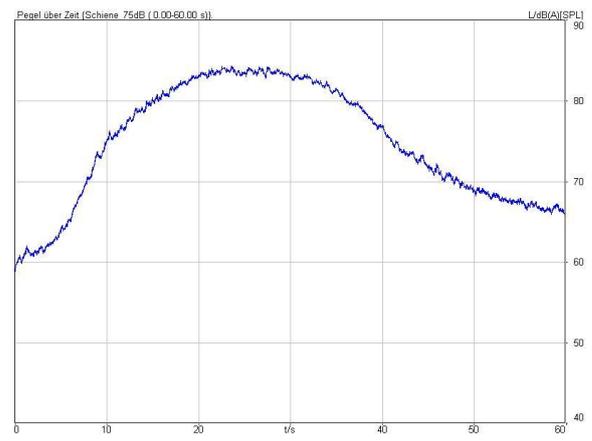
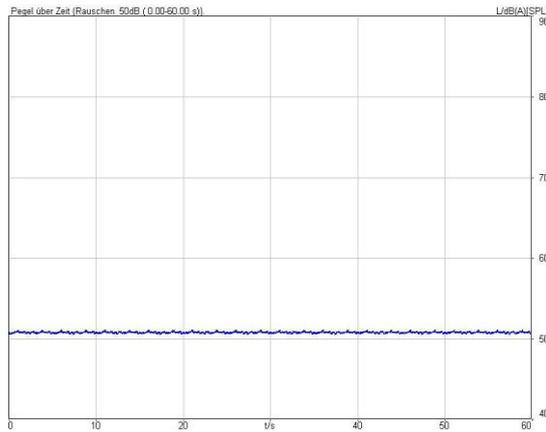
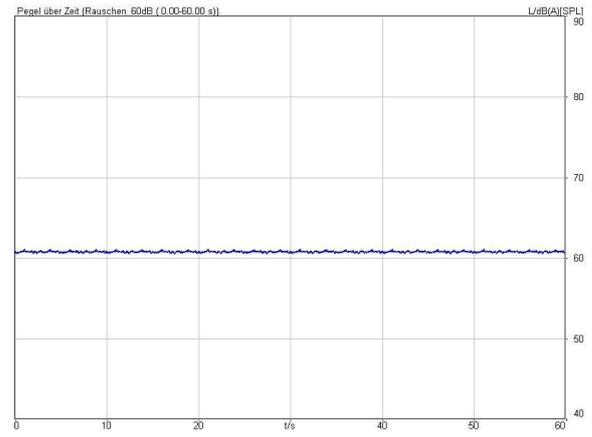
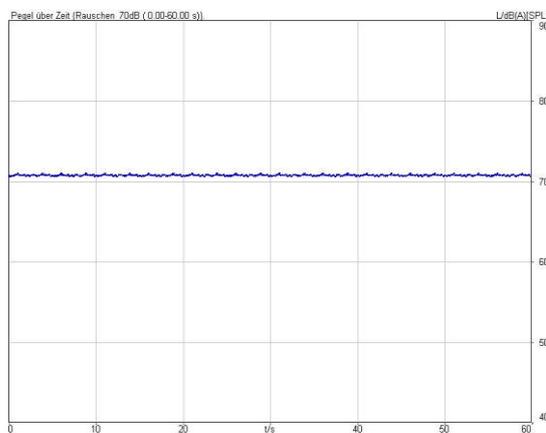
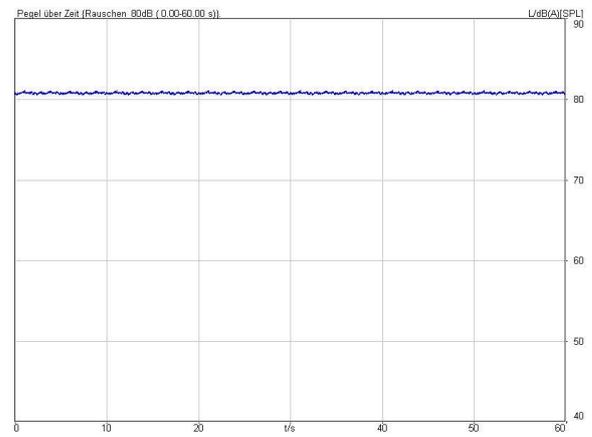


Abb.: 3.1.22: Schiene_75dB: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 75$ dB)

Abb.: 3.1.23: Rauschen_50dB: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 50$ dB)Abb.: 3.1.24: Rauschen_60dB: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 60$ dB)Abb.: 3.1.25: Rauschen_70dB: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 70$ dB)Abb.: 3.1.26: Rauschen_80dB: Pegel über Zeit ($L_{A,eq} = 80$ dB)

Pro Untersuchungsteilnehmer wurde über alle Skalenbewertungen der Lästigkeit der Mittelwert gebildet. Diese neu errechnete Variable wird im Folgenden als „mittlere Lästigkeitsbeurteilung“ bezeichnet. Weiters wurden die mittleren Lästigkeitsbewertungen getrennt für Straßen- und Schienenverkehrslärm und für das Rauschen berechnet.

Die Variable „mittlere Lästigkeitsbeurteilung“ weist einen Mittelwert \bar{x} von 6,59 und eine Standardabweichung s von 1,17 auf. Die minimale mittlere Lästigkeitsbeurteilung liegt bei 4,16 während das Maximum bei 9,22 liegt.

Die „mittlere Lästigkeitsbewertung“ von Straßenverkehrslärm zeigt im Mittel einen Wert von 6,15 ($s = 1,45$), wobei der niedrigste Wert 2,92 und der Höchste 9,77 beträgt.

Die Variable „mittlere Lästigkeitsbeurteilung“ von Schienenverkehrslärm hat einen Mittelwert von 6,72 und eine Standardabweichung von 1,40. Ihr Minimum liegt bei 3,69, ihr Maximum bei 9,92.

Der Mittelwert der Variable „mittlere Lästigkeitsbewertung“ von Rauschen liegt bei 7,43. Ihre Standardabweichung beträgt 1,57. Der niedrigste Wert liegt bei 2,20 während der Maximale Wert 10,80 beträgt.

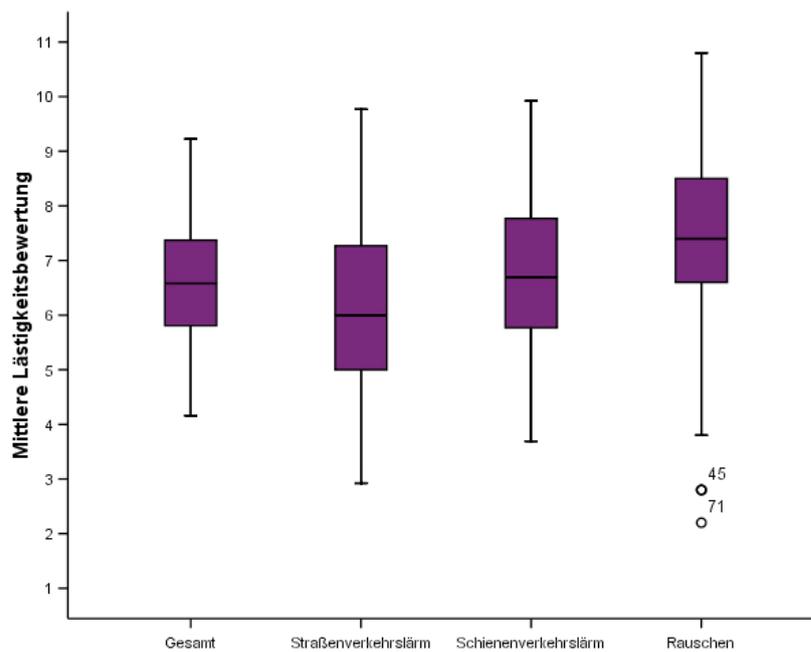


Abb. 3.2: Boxplot der mittleren Lästigkeitsbeurteilung über alle Bewertung (Gesamt), die Bewertungen für Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm und Rauschen

Wie in Abb. 3.2 zu sehen ist, zeigen die mittleren Lästigkeitsbeurteilungen auf der Personal Noise Ranking Scale bei deutlich unterschiedlichen Mittelwerten sehr ähnliche Standardabweichungen. Nach Bereinigung der Rohdaten zeigen sich nur mehr bei den Lästigkeitsurteilen der Rauschen-Samples zwei einzelne Datenpunkte, die mehr als zwei Standardabweichungen vom Mittelwert der Gruppe entfernt liegen. Diese Werte decken sich mit den Berichten einiger Probanden, die die 55 dB Rauschen mit Wasserfallgeräuschen assoziierten und somit als besonders angenehm empfanden. Diese einzelnen Ausreißer wurden für die weitere Auswertung in der Stichprobe belassen, da auf Grund der großen Stichprobengröße keine starken Auswirkungen auf die Ergebnisse zu erwarten sind.

3.2.1 Vergleich Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm und Rauschen

Der Unterschied in der Bewertung der Lästigkeit von Straßenverkehrsgläuschen, Schienenverkehrsgläuschen und Rauschen wurde mittels einfaktorieller Varianzanalyse berechnet. Es zeigte sich ein sehr signifikanter Unterschied in der Lästigkeitsbewertungen zwischen den drei Lärmquellen ($F = 77,3$; $p = .00$). Dieser Gesamteffekt wurde mittels Scheffe-Posttests auf Einzelunterschiede zwischen den 3 Gruppen überprüft. Auch hier konnten alle drei Geräuschgruppen signifikant unterschieden werden ($p = .00$). Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die drei Geräuschgruppen im Mittel nicht exakt den gleichen $L_{A,eq}$ haben. Während die Gruppe der Straßenverkehrsgläusche einen mittleren $L_{A,eq}$ von 64,4 dB aufweist, liegen die Schienenverkehrssamples im Mittel bei einem $L_{A,eq}$ 61,3 dB und die Rauschen-Samples bei einem $L_{A,eq}$ von 66 dB.

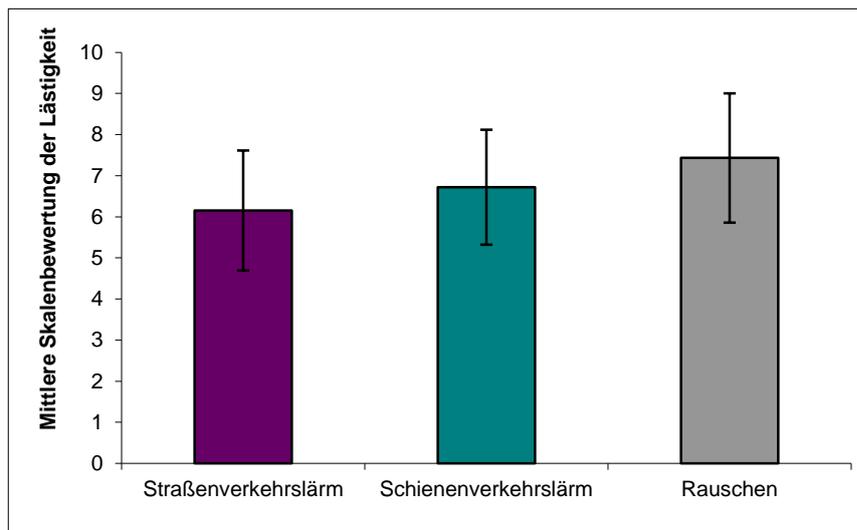


Abb. 3.3: Mittlere Skalenbewertung der Lästigkeit von Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm und Rauschen

Abb. 3.3 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der mittleren Lästigkeitsbeurteilung für Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm und Rauschen. Das Rauschen wurde von den Untersuchungsteilnehmer als signifikant lästiger beurteilt als die Schienenverkehrsgläusche und diese wurden auf der Personal Noise Ranking Scale wiederum lästiger eingestuft als die Straßenverkehrsgläusche.

3.3 Zusammenhang zwischen dem $L_{A,eq}$ und den Bewertungen auf der Personal Noise Ranking Scale

Der Zusammenhang zwischen dem $L_{A,eq}$ der Geräuschsamples und den Bewertungen auf der Personal Noise Ranking Scale wurde mittels Korrelationskoeffizient r berechnet. Über alle Bewertungen zeigte sich ein hoch signifikanter Zusammenhang von .629 ($p = .00$). Je größer der $L_{A,eq}$ der Geräusche war, desto lästiger wurden sie von den Untersuchungsteilnehmer wahrgenommen. Die Höhe dieses Zusammenhangs ändert sich stark wenn die Geräuschquellen separat betrachtet werden. Hierbei zeigt sich ein etwas geringerer Koeffizient von .604 ($p = .00$) bei den Straßenverkehrsgeräuschen. Für die Schienenverkehrsgeräusche wurde ein Zusammenhang zwischen dem $L_{A,eq}$ und der Bewertung auf der Personal Noise Ranking Scale von .629 ($p = .00$) berechnet und für das Rauschen ein deutlich höherer Zusammenhang von .756 ($p = .00$).

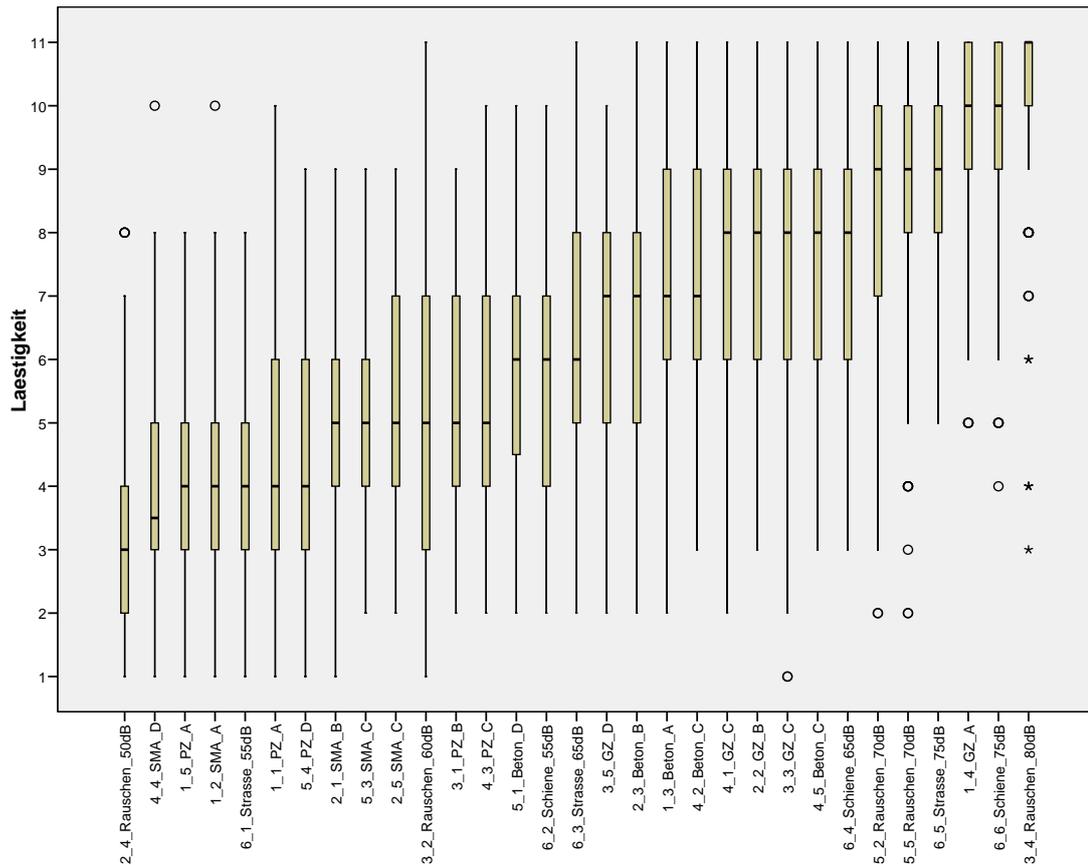


Abb. 3.4: Boxplot der Personal Noise Ranking Scale (Lästigkeit) in Bezug auf die definierten Gesamt-Soundsamples mit gerundeten $L_{A,eq}$ - Angaben

In der oben angeführten Boxplot-Darstellung (Abb. 3.4) sind die Lästigkeitsurteile aller 31 Soundsamples (26 definierte Soundsamples sowie 5 Reproduzierbarkeitssamples) mit $L_{A,eq}$ - Angaben dargestellt (detaillierte Werte siehe Tab. 3.1). Die ähnlichen Ergebnisse der Reprosamples zeigen die gute Reproduzierbarkeit innerhalb des Probandenkollektivs.

Die Ergebnisse der Personal Noise Ranking Scale können prinzipiell in drei Gruppen unterteilt werden. Beispiele mit einem $L_{A,eq}$ bis ca. 60 dB werden als wenig lästig empfunden, zwischen 60 dB und 70 dB liegen die Bewertungen im mittleren- und über 70 dB im oberen Bereich der 11-teiligen Intervallskala.

Besonders auffällig sind die sehr hohen Bewertungen der letzten drei Samples „1_4_GZ_A_72dB“, „6_6_Schiene_75dB“ und „3_4_Rauschen_80dB“, und dass grundsätzlich Schienenverkehrssamples lästiger empfunden werden als Straßenverkehrssamples bei gleichem $L_{A,eq}$ (vgl. „6_1_Strasse_55dB“ mit

„6_2_Schiene_55dB“, „6_3_Strasse_65dB“ mit „6_4_Schiene_65dB“ und „6_5_Strasse_75dB“ mit „6_6_Schiene_75dB“).

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Lästigkeitsurteile der Probanden für die Teilbereiche Straße, Schiene und Rauschen gesondert dargestellt:

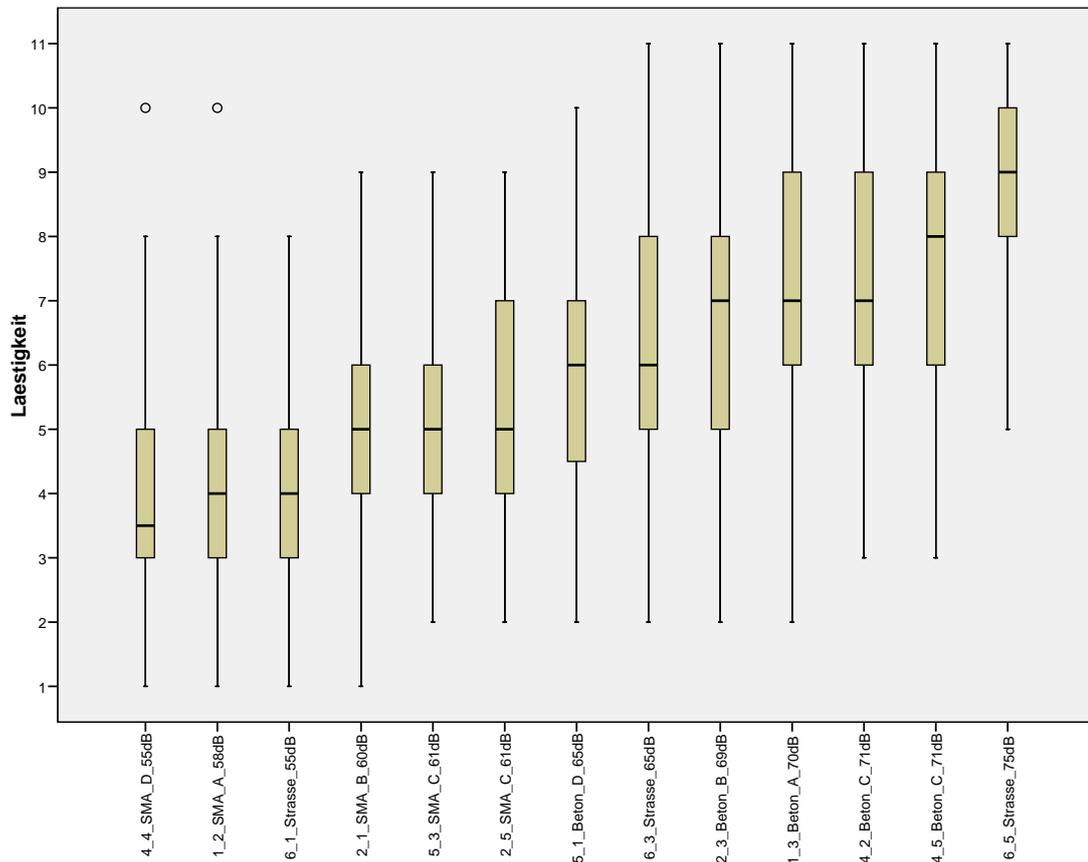


Abb. 3.5: Boxplot der Personal Noise Ranking Scale in Bezug auf die definierten Straßen-Soundsamples mit den $L_{A,eq}$ - Angaben

In diesem Boxplot sind die 11 Straßenverkehrssamples und 2 Reprosamples dargestellt. Die Ergebnisse der ersten drei Beispiele („4_4_SMA_D_55dB“, „1_2_SMA_A_58dB“ und „6_1_Strasse_55dB“) zeigen, dass verschiedene Kfz-Ensembles mit einem $L_{A,eq}$ unter 60 dB gleich bewertet und als wenig lästig empfunden werden. Ein erster Anstieg der Lästigkeitsurteile ist bei Soundsamples mit einem $L_{A,eq}$ von 60 dB bis 65 dB zu erkennen. Die Streuung der Ergebnisse nimmt in diesem Bereich ebenfalls zu. Ein weiterer deutlicher Anstieg, bei gleich bleibender Streuung, liegt im Bereich von 70 dB. Ein letzter deutlicher Anstieg ist beim Sample

„6_5_Strasse_75dB“ zu sehen. Die Streuung nach oben hin ist jedoch geringer, assoziierbar mit der nach oben hin begrenzten Skala.

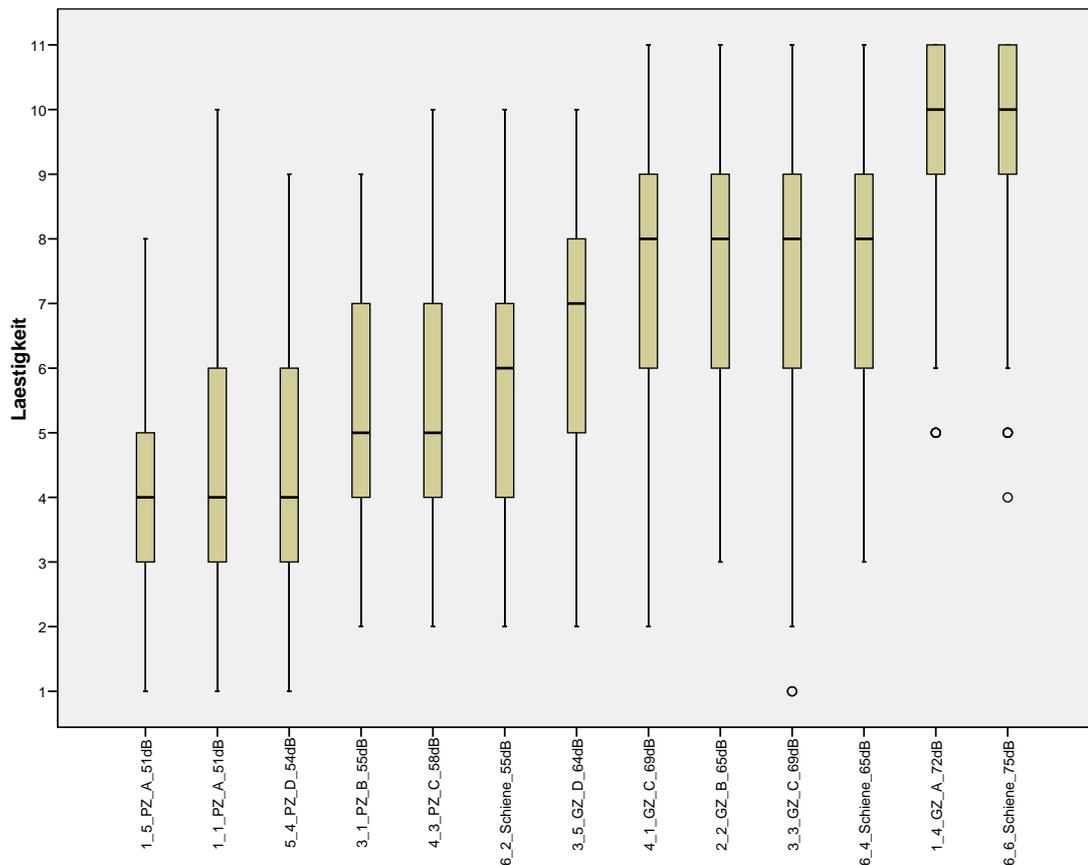


Abb. 3.6: Boxplot der Personal Noise Ranking Scale in Bezug auf die definierten Schienen-Soundsamples mit den $L_{A,eq}$ - Angaben

In der Abb. 3.6 sind die 11 Soundsamples und die 2 Reprosamples der Gruppe „Schiene“ dargestellt. Interessant ist zu sehen, dass die Lästigkeitsurteile der Soundsamples mit einem $L_{A,eq}$ von unter 60 dB im Gegensatz zur Straße unterschiedlich sind. So sind bereits bei Samples mit einem $L_{A,eq}$ im Bereich von 55 dB bis 60 dB die Lästigkeitsurteile höher als im Bereich zwischen 50 dB bis 55 dB. Ein deutlicher Anstieg der Lästigkeit ist bei den Samples mit einem $L_{A,eq}$ zwischen 65 dB und 70 dB zu erkennen. Auffallend ist die besonders hohe Bewertung der Samples „1_4_GZ_A_72dB“ und „6_6_Schiene_75dB“ und deren niedrige Streuung.

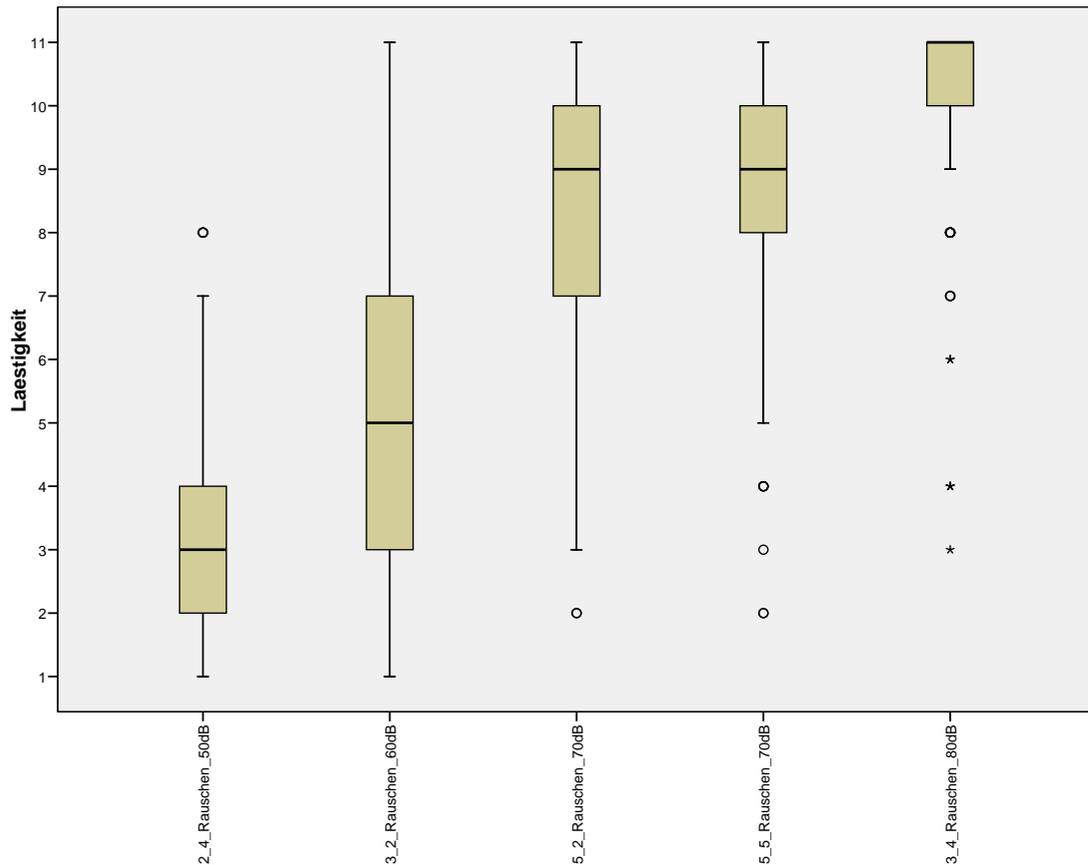


Abb. 3.7: Boxplot der Personal Noise Ranking Scale in Bezug auf die definierten Rauschen-Soundsamples mit den $L_{A,eq}$ - Angaben

In der Abb. 3.7 sind die 4 Soundsamples und das Reprosample der Gruppe „Rauschen“ dargestellt. Die Abbildung zeigt deutlich den großen Anstieg der Lästigkeit zwischen den Beispielen „3_2_Rauschen_60dB“ und „5_2_Rauschen_70dB“ wobei auffällt, dass die Streuung des Samples „3_2_Rauschen_60dB“ sehr groß ist. Besonders interessant an diesem Boxplot sind die sehr hohen Bewertungen des Beispiels „3_4_Rauschen_80dB“ mit der geringen Streuung und der gleiche Medianwert der Reproduzierbarkeitssamples.

3.3.1 Paarvergleiche zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm

Um die Verkehrsgeräusche einem direkten Vergleich unterziehen zu können, wurden im letzten Block des Experiments Straßen- und Schienenverkehrssamples mit gleichem $L_{A,eq}$ von 55 dB, 65 dB bzw. 75 dB dargeboten. Somit waren statistische Vergleiche mittels t-Test möglich. Da in diesem Fall, durch die Durchführung von 3 statistischen

Prüfungen, die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers erster Art (Irrtumswahrscheinlichkeit bei statistisch signifikantem Ergebnis) kumuliert wird, wurde eine Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Dabei wurde die ursprünglich abgenommene Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% durch die Anzahl der statistischen Prüfungen dividiert. Somit wurde für die nachfolgenden Paarvergleiche der Lästigkeit von Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $5/3 = 1,67\%$ festgelegt.

3.3.1.1 Paarvergleich zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm bei einem $L_{A,eq}$ von 55 dB

Wie in Abb. 3.8 grafisch dargestellt ist, wurden die Straßenverkehrsgeräusche mit einem $L_{A,eq}$ von 55 dB auf der Personal Noise Ranking Scale im Mittel mit 4,42 und einer Standardabweichung von 1,89 bewertet, während die Schienenverkehrsgeräusche mit $L_{A,eq}$ 55 dB von den Untersuchungsteilnehmern etwas höher ($\bar{x} = 6,00$; $s = 2,11$) eingestuft wurden.

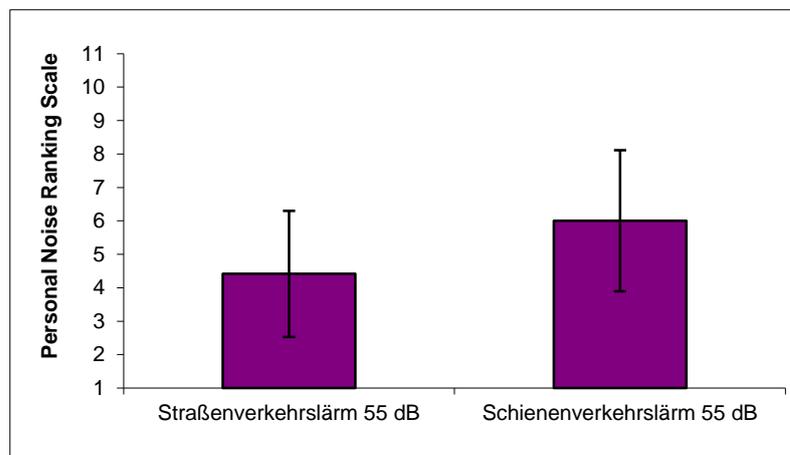


Abb. 3.8: Unterschied zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm bei 55 dB $L_{A,eq}$

Dieser Unterschied wurde mittels t-Test überprüft und ist statistisch bedeutsam ($p = .00$). Schienenverkehrsgeräusche werden somit bei einem $L_{A,eq}$ von 55 dB auf der Personal Noise Ranking Scale signifikant lästiger beurteilt als Straßenverkehrsgeräusche.

3.3.1.2 Paarvergleich zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm bei einem $L_{A,eq}$ von 65 dB

Bei einem $L_{A,eq}$ von 65 dB wurde die Lästigkeit von Straßenverkehrslärm im Mittel mit 6,53 bei einer Standardabweichung von 2,06 eingestuft. Schienenverkehrsgeräusche wurden wiederum deutlich höher bewertet, mit einem Mittelwert von 7,81 und einer Standardabweichung von 1,90 (siehe Abb. 3.9).

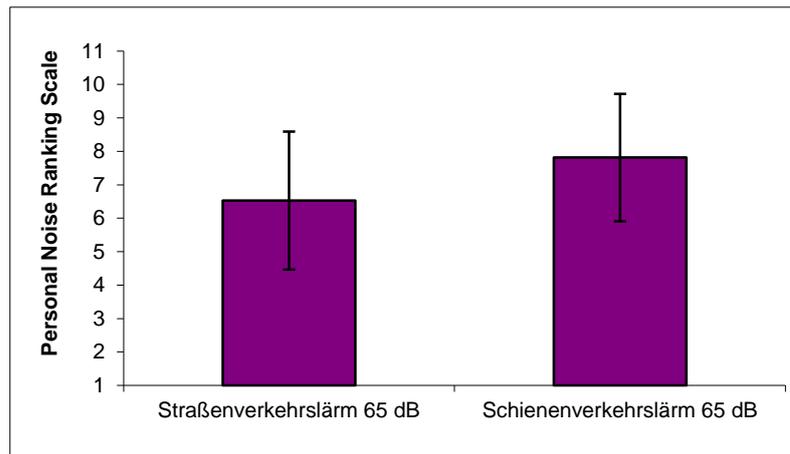


Abb. 3.9: Unterschied zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm bei 65 dB $L_{A,eq}$

Dieser Unterschied zwischen der Lästigkeitsbewertung von Straßen- und Schienenverkehrslärm bei 65 dB $L_{A,eq}$ ist statistisch signifikant. Schienenverkehrsgeräusche werden somit bei einem $L_{A,eq}$ von 65 dB als deutlich lästiger wahrgenommen als Straßenverkehrsgeräusche.

3.3.1.3 Paarvergleich zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm bei einem $L_{A,eq}$ 75 dB

Abb. 3.10 zeigt Mittelwert und Standardabweichung von Straßen- und Schienenverkehrslärm bei einem $L_{A,eq}$ von 75 dB. Auch in diesem Bereich wird Straßenverkehrslärm auf der Personal Noise Ranking Scale deutlich niedriger ($\bar{x} = 9,11$; $s = 1,44$) eingestuft als Schienenverkehrslärm ($\bar{x} = 9,79$; $s = 1,45$). Dieser Unterschied ist wiederum statistisch signifikant ($p = .00$).

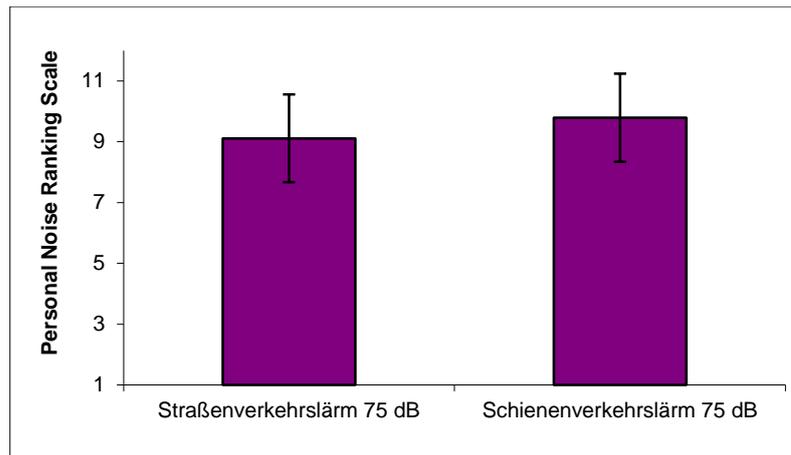


Abb. 3.10: Unterschied zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm bei 75 dB $L_{A,eq}$

Die drei Paarvergleiche zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm bei 55 dB, 65 dB und 75 dB $L_{A,eq}$ zeigten statistisch hoch signifikante Unterschiede in der Lästigkeitsbewertung auf der Personal Noise Ranking Scale.

Bei einem direktem Vergleich von Straßen- und Schienenverkehrslärm bei gleichem $L_{A,eq}$, wurde in diesem definierten Versuchsdesign Schienenverkehrslärm von den Probanden als lästiger empfunden.

3.3.2 Lineare Regressionsanalysen: Lästigkeit in Abhängigkeit des $L_{A,eq}$

Weiters wurde eine lineare Regression berechnet, um den Einfluss des $L_{A,eq}$ der Geräuschsamples auf die Bewertungen mittels Personal Noise Ranking Scale zu erklären. Durch die lineare Regression können Aussagen darüber getroffen werden, wie gut sich die Werte einer Variable (z.B. die Lästigkeitsurteile auf der Personal Noise Ranking Scale) durch eine oder mehrere andere Variablen (z.B. der $L_{A,eq}$ der Geräuschsamples) vorhersagen lassen. Die Variable, deren Wert vorhergesagt werden soll, wird als abhängige Variable (AV) oder als Kriterium bezeichnet (in diesem Fall die Lästigkeitsbeurteilung). Die Variable, die zur Vorhersage dient, wird als unabhängige Variable (UV) oder als Prädiktor bezeichnet ($L_{A,eq}$). In den nachfolgenden Abbildungen sind die Regressionsanalysen für Straße, Schiene, Rauschen und Gesamt (alle drei Kategorien zusammengefasst) dargestellt.

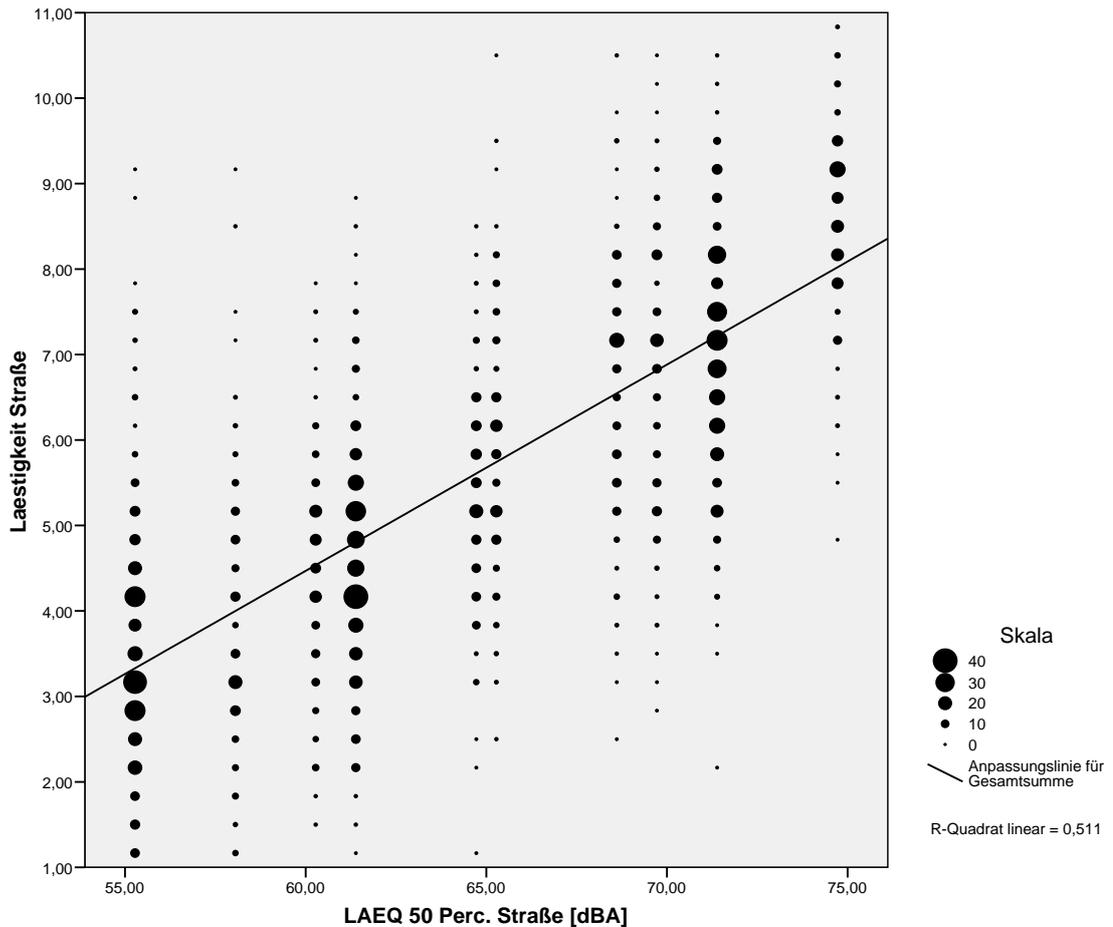


Abb. 3.11: Lineare Regression für den Bereich Straße: Lästigkeitsbewertung auf der Personal Noise Ranking Scale in Abhängigkeit des $L_{A,eq}$

In der Abb. 3.11 ist die Lästigkeit in Abhängigkeit des Parameters $L_{A,eq}$ für den Bereich „Straße“ dargestellt. Für diese Darstellung sind alle Bewertungen für die 11 definierten Fahrzeugensembles und für die beiden Reprosamples der 171 Probanden mit zusätzlicher Datenadaptierung verwendet worden.

Die unterschiedliche Größe der Punktwolken gibt die unterschiedliche Anzahl der Bewertungen wieder d.h. je größer eine Punktwolke, desto mehr Probanden haben das Ensemble mit diesem Indexpunkt bewertet. Aufgrund der Breite der 11-teiligen Intervallskala bewerteten die Probanden die Lästigkeit in sehr unterschiedlichen Teilbereichen. Um die unterschiedlichen Bewertungen der Probanden in eine einheitliche Form zu bringen, erfolgte eine Zentrierung auf den Mittelwert der subjektiven Lästigkeitsurteile der einzelnen Probanden. Mit diesen zentrierten Daten

wurde eine lineare Regressionsanalyse der Lästigkeit in Abhängigkeit des $L_{A,eq}$ und in weiterer Folge mit allen Parameter durchgeführt.

Als Ergebnis ist hier festzuhalten, dass 51,2% der Varianz der subjektiven Lästigkeit mit den Parameter $L_{A,eq}$ erklärt werden können.

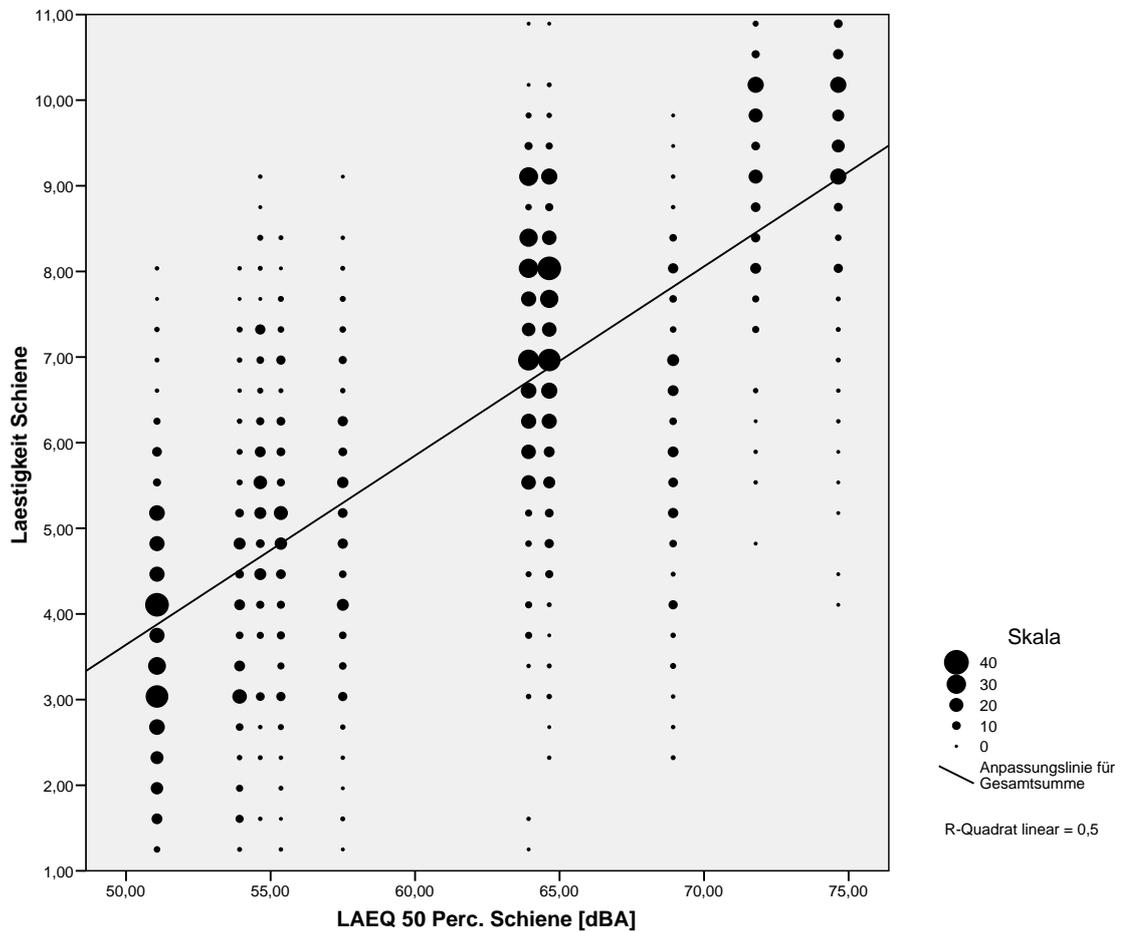


Abb. 3.12: Lineare Regression für den Bereich Schiene: Lästigkeitsbewertung auf der Personal Noise Ranking Scale in Abhängigkeit des $L_{A,eq}$

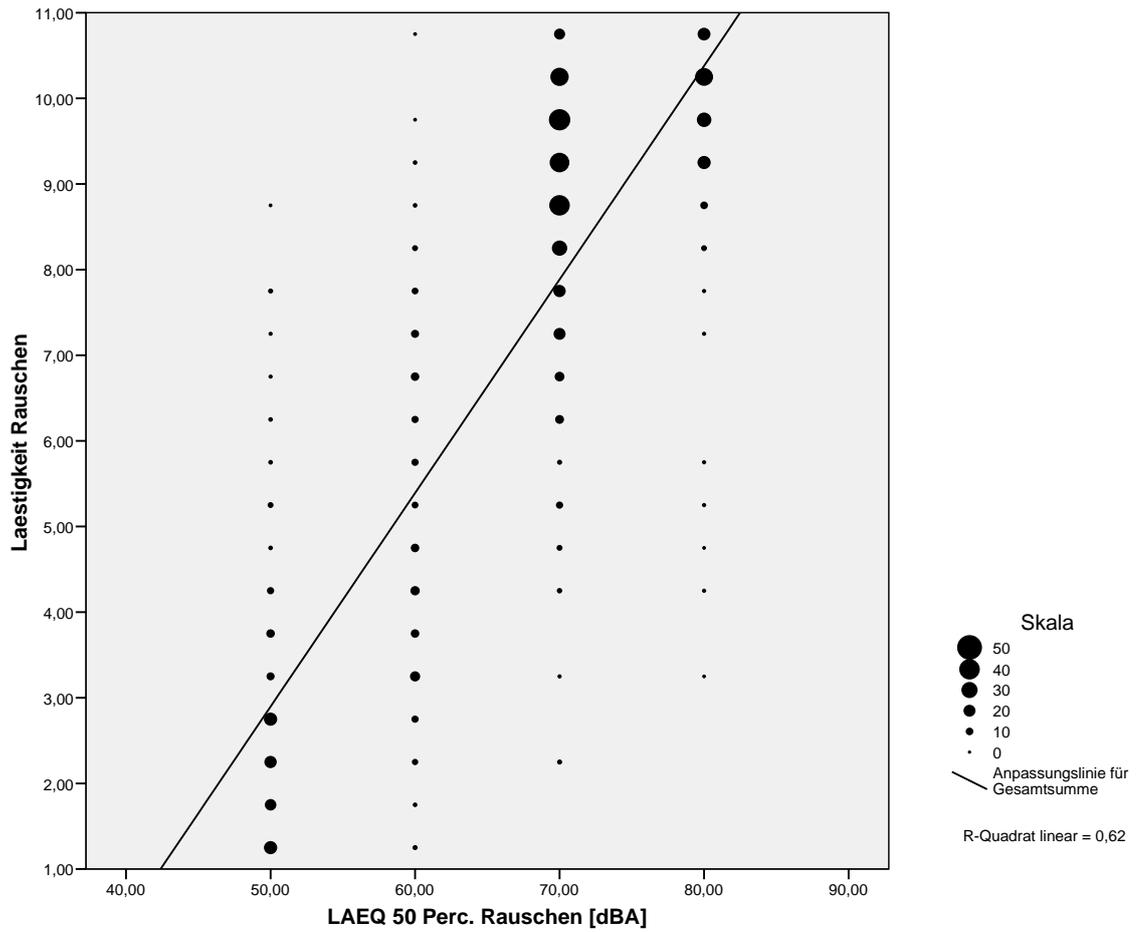


Abb. 3.13: Lineare Regression für den Bereich Rauschen: Lästigkeitsbewertung auf der Personal Noise Ranking Scale in Abhängigkeit des $L_{A,eq}$

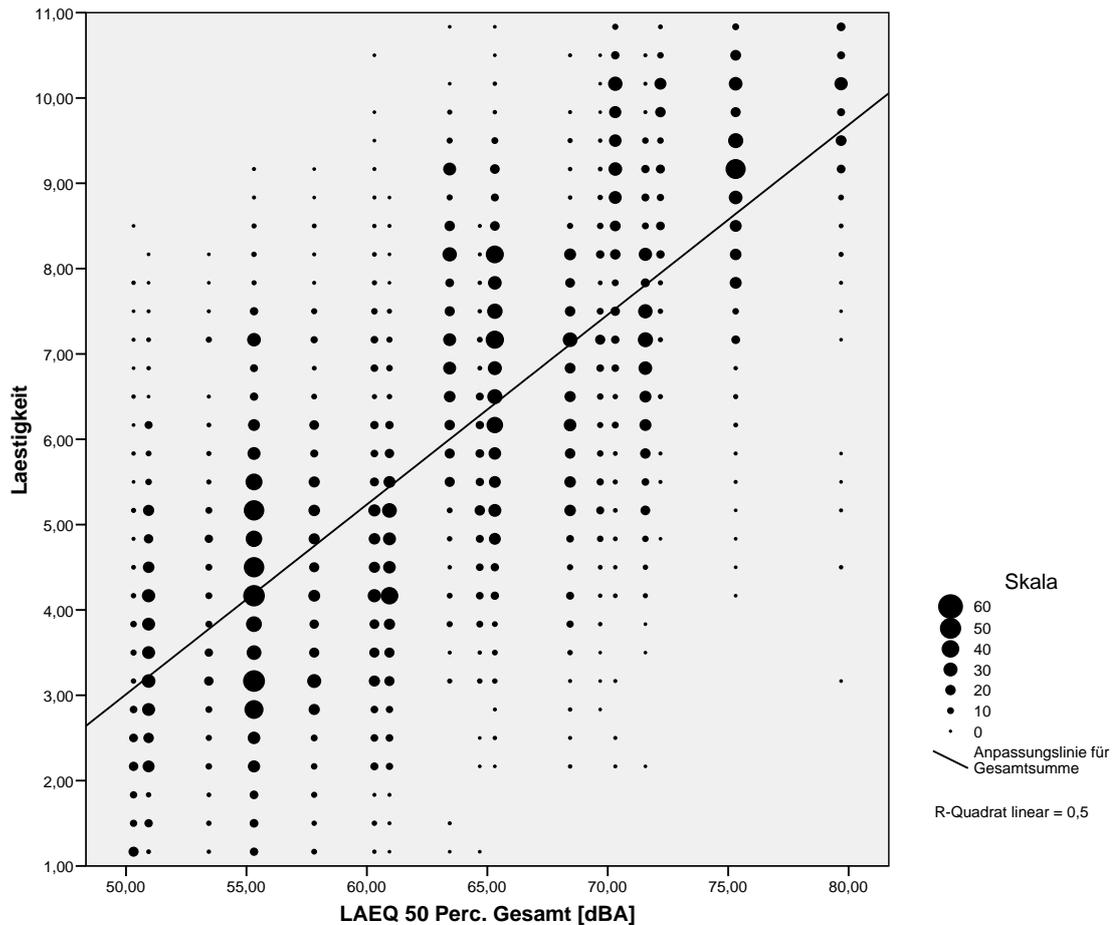


Abb. 3.14: Lineare Regression für alle Soundsamples: Lästigkeitsbewertung auf der Personal Noise Ranking Scale in Abhängigkeit des $L_{A,eq}$

Über alle Bewertungen erklärte der $L_{A,eq}$ 49,8 % der Varianz der Lästigkeitsurteile auf der Personal Noise Ranking Scale. Dieser Einfluss kann als statistisch bedeutsam bezeichnet werden ($p = .00$). Betrachtet man nur die Straßenverkehrsgeräusche beträgt dieser Einfluss 51,2% ($p = .00$), während für Schienenverkehrsgeräusche 50,7 % der Varianz der Bewertungen durch den $L_{A,eq}$ erklärt werden können ($p = .00$) und 62,1% ($p = .00$) bei dem Rauschen.

Während der Einfluss des $L_{A,eq}$ der Geräusche auf die Lästigkeitsbeurteilungen für Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche nahezu gleich groß ist, ist er für das Rauschen deutlich erhöht.

3.4 Zusammenhang zwischen den subjektiven Bewertungen auf der Personal Noise Ranking Scale und der objektiven psychoakustischen Parameter

Auf Basis des Forschungsprojektes „Lästigkeitsindex für Straßenverkehrslärm“ wurde in diesem Projekt der Einfluss objektiver psychoakustischer Parameter in Bezug auf die subjektive Lästigkeit von Personen untersucht. In einer ersten Phase wurden die fünf psychoakustischen Grundgrößen (Lautheit, Rauigkeit, Schärfe, Tonhaltigkeit und Schwankungsstärke) auf Basis von 50% Perzentilen für die einzelnen Soundsamples ausgewertet. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle 3.2 angeführt.

Tabelle 3.2: Soundsamples mit den Ergebnissen der psychoakustischen Parameter

Samplename	Lautheit [sone]	Rauigkeit [asper]	Schärfe [acum]	Tonhaltigkeit [mel]	Schwankungsstärke [vacil]
PZ_A	6,16	1,31	1,32	0,039	0,004
PZ_B	7,19	1,45	1,14	0,027	0,005
PZ_C	8,92	1,63	1,13	0,026	0,005
PZ_D	6,77	1,37	1,27	0,034	0,009
GZ_A	23,86	2,82	1,96	0,017	0,009
GZ_B	16,1	2,21	1,84	0,021	0,006
GZ_C	21,43	2,54	2,06	0,023	0,007
GZ_D	14,46	2,11	1,64	0,025	0,006
SMA_A	10,1	1,66	1,92	0,072	0,004
SMA_B	11,2	1,8	2,05	0,024	0,005
SMA_C	12,16	1,87	2,31	0,019	0,006
SMA_D	8,01	1,5	1,98	0,02	0,005
Beton_A	20,65	2,52	2,17	0,032	0,006
Beton_B	19,79	2,47	2,17	0,024	0,006

Beton_C	23,46	2,72	2,28	0,025	0,006
Beton_D	15,24	2,14	2,03	0,025	0,005
Straße_55dB	8,01	1,5	1,98	0,02	0,005
Straße_65dB	15,24	2,14	2,03	0,025	0,005
Straße_75dB	28,36	3,01	2,4	0,031	0,007
Schiene_55dB	7,19	1,45	1,14	0,027	0,005
Schiene_65dB	16,1	2,21	1,84	0,021	0,006
Schiene_75dB	31,34	3,14	2,33	0,021	0,008
Rauschen_50dB	7,07	1,39	2,24	0,024	0,003
Rauschen_60dB	14,11	1,97	2,56	0,023	0,004
Rauschen_70dB	26,8	2,79	3,07	0,021	0,005
Rauschen_80dB	49,49	3,94	3,88	0,02	0,007
PZ_A_repro	6,16	1,31	1,32	0,039	0,004
GZ_C_repro	21,43	2,54	2,06	0,023	0,007
Beton_C_repro	23,46	2,72	2,28	0,025	0,006
SMA_C_repro	12,16	1,87	2,31	0,019	0,006
Rauschen_70dB _repro	26,8	2,79	3,07	0,021	0,005

Weiters wurden mittels linearer Regressionsanalysen die subjektiven Ergebnisse der Versuchspersonen in Abhängigkeit der einzelnen psychoakustischen Parameter untersucht. Die Lästigkeit der Personal Ranking Scale entspricht der abhängigen Variable oder Zielvariable und die psychoakustischen Größen der unabhängigen Variablen.

Um die unterschiedlichen Bewertungen der Probanden auch hier in eine einheitliche Form zu bringen, erfolgte eine Zentrierung auf den Mittelwert der subjektiven Lästigkeitsurteile der einzelnen Probanden.

Die folgenden Abbildungen zeigen nur jene Streudiagramme mit „sinnvollen Ergebnissen“.

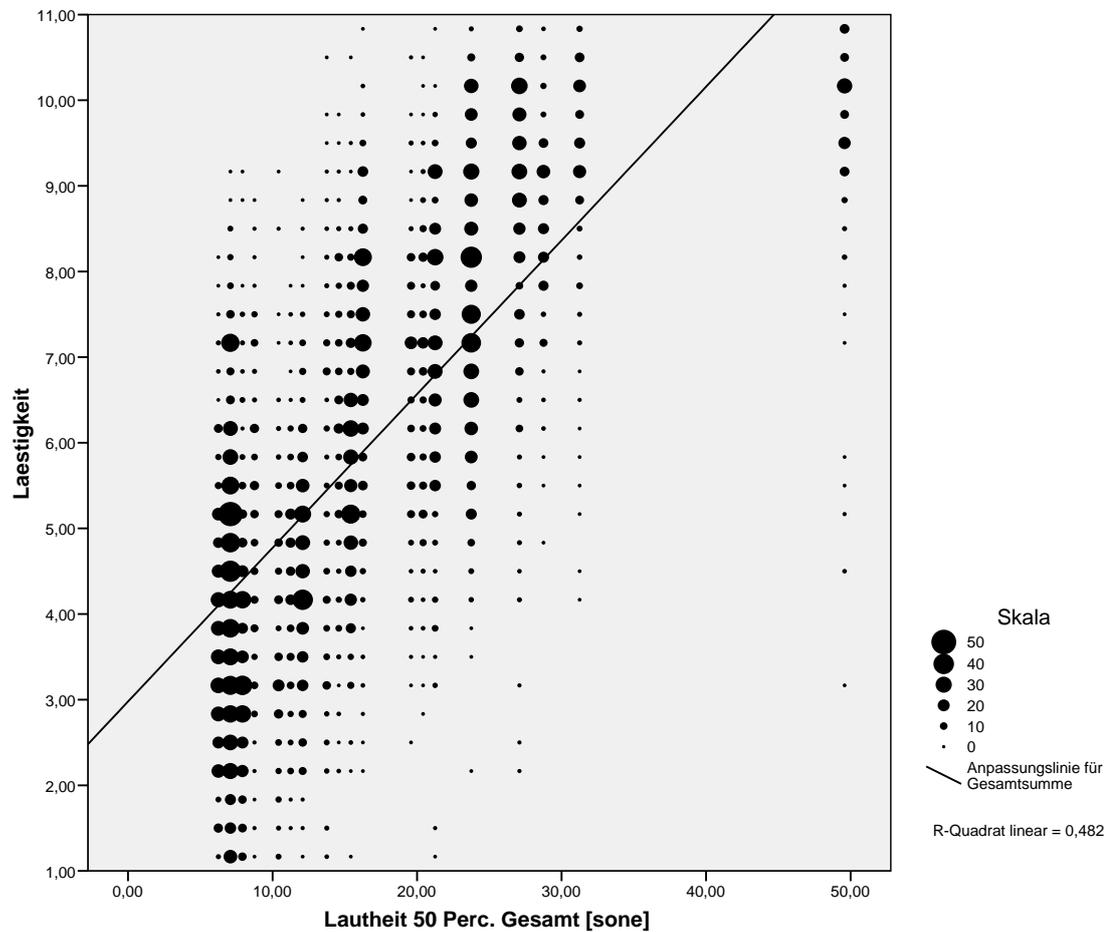


Abb. 3.15: Lineare Regression für alle Soundsamples: Lästigkeitsbewertung auf der Personal Noise Ranking Scale in Abhängigkeit der Lautheit

Die Varianz der subjektiven Lästigkeit wird durch den Parameter Lautheit zu 48,2% erklärt ($p = .00$).

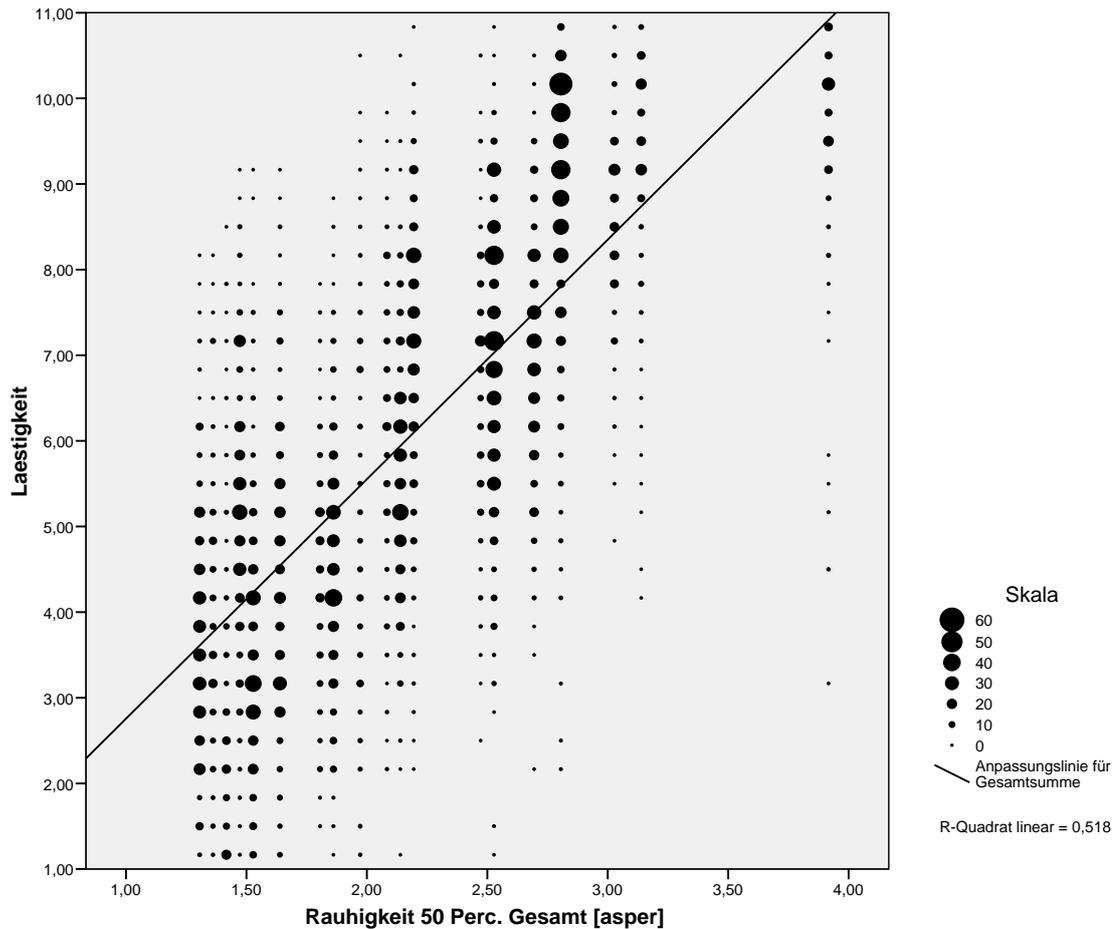


Abb. 3.16: Lineare Regression für alle Soundsamples: Lästigkeitsbewertung auf der Personal Noise Ranking Scale in Abhängigkeit der Rauigkeit

Die Varianz der subjektiven Lästigkeit wird zu 51,8% durch den Parameter Rauigkeit erklärt ($p = .00$). Aufgrund der hohen Korrelation der Rauigkeit gegenüber dem Parameter Lautheit ist dieser Einfluss jedoch nicht weiter relevant.

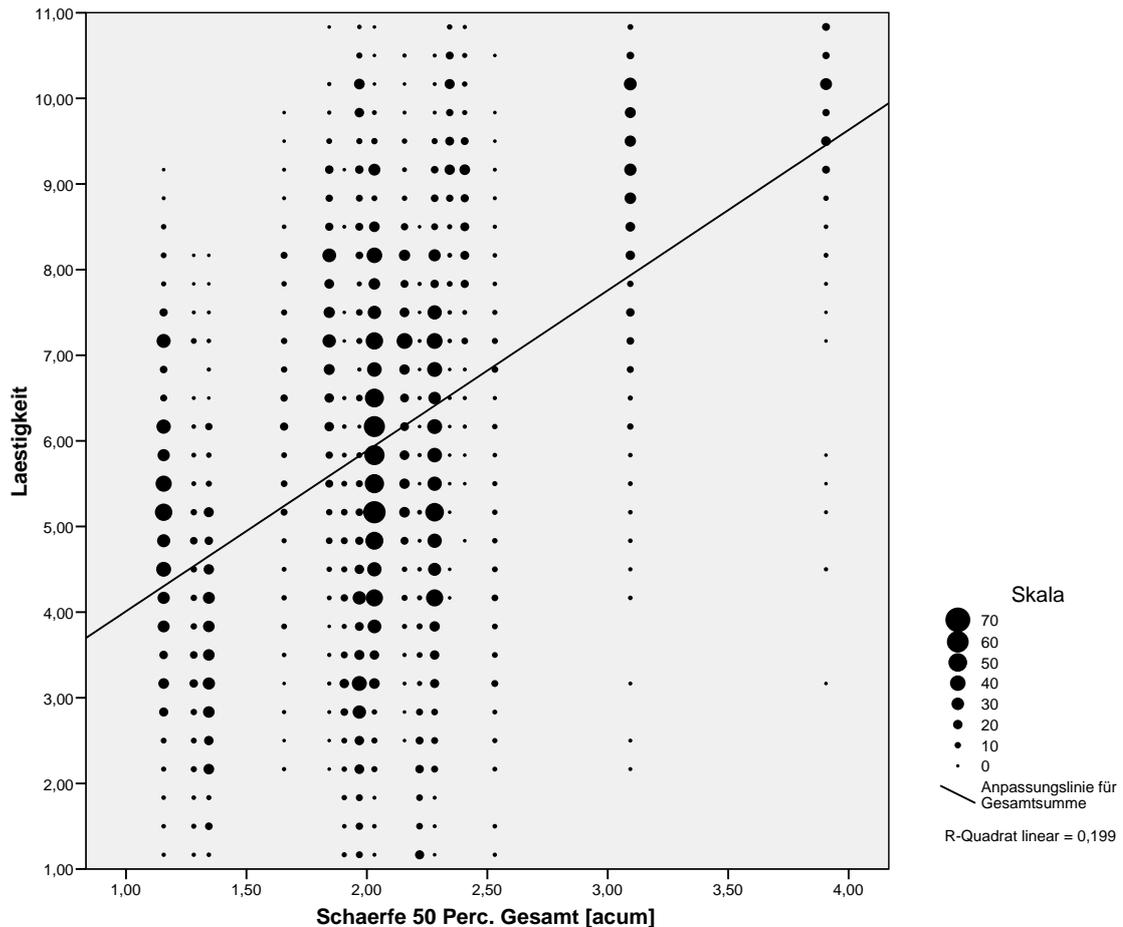


Abb. 3.17: Lineare Regression für alle Soundsamples: Lästigkeitsbewertung auf der Personal Noise Ranking Scale in Abhängigkeit der Schärfe

Die Varianzerklärung der subjektiven Lästigkeit durch den Parameter Schärfe beträgt 19,9% ($p = .00$). Aufgrund der niedrigen Varianzerklärung und des geringen Schärfeanteils bei den Geräuschsamples hat dieser Parameter keine weitere Relevanz in dieser Studie.

Die ebenso untersuchten Parameter Tonhaltigkeit und Schwankungsstärke haben keinen signifikanten Einfluss ergeben.

Die Untersuchung der psychoakustischen Parameter in Abhängigkeit der subjektiven Lästigkeit zeigt mit der Lautheit nur einen signifikanten Einflussparameter. Dies ist in großen Maße auf die Unterschiedlichkeit (Straße, Schiene, Rauschen) der präsentierten Geräuschsamples zurückzuführen.

Um bessere Ergebnisse zu erhalten, sind neue, dem Frequenzspektrum entsprechende Parameter zu entwickeln.

3.5 Handkraftbewertung der Lästigkeit

Auch für die Handkraftbewertungen der Lästigkeit der Geräusch-Samples wurde der Mittelwert über alle Bewertungen, über die Bewertungen der Straßenverkehrsgeräusche, der Schienenverkehrsgeräusche und des Rauschens gebildet.

Die mittlere relative Kraftbewertung der Lästigkeit über alle Geräusche weist einen Mittelwert von 0,56 und eine Standardabweichung von 0,19 auf. Ihr Minimum liegt bei 0,13, während der maximale mittlere Wert bei 1,00 liegt.

Die auf die Maximalkraft relativierte Handkraftbewertung der Lästigkeit der Straßenverkehrsgeräusche liegt im Mittel bei 0,54 ($s = 0,20$). Der kleinste Wert beträgt 0,10 und der Größte 1,01.

Bei den Schienenverkehrsgeräuschen liegt der Mittelwert der Kraftbewertung der Lästigkeit bei 0,57, bei einer Standardabweichung von 0,20. Das Minimum beträgt 0,14 und das Maximum 1,03.

Die Lästigkeit der Rauschen-Samples wurde von den Untersuchungsteilnehmern im Mittel einer relativen Handkraft von 0,62 und einer Standardabweichung von 0,20 bewertet. Das Minimum dieser Variable liegt bei 0,07 und das Maximum bei einem Wert von 1,06.

Bei diesen Werten mag auffallend sein, dass die maximalen mittleren Werte bei 1,00 oder höher – also bei über 100% der Maximalkraft – liegen. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass die Maximalkraft am Ende des Experiments erhoben wurde und deshalb durch Müdigkeit bereits verringert war.

Abbildung 3.18 zeigt die Boxplots der mittleren relativen Kraftbewertung der Lästigkeit über alle Geräuschsamples, die Straßenverkehrsgeräusche, Schienenverkehrsgeräusche und das Rauschen. Auch hier werden – wie bei den Bewertungen auf der Personal Noise Ranking Scale - Unterschiede deutlich, die jedoch weniger stark ausgeprägt sind.

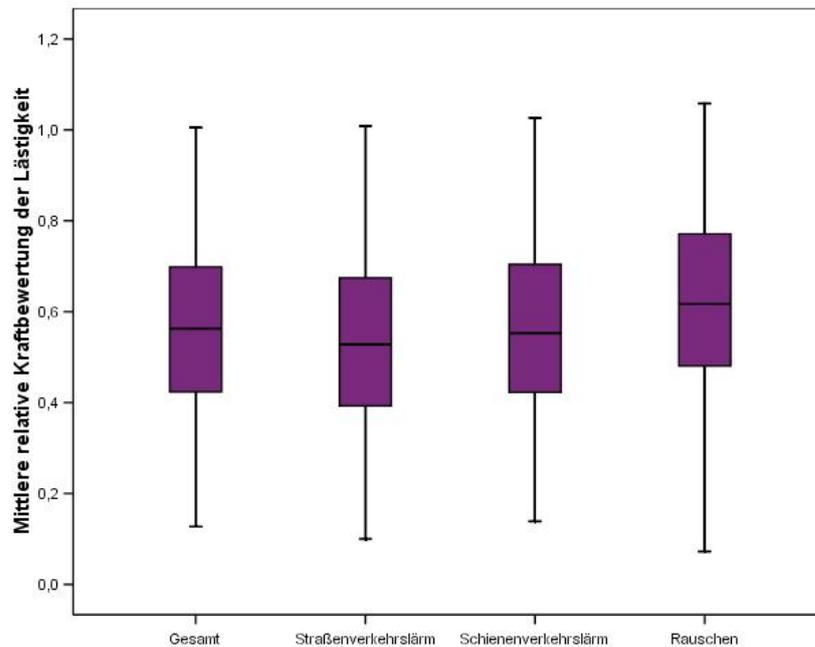


Abb. 3.18: Boxplot der mittleren relativen Kraftbeurteilung der Lästigkeit über alle Bewertung (Gesamt), die Bewertungen für Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm und Rauschen

3.5.1 Vergleich Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm und Rauschen

Zum statistischen Vergleich der Handkraftbewertung der Lästigkeit von Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm und Rauschen wurde eine einfaktorische Varianzanalyse berechnet. Es konnte ein statistisch signifikanter Gesamteffekt gezeigt werden ($F = 28,3$; $p = .00$). Weiters wurden Scheffe-Posttest durchgeführt, um diesen Gesamteffekt auf Einzelunterschiede zwischen den 3 Gruppen zu überprüfen. Sowohl der Unterschied in der Kraftbewertung von Straßen- und Schienenverkehrslärm, als auch der Unterschied zwischen Schienenverkehrslärm und Rauschen konnte hierbei statistisch signifikant nachgewiesen werden ($p = .00$ bzw. $p = .01$). Auch in diesem Fall ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten, dass die drei Geräuschgruppen im Mittel nicht den gleichen $L_{A,eq}$ aufweisen.

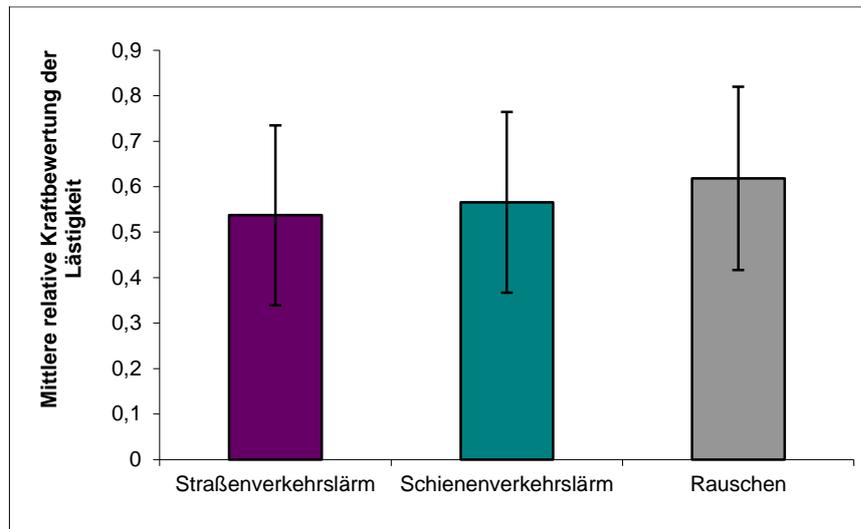


Abb. 3.19: Mittlere relative Kraftbewertung der Lästigkeit von Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm und Rauschen

Abb. 3.19 zeigt die relativen Handkraftbewertungen der Lästigkeit von Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm und Rauschen. Wie schon zuvor bei den Lästigkeitsurteilen auf der Personal Noise Ranking Scale gezeigt werden konnte, wurde Straßenverkehrslärm von den Probanden als deutlich weniger lästig eingestuft als Schienenverkehrslärm und dieser wurde wiederum weniger lästig wahrgenommen als das Rauschen.

3.5.2 Zusammenhang zwischen dem $L_{A,eq}$ und der Handkraftbewertung der Lästigkeit

Die Korrelation zwischen dem $L_{A,eq}$ der Geräuschsamples und der Handkraftbewertung der Lästigkeit beträgt .38 ($p = .00$). Dieser Zusammenhang variiert wiederum deutlich je nach Art der Geräuschsamples. Während der Korrelationskoeffizient bei Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen sehr ähnlich ist ($r = .31$, $p = .00$ bzw. $r = .35$, $p = .00$), ist der Zusammenhang zwischen dem $L_{A,eq}$ und der Kraftbewertung bei den Rauschen-Samples mit einem Wert von .54 ($p = .00$) deutlich höher.

Die Berechnung der linearen Regression über alle Geräusche ergab einen Zusammenhang von .14. Somit werden 14% der Varianz der Kraftbewertungen der Lästigkeit vom $L_{A,eq}$ der Geräusche erklärt. Dieser Wert liegt für Straßenverkehrsgeräusche bei 10%, für Schienenverkehrsgeräusche bei 12% und für das Rauschen bei 29%. Die Regression ist somit deutlich geringer ausgeprägt als bei

den Lästigkeitsbewertungen auf der Personal Noise Ranking Scale, weicht jedoch statistisch signifikant vom Zufall ab ($p = .00$).

Abbildung 3.20 zeigt die lineare Regression zwischen dem $L_{A,eq}$ der Geräuschsamples und der Lästigkeitsbewertung mittels Handkraftdynamometer. Während die schwarze Linie die Regression über alle Geräusche zeigt, werden die Regressionsgeraden für Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm und Rauschen farblich dargestellt.

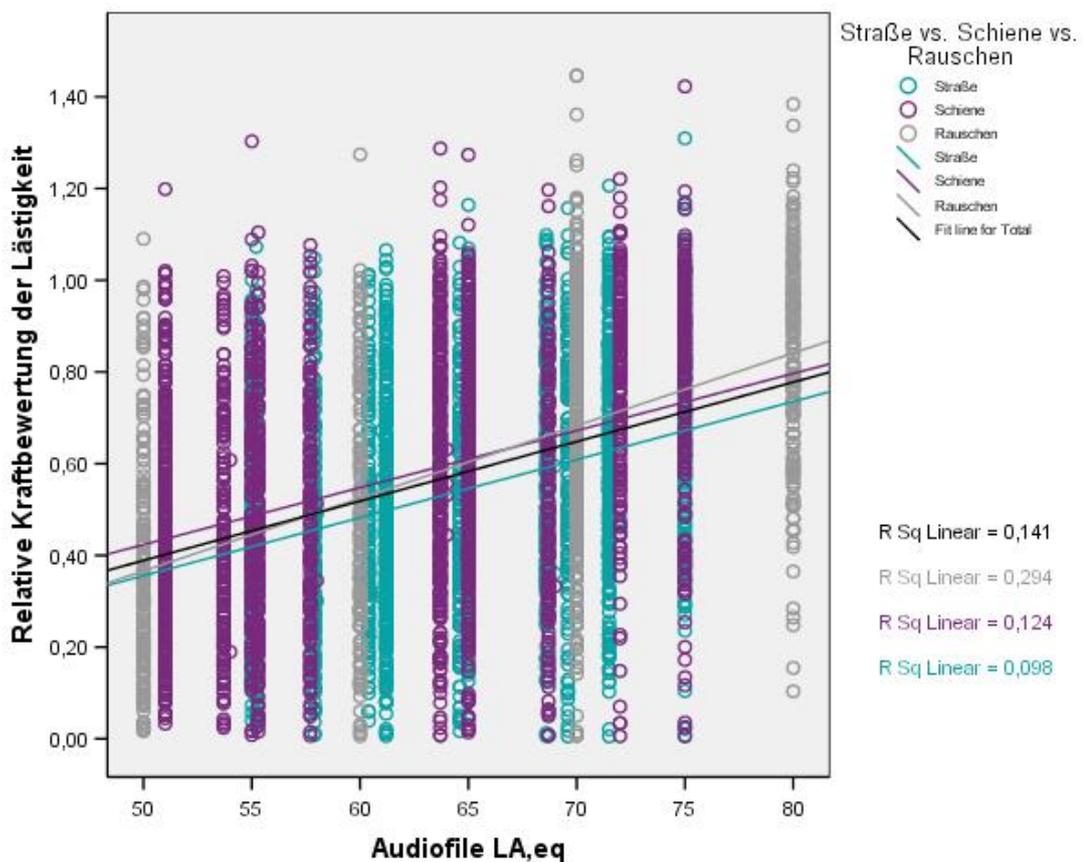


Abb. 3.20: Lineare Regression zwischen der relativen Handkraftbewertung der Lästigkeit und dem $L_{A,eq}$ der Geräusche

3.5.3 Paarvergleiche zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm

Zum direkten Vergleich der Straßen- und Schienenverkehrsgeräusche bei einem $L_{A,eq}$ von 55 dB, 65 dB und 75 dB wurden auch für die Handkraftbewertungen der Lästigkeit Paarvergleiche mittels t-Test berechnet. Um statistische Fehlentscheidungen aufgrund kumulierter Irrtumswahrscheinlichkeiten zu vermeiden, wurde das Alpha-Niveau auch für diese Prüfungen auf 1,67% herabgesetzt.

3.5.3.1 Paarvergleich zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm bei einem $L_{A,eq}$ von 55 dB

Bei einem $L_{A,eq}$ von 55 dB betrug die relative Kraftbewertung der Lästigkeit von Straßenverkehrsgeräuschen im Mittel 0,46 ($s = 0,23$). Beim Schienenverkehrslärm weist die Bewertung einen Mittelwert von 0,52 und eine Standardabweichung von 0,25 auf (siehe Abb. 3.21).

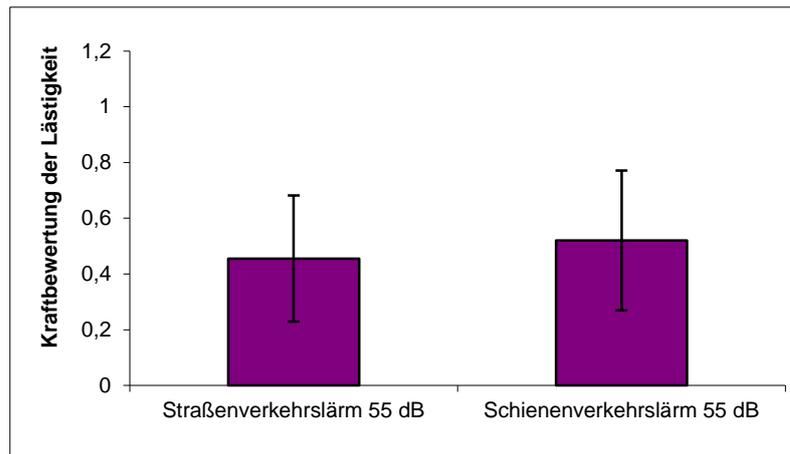


Abb. 3.21: Unterschied zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm bei 55 dB $L_{A,eq}$

Es besteht ein signifikanter Unterschied in der Handkraftbewertung der Lästigkeit zwischen den beiden Verkehrslärmarten ($p = .00$). Schienenverkehrsgeräusche wurden bei einem $L_{A,eq}$ von 55 dB von den Probanden deutlich lästiger eingestuft als Straßenverkehrsgeräusche.

3.5.3.2 Paarvergleich zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm bei einem $L_{A,eq}$ von 65 dB

Abbildung 3.22 zeigt Mittelwert und Standardabweichung der Kraftbewertung von Straßen- und Schienenverkehrslärm bei einem $L_{A,eq}$ von 65 dB. Während die Bewertung des Straßenverkehrslärms einen Mittelwert von 0,56 ($s = 0,24$) aufweist, wurde die Lästigkeit des Schienenverkehrslärms im Mittel mit einer relativen Handkraft von 0,63 ($s = 0,24$) bewertet.

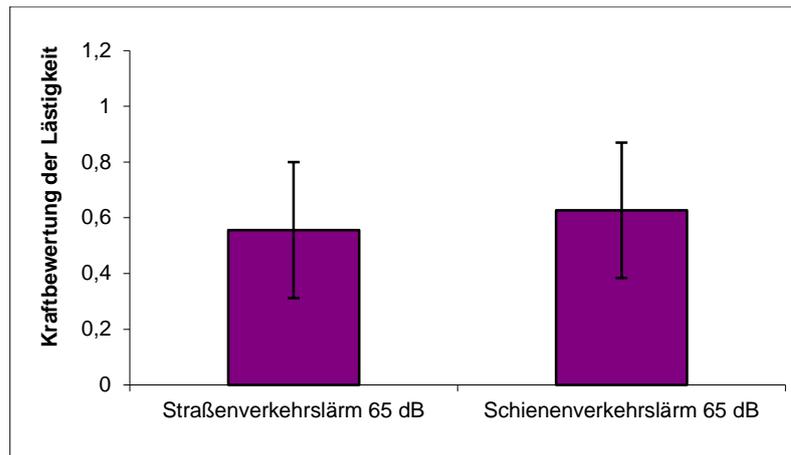


Abb. 3.22: Unterschied zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm bei 65 dB $L_{A,eq}$

Auch bei einem $L_{A,eq}$ von 65 dB ist der Unterschied in der Lästigkeitsbewertung von Straßen- und Schienenverkehrslärm hoch signifikant ($p = .00$). Schienenverkehrslärm wurde wiederum lästiger bewertet als Straßenverkehrslärm.

3.5.3.3 Paarvergleich zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm bei einem $L_{A,eq}$ von 75 dB

Bei einem $L_{A,eq}$ von 75 dB zeigt die Bewertung von Straßenverkehrslärm einen Mittelwert von 0,70 und eine Standardabweichung von 0,25. Schienenverkehrslärm weist bei einer sehr ähnlich großen Standardabweichung ($s = 0,26$) einen deutlich höheren Mittelwert von 0,76 auf (siehe Abb. 3.23).

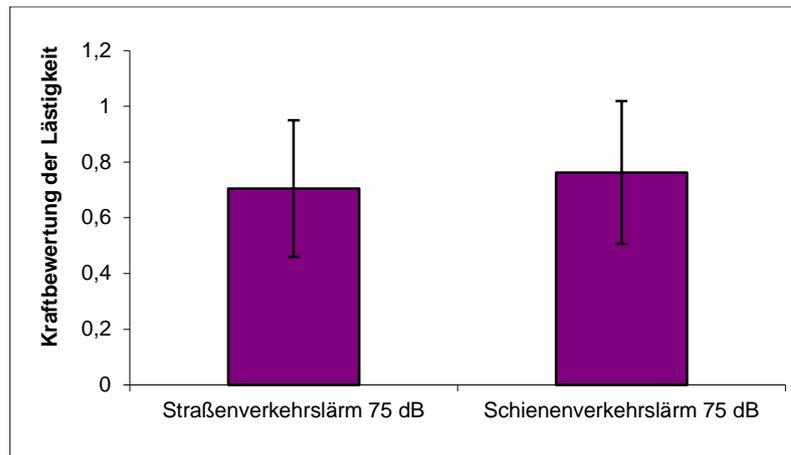


Abb. 3.23: Unterschied zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm bei 75 dB $L_{A,eq}$

Auch dieser Unterschied kann als statistisch bedeutsam bezeichnet werden. Schienenverkehrslärm wurde also auch bei einem $L_{A,eq}$ von 75 dB als signifikant lästiger eingestuft als Straßenverkehrslärm ($p = .00$).

Aufgrund der eindeutigen Signifikanz der berechneten statistischen Prüfungen mittels t-Test kann davon ausgegangen werden, dass bei gleichem $L_{A,eq}$ ein Unterschied im Lästigkeitsempfinden zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm besteht. Schienenverkehrslärm wird zumindest im Bereich zwischen 55 und 75 dB $L_{A,eq}$ als lästiger eingestuft als Straßenverkehrslärm.

3.6 Zusammenhang zwischen der Personal Noise Ranking Scale und der Handkraftbewertung der Lästigkeit

Aufgrund der Tatsache, dass die Lästigkeitsbewertungen auf der Personal Noise Ranking Scale und der Kraftbewertung mittels Dynamometer identische statistische Ergebnisse liefern, kann davon ausgegangen werden, dass beide Bewertungsinstrumente gut geeignet sind um die durch Verkehrslärm erlebte Belästigung zu erfassen.

Obwohl jedoch mit beiden Bewertungsinstrumenten die erlebte Lästigkeit ausgelöst durch Verkehrslärm und Rauschen eingestuft werden sollte und die statistischen Analysen dieselben Ergebnisse lieferten, besteht zwischen den Skalen- und Handkraftbewertungen lediglich eine Korrelation 0,56. Dieser eher niedrige Zusammenhang kann darauf hindeuten, dass die beiden Bewertungsinstrumente

unterschiedliche Aspekte der Lästigkeit von Geräuschquellen widerspiegeln. Eine weiterführende wissenschaftliche Untersuchung dieser Annahme erscheint daher sinnvoll.

3.7 Lärmempfindlichkeit

Anhand der Ergebnisse des Kurzfragebogens zur Lärmempfindlichkeit (Zimmer, Ellermeier, 1998b) wurden die Probanden in die Gruppen der „niedrig“ und „hoch“ Lärmempfindlichen eingeteilt. Dabei wurden die Personen mit den 30% kleinsten Werten auf der Lärmempfindlichkeitsskala der Gruppe der „niedrig Lärmempfindlichen“ und die Untersuchungsteilnehmer mit den 30% größten Werten der Gruppe der „hoch Lärmempfindlichen“ zugewiesen. Dieses Vorgehen entspricht vorangegangenen wissenschaftlichen Arbeiten zur Bedeutung der Lärmempfindlichkeit (Weinstein, 1978).

Um die Skalenbewertungen der Lästigkeit auf der Personal Noise Ranking Scale zwischen „niedrig“ und „hoch“ lärmempfindlichen Testpersonen statistisch zu vergleichen, wurden t-Tests berechnet. Verglichen wurden dabei die mittleren Skalenbewertungen der Lästigkeit über alle Bewertungen, die Bewertungen von Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm und Rauschen. Auch in diesem Fall wurde eine Bonferroni-Korrektur vorgenommen, um eine statistische Fehlentscheidung aufgrund kumulierter Irrtumswahrscheinlichkeiten zu vermeiden. Somit wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit für diese vier statistischen Vergleiche mit $0,5/4 = 0,125$ (1,25%) festgelegt.

Wie in Abb. 3.24 zu sehen ist, stufen lärmempfindliche Testpersonen die Lästigkeit über alle Geräusche, die Straßenverkehrsgeräusche, Schienenverkehrsgeräusche und das Rauschen im Mittel höher ein als niedrig Lärmempfindliche. Diese Unterschiede wurden mittels t-Test statistisch geprüft.

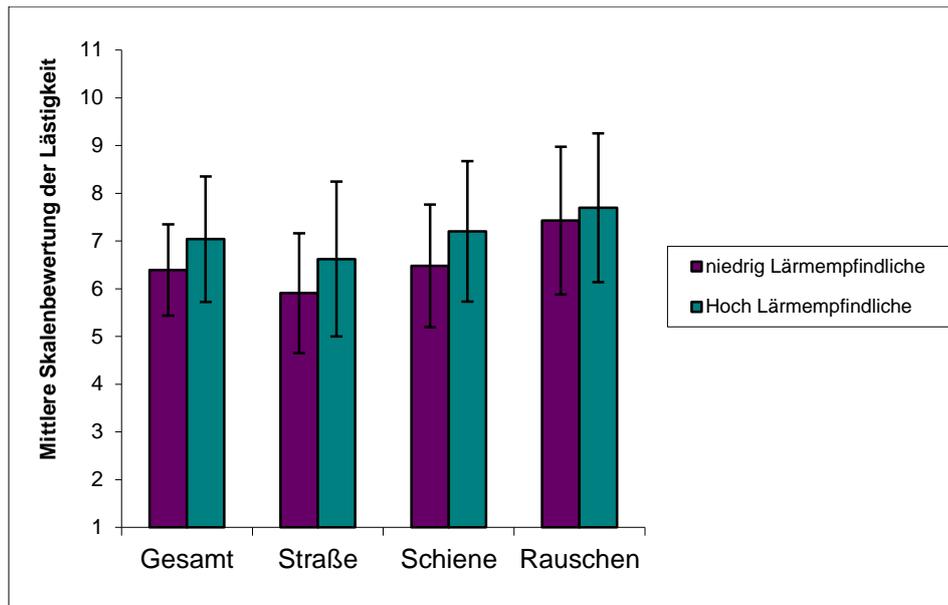


Abb. 3.24: Mittlere Skalenbewertung der Lästigkeit bei niedrig und hoch lärmempfindlichen Testpersonen

Über alle Skalenbewertungen der Lästigkeit konnte ein signifikanter Unterschied zwischen niedrig ($\bar{x} = 6,4$) und hoch Lärmempfindlichen ($\bar{x} = 7,0$) festgestellt werden ($p = .007$).

Auch für den Schienenverkehrslärm konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen gezeigt werden (niedrig Lärmempfindliche: $\bar{x} = 6,5$; hoch Lärmempfindliche Testpersonen: $\bar{x} = 7,2$; $p = .013$).

Beim Straßenverkehrslärm unterscheiden sich niedrig Lärmempfindliche Testpersonen ($\bar{x} = 5,9$) und hoch Lärmempfindliche Testpersonen ($\bar{x} = 6,4$) nicht signifikant in ihre Bewertung der Lästigkeit ($p = .018$).

Auch für die Bewertung der Rauschen-Samples konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen gezeigt werden (niedrig Lärmempfindliche Testpersonen: $\bar{x} = 7,4$; hoch Lärmempfindliche Testpersonen: $\bar{x} = 7,7$; $p = .396$).

Auch für die Kraftbewertung der Lästigkeit wurden statistische Vergleiche zwischen niedrig und hoch lärmempfindlichen Testpersonen durchgeführt. Es wurden wiederum t-Tests berechnet und das Signifikanzniveau wurde mit 0,0125 festgelegt.

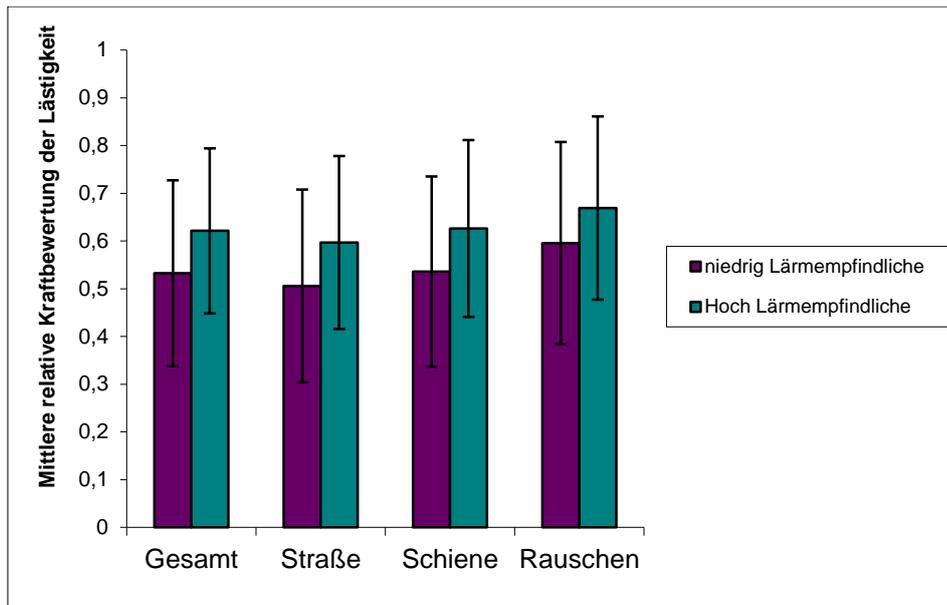


Abb. 3.25: Mittlere relative Kraftbewertung der Lästigkeit bei niedrig und hoch lärmempfindlichen Testpersonen

Abbildung 3.25 zeigt die mittleren relativen Kraftbewertungen der Lästigkeit über alle Bewertungen, die Bewertungen von Straßenverkehrslärm, Schienenverkehrslärm und das Rauschen. Während bei der grafischen Darstellung ein deutlicher Trend in Richtung höherer Kraftbewertung bei hoch lärmempfindlichen Testpersonen zu erkennen ist, wurde keine der statistischen Prüfungen bei einem korrigierten Alpha-Niveau von 0,0125 signifikant. Es besteht also kein statistisch signifikanter Unterschied in der Kraftbewertung der Lästigkeit zwischen hoch und niedrig lärmempfindlichen Testpersonen hinsichtlich der Bewertungen über alle Geräusche ($p = .021$), über die Straßenverkehrsgeräusche ($p = .023$), die Schienenverkehrsgeräusche ($p = .024$) und das Rauschen ($p = .079$).

Weiters war von Interesse, ob die Lärmempfindlichkeit die Vorhersagequalität des $L_{A,eq}$ der Geräusche auf die Lästigkeitsbewertung im linearen Regressionsmodell verbessern kann. Dazu wurde sowohl für die Skalenbewertungen, als auch für die Handkraftbewertungen der Lästigkeit eine weitere lineare Regression berechnet, in der die Lärmempfindlichkeit als zusätzliche Prädiktorvariable eingegeben wurde.

Der lineare Regressionskoeffizient zwischen dem $L_{A,eq}$ der Geräusche und den Bewertungen auf der Personal Noise Ranking Scale konnte durch Einschluss der

Variable Lärmempfindlichkeit von .498 auf .507 erhöht werden. Dies bedeutet zwar nur eine Verbesserung der Varianzaufklärung um knapp 1%, kann jedoch als statistisch bedeutsamer Einfluss bezeichnet werden ($p = .00$).

Auch die Varianzaufklärung der Kraftbewertung der Lästigkeit durch den $L_{A,eq}$ der Geräusche konnte durch Einschluss der Lärmempfindlichkeit in des lineare Regressionsmodell signifikant verbessert werden ($p = .00$). Der Regressionskoeffizient wurde dadurch wiederum nur leicht, von .142 auf .150 gesteigert.

Die Lärmempfindlichkeit hat somit einen statistisch bedeutsamen, jedoch sehr geringen Einfluss auf die Lästigkeitsbewertungen mittels der Personal Noise Ranking Scale und der Handkraftmethode.

3.7.1 Diskriminanzanalyse zur Vorhersage der Lärmempfindlichkeit

Ziel der Diskriminanzanalyse ist es, die Werte einer abhängigen (zu erklärenden) Variable durch die Werte einer oder mehrerer unabhängigen (erklärenden) Variablen zu erklären. Dabei sollen nicht nur Zusammenhänge zwischen den Variablen entdeckt, sondern auch unbekannte Werte der abhängigen Variablen anhand der Werte aus den erklärenden Variablen vorhergesagt werden. Insoweit stimmt das Ziel der Diskriminanzanalyse mit dem einer Regressionsanalyse überein. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Verfahren besteht in der Art der Werte der abhängigen Variablen. Während mit einer Regressionsanalyse nur abhängige Variablen mit Intervallskalenniveau untersucht werden können, versucht die Diskriminanzanalyse, eine Zuordnung von Fällen zu einer von mehreren alternativen Gruppen vorzunehmen. Die Werte der abhängigen Variablen geben also lediglich eine Gruppenzugehörigkeit an und besitzen damit Nominal- oder Ordinalskalenniveau.

In diesem Fall wurde eine Diskriminanzanalyse durchgeführt, um die Gruppierung in hoch und niedrig lärmempfindliche Personen durch andere Variablen vorhersagen zu können. Als Zielvariable für die Diskriminanzanalyse diente die Zuteilung der Probanden in die Gruppen der hoch und niedrig Lärmempfindlichen. Potentielle Merkmalsvariablen waren die mittleren Lästigkeitsurteile für Verkehrslärm und Rauschen auf der *Personal Noise Ranking Scale* und der Handkraftskala. Weiters

wurden alle Fragen des „Lästigkeitsindex“ (außer die Frage *Ich glaube, ich bin ziemlich geräuschempfindlich*) als potentiell erklärende Variablen berücksichtigt.

Nach Ausschluss ungeeigneter Variablen wurden die mittlere relative Kraftbewertung der Lästigkeit von Verkehrsgeräuschen (Straßen- und Schienenverkehrslärm zusammengefasst) und die beiden Fragen des Lästigkeitsindex *„Ich fühle mich durch Verkehrslärm gestört beim Entspannen im Freien“* und *„Ich finde, dass ich mich leicht an Lärm gewöhnen kann“* in die Analyse einbezogen. Diese trennten signifikant zwischen den beiden Subpopulationen ($p = .00$). Die geschätzte Diskriminanzfunktion ist mit einem Eigenwert von 0,439 und einem Kanonischen Korrelationskoeffizienten von 0,552 hoch signifikant (Wilks' Lambda = .694; $p = .00$). Trotz des statistisch signifikanten Ergebnisses bedeutet dies, dass nur ca. 30% der Gesamtvarianz durch die Unterschiede zwischen den Gruppen erklärt werden.

Anhand dieser Diskriminanzfunktion konnten 75,5% der Fälle richtig klassifiziert werden. Da aufgrund zufälliger Zuordnung nur 50% richtige Klassifikationen erfolgt wären, kann durch die Diskriminanzfunktion mit den Variablen *„Mittlere relative Kraftbewertung von Verkehrsgeräuschen“*, *„Ich fühle mich durch Verkehrslärm gestört beim Entspannen im Freien“* und *„Ich finde, dass ich mich leicht an Lärm gewöhnen kann“* eine deutlich bessere Zuteilung zu den Gruppen der hoch und niedrig lärmempfindlichen Personen stattfinden.

3.8 Mehrdimensionaler Befindlichkeitsfragebogen

Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF) wurde den Probanden in dieser Untersuchung kurz vor und kurz nach der Beschallung mit den Geräusch-Samples zur Bearbeitung vorgelegt. Dies erlaubt eine Aussage über die Veränderung der Befindlichkeit der Untersuchungsteilnehmer auf den drei Dimensionen *„Gute-Schlechte Stimmung“*, *„Wachheit-Müdigkeit“* und *„Ruhe-Unruhe“*. Der Unterschied zwischen den Skalenwerte vor bzw. nach der Durchführung der Lästigkeitsbeurteilung wurde mittels t-Test für abhängige Messungen auf statistische Signifikanz überprüft. Da insgesamt drei statistische Prüfungen durchgeführt wurden (eine für jede der drei

Befindlichkeitsdimensionen) wurde eine Bonferroni-Korrektur eingesetzt, sodass die Irrtumswahrscheinlichkeit bei $0,05/3 = 0,017$ festgelegt wurde.

Ein hoher Skalenwert auf der Dimension **Gute-Schlechte Stimmung** deutet auf eine positive Stimmungslage hin. Die Person fühlt sich wohl, ist froh und zufrieden. Niedrige Werte bedeuten Missbefinden. Der Proband/die Probandin fühlt sich unwohl und schlecht, ist missgestimmt, trübsinnig und unzufrieden.

Vor der Durchführung der Lästigkeitsbewertungen im Experiment erzielten die Untersuchungsteilnehmer im Mittel einen Wert von 34,4 ($s = 4,6$) und danach im Mittel den Skalenwert 33,0 ($s = 5,1$; siehe Abb. 3.26). Die Verschiebung dieses Wertes in Richtung schlechte Stimmung kann als statistisch signifikant bezeichnet werden ($p = .00=$). Die Probanden fühlten sich nach der Lästigkeitsbewertung der Geräuschsamples also schlechter und missgestimmter als zuvor.

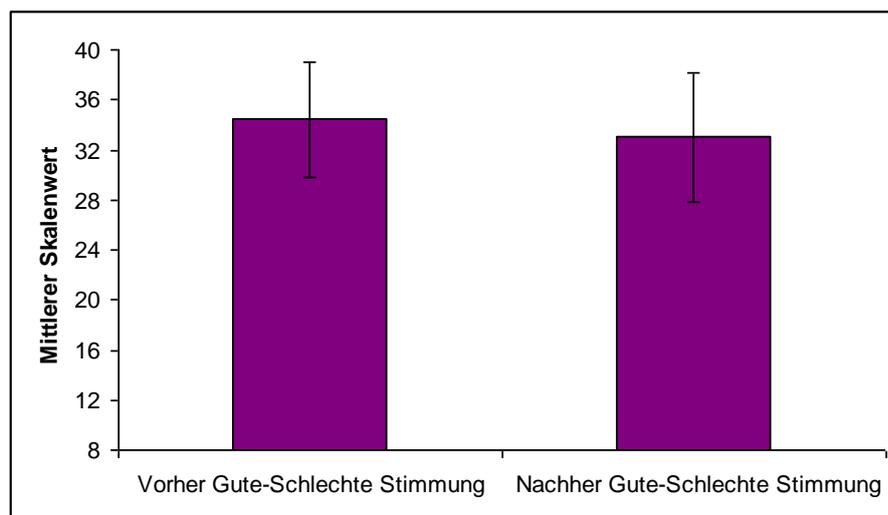


Abb. 3.26: Unterschied in der Befindlichkeitsdimension Gute-Schlechte Stimmung vor und nach der Beschallung mit Verkehrsgeräuschen

Hohe Werte auf der Skala **Wachheit-Müdigkeit** resultieren bei wachen und ausgeruhten Personen. Sie fühlen sich frisch und munter. Im Gegensatz dazu fühlen sich Personen mit niedrigen Werten eher müde, schläfrig und schlapp.

Vor Beschallung mit den Geräuschsamples hatte die Untersuchungstichprobe im Mittel einen deutlich höheren Wert ($\bar{x} = 28,5$; $s = 6,9$) auf der Befindlichkeitsdimension Wachheit-Müdigkeit als danach ($\bar{x} = 24,6$; $s = 7,3$; siehe Abb. 3.27). Der Unterschied

zwischen den zwei Messzeitpunkten ist statistisch signifikant ($p = .00$). Somit fühlten sich die Probanden nach Durchführung der Lästigkeitsbeurteilung deutlich müder und schlapper als davor.

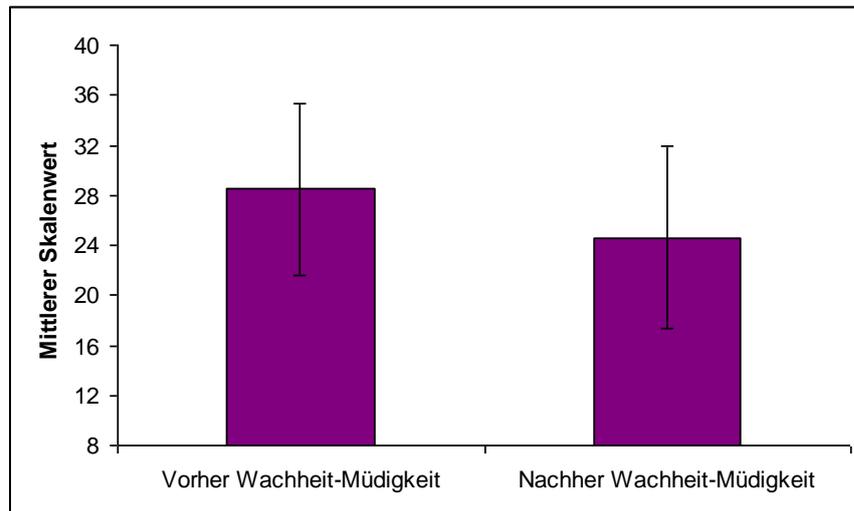


Abb. 3.27: Unterschied in der Befindlichkeitsdimension Wachheit-Müdigkeit vor und nach der Beschallung mit Verkehrsgeräuschen

Ruhe-Unruhe. Hier deutet ein hoher Skalenwert darauf hin, dass sich der Proband/die Probandin zurzeit eher innerlich ruhig und gelassen fühlt. Einen niedrigen Skalenwert erzielen angespannte, nervöse und innerlich unruhige Probanden.

Auch auf der Befindlichkeitsdimension Ruhe-Unruhe zeigte sich im Mittel ein etwas höherer Wert vor der Beschallung mit den Geräuschen als danach (vor: $\bar{x} = 31,2$, $s = 6,0$; danach: $\bar{x} = 30,4$, $s = 6,6$; siehe Abb. 3.28). Dieser Unterschied ist jedoch nicht statistisch bedeutsam ($p = .12$).

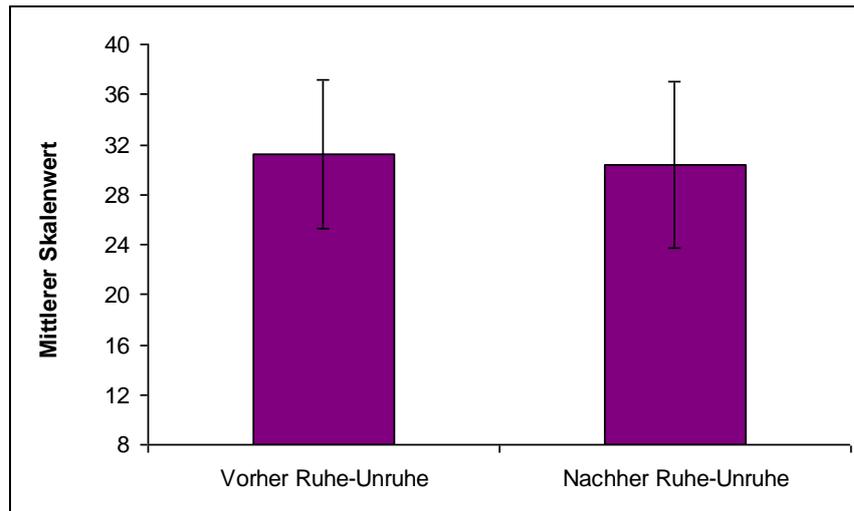


Abb. 3.28: Unterschied in der Befindlichkeitsdimension Ruhe-Unruhe vor und nach der Beschallung mit Verkehrsgereuschen

Der Vergleich der drei Skalen des Mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogens kurz vor und kurz nach der Beschallung mit Verkehrsgereuschen und Rauschen zeigte statistisch bedeutsame Veränderungen auf zwei Dimensionen der Befindlichkeit. Die Stimmung der Probanden war nach dem Experiment deutlich schlechter als zuvor. Sie fühlten sich eindeutig missgestimmter, trübsinniger und unzufriedener als zuvor. Weiters fühlten sich die Personen nach dem Experiment deutlich müder, schlapper und schläfriger als zuvor.

Während die Veränderung der beiden Befindlichkeitsdimensionen Gute-Schlechte Stimmung und Wachheit-Müdigkeit statistisch gesehen eindeutig ist, kann keine eindeutige Aussage über die Kausalität dieser Veränderungen getroffen werden. Die Verschlechterung dieser beiden Stimmungsdimensionen könnte aufgrund der Beschallung mit den Gereuschen oder einfach durch die Dauer des Experiments verursacht worden sein.

4 Zusammenfassung

Der Straßen- und Schienenverkehrslärm zählt zu jener Umweltbelastung, von der sich die Bevölkerung wegen ihrer direkten Wahrnehmbarkeit in ihrem Wohlbefinden am meisten gestört fühlt. Der Einfluss der Lärmempfindlichkeit auf die erlebte Belastung wurde bereits in zahlreichen Studien untersucht und ist empirisch abgesichert. Jedoch ist ihre Bedeutung bei der Bewertung von Straßen- und Schienenverkehrsgeräuschen noch relativ unklar und die Forschung ist bemüht neue Bewertungsinstrumente zu untersuchen.

Der Verkehrslärm wurde mit digitaler binauraler Kopftechnik („HEAD acoustics“) an 600 m langen homogenen Straßen- bzw. Schienenabschnitten mit freier Schallausbreitung in einem Abstand von 100 m aufgenommen. Mit diesen Aufnahmen wurden im Labor für Psychoakustik 22 definierte Fahrzeuggeräusch-Samples erstellt, die in einem Hörversuch von 220 ProbandInnen bewertet wurden. Die subjektiv empfundene Lästigkeit wurde in Form einer „Personal Noise Ranking Scale“ (11-teilige Skala von „wenig lästig“ bis „sehr lästig“) beurteilt und zusätzlich wurde die psychophysische Methode des Cross-Modality-Matching mittels Handdynamometer als Bewertungsinstrument eingesetzt.

Die Auswertung der Laborversuche zeigt, dass die subjektiven Bewertungen mittels der „Personal Noise Ranking Scale“ mit den Ergebnissen des Handkraftdynamometers signifikant übereinstimmen, jedoch die Bewertungen mittels Handkraft in Bezug auf die Lästigkeit aller Geräuschquellen (Straße, Schiene und Rausche) geringere Varianzerklärungen aufweist.

Literaturverzeichnis

- Fallast, K., Cik, M., Höldrich, R.R., Raggam, R.B., Gallasch, E., Marth, E., Fellendorf, M. (2006). Forschungsbericht: Lästigkeitsindex für Straßenverkehrslärm TNA_R , Technische Universität Graz.
- Lenhardt, E, Laszig, R., Buch, Thieme Verlag, Praxis der Audiometrie, 8. Auflage, 2001, Kapitel 8, Th. Janssen S.79-108
- Janssen, T. (2004). Diagnostik des kochleären Verstärkers mit DPOAE-Wachstumsfunktionen. Erlangen.
- Raggam, R.B., Cik, M., Höldrich, R.R., Fallast, K., Gallasch, E., Fend, M., Lackner, A., Marth, E. (2007). Personal noise ranking of road traffic: Subjective estimation versus physiological parameters under laboratory conditions, *Int. J. Hyg. Environmental Health*, 210, 97-105.
- Stevens, S.S. (1975). *Psychophysics*. New York.
- Steyer, R., Schwenkmezger, P., Notz, P. und Eid, M. (1997). Der Mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF). Göttingen: Hogrefe.
- Weinstein, N.D. (1978). Individual differences in reactions to noise: a longitudinal study in a college dormitory. *Journal of Applied Psychology*, Vol. 63, No.4, 458–466.
- Zimmer, K., Ellermeier, W. (1998b). Ein Kurzfragebogen zur Erfassung der individuellen Lärmempfindlichkeit. *Umweltpsychologie*. 2, 54-63.