

FAT 235

Makrostrukturelle Änderungen
des Straßenverkehrslärms
Auswirkung auf Lästigkeit
und Leistung

dB

Makrostrukturelle Änderungen des Straßenverkehrslärms Auswirkung auf Lästigkeit und Leistung

Forschungsvorhaben gemeinschaftlich gefördert durch
die Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT)
und
die Europäische Forschungsvereinigung für Umwelt und
Gesundheit im Transportsektor e.V.

Forschungsstelle:

Institut für Arbeitsforschung, Technische Hochschule Dortmund

Autoren:

Barbara Griefahn

Markus Swierczek

| Inhaltsverzeichnis | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Zusammenfassung | 4 |
| 1 Einleitung | 6 |
| 1.1 Belästigung/Lästigkeit | 6 |
| 1.2 Kognitive Leistungen | 8 |
| 2 Ziel der Untersuchungen | 10 |
| 3 Material und Methoden zur Bewertung der Geräusche und Verkehrslärmszenarien in AP2, AP3 und AP4 | 12 |
| 3.1 Probanden | 12 |
| 3.2 Laborexperimentelle Einrichtung | 13 |
| 3.3 Bewertung einzelner Vorbeifahrtgeräusch und komplexer Geräuschszenarien | 13 |
| 3.4 Fragebögen | 14 |
| 3.5 Leistungstests | 15 |
| 4 Akustik: Auswahl einzelner Vorbeifahrtgeräusche und Generierung von Geräuschszenarien (AP1) | 18 |
| 4.1 Einzelne Vorbeifahrtgeräusche | 18 |
| 4.1.1 Geräuschkatalog | 18 |
| 4.1.2 Auswahl und Aufbereitung der Originalgeräusche | 19 |
| 4.1.3 Pegelnormierte Geräusche | 20 |
| 4.1.4 Stereosimulation zur Darstellung von Gegenverkehrssituationen | 21 |
| 4.1.5 Verkehrliches Hintergrundrauschen | 22 |
| 4.2 Zehnminütige Verkehrslärmszenarien | 22 |
| 4.2.1 Simulation verschiedener Verkehrsstärken | 22 |
| 4.2.2 Kontrolle des äquivalenten Pegels | 23 |
| 4.2.3 Szenarien mit unterschiedlich lästigen Einzelvorbeifahrten | 24 |
| 4.2.4 Vorbeifahrten mit unterschiedlicher Varianz der Maximalpegel | 25 |
| 4.2.5 Gegenverkehrsszenarien | 25 |
| 4.2.6 Szenarien mit synthetischen Verkehrsgerauschen | 25 |
| 4.2.7 Übersicht über die zehnminütigen Verkehrslärmszenarien | 25 |
| 4.3 Zweistündige Verkehrslärmszenarien | 27 |
| 5 Lästigkeit einzelner Vorbeifahrtgeräusche (AP2) | 28 |
| 5.1 Design und Ablauf der Versuche | 28 |
| 5.2 Ergebnisse | 30 |
| 5.2.1 Versuchsreihe VR I, Lästigkeitsrangfolge einzelner Vorbeifahrtgeräusche | 30 |
| 5.2.2 Versuchsreihe VR II, Reliabilität der Geräuschbewertung | 31 |
| 5.2.3 Versuchsreihe VR II, Einfluss des Alters auf das Lästigkeitsurteil | 32 |
| 5.2.4 Korrelation der Lästigkeit mit akustischen Eigenschaften | 32 |
| 6 Lästigkeit zehnminütiger Geräuschszenarien (AP3) | 33 |
| 6.1 Design und Ablauf der Versuche | 33 |
| 6.2 Ergebnisse | 34 |
| 6.3 Zusammenfassung der Ergebnisse | 39 |
| 7 Lästigkeit 2-stündiger Geräuschszenarien (AP4) | 42 |
| 7.1 Design und Ablauf der Versuche | 42 |
| 7.2 Unabhängige, abhängige und intervenierende Variablen | 43 |
| 7.3 Ergebnisse | 44 |

| | | |
|-------|--------------------------------------------------------------|----|
| 7.3.1 | Ermittlung von Unterschieden zwischen den Expositionsgruppen | 45 |
| 7.3.2 | Einfluss der Moderatorvariablen auf signifikante Effekte | 47 |
| 7.3.3 | Multifaktorielle Varianzanalysen | 50 |
| 7.3.4 | Zusammenfassung | 54 |
| 8 | Diskussion | 55 |
| 8.1 | Kurzfassung | 55 |
| 8.2 | Methodische Aspekte | 56 |
| 8.3 | Bedeutung akustischer Parameter für das Lästigkeitsurteil | 57 |
| 8.4 | Bedeutung von Moderatorvariablen für das Lästigkeitsurteil | 59 |
| 9 | Schlussfolgerung | 63 |
| 10 | Literatur | 64 |

Zusammenfassung

Ziel. Ziel der Untersuchungen war es, makrostrukturelle Merkmale des Straßenverkehrslärms zu untersuchen und zu ermitteln, ob deren Änderung zur Reduktion der Lästigkeit des Straßenverkehrslärms beitragen kann. Dazu wurden Situationen untersucht, in denen sich die Probanden auf die Geräusche konzentrierten und Situationen, in denen sie standardisierte Aufgaben bearbeiteten.

Es wurde angenommen, dass die Lästigkeit von Verkehrslärm bestimmt ist durch

- den äquivalenten Pegel
- die Verkehrsstärke
- die Lästigkeit der Einzelvorbeifahrten
- die Variabilität der Maximalpegel
- die Dauer der einzelnen Vorbeifahrten und
- die Verkehrsrichtung (Einbahn-, Gegenverkehr).

Methodik. Bewertet wurden zehn Minuten und zwei Stunden dauernde Verkehrslärmszenarien. Diese wurden aus einzelnen Vorbeifahrtgeräuschen eines umfangreichen Geräuschkatalogs zusammengestellt (Pkws, 40-60 km/h, 15 m von der Fahrbahnmitte) und für die Perzeption im Innenraum bei gekipptem Fenster bearbeitet. Alle Geräusche und Szenarien wurden von jungen Probanden (18-30 Jahre), ein Teil der Vorbeifahrtgeräusche auch von älteren Probanden (40-67 Jahre) beurteilt. Die zeitliche Stabilität der Lästigkeitsurteile wurde bei 16 Probanden durch eine nach 5 Monaten wiederholte Untersuchung geprüft.

Ergebnisse. Das Lästigkeitsurteil über die einzelnen Vorbeifahrtgeräusche war

- unabhängig von dem Geräuschpool, in den sie eingebettet waren
- nach 5 Monaten bezogen auf den Gruppenmittelwert trotz intraindividuell erheblicher Abweichungen nahezu identisch
- mit dem Maximalpegel der Vorbeifahrtgeräusche korreliert
- unabhängig von der Geräuschkdauer
- bei älteren Probanden signifikant höher als bei jüngeren
- bei lärmempfindlichen Personen weit höher als bei unempfindlichen Personen.

Für die Lästigkeit der 10 Minuten dauernden Verkehrslärmszenarien spielte deren Zusammensetzung (Lästigkeit der Einzelvorbeifahrten, Variabilität der Maximalpegel, Verkehrsrichtung) keine Rolle. Szenarien aus synthetischen Vorbeifahrtgeräuschen waren aber lästiger als Szenarien, die aus realen Vorbeifahrtgeräuschen bestanden

und erlauben daher keine validen Rückschlüsse auf die Lästigkeit realer Szenarien. Die äquivalenten Pegel und die Verkehrsdichte sind für die Beurteilung der Lästigkeit entscheidend.

Ein bedeutsamer Moderator in nahezu allen Teiluntersuchungen war die Lärmempfindlichkeit. Das Geschlecht wirkte sich nur bei der Präsentation normierter Szenarien aus, wobei Frauen stärker reagierten als Männer.

Da die Lästigkeit des Verkehrslärms weitgehend aus der Störung aktueller Tätigkeiten resultiert, wurden während zweistündiger Expositionen standardisierte Leistungstests bearbeitet. Für die Bewertung der Geräusche standen daher die nach jedem Test beurteilte Lästigkeit sowie die Leistung während der Tests zur Verfügung.

Signifikante Unterschiede zwischen den Verkehrslärmszenarien ergaben sich lediglich für die Lästigkeit und die Anzahl der Fehler im auditiven Teil der Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit (GETAa). Mehrfaktoriellen Varianzanalysen zufolge war die Lästigkeit weder durch die äquivalenten Pegel, die Variabilität der Maximalpegel oder die Verkehrsrichtung sondern nur durch die aktuelle Tätigkeit und die Lärmempfindlichkeit beeinflusst. Die Leistung im GETAa war durch den äquivalenten Pegel beeinflusst.

1 Einleitung

Lärm beeinträchtigt die Kommunikation, das Befinden und kognitive Leistungen sowie den Schlaf und physiologische Funktionen und steht im Verdacht, letztlich zur Entwicklung kardiovaskulärer Erkrankungen beizutragen [Babisch 2006]. Im Sinne der WHO, die Gesundheit als einen Zustand physischen, psychischen und sozialen Wohlbefindens definiert, stellt Lärm eine gesundheitliche Beeinträchtigung dar. Die Lärmbekämpfung wird somit zu einem essenziellen Element eines umfassenden Gesundheitsschutzes. Dementsprechend nennt die Richtlinie 2002/49/EG den Schutz vor Lärm als eines der wichtigsten Ziele.

Die Lärmbekämpfung im öffentlichen Raum fokussiert vorrangig auf die Reduktion des Verkehrslärms vor allem wegen seiner ubiquitären Präsenz. Darüber hinaus hat der Verkehrslärm im Gegensatz zu anderen Umweltbelastungen in den letzten Jahren infolge der stark angestiegenen Verkehrsdichte zugenommen [European Commission 1997]. Die Zunahme des Verkehrsaufkommens wird sich allen Prognosen zufolge auch in den kommenden Jahren fortsetzen.

1.1 Belästigung/Lästigkeit

Im Vordergrund der Lärmwirkungen steht die Belästigung. Sie bezeichnet ein Gefühl der Verärgerung, des Missfallens, des Unbehagens oder der Unzufriedenheit, wenn Lärm die Ausübung aktueller oder intendierter Tätigkeiten stört [z. B. Koelega 1987, Lindvall & Radford 1973]. Sie resultiert weitgehend aus Störungen der Kommunikation, der kognitiven Leistung und des Schlafs und stellt eine unmittelbare Beeinträchtigung der Lebensqualität dar, bei chronischer Einwirkung sind auch gesundheitliche Risiken zu befürchten.

Zwischen der Einwirkung von Lärm und der Belästigung bestehen signifikante Dosis-Wirkungsbeziehungen, die jedoch mit einer erheblichen Streuung behaftet sind. Miedema und Mitarbeiter [Miedema & Vos 1998, Miedema & Oudshoorn 2001] konnten, basierend auf der Metaanalyse von 55 Publikationen mit mehr als 58 000 persönlichen (face-to-face) Interviews mit Betroffenen, signifikante Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen den äquivalenten Pegeln und dem Prozentsatz hoch belästigter Personen errechnen. Darüber hinaus spielt die Verkehrsart eine entscheidende Rolle. Bei gleichem äquivalentem Pegel ist die Belästigung durch Fluglärm am stärksten und durch Schienenverkehrslärm am geringsten. Die

Unterschiede zwischen den Geräuschmodalitäten werden dabei mit zunehmendem äquivalentem Pegel größer.

Während die *Belästigung* dem Urteil über langfristige Belastungen z. B. der Anwohner Lärm emittierender Verkehrswege entspricht, bezieht sich die *Lästigkeit* auf die aktuelle Situation und ist am ausgeprägtesten bei Störungen der Kommunikation und der kognitiven Leistung.

Die *Lästigkeit* wird primär laborexperimentell unter kontrollierten und systematisch variierten Bedingungen untersucht. Wegen der meist relativ kurzen Expositionszeiten lassen sich die Ergebnisse zwar nicht ohne weiteres auf die Realsituation übertragen, es besteht jedoch eine grundsätzliche Übereinstimmung zwischen der langfristigen Belästigung und der akuten Lästigkeit bezüglich der Mechanismen der Lärmverarbeitung und der moderierenden Wirkung individueller Merkmale und situativer Faktoren. So bestätigten die von Hellbrück et al. [2005] und von Kaczmarek et al. [2006] durchgeführten laborexperimentellen Untersuchungen der Lästigkeit von Schienen- und Straßenverkehrslärm die schon von Miedema und Vos [1998] aus Feldstudien errechneten Unterschiede zwischen diesen beiden Geräuscharten. Entsprechendes gilt auch für die Perzeption der Geschwindigkeit, die sowohl in einer Feldstudie von Hallmann [2002] als auch in einem Laborexperiment von Kaczmarek [2005] das Belästigungs- bzw. das Lästigkeitsurteil beeinflusste.

Ein wesentlicher Anteil der in Feldstudien wie im Labor bei gleichem äquivalentem Pegel ermittelten erheblichen Variabilität der Belästigung bzw. der Lästigkeit resultiert aus der Makrostruktur der Geräuschsituation. Die Makrostruktur bezeichnet die Variabilität der Häufigkeit und der zeitlichen Aufeinanderfolge sowie der Pegel und der Dauer aller Vorbeifahrten innerhalb komplexer zeitlich definierter Geräuschszenarien [Griefahn et al. 2007, Hellbrück et al. 2005].

Neueren laborexperimentellen Untersuchungen zufolge hat der Verkehrsfluss bei gleichen äquivalenten Pegeln kaum einen Einfluss auf das Lästigkeitsurteil, wohingegen die Zusammensetzung des Verkehrs (variable Anteile des Schwerverkehrs) von großer Bedeutung ist [Griefahn et al. 2007]. Straßenverkehrsszenarien wurden z. B. als weniger lästig empfunden, wenn das Geräusch eines Busses durch das einer Straßenbahn ersetzt wurde [Kaczmarek et al. 2006, Sandrock et al. 2008].

Die Belästigung im Feld und die Lästigkeit im Labor werden gleichermaßen durch Persönlichkeitsmerkmale beeinflusst. Der wichtigste Moderator ist, wie umfangreiche Metaanalysen [Fields 1993, Job 1988, 1999; Miedema & Vos 1999] ebenso wie Feld-

und Laborstudien ergaben [Hellbrück et al. 2005, Sandrock et al. 2008, Stansfeld 1992], die Lärmempfindlichkeit. Dieses mittels Fragebogen erfasste über die Zeit stabile Persönlichkeitsmerkmal [Ellermeier et al. 2001, Schütte et al. 2007, Weinstein 1980] korreliert nicht mit der akustischen Belastung, es beeinflusst aber das Lästigkeitsurteil ebenso wie das Gefühl der Anstrengung bei der Ausführung von Leistungstests [u. a. Sandrock et al. 2008]. Soziodemografische Variablen wie Alter, Geschlecht und Bildung haben demgegenüber einen nur mäßigen Einfluss auf das Lästigkeitsurteil [Fields 1993, Miedema & Vos 1999].

Erfassungsinstrumente der Lästigkeit/Belästigung. Die von Miedema und Mitarbeitern [Miedema & Vos 1998, Miedema & Oudshoorn 2001] aber auch zahlreichen anderen Autoren ermittelten großen Streubreiten sind, abgesehen von erheblichen interindividuellen Unterschieden sowie situativen Einflüssen auch das Ergebnis der in den einzelnen Untersuchungen angewandten unterschiedlichen Befragungsinstrumente und des unterschiedlichen Verständnisses der Begriffe "Belästigung" und "Lästigkeit" in unterschiedlichen Kulturkreisen. Zur reliablen und validen Messung von Lästigkeit/Belästigung wurden daher in einer groß angelegten internationalen Kooperation der Arbeitsgruppe "Community Noise" der International Commission on Biological Effects of Noise Fragen zur Belästigung mit standardisierten Antwortskalen entwickelt. Diese in 11 Sprachen validierten und in die internationale Normung aufgenommen Fragen ermöglichen die Vergleichbarkeit von in unterschiedlichen Kulturkreisen durchgeführten Untersuchungen [Fields et al. 2001, ISO TS15666, 2003; Felscher-Suhr et al. 1998a,b].

1.2 Kognitive Leistungen

Irrelevante, in keinem inneren Zusammenhang mit der aktuellen Tätigkeit stehende Geräusche beeinträchtigen grundlegende kognitive Prozesse und damit das Denken und Problemlösen, die Wahrnehmung und Aufmerksamkeit sowie das Gedächtnis und damit das Verstehen gehörter und gelesener Texte. Solche Lärmwirkungen sind somit bei zahlreichen alltäglichen Tätigkeiten von Bedeutung.

Laborexperimentelle Untersuchungen kamen zunächst jedoch zu widersprüchlichen Ergebnissen, die von der Beeinträchtigung bis hin zur Verbesserung der Leistung reichten. Die Ursachen hierfür sind u. a. begründet in der Persönlichkeit der Probanden, in der Applikation von in der Realsituation kaum relevanten artifiziellen Geräuschen (weißes oder rosa Rauschen) sowie in der Wahl ungeeigneter Tests [Smith & Broadbent 1992]. Oft kann der Leistungsabfall darüber hinaus durch

erhöhte Anstrengung kompensiert werden, was aber mit physiologischen Kosten verbundenen ist (erhöhte Herzschlagfrequenz, vermehrte Cortisolausschüttung [Tafalla & Evans 1997]).

Neuere Forschungsansätze, mit denen die Effekte realer Geräuschenzenarien und spezifischer Geräuschcharakteristika auf die einzelnen Schritte der Informationsverarbeitung untersucht werden zeigen aber, dass irrelevante Geräusche die kognitive Leistung schon im moderaten Pegelbereich beeinträchtigen können [Hygge et al. 1998, Jones 1999, Jones et al. 1999, Jones & Broadbent 1991, Smith 1993, Smith & Jones 1992]. So behindern irrelevante Geräusche die adäquate *Enkodierung* relevanter akustischer Informationen und stören die auf akustische und visuelle Informationen fokussierte *Aufmerksamkeit* sowie Prozesse im *Arbeitsgedächtnis*, insbesondere die kurzzeitige Speicherung von Informationen und deren Verknüpfung mit weiteren eingehenden Informationen oder mit Inhalten des Langzeitgedächtnisses.

Art und Ausmaß kognitiver Leistungsbeeinträchtigungen sind, abgesehen von der Intensität, von der zeitlichen Struktur der einwirkenden Geräusche determiniert. Intermittierte als Folge einzelner akustischer Ereignisse wahrgenommene Geräusche bzw. Geräusche mit stark fluktuierenden Frequenzen und Pegeln können die Aufmerksamkeit ablenken und im Arbeitsgedächtnis die Speicherung und Verarbeitung akustischer und visueller Informationen stören [Jones 1990, Jones & Morris 1992, Klatte et al. 1995, Ellermeier & Hellbrück 1998, Banbury et al. 2001].

Falsch oder nicht verstandene Informationen können bei Entscheidungsprozessen zur Verschiebung des Speed-Accuracy-Trade-off zu Gunsten kürzerer Entscheidungszeiten und zu Lasten der Fehlerraten und infolge neurologischer Aktivierungen (arousals) zu vorzeitigen Ermüdungen führen [Peters et al. 1998, Woods & Cohen 1995, Surprenant 1999].

Die Einwirkung komplexer Verkehrslärmszenarien lässt daher signifikante Störungen kognitiver Leistungen vor allem durch Beeinträchtigung der Aufmerksamkeit und des Arbeitsgedächtnisses mit den entsprechenden Folgen für das Befinden und das Gefühl der Lästigkeit erwarten.

2 Ziel der Untersuchungen

Die Notwendigkeit einer alle Verkehrsträger umfassenden Lärmbekämpfung ist angesichts der Folgen für Befinden, Leistung und Gesundheit unstrittig. Der Verkehrslärm stellt für die Lärmbekämpfung jedoch eine besondere Herausforderung dar, da die akustische Belastung heute schon zu hoch ist und – trotz weiter steigender Verkehrsdichte – gesenkt werden muss. Ein weiteres Problem besteht darin, dass Verkehrslärm von einer Vielzahl einzelner Fahrzeuge emittiert wird, die sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit in verschiedenen Richtungen bewegen und sich in ihrer zeitlichen und örtlichen Zusammensetzung ständig ändern.

Eine jederzeit und flächendeckend wirksame Lärminderung erfordert daher vor allem die Begrenzung der Emission jedes einzelnen Verkehrsmittels. Der Erfolg solcher Maßnahmen stellt sich jedoch nur "schleichend" über Zeiträume von mehreren Jahren ein. Deshalb sind ergänzende verkehrslenkende Maßnahmen unerlässlich, die im Gegensatz zu den technischen Maßnahmen kurzfristig umsetzbar sind.

Ziel der hier durchgeführten Untersuchungen war es daher, Erkenntnisse zu erarbeiten, die im Sinne operationeller Eingriffe in die Verkehrsführung genutzt werden können. Das Vorhaben fokussiert auf die Minderung der Lästigkeit durch verkehrslenkende Maßnahmen, d. h. durch Gestaltung der temporalen Makrostruktur des Straßenverkehrslärms. Es berücksichtigt, dass die Lästigkeit/Belästigung aus der Störung aktueller Tätigkeiten resultiert und untersucht daher Personen, die während der Einwirkung von Lärm kontrollierte Tätigkeiten ausüben, wobei insbesondere die im Frontalhirn lokalisierten exekutiven Funktionen beansprucht werden. Dieser Ansatz berücksichtigt nicht nur die Realsituation, sondern erlaubt die Bewertung der Lärmeinwirkung anhand von Lästigkeit und Leistung.

In dem hier durchgeführten Vorhaben sind daher folgende Hypothesen zu prüfen:

- Lästigkeit ist eine Funktion der Variabilität der akustischen Makrostruktur komplexer Straßenverkehrslärmszenarien. Sie nimmt mit der Variabilität der Pegel und der Dauer der einzelnen Vorbeifahrten und mit der Verkehrsdichte zu.
- Die Lästigkeit von Lärmszenarien lässt sich mit Kenntnis der Lästigkeit der einzelnen Komponenten vorhersagen.

Das Vorhaben ist durch vier Arbeitspakete (AP) strukturiert. In AP1 (Akustik) werden die für die laborexperimentellen Untersuchungen benötigten Geräusche als einzelne Vorbeifahrten zur Bewertung in AP2 aufbereitet und die Szenarien für die Arbeitspakete AP3 und AP4 generiert. In AP3 wird die Lästigkeit zehnmütiger Szenarien beurteilt. Auf der Basis der Ergebnisse wird eine Auswahl für die zweistündigen Expositionen in AP4 getroffen, während derer die Lästigkeit sowie die

Leistung erhoben werden. Die einzelnen Arbeitspakete bauen also aufeinander auf. Entscheidungen über die Entwicklung der zehnminütigen Szenarien für AP3 werden auf der Basis der Ergebnisse des AP2 getroffen. Die Ergebnisse des AP3 bilden die Grundlage für die Untersuchung zweistündiger Verkehrslärmszenarien im Arbeitspaket AP4.

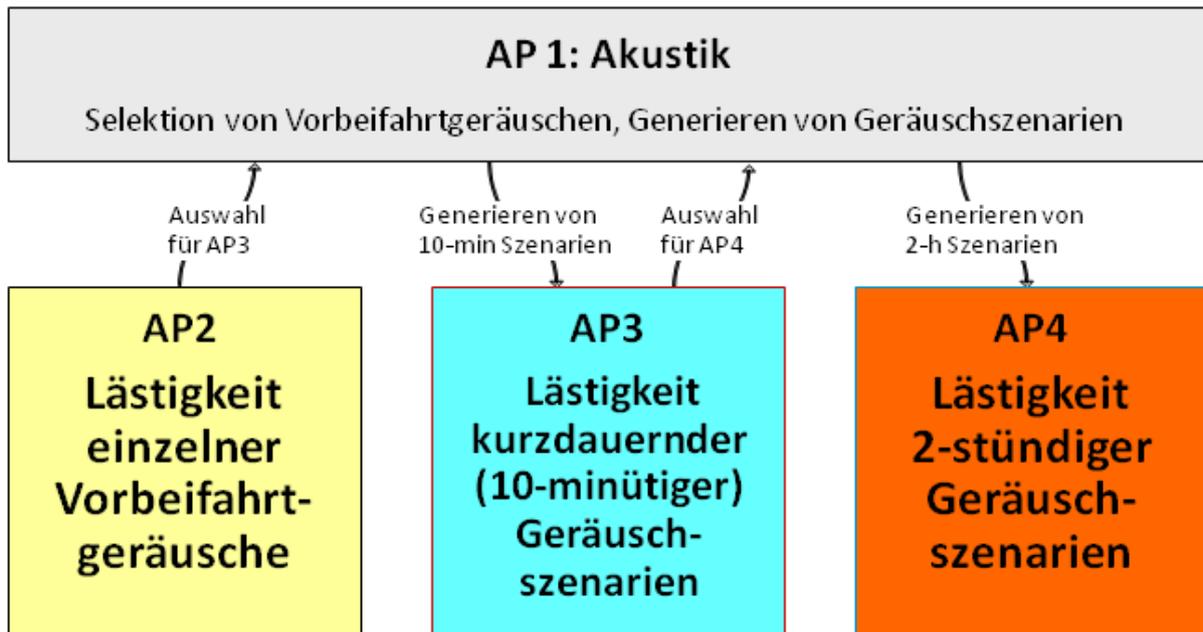


Abb. 2-1: Experimentelles Design der Untersuchungen

3 Material und Methoden zur Bewertung der Geräusche und Verkehrslärmszenarien in AP2, AP3 und AP4

In den Arbeitspaketen AP2, AP3 und AP4 wurde die Lästigkeit einzelner Vorbeifahrtgeräusche sowie zehninütiger und zweistündiger Szenarien bewertet. Die Methoden und die verwendeten Testmaterialien sind in diesem Kapitel zusammengestellt.

3.1 Probanden

Alle Probanden (Pbn) wurden aus einer bestehenden Probandenkartei und mittels Internetanzeigen rekrutiert. Für die Teilnahme an den Untersuchungen wurden nur Pbn mit einem altersentsprechenden audiometrisch ermittelten Hörvermögen ausgewählt (125, 250, 500 Hz, 1, 2, 3, 4, 6, 8 kHz). Diese wurden ausführlich über das Ziel und den Ablauf der Untersuchungen aufgeklärt und gaben ihr schriftliches Einverständnis zu der von der Ethikkommission genehmigten Untersuchung. Für die Teilnahme erhielten sie eine Aufwandsentschädigung.

Tabelle 3-1 gibt einen Überblick über die Anzahl, das Alter und das Geschlecht der an den einzelnen Arbeitspaketen beteiligten Probanden.

Tab. 3-1: Übersicht über Anzahl, Geschlecht und Alter der Probanden (VR: Versuchsreihe)

| Arbeitspaket | Versuchsreihe | Anzahl Probanden | Geschlecht | Alter |
|--------------|----------------|------------------|----------------------|-------------|
| AP2 | VR I | 32 | 14 Frauen, 18 Männer | 18-30 Jahre |
| | VR II | 26 | 13 Frauen, 13 Männer | 18-30 Jahre |
| | | 26 | 13 Frauen, 13 Männer | 40-67 Jahre |
| | VR I und VR II | 16 | 8 Frauen, 8 Männer | 18-30 Jahre |
| AP3 | | 132 | 66 Frauen, 66 Männer | 18-30 Jahre |
| AP4 | | 124 | 63 Frauen, 61 Männer | 18-30 Jahre |

Da die individuelle Lärmempfindlichkeit bei der Beurteilung der Lästigkeit eines Geräusches eine entscheidende Rolle spielt, füllten alle Probanden den Noise Sensitivity Questionnaire (NoiSeQ) zur Erfassung des Persönlichkeitsmerkmals *Lärmempfindlichkeit* aus. Im AP4 wurden darüber hinaus auch weitere Persönlichkeitsdimensionen mit dem *NEO-FFI*, dem *HADS-D* und dem *ABI-E* bestimmt (siehe Kap. 3.4).

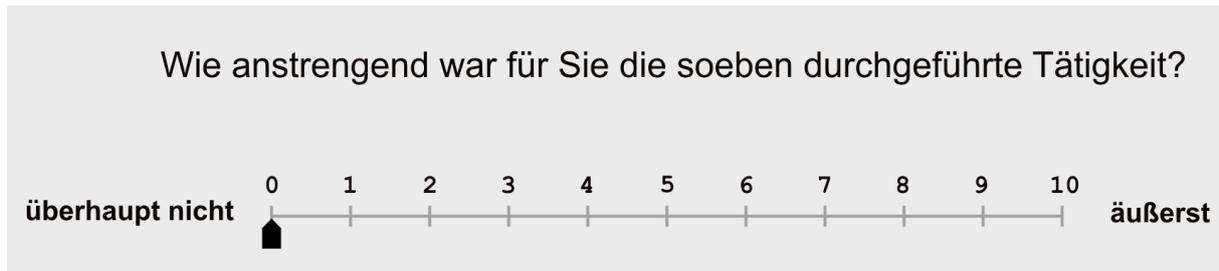


Abb. 3-2: Anstrengungsskala

Im Anschluss daran wurde das Befinden für "Stimmung", "Wachheit" und "Ruhe" mittels wiederum 11-stufiger Skalen bewertet. Der Entwicklung der Skalen lag der mehrdimensionale Befindlichkeitsfragebogen (MDBF [Steyer et al. 1997]) zugrunde. Jede Skala repräsentiert eine Adjektivliste von 8 Items, wobei je 4 der positiven und 4 der negativen Ausprägung entsprechen.

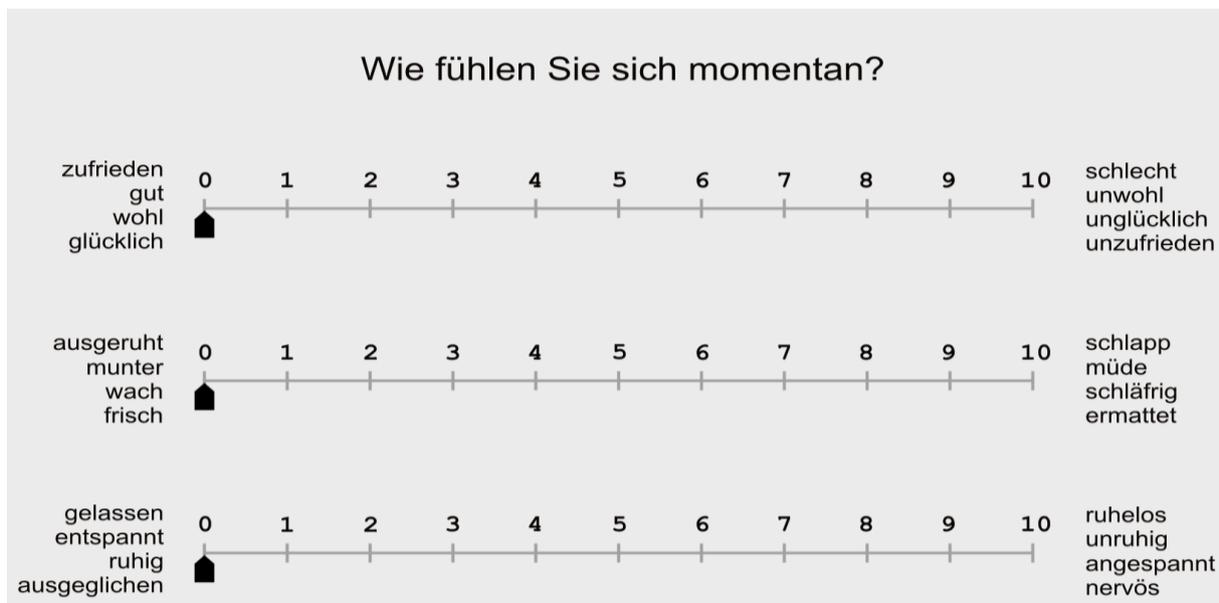


Abb. 3-3: Befindlichkeitsskalen

3.4 Fragebögen

Alle Probanden hatten den *Noise Sensitivity Questionnaire*, die an AP4 beteiligten Probanden zusätzlich den *NEO-FFI*, den *HADS-D* und den *ABI-E* ausgefüllt.

- Der *Noise Sensitivity Questionnaire (NoiSeQ)* erfasst die Lärmempfindlichkeit global sowie differenziert nach den Bereichen Arbeit, Kommunikation, Freizeit, Wohnen und Schlafen [Schütte & Marks 2002].

- Der *NEO-FFI* ist ein multidimensionales Persönlichkeitsinventar [Borkenau & Ostendorf 1993], mit dem fünf Persönlichkeitsdimensionen (Neurotizismus, Extraversion, Offenheit, Verträglichkeit, Gewissenhaftigkeit) erfasst werden (Bearbeitungsdauer ca. 10 Minuten).
- Der *HADS-D* dient als Screeningtest zur Beurteilung von Angst und Depressivität [Herrmann et al. 1995]. Er ermöglicht Hinweise auf eventuelle affektive Störungen, die einen Einfluss auf die kognitive Leistungsfähigkeit haben können (Bearbeitungsdauer 2-5 Minuten).
- Der *ABI-E* [Krohne & Egloff 1999] dient der diagnostischen Erfassung der beiden zentralen personenspezifischen Stressbewältigungsdimensionen "Vigilanz" und "Kognitive Vermeidung" (Zuwendung vs Abwendung der selektiven Aufmerksamkeit, Bearbeitungsdauer: ca. 8 Minuten).

3.5 Leistungstests

Für die Untersuchungen in AP4 wurden verschiedene insbesondere auf die exekutiven Funktionen fokussierte Testverfahren eingesetzt. Ein Teil der Tests stammte zur besseren Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen aus anderen Studien aus der Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP [Zimmermann & Fimm 1993]). Die TAP ist ein in vielen Untersuchungen eingesetztes computerbasiertes Testsystem mit 12 Untertests zur Prüfung von Aufmerksamkeitsfunktionen. Das Testsystem wird als Basisinstrument in der Neuropsychologie eingesetzt.

Die insgesamt 6 Tests dauerten jeweils 15 Minuten und wurden in randomisierter Folge während der Geräuschexposition dargeboten. Zur Anwendung kamen die nachfolgend aufgelisteten Tests, deren Abfolge systematisch variiert wurde.

- *Simple Reaction Time Test (SRT)*. Bei dieser "psychomotor vigilance task" (PVT) handelt es sich um eine einfache Reaktionszeitaufgabe. Die Probanden müssen eine Taste drücken, sobald ein Millisekundenzähler anfängt hochzuzählen. Dies geschieht in zufälligen Abständen von 1 bis 10 Sekunden. Sobald die Taste gedrückt ist, stoppt der Zähler und auf dem Display ist die Reaktionszeit in Millisekunden zu lesen. Somit erhalten die Probanden eine Rückmeldung über ihre Leistung. Als abhängige Variablen gehen die mittlere Reaktionszeit pro Testdurchgang sowie die Anzahl an Ausreißern (Reaktionszeit < 150 ms oder > 500 ms) in die statistische Analyse ein.

- *Selektive Aufmerksamkeit (Go/Nogo)*. Mit dem Go/Nogo Test wird die Fähigkeit geprüft, relevante Reize bei gleichzeitiger Ausblendung irrelevanter Reize zu entdecken. Bei diesem Test müssen sich die Probanden zu Beginn zwei von fünf vorgegebenen Mustern merken. In einer zufälligen Reihenfolge werden die fünf Muster für jeweils 150 ms auf einem Bildschirm präsentiert. Die Probanden haben die Aufgabe, nur auf die beiden anfangs gezeigten Bilder zu reagieren. Insgesamt werden 300 Reize dargeboten, davon 99 Go-Reize und 201 Nogo-Reize. Als abhängige Variable gehen die mittlere Reaktionszeit pro Durchgang sowie die Anzahl der Fehler (ausgelassene Antworten) in die Analysen ein.
- *Arbeitsgedächtnis (ARGE)*. Dieser Test erfasst aufmerksamkeitsgesteuerte Kurzzeitspeicherprozesse. Die Probanden werden aufgefordert, eine Serie von einstelligen Zahlen zu beobachten, die für jeweils 1 500 ms in der Mitte des Bildschirms erscheinen. Sobald sie eine Zahl wahrnehmen, die mit der vorletzten Zahl übereinstimmt, sollen sie eine Taste drücken. Von den 300 Zahlen sind 45 Zahlen Target-Zahlen, auf die reagiert werden soll. Analysiert werden die Reaktionszeit bei richtigen Antworten sowie die Anzahl der Fehler (Anzahl der verpassten richtigen Antworten).
- *Geteilte Aufmerksamkeit (GETA, Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung)*. Situationen, in denen geteilte Aufmerksamkeit gefordert wird, sind eher die Regel als die Ausnahme. Für die hier durchgeführten Untersuchungen wurde ein Test, bei dem eine auditive und eine visuelle Aufgabe simultan dargeboten werden, verwendet. Bei der visuellen Aufgabe müssen die Probanden auf Kreuze achten, die ständig ihre Position verändern. Der "kritische Reiz", auf den die Probanden mit einem Tastendruck reagieren sollen, liegt dann vor, wenn die Kreuze in ihrer Anordnung ein Quadrat bilden. Bei der gleichzeitigen auditiven Aufgabe geht es darum, eine Tonfolge bestehend aus einem hohen (2 000 Hz) und einem tiefen (1 000 Hz) Ton zu verfolgen und mit Tastendruck zu reagieren, wenn der gleiche Ton zweimal hintereinander zu hören ist. Während der 15-minütigen Testdauer werden 60 kritische akustische Stimuli (von insgesamt 450), sowie 63 kritische visuelle Stimuli (von wiederum 450) präsentiert. Ausgewertet werden die mittlere Reaktionszeit sowie die Anzahl der Fehler (ausgelassene Antworten) separat für akustische und visuelle Stimuli.
- *Stroop-Test*. Der Test erfordert die Inhibition der automatisierten Tätigkeit des Lesens. Es werden Farbworte in unterschiedlicher Schriftfarbe präsentiert, die in zufälliger Folge mit bzw. nicht mit der Wortbedeutung übereinstimmen, wobei die Schriftfarbe, nicht aber das Wort zu benennen ist. Der als Stroop-Effekt

bezeichnete Befund beschreibt die Verlängerung der Antwortlatenz bei inkongruenten im Vergleich zu kongruenten Stimuluswörtern. Die Aufgabe besteht also darin, die Farbe zu benennen, in der die Worte geschrieben sind, ohne dabei auf den Wortinhalt (= Farbwörter) zu achten. Dabei kommt es zu Interferenzen mit dem Wortinhalt (Farb-Wort-Interferenz). Im Experiment wurden 3 Farbwörter (rot, grün, blau) in 3 Farben präsentiert (rot, grün, blau). Die Probanden bedienten eine Tastatur mit drei Tasten, die mit den Worten "rot", "grün" und "blau" gekennzeichnet waren. Gemessen wurden die richtigen Antworten, die Fehler und die Reaktionszeit.

- *Grammatical Reasoning Test (GRT)*. Anhand von grammatischen Vergleichsaufgaben wird die Leistung des Arbeitsgedächtnisses überprüft. Es handelt sich hierbei um eine Anlehnung an Aufgaben von Baddeley [1968] sowie an die AGARD STRES Battery [Advisory Group for Aerospace Research and Development, 1989]. Die neu entwickelten Aufgaben sollen im Vergleich zu den ursprünglichen Aufgaben eine höhere Beanspruchung an das Arbeitsgedächtnis gewährleisten. Es werden bei jeder Aufgabe zwei Aussagensätze (z. B. # wird nicht von & gefolgt und # geht * voraus) und eine Symbolanordnung (z. B. * # &) gleichzeitig präsentiert. Die Aufgabe besteht darin, zu beurteilen, ob die Aussagen mit der Symbolanordnung übereinstimmen. Sind beide Aussagen zutreffend oder beide falsch, ist die Taste "gleich" zu drücken. Ist hingegen eine Aussage richtig und die andere Aussage falsch, ist die Taste "verschieden" zu drücken. Die Präsentation der Aufgaben erfolgte auf 3 Zeilen verteilt, zentriert auf einem PC-Monitor. Die Gesamtanzahl der Aufgaben hängt von der individuellen Bearbeitungsgeschwindigkeit ab. In der Analyse wurden die Anzahl der richtigen Lösungen sowie die durchschnittliche Bearbeitungsdauer der richtigen Lösung berücksichtigt.
- *Lern- und Gedächtnistest (LGT-3)*. Dieser Test wurde nicht unter der Einwirkung von Lärm durchgeführt. Die Lernaufgabe wurde vor der Geräuschpräsentation absolviert und das Gelernte nach der zweistündigen Geräuschexposition abgefragt. Der Test erfasst die mittel- bis längerfristige verbale sowie figurale Lern- und Merkfähigkeit anhand von jeweils sechs kurzen Aufgaben (z. B. Lernen von Wortlisten oder Telefonnummern). Die Zeit für das Einprägen der Worte und Zahlen betrug eine Minute. Nach der zweistündigen Lärmexposition wurde die Merkleistung abgefragt.

4 Akustik: Auswahl einzelner Vorbeifahrtgeräusche und Generierung von Geräuschszenarien (AP1)

Im Arbeitspaket AP1 (Akustik) wurden die Geräusche und Geräuschszenarien für die experimentellen Untersuchungen in den Arbeitspaketen AP2 (Lästigkeit einzelner Vorbeifahrtgeräusche), AP3 (Lästigkeit zehnmündiger Geräuschszenarien) und AP4 (Lästigkeit und Leistung während zweistündiger Geräuschszenarien) bereitgestellt. Aus einem umfangreichen Katalog wurden einzelne Vorbeifahrtgeräusche ausgewählt. Diese wurden nach der Dämmung der Geräusche zur Simulation einer Innenraumsituation mit gekipptem Fenster in AP2 bewertet. Basierend auf den Ergebnissen wurden zehnmündige Szenarien hergestellt. Nach deren Bewertung in AP3 wurden schließlich zweistündige Szenarien generiert und deren Lästigkeit unter Berücksichtigung kognitiver Leistungen in AP4 bewertet.

4.1 Einzelne Vorbeifahrtgeräusche

4.1.1 Geräuschkatalog

Zur Auswahl einzelner Vorbeifahrtgeräusche stand ein umfangreicher Geräuschkatalog zur Verfügung, der im Rahmen früherer Forschungsvorhaben unter maßgeblicher Beteiligung des IfADo erarbeitet worden war. Dies waren im Wesentlichen das von der EU geförderte Projekt SILENCE (Quieter Surface Transport in Urban Areas, 6. Rahmenprogramm) und das vom BMB+F bzw. vom BMWi geförderte Projekt "Leiser Verkehr" (Abb. 4-1).

Darüber hinaus stand eine Auswahl *synthetischer* Fahrzeuggeräusche zur Verfügung. Diese Geräusche waren durch das Institut für Akustik der Adam-Mickiewicz-Universität in Poznań (Polen) entwickelt worden. Dabei handelt es sich um computertechnisch erzeugte Simulationen der von Fahrzeugen abgestrahlten und in einem weiten Bereich dominierenden Rollgeräusche. Durch die Modulation der spektral-temporalen Eigenschaften wurden die Charakteristika unterschiedlicher Vorbeifahrtgeschwindigkeiten simuliert. Die synthetischen Vorbeifahrten lagen in 5 km/h gestuften Geschwindigkeiten von 40 bis 100 km/h und 60 Sekunden Dauer vor. Diese Geräusche sollten nach Möglichkeit zur Generierung von Geräuschszenarien mit variabler Geschwindigkeit genutzt werden. Voraussetzung hierfür war jedoch deren Vergleichbarkeit mit den aufgezeichneten natürlichen Geräuschen bezüglich

der Lästigkeit. Daher wurden drei dieser synthetischen Geräusche (mit Geschwindigkeiten von 60, 85, 100 km/h und 11 s Vorbeifahrtdauer) ebenso wie die der natürlichen Vorbeifahrtgeräusche in AP2 bewertet. Dazu wurde die Dauer der Vorbeifahrten unter Anwendung der Audiosoftware Wavelab 4.0 (Steinberg Media Technologies GmbH, Hamburg, Deutschland) auf 11 Sekunden gekürzt.

4.1.2 Auswahl und Aufbereitung der Originalgeräusche

Die Vorauswahl fokussierte auf Pkw-Vorbeifahrten mit einer Geschwindigkeit von 40-60 km/h, deren Vorbeifahrtgeräusche im Abstand von 15 m von der Fahrbahnmitte aufgezeichnet worden waren. Es wurden 30 als Einzelvorbeifahrt identifizierbare und nicht von sonstigen Verkehrs- oder Nebengeräuschen überlagerte Aufzeichnungen selektiert. Die so ausgewählten Vorbeifahrtgeräusche wurden mittels einer Filterfunktion von Kötz [2004] für die Wahrnehmung im Innenraum bei "gekipptem Fenster" bearbeitet (Abb. 4-1). Dies erfolgte mit Hilfe der Audiosoftware Artemis 10 (Head acoustics GmbH, Herzogenrath, Bundesrepublik Deutschland). Eine Übersicht über die verwendeten und bearbeiteten Geräusche gibt Tabelle 4-1. Sie informiert über die Dauer und die Maximalpegel sowie die Lautheit der einzelnen Vorbeifahrtgeräusche.

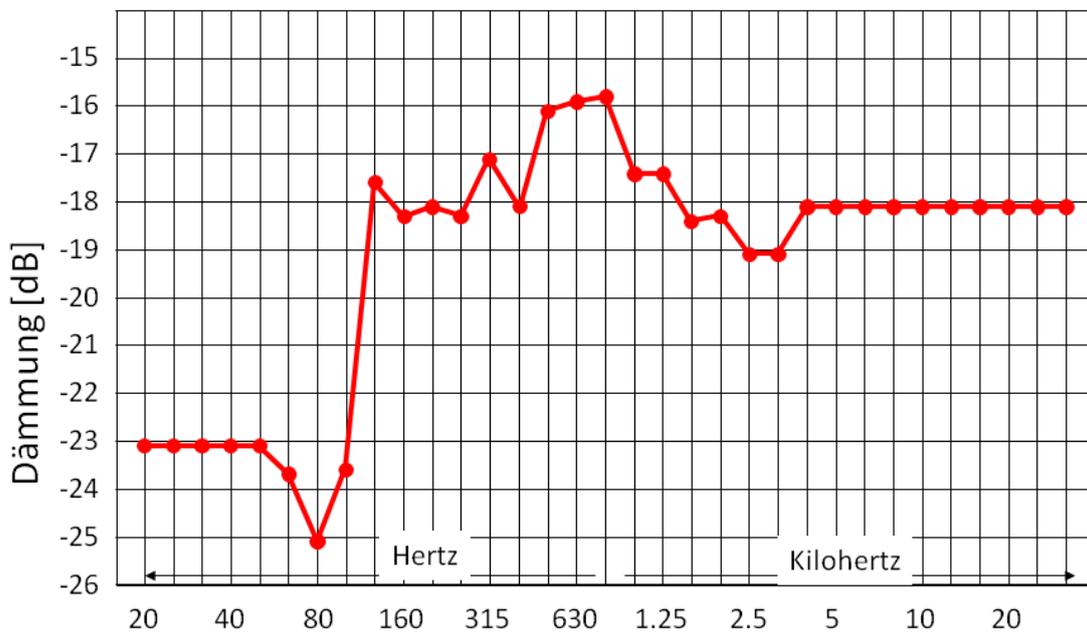


Abb. 4-1: Dämmung der Verkehrsgeräusche nach Kötz zur Simulation einer Innenraumsituation mit gekipptem Fenster[2004].

Tab. 4-1: Übersicht über die 30 ausgewählten Originalgeräusche und die 3 synthetischen Geräusche, deren Dauer, Maximalpegel und Lautheit sowie die Lautheit nach der Normierung auf $L_{Amax} = 80$ dB.

| Geräusch Nr. | Geräusch- dauer [s] | Maximalpegel [L_{Amax}] | Lautheit N [sone] | |
|------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| | | | Reale Aufnahme | Maximalpegel normiert (80 dB) |
| 101 | 10,5 | 71,1 | 10,8 | 19,2 |
| 102 | 10,5 | 75,4 | 10,4 | 14,0 |
| 103 | 10,5 | 72,4 | 9,3 | 15,5 |
| 104 | 10,5 | 76,6 | 8,8 | 11,1 |
| 105 | 10,5 | 64,4 | 6,8 | 19,3 |
| 106 | 10,5 | 69,5 | 7,4 | 15,0 |
| 107 | 10,7 | 71,9 | 9,8 | 16,7 |
| 108 | 11,0 | 70,1 | 6,9 | 13,5 |
| 109 | 11,0 | 70,3 | 8,5 | 16,2 |
| 110 | 11,0 | 61,7 | 6,7 | 22,6 |
| 111 | 11,1 | 67,8 | 8,2 | 18,3 |
| 112 | 11,3 | 69,6 | 9,1 | 18,4 |
| 113 | 11,0 | 80,4 | 12,7 | |
| 114 | 11,1 | 68,8 | 7,9 | |
| 115 | 11,3 | 74,5 | 10,5 | |
| 401 | 8,4 | 76,1 | 14,1 | 18,2 |
| 402 | 8,5 | 58,3 | 6,0 | 24,1 |
| 403 | 9,2 | 75,0 | 10,3 | 14,4 |
| 404 | 10,0 | 71,8 | 9,7 | 16,7 |
| 405 | 10,1 | 72,2 | 9,4 | 15,7 |
| 501 | 12,0 | 72,5 | 11,3 | 18,5 |
| 502 | 12,0 | 74,4 | 7,4 | 10,8 |
| 503 | 12,5 | 76,9 | 7,7 | 9,5 |
| 504 | 13,0 | 72,8 | 10,7 | 17,1 |
| 505 | 14,2 | 72,5 | 10,0 | 16,3 |
| 506 | 15,0 | 73,0 | 8,1 | 13,0 |
| 507 | 15,6 | 74,8 | 11,1 | 15,6 |
| 508 | 15,7 | 74,7 | 8,0 | 11,5 |
| 509 | 15,9 | 71,5 | 7,2 | 12,9 |
| 510 | 15,9 | 70,2 | 8,4 | 16,1 |
| Synthetische Geräusche | | | | |
| 301 | 11,0 | | | 18,1 |
| 302 | 11,0 | | | 17,8 |
| 303 | 11,0 | | | 17,3 |

4.1.3 Pegelnormierte Geräusche

Um eine vom Schalldruckpegel weitgehend unabhängige Geräuschbewertung (AP2) zu ermöglichen, wurden von den gewählten Vorbeifahrtgeräuschen weitere, auf $L_{Amax} = 80$ dB normierte Geräusche hergestellt. Eine Maximalpegelnormierung wurde auch für die synthetischen Geräusche vorgenommen. Die Normierung erfolgte mit Hilfe

der Audiosoftware Wavelab 4.0 (Steinberg Media Technologies GmbH, Hamburg, Deutschland). Die so erzielten 30 zusätzlichen Verkehrsgeräusche dienten der Herstellung experimenteller Vorbeifahrtszenarien mit variablen Maximalpegeln. (die entsprechenden Lautheiten sind ebenfalls in Tabelle 4-1 aufgeführt).

4.1.4 Stereosimulation zur Darstellung von Gegenverkehrssituationen

Um eine Bewertung von Gegenverkehrssituationen zu ermöglichen, wurden die – ohne Richtungsinformation (mono) aufgezeichneten – Einzelvorbeifahrten akustisch bearbeitet. Die Simulation der Stereosignale erfolgte unter strikter Berücksichtigung wahrnehmungspsychologischer Kriterien der auditiven Lokalisation (interaurale Zeit- und Pegeldifferenz) und vermittelt den Eindruck einer zur Verkehrsrichtung orthogonalen Wahrnehmungsposition (d.h. Vorbeifahrten von links nach rechts bzw. umgekehrt). Dazu wurde ein Geräusch zunächst verdoppelt, um es auf jeweils einem der zwei Kanäle (linker bzw. rechter Kopfhörer) zu präsentieren. Der zunächst ansteigende Geräuschpegel („herannahendes Fahrzeug“) wurde bis zum Zeitpunkt seines Maximums auf dem zur Schallquelle distalen Kanal (z. B. rechtes Ohr) linear gedämpft und mit einer Laufzeitverzögerung von ≥ 200 ms präsentiert. Nach dem Zeitpunkt seines Maximums erfolgte die lineare Dämpfung des Schalldruckpegels entsprechend auf dem anderen Kanal (z. B. linkes Ohr). In Abbildung 4-2 ist die Vorgehensweise exemplarisch an einem Originalgeräusch veranschaulicht.

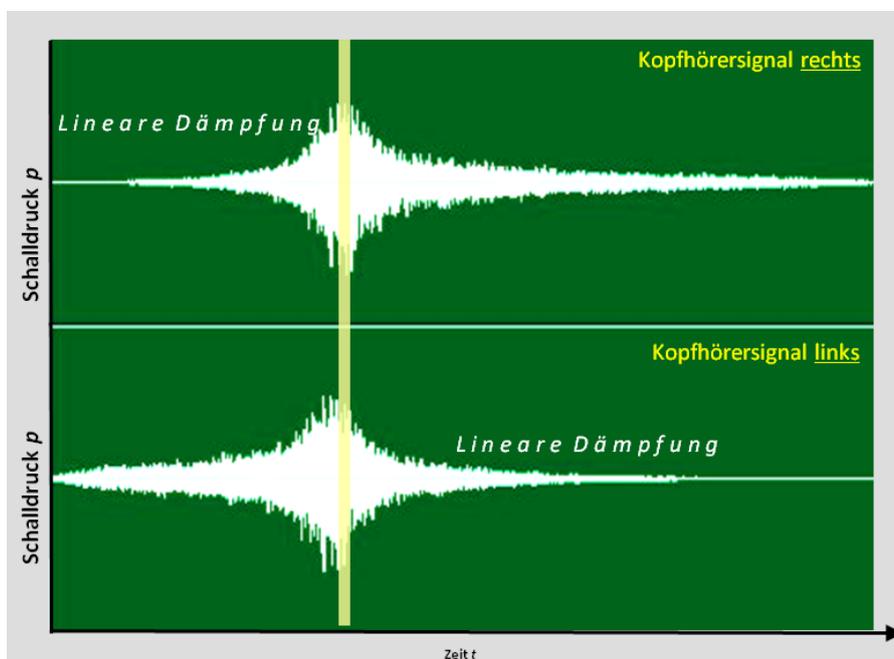


Abb. 4-2: Stereosimulation einer Fahrzeugvorbeifahrt von links nach rechts zur Simulation gerichteter Verkehrssituationen (Einbahn- und Gegenverkehr)

4.1.5 Verkehrliches Hintergrundrauschen

Das in dieser Untersuchung verwendete Hintergrundrauschen wurde aus einem stetigen Fluss von Pkw-Vorbeifahrtgeräuschen gebildet. Die SEL-Werte (sound exposure level) der einzelnen Vorbeifahrten variierten in Zufallsfolge in einem Pegelbereich von ± 3 dB, die zeitlichen Intervalle der Vorbeifahrten im Zeitbereich von 5 ± 2 Sekunden. Mehrere dieser Sequenzen wurden übereinander gelagert, so dass Einzelvorbeifahrten nicht mehr identifiziert werden konnten. Dieses so erzeugte verkehrliche Hintergrundrauschen wurde in den Versuchen der Arbeitspakete AP2, AP3 und AP4 mit einem äquivalenten Pegel von $L_{Aeq} = 32$ dB eingespielt. In beiden Arbeitspaketen wurde es darüber hinaus in der Kontrollsituation – ohne überlagerte Vorbeifahrtgeräusche – appliziert.

4.2 Zehnminütige Verkehrslärmszenarien

Die Bewertung der Geräuschszenarien zielte darauf ab, die Bedeutung

- der Verkehrsstärke (Anzahl Vorbeifahrten pro Zeiteinheit),
- des äquivalenten Pegels,
- der Varianz der Maximalpegel,
- der Lästigkeit der einzelnen Kfz-Vorbeifahrten
- und des Gegenverkehrs

für die Lästigkeit komplexer Verkehrslärmszenarien zu bestimmen. Dazu war es erforderlich, die jeweils anderen Merkmale weitgehend konstant zu halten. Da der äquivalente Pegel notwendigerweise mit der Verkehrsdichte zunimmt, wurde eine Reihe von Szenarien auf einen bestimmten äquivalenten Pegel normiert.

Darüber hinaus war zu ermitteln, ob und inwieweit die synthetischen Geräusche mit den realen Geräuschen vergleichbar sind und ob bestimmte Untersuchungen (Variabilität von Geschwindigkeiten) allein auf der Basis synthetischer Geräusche möglich sind.

4.2.1 Simulation verschiedener Verkehrsstärken

Die Herstellung von Szenarien unterschiedlicher Verkehrsstärke erfolgte mit Hilfe der Audiosoftware COOL EDIT (Version 2.0, Syntrillium Software Corporation, Phoenix, USA) (vgl. Abb. 4-3). Dazu wurden 8 parallele Geräuschspuren à 10 Minuten (Track 1–8) bereitgestellt und mit dem oben (Kap. 4.1.5) beschriebenen verkehrlichen Hintergrundrauschen unterlegt (Track 9). Die 12 für ein Szenario zur Verfügung stehenden Vorbeifahrtgeräusche wurden – für jedes Szenario separat – mit jeweils

gleicher Häufigkeit (d.h. wiederholte Ziehung ohne Zurücklegen) und in unregelmäßigen zeitlichen Abständen nacheinander den Geräuschspuren 1 – 8 zugeordnet. Durch Abspielen von einer, zwei, vier oder acht Spuren wurden zehnminütige Szenarien der Verkehrsstärke 90, 180, 360 und 720 Fz./h generiert (vgl. Tab. 4-2). Dieses Vorgehen wurde für die Generierung aller nachfolgend beschriebenen Verkehrslärmszenarien angewendet (Maximalpegel, Gegenverkehr, synthetische Geräusche).

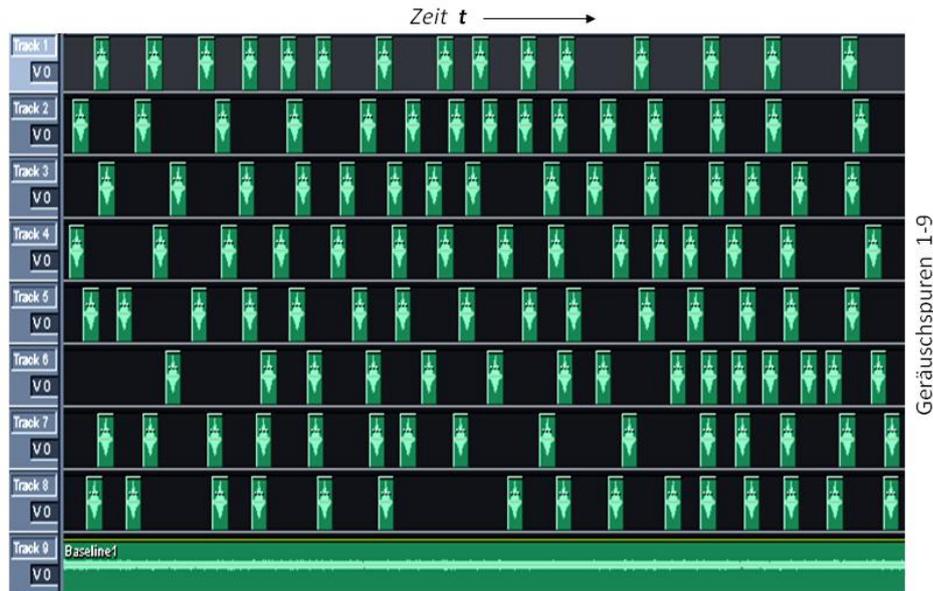


Abb. 4-3: Beispiel zur Herstellung zehnminütiger Geräuschszenarien mit Audiosoftware Cool Edit. (Track 1 bis Track 8: Einzelvorbeifahrten. Track 9: Verkehrliches Hintergrundrauschen)

Tabelle 4-2: Kombination von Geräuschspuren zur Herstellung unterschiedlicher Verkehrsstärken

| Verkehrsstärke | Spur-Nummer |
|----------------|--------------------------------------|
| - | 9: verkehrliches Hintergrundrauschen |
| 90 Fz./h | 1 (+ Spur 9) |
| 180 Fz./h | 1 + 2 (+ Spur 9) |
| 360 Fz./h | 1 - 4 (+ Spur 9) |
| 720 Fz./h | 1 - 8 (+ Spur 9) |

4.2.2 Kontrolle des äquivalenten Pegels

Eine Verdoppelung der Vorbeifahrthäufigkeit führt zu einem Anstieg des äquivalenten Pegels (L_{Aeq}) um 3 dB. Eine solche Zunahme der Verkehrsstärke (90 → 180 → 360 → 720 Fz./h) lässt schon aufgrund des damit ansteigenden äquivalenten Pegels (66 → 69 → 72 → 75 dB) eine entsprechende Zunahme der Lästigkeit erwarten. Es war daher erforderlich, den äquivalenten Pegel experimentell zu kontrollieren: Eine Präsentation von Geräuschszenarien *unterschiedlicher* Verkehrsstärke jedoch

gleichem L_{Aeq} ermöglicht eine vom äquivalenten Pegel unabhängige Bewertung der jeweiligen Verkehrsstärke. Hierzu wurden die Maximalpegel innerhalb eines zehnminütigen Audiosignals unter Verwendung der Audiosoftware Wavelab 4.0 (Steinberg Media Technologies GmbH, Hamburg, Deutschland) zunächst digital angehoben bzw. gesenkt. Anschließend wurde der äquivalente Pegel anhand einer im Versuchslabor durchgeführten Pegelmessung überprüft. Dies wurde wiederholt bis der angestrebte äquivalente Pegelwert erreicht war.

4.2.3 Szenarien mit unterschiedlich lästigen Einzelvorbeifahrten

Um die Bedeutung der Lästigkeit einzelner Fahrzeuge für die Beurteilung eines 10 Minuten dauernden Szenarios zu bestimmen, wurden nach der Bearbeitung der Einzelvorbeifahrten Szenarien mit den mehr bzw. den weniger lästigen Vorbeifahrten hergestellt. Dafür wurden ausschließlich *maximalpegelnormierte* Geräusche verwendet, um die Variabilität der Lästigkeit und nicht etwa die der Schallpegel zu bewerten. Aus der in AP2 ermittelten Lästigkeitsrangfolge der einzelnen Vorbeifahrtgeräusche wurden die 12 lästigsten und die 12 am wenigsten lästigen gewählt und aus diesen sodann "lästige" und "weniger lästige" Szenarien mit unterschiedlicher Verkehrsstärke generiert.

4.2.4 Vorbeifahrten mit unterschiedlicher Varianz der Maximalpegel

Die Bedeutung der Maximalpegel einzelner Vorbeifahrten für die Bewertung kurzdauernder Verkehrslärmszenarien wurde anhand zweier Geräuschgruppen von Vorbeifahrten untersucht:

- eine "variable" Geräuschgruppe, bei der die Maximalpegel zwischen 60 und 80 dB(A) variierten,
- eine "konstante" Geräuschgruppe, bei der die Maximalpegel in einem sehr engen Bereich variierten (80 ± 1 dB(A)).

Mit je 12 "unterschiedlich lauten" (variable Maximalpegel) und 12 "ähnlich lauten" (konstante Maximalpegel) Vorbeifahrtgeräuschen wurden Szenarien mit den Verkehrsstärken 90, 180, 360 und 720 Fz./h bzw. mit äquivalenten Pegeln von 66, 69, 72 und 75 dB(A) zur Bewertung in AP3 generiert. Für die Verkehrsstärken 180 und 720 Fz./h wurden zusätzlich durch Absenken der Maximalpegel Szenarien mit 60 dB(A) äquivalentem Pegel generiert. Abbildung 4-4 veranschaulicht die Pegelverläufe und die zeitliche Verteilung exemplarisch für Vorbeifahrten mit variablen Maximalpegeln (Originalgeräusche) bei ansteigender Verkehrsstärke.

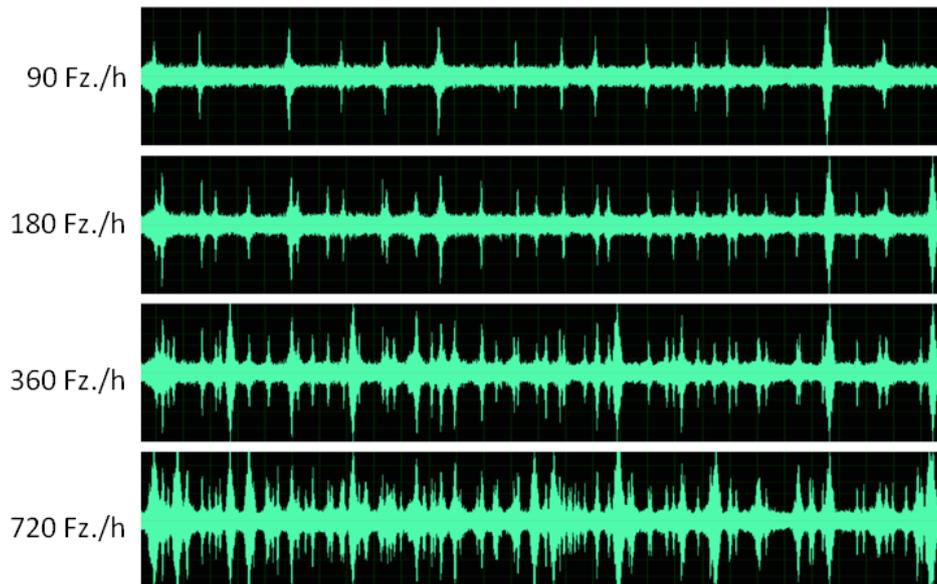


Abb. 4-4: Verlauf der Schalldruckpegel bei zehnmütigen Geräussszenarien bei Verkehrsstärken von 90, 180, 360 und 720 Fz./h (Originalgeräusche).

4.2.5 Gegenverkehrsszenarien

Durch die Herstellung von Stereosignalen standen Verkehrsgeräusche zur Verfügung, die die Wahrnehmung der Fahrtrichtung ermöglichten (Straßenverkehr von links nach rechts und umgekehrt). Dies erlaubte die Simulation von Einbahn- und von Gegenverkehrsszenarien. Letztere wurden mit den Verkehrsstärken 180 und 720 mit äquivalenten Pegeln von 60 dB(A) generiert.

4.2.6 Szenarien mit synthetischen Verkehrsgeräuschen

Aufgrund der Bewertung in AP2 wurden (analog zur oben beschriebenen Vorgehensweise) synthetische Geräussszenarien mit 60 km/h hergestellt. Für die Verkehrsstärken 90, 180, 360 und 720 Fz./h wurden Szenarien mit 66, 69, 72 und 75 dB L_{Aeq} realisiert.

4.2.7 Übersicht über die zehnmütigen Verkehrslärmszenarien

Tabelle 4-3 gibt einen Überblick über alle in AP3 beurteilten zehnmütigen Verkehrslärmszenarien. Auf der Basis der Ergebnisse wurden die Szenarien für die zweistündigen Präsentationen in Arbeitspaket AP4 gewählt. Diese sind in Tabelle 4-3 mit einem Kreuz gekennzeichnet. Tabelle 4-4 informiert über die Lautheit dieser Szenarien.

Tab. 4-3: Übersicht über alle in AP1 generierten Verkehrslärmszenarien.
Graue Zellen: zehninütige Szenarien, **X**: zweistündige Szenarien.

| Äquivalenter Pegel (L _{Aeq}) | Geringe Lästigkeit (L _{Amax} = 80 dB) | | | | Hohe Lästigkeit (L _{Amax} = 80 dB) | | | | Synthetische Geräusche (L _{Amax} = 80 dB) | | | |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------|-----|-----|-----|------------------------------------------------|-----|-----|-----|-------------------------------------------------------|-----|-----|-----|
| | 90 | 180 | 360 | 720 | 90 | 180 | 360 | 720 | 90 | 180 | 360 | 720 |
| 60 dB | | | | | | | | | | | | |
| 66 dB | | | | | | | | | | | | |
| 69 dB | | | | | | | | | | | | |
| 72 dB | | | | | | | | | | | | |
| 75 dB | | | | | | | | | | | | |

| Äquivalenter Pegel (L _{Aeq}) | Originalgeräusche (L _{Amax} : 60- 80 dB) | | | | Maximalpegelnormierte Geräusche (L _{Amax} = 80 dB) | | | | Verkehrsrichtung Stereosignale (L _{Amax} :80 dB) | | | |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------|----------|-----|----------|----------------------------------------------------------------|----------|-----|----------|--------------------------------------------------------------|----------|-----|----------|
| | 90 | 180 | 360 | 720 | 90 | 180 | 360 | 720 | 90 | 180 | 360 | 720 |
| 60 dB | | X | | X | | X | | X | | X | | X |
| 66 dB | | X | | X | | | | | | | | |
| 69 dB | | | | | | | | | | | | |
| 72 dB | | | | | | | | | | | | |
| 75 dB | | | | | | | | | | | | |

Tab. 4-4: Übersicht über die Lautheit [sone] der einzelnen Szenarien.

| Äquivalenter Pegel (L _{Aeq}) | Geringe Lästigkeit (L _{Amax} = 80 dB) | | | | Hohe Lästigkeit (L _{Amax} = 80 dB) | | | | Synthetische Geräusche (L _{Amax} = 80 dB) | | | |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------|------|------|------|------------------------------------------------|------|------|------|-------------------------------------------------------|------|------|------|
| | 90 | 180 | 360 | 720 | 90 | 180 | 360 | 720 | 90 | 180 | 360 | 720 |
| 60 dB | | | | | | | | | | | | |
| 66 dB | 5,5 | | | | 5,9 | | | | 5,8 | | | |
| 69 dB | | 8,9 | | | | 9,9 | | | | 9,9 | | |
| 72 dB | 8,8 | 11,3 | 15,0 | 18,7 | 9,2 | 12,5 | 17,1 | 21,3 | 8,5 | 11,5 | 16,3 | 21,2 |
| 75 dB | | | | 21,6 | | | | 25,6 | | | | 26,9 |

| Äquivalenter Pegel (L _{Aeq}) | Originalgeräusche (L _{Amax} : 60- 80 dB) | | | | Maximalpegelnormierte Geräusche (L _{Amax} = 80 dB) | | | | Verkehrsrichtung Stereosignale (L _{Amax} :80 dB) | | | |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------|-----|------|------|----------------------------------------------------------------|-----|-----|------|--------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|
| | 90 | 180 | 360 | 720 | 90 | 180 | 360 | 720 | 90 | 180 | 360 | 720 |
| 60 dB | | 5,5 | | 9,1 | | 5,3 | | 9,6 | | 5,6 | | 8,6 |
| 66 dB | 6,9 | 8,6 | 10,3 | 13,7 | | 7,7 | | 12,8 | | | | |
| 69 dB | | 9,9 | | | | | | | | | | |
| 72 dB | | | 15,1 | | | | | | | | | |
| 75 dB | | | | 23,2 | | | | | | | | |

4.3 Zweistündige Verkehrslärmszenarien

Auf der Basis der zehnminütigen Geräuscszenarien und ihrer Bewertung in AP3 wurden schließlich über 2 Stunden dauernde Szenarien mit den Verkehrsstärken von 180 und 720 Fz./h generiert. Um bei niedriger Verkehrsstärke den Ablauf der Vorbeifahrten stärker zu variieren, wurden die zweistündigen Szenarien mit 180 Fz./h in 2 Schritten gebildet

1. systematisch variierendes Abmischen der 8 je zehnminütigen Spuren mit unterschiedlicher Abfolge von 90 Fz./h (vgl. Abb. 4-3),
2. Aneinanderreihen der so gebildeten je zehnminütigen Szenarien mit je 180 Vorbeifahrten zu einem mindestens 2 Stunden andauernden Szenario.

Bei Szenarien mit hoher Verkehrsstärke (720 Fz./h) wurden die bereits vorhandenen Zehnminutenszenarien zu zweistündigen Szenarien zusammengesetzt. Der Fragestellung entsprechend wurden Geräuscszenarien für Vorbeifahrten mit unterschiedlich variablen Geräuschpegeln, Gegenverkehrssituationen und äquivalenten Pegeln von 60 und 66 dB(A) generiert.

5 Lästigkeit einzelner Vorbeifahrtgeräusche (AP2)

Im Arbeitspaket AP2 wurde die Lästigkeit einzelner Pkw-Vorbeifahrtgeräusche bewertet. Dabei wurden auch das Alter und die individuelle Lärmempfindlichkeit berücksichtigt. Die Zuverlässigkeit der Lästigkeitsurteile wurde durch eine Messwiederholung bestimmt. Die Vorbeifahrtgeräusche wurden entsprechend ihrer Lästigkeit aufsteigend rangiert. Die resultierende Lästigkeitsrangfolge diente als Grundlage für die Generierung zusammengesetzter Geräuschszenarien.

5.1 Design und Ablauf der Versuche

Die methodischen Aspekte sind im Wesentlichen in Kapitel 3 abgehandelt, so dass hier nur noch das Design und der Ablauf der Versuche darzustellen sind.

Versuchsreihe VR I. Die Lästigkeit einzelner Vorbeifahrten wurde im Rahmen zweier etwa 10 Minuten dauernder Geräuschsequenzen mit je 30 Vorbeifahrtgeräuschen ermittelt (vgl. Abb. 5-1).

Dazu standen die folgenden 3 in AP1 ausgewählten und teilweise bearbeiteten Geräuschgruppen zur Verfügung:

- Geräuschgruppe A: 15 Originalgeräusche mit Maximalpegeln (L_{Amax}) zwischen 60 und 80 dB und einer Dauer von $11 \pm 0,5$ Sekunden
- Geräuschgruppe B: 15 auf einen Maximalpegel von $L_{Amax} = 80$ dB normierte Vorbeifahrten mit einer Dauer von 8,4 bis 15,9 Sekunden
- Geräuschgruppe C: 12 auf einen Maximalpegel von $L_{Amax} = 80$ dB normierte Vorbeifahrten mit einer Dauer von 11 Sekunden sowie 3 synthetische Geräusche mit einem Maximalpegel von $L_{Amax} = 80$ dB und einer Dauer von 11 Sekunden.

Wie in Abbildung 5-1 dargestellt umfasste die Geräuschsequenz "Variable Maximalpegel" die insgesamt 30 Geräusche der Geräuschgruppen A und C, die Geräuschsequenz "Variable Stimulusdauer" die 30 Geräusche der Geräuschgruppen B und C.

Mit der Zuordnung der Geräuschgruppe C zu den beiden Geräuschsequenzen "Variable Maximalpegel" und "Variable Stimulusdauer" sollte geklärt werden, ob und inwieweit die Beurteilung bestimmter Geräusche kontextabhängig ist, d.h. unterschiedlich ausfällt, wenn sie in ein Szenario mit unterschiedlich lauten oder mit unterschiedlich lang andauernden Vorbeifahrten eingebettet sind.

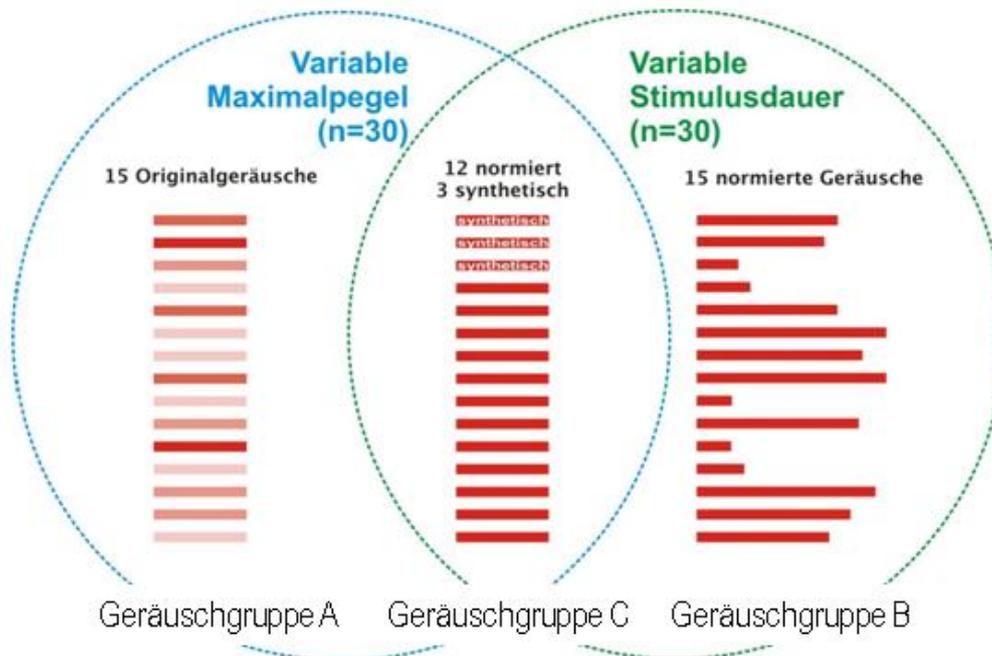


Abb. 5-1: Geräuschgruppen zur Lästigkeitsbewertung in Versuchsreihe VR I mit je 30 Pkw-Vorbeifahrten.

Die Geräuschsequenzen waren mit dem unter 4.1.5 beschriebenen verkehrlichen Hintergrundrauschen unterlegt worden. Jedem Probanden wurden beide Geräuschsequenzen jeweils dreimal in alternierender Abfolge präsentiert, wobei die Abfolge der 30 einzelnen Vorbeifahrtgeräusche jeweils mit Hilfe einer Monte-Carlo-Simulation randomisiert worden war. Zwischen den jeweils zehnmütigen Geräuschsequenzen lagen jeweils 5 Minuten dauernde Pausen. Unmittelbar nach der Präsentation jedes einzelnen Vorbeifahrtgeräusches schätzten die Probanden das Ausmaß ihrer subjektiv empfundenen Lästigkeit ein.

Versuchsreihe VR II. Fünf Monate nach Durchführung der Versuchsreihe I wurde die Lästigkeit einzelner Vorbeifahrten nochmals mit einer Sequenz von 30 Originalgeräuschen ermittelt. Darunter waren die 15 Vorbeifahrtgeräusche der Geräuschgruppe A, die jeweils dreimal in Zufallsfolge präsentiert wurden. Mit dieser erneuten Untersuchung sollte die zeitliche Stabilität (Zuverlässigkeit) von Lästigkeitsurteilen geprüft werden. Um darüber hinaus auch die Bedeutung des Alters für die Lästigkeitsurteile zu ermitteln, wurden nicht nur 26 jüngere Probanden im Alter von 18 bis 30 Jahren, sondern auch 26 ältere Probanden im Alter von 40 bis 67 Jahren untersucht. Die Geräuschsequenz wurde insgesamt dreimal präsentiert, wobei die zeitliche Abfolge der Geräusche innerhalb jeder Sequenz randomisiert worden war.

Statistische Auswertung. Für jedes Vorbeifahrtgeräusch wurden Mittelwert und 95 %-Konfidenzintervalle der Lästigkeitsurteile berechnet. Anschließend wurden die Vorbeifahrtgeräusche in eine Lästigkeitsrangfolge gebracht. Der Effekt der Versuchsgruppierung (Stimulusdauer vs Maximalpegel) auf die Lästigkeit wurde als Gruppenfaktor einer Varianzanalyse der Geräusche der **VR I** bestimmt, die für die beiden Geräuschsequenzen bewertet wurde (Schnittmenge, $n = 15$). Die Berechnung der zeitlichen Stabilität (Retest-Reliabilität) der Lästigkeit beschränkte sich auf die Gruppe der 16 Probanden, die sowohl an **VR I** als auch an **VR II** teilgenommen hatten. Der Einfluss der zweistufigen Persönlichkeitsmerkmale *Alter* und *Lärmsensitivität* wurde in einer Varianzanalyse des Datensatzes der **VR II** bestimmt. Ferner wurde die Korrelation zwischen Lästigkeit und *Dauer* der Vorbeifahrten für die Gruppe pegelnormierter Geräusche ermittelt. Die Korrelation zwischen Lästigkeit und *Maximalpegel* der Vorbeifahrten wurde für 11 Sekunden dauernde Originalgeräusche berechnet. Im Arbeitspaket AP4 wurden Varianzanalysen in 3 Schritten durchgeführt. Mit einfaktoriellen Varianzanalysen wurden zunächst Unterschiede zwischen den Expositiongruppen (Verkehrslärmszenarien) bezüglich der abhängigen Variablen und der Verteilung der Persönlichkeitsmerkmale ermittelt. Für Variablen, bei denen sich ein Unterschied zeigte, wurde der Einfluss bestimmter Moderatoren geprüft. Schließlich wurden multifaktorielle Varianzanalysen unter Berücksichtigung aller signifikanten Moderatoren gerechnet.

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Versuchsreihe VR I, Lästigkeitsrangfolge einzelner Vorbeifahrtgeräusche

Einer ersten Analyse zufolge waren die Geräusche der Gruppe C (Abbildung 5-1) kontextunabhängig bewertet worden. Das Lästigkeitsurteil war also unabhängig davon, ob diese Geräusche eingebettet in Szenarien mit variierenden Maximalpegeln oder in Vorbeifahrtgeräusche mit variierender Dauer bewertet worden waren. Einen signifikanten Effekt hatte die Lärmempfindlichkeit ($p < 0.001$). Lärmempfindliche Personen empfanden die Geräusche lästiger als lärmunempfindliche Personen.

Abbildung 5-2 zeigt die nach zunehmender Lästigkeit geordnete Rangfolge der bewerteten Vorbeifahrtgeräusche. Die Tatsache, dass die auf einen Maximalpegel von $L_{Amax} = 80$ dB normierten Vorbeifahrtgeräusche ausschließlich im oberen Bereich der Rangfolge (rechter Teil der Abbildung) zu finden sind, verdeutlicht den dominierenden Einfluss des Maximalpegels auf das Lästigkeitsempfinden.

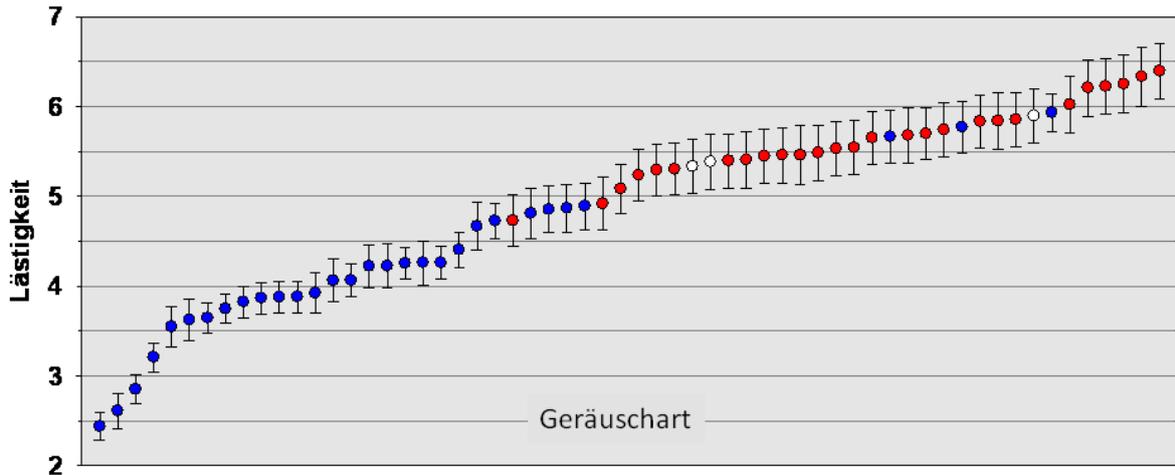


Abb. 5-2: Mittelwerte und Standardfehler der nach der Lästigkeit rangierten Vorbeifahrtgeräusche. Blau: Originalgeräusche, rot: pegelnormierte Geräusche, weiß: synthetische Geräusche.

5.2.2 Versuchsreihe VR II, Reliabilität der Geräuschbewertung

Fünfzehn Geräusche waren von 16 jüngeren Probanden nach einem 5-monatigen Intervall erneut bewertet worden. Obwohl nachweislich der Punktwolke in Abbildung 5-3 das individuelle Urteil zum Teil erheblich variiert, ergibt sich für die auf die Geräusche bezogenen Mittelwerte eine hohe Retest-Reliabilität mit $R^2 = 0.92$.

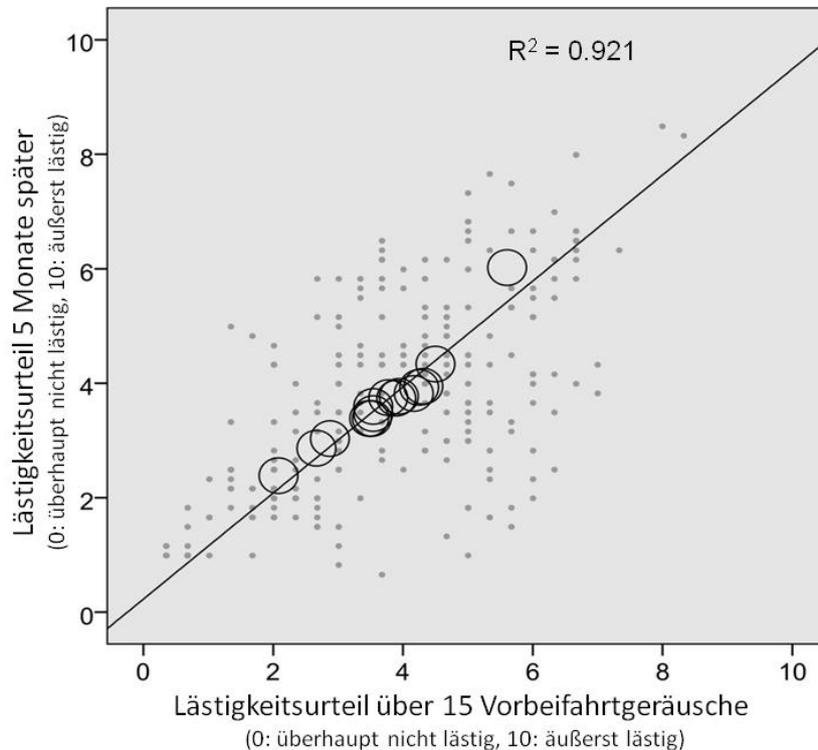


Abb. 5-3: Reliabilität der Lästigkeitsurteile (16 jüngere Probanden, 15 Geräusche) im Abstand von 5 Monaten. Punktwolke: personenbezogene Mittelwerte. Kreise: geräuschbezogene Mittelwerte.

5.2.3 Versuchsreihe VR II, Einfluss des Alters auf das Lästigkeitsurteil

Sowohl das Alter als auch die Lärmsensitivität der Probanden haben einen Einfluss auf die Geräuschbewertung. In Abbildung 5-4 sind die Lästigkeitsurteile von 26 Personen im Alter von 18 bis 30 Jahren für 30 Geräusche entsprechend ihres Rangs auf der Lästigkeitsskala dargestellt. Die Urteile von 26 weiteren Probanden im Alter von 40-67 Jahren lagen ausnahmslos über denen der jüngeren Probanden ($p < 0.001$). Ein entsprechender Unterschied zeigt sich bei den Urteilen von Probanden unterschiedlicher Lärmempfindlichkeit. Lärmempfindliche Probanden schätzen die Lästigkeit einzelner Vorbeifahrtgeräusche systematisch und hochsignifikant höher ein als lärmunempfindliche Probanden ($p < 0.001$).

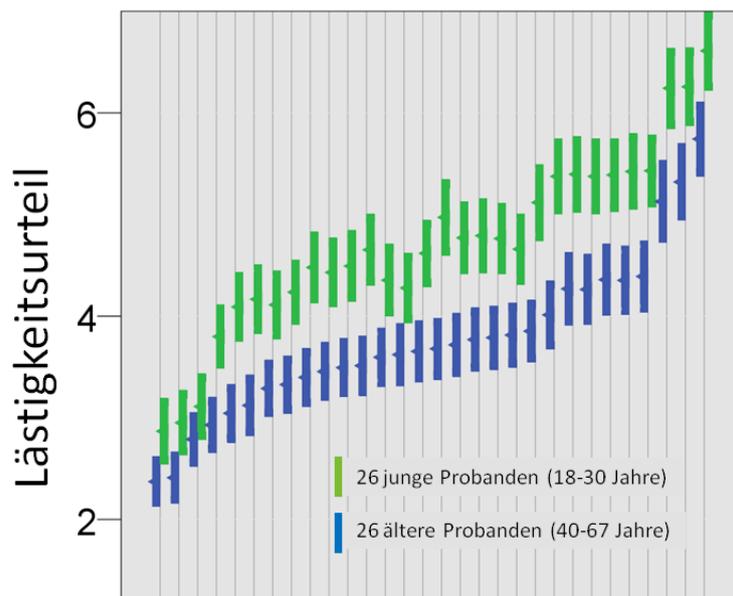


Abb. 5-4: Lästigkeit einzelner Vorbeifahrtgeräusche bei jüngeren (blau) und älteren (grün) Probanden in aufsteigender Folge nach den Urteilen der jüngeren Probanden rangiert (30 Originalgeräusche). Die nach links orientierten Pfeile kennzeichnen den Mittelwert, die Balken das 95 %-Konfidenzintervall.

5.2.4 Korrelation der Lästigkeit mit akustischen Eigenschaften

Die Lästigkeit einer Vorbeifahrt korreliert mit dem *Maximalpegel* des Geräusches sowohl bei parametrischer (Pearson) als auch bei nichtparametrischer (Spearman-Rho) Betrachtung des Zusammenhangs ($r = 0.34$, $p < 0.01$; $\phi = 0.31$, $p < 0.01$). Zwischen der Lästigkeit und der *Dauer* der Vorbeifahrten besteht hingegen kein signifikanter Zusammenhang ($r = -0.04$, $p < 0.01$). Der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman ist statistisch nicht signifikant ($p = 0.40$). Die Dauer der Vorbeifahrt

wurde daher bei der Bewertung zusammengesetzter Verkehrslärmszenarien (AP3, AP4) nicht weiter als experimenteller Faktor berücksichtigt.

6 Lästigkeit zehninütiger Geräuscszenarien (AP3)

Ziel des Arbeitspakets AP3 war die Bewertung kurzdauernder Geräuscszenarien (10 Minuten) unter dem Aspekt der Lästigkeit der einzelnen Vorbeifahrtgeräusche, der Variation der Maximalpegel, der Verkehrsrichtung und der Frage, ob sich aus Szenarien synthetischer Geräusche valide Schlussfolgerungen für die Einwirkung realer Geräusche ziehen lassen. Auf der Basis der Ergebnisse wurde über die Gestaltung zweistündiger Geräuscszenarien in AP4 entschieden.

6.1 Design und Ablauf der Versuche

Die methodischen Aspekte sind im Wesentlichen in Kapitel 3 abgehandelt, so dass hier nur noch das Design und der Ablauf der Versuche dargestellt werden.

Die Bedeutung der Makrostruktur des Straßenverkehrslärms wurde in 4 Teilstudien (TS) untersucht. Basierend auf den Erfahrungen früherer Untersuchungen war die Versuchszeit auf 2 Stunden begrenzt worden. Jede Sitzung begann, um den Probanden eine subjektive Skalierung zu ermöglichen, mit der zusätzlich präsentierten höchsten in der jeweiligen Teilstudie vorgesehenen akustischen Belastung. Weiterhin war in jeder Sitzung in randomisierter Position die Kontrollbedingung (verkehrliches Hintergrundrauschen mit $L_{Aeq} = 32$ dB) zu beurteilen. Insgesamt ergaben sich so in den Teilstudien TS1, TS2 und TS3 jeweils 10 zu bewertende Szenarien. Da jede Exposition von einer 5 Minuten dauernden Pause gefolgt war, war in jeder Sitzung die Bewertung von jeweils nur 8 Szenarien möglich. Da weiterhin nur unabhängige Stichproben untersucht worden waren, jeder Proband also nur eine einzige Sitzung absolvierte, wurde ein *nested design* gewählt.

Bei der statistischen Analyse wurden solche Szenarien, die in mehr als in nur einer Teilstudie bewertet worden waren, zusammengefasst, wobei sich die Anzahl der Bewertungen maximal auf bis zu 36 erhöhte (die Kontrollsituation wurde von insgesamt 136 Probanden beurteilt).

Mit den vier Teilstudien sollte geklärt werden, ob und inwieweit die Beurteilung der Lästigkeit eines Verkehrslärmszenarios bestimmt ist durch:

- die Lästigkeit der einzelnen Vorbeifahrtgeräusche (TS1)
- der Variation der Maximalpegel (TS2)
- der Verkehrsrichtung (Gegenverkehr, Einbahnverkehr, TS3)

- der "Natürlichkeit" der Geräusche (reale vs synthetische Geräusche, TS4).

Die Lärmwirkung wurde mittels mehrfaktorieller Varianzanalysen bestimmt.

6.2 Ergebnisse

TS1: Lästigkeit einzelner Vorbeifahrtgeräusche

Basierend auf der Bewertung in AP2 wurden Geräuschszenarien generiert, die aus Einzelvorbeifahrten mit geringer Lästigkeit bzw. höherer Lästigkeit nach der Normierung auf $L_{Amax} = 80$ dB zusammengesetzt waren. Die "Verkehrsstärken" betragen 90, 180, 360 und 720 Fz./h (Versuchsplan TS1-1). Da die zunehmende Verkehrsdichte notwendigerweise mit einem Anstieg des äquivalenten Pegels einhergeht, wurden – um eine vom äquivalenten Pegel unabhängige Bewertung zu ermöglichen – die gleichen Szenarien nach einer Normierung der Pegel bewertet. Als Referenzniveau wurde der äquivalente Pegel bei der Verkehrsstärke 360 Fz./h gewählt (Versuchsplan TS1-2).

Teilstudie TS1 – Lästigkeit einzelner Vorbeifahrtgeräusche

(Normierte) äquivalente Pegel für Szenarien mit Vorbeifahrtgeräuschen geringer und hoher Lästigkeit.

| Lästigkeit der Einzelvorbeifahrten | Versuchsplan TS1-1 | | | | Versuchsplan TS1-2 | | | |
|------------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|
| | L_{Aeq} ansteigend | | | | L_{Aeq} normiert | | | |
| | Verkehrsstärke Fz./h | | | | Verkehrsstärke Fz./h | | | |
| | 90 | 180 | 360 | 720 | 90 | 180 | 360 | 720 |
| Gering | 66 dB | 69 dB | 72 dB | 75 dB | 72 dB | 72 dB | 72 dB | 72 dB |
| Hoch | 66 dB | 69 dB | 72 dB | 75 dB | 72 dB | 72 dB | 72 dB | 72 dB |

In die mehrfaktoriellen Varianzanalysen gingen die unabhängigen Variablen "Lästigkeit" und "Verkehrsstärke" sowie die Moderatorvariablen "Geschlecht" und "Lärmempfindlichkeit" ein. Entsprechend der nachfolgenden Ergebnistabelle (Tab. 6-1) hatte die Lästigkeit der Einzelvorbeifahrten keine Bedeutung für die Bewertung der Lärmszenarien. Die Verkehrsdichte hatte jedoch einen hochsignifikanten Einfluss, solange der äquivalente Pegel mit der Verkehrsstärke zunahm, nicht aber wenn letzterer auf 72 dB(A) normiert worden war. Allerdings zeigt die Abbildung trotz gleichen äquivalenten Pegels für beide Geräuscharten (geringe, hohe Lästigkeit) eine mit der Verkehrsdichte leicht zunehmende Lästigkeit. Die Lärmempfindlichkeit hatte sowohl für die Bewertung von Szenarien, bei denen der äquivalente Pegel mit der Verkehrsstärke anstieg als auch für die Bewertung der auf einen äquivalenten Pegel von $L_{Aeq} = 72$ dB normierten Szenarien einen hochsignifikant moderierenden Effekt; das Geschlecht erwies sich für die Geräuschbewertung hingegen als

bedeutungslos. Basierend auf diesen Ergebnissen ist anzunehmen, dass die Verkehrsdichte einen geringeren Einfluss auf das Lästigkeitsurteil hat als der äquivalente Pegel.

Tab. 6-1: Bedeutung der Lästigkeit der Einzelvorbeifahrten für das Gesamturteil.

| ANOVA | Versuchsplan 1-1 | | Versuchsplan 1-2 | | |
|------------------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|---------------------------|--------|
| | | L _{Aeq} ansteigend | | L _{Aeq} normiert | |
| Variable | df | F | p-Wert | F | p-Wert |
| Lästigkeit der Einzelvorbeifahrten | 1 | 0,488 | 0,486 | 0,325 | 0,570 |
| Verkehrsstärke | 3 | 22,072 | < 0,001 | 0,996 | 0,398 |
| Lärmempfindlichkeit (Mediansplit) | 1 | 14,884 | < 0,001 | 10,702 | 0,001 |
| Geschlecht | 1 | 0,569 | 0,452 | 2,749 | 0,100 |

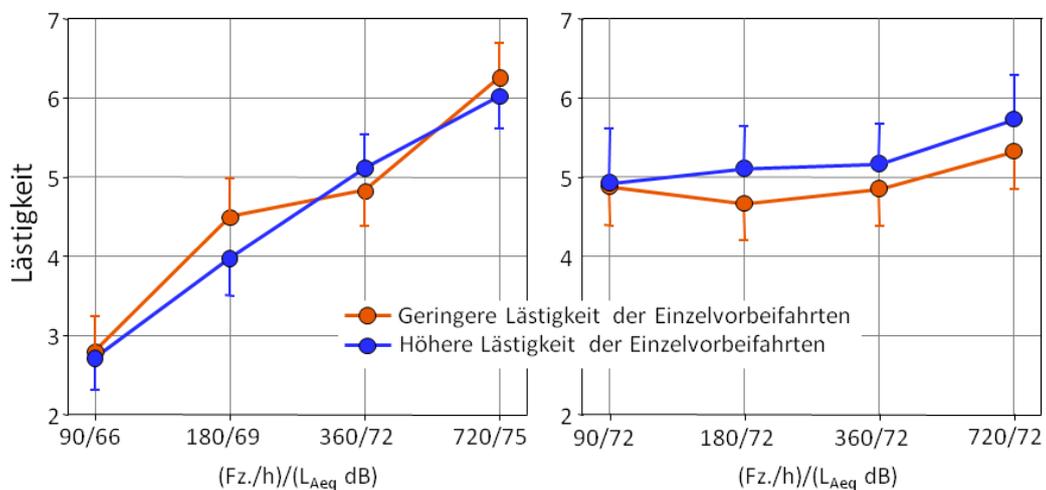


Abb. 6-1: Bedeutung der Lästigkeit der Einzelvorbeifahrten für das Gesamturteil.
Links: L_{Aeq} ansteigend. Rechts: L_{Aeq} normiert auf 72 dB.

TS2: Variabilität der Maximalpegel

Teilstudie TS2 fokussierte auf die Variabilität der Maximalpegel. Dazu wurden Geräuschszenarien bewertet, bei denen die Maximalpegel der Einzelvorbeifahrten in einem sehr engen (± 1 dB, konstant) bzw. in einem relativ weiten Bereich (20 dB, variabel) variierten. Die Verkehrsstärken betragen 90, 180, 360 und 720 Fz./h (Versuchsplan TS2-1).

Zusätzlich wurden Szenarien mit unterschiedlicher Verkehrsstärke aber normiertem äquivalentem Pegel bewertet. Da der für Teilstudie TS1-2 gewählte Normierungspegel von 72 dB(A) bei den stark variierenden Maximalpegeln der Einzelvorbeifahrten zu Werten von mehr als $L_{Amax} = 90$ dB(A) geführt hätte, wurde hier eine Normierung auf einen äquivalenten Pegel von 66 dB L_{Aeq} vorgenommen. Die "Verkehrsstärke" wurde nur in zwei Stufen, nämlich 180 und 720 Fz./h variiert. Da sich die beiden gewählten Verkehrsstärken um den Faktor 4 unterscheiden,

wurden darüber hinaus auf 60 dB L_{Aeq} normierte Geräuschszenarien generiert, was eine von der Verkehrsstärke unabhängige Bewertung des äquivalenten Pegels ermöglichte (Versuchsplan TS2-2).

Teilstudie – TS2 Variabilität der Maximalpegel

(Normierte) äquivalente Pegel für Szenarien mit geringer und hoher Variabilität der Maximalpegel.

| Maximalpegel der Einzelvorbeifahrten | Versuchsplan TS2-1 | | | | Versuchsplan TS2-2 | | | |
|--------------------------------------|----------------------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|
| | L_{Aeq} ansteigend | | | | L_{Aeq} normiert | | | |
| | Verkehrsstärke Fz./h | | | | Verkehrsstärke Fz./h | | | |
| | 90 | 180 | 360 | 720 | 180 | | 720 | |
| Geringe Variabilität | 66 dB | 69 dB | 72 dB | 75 dB | 60 dB | 66 dB | 60 dB | 66 dB |
| Hohe Variabilität | 66 dB | 69 dB | 72 dB | 75 dB | 60 dB | 66 dB | 60 dB | 66 dB |

Die mehrfaktorielle Varianzanalyse berücksichtigte die unabhängigen Variablen "Maximalpegel", "Verkehrsstärke" und "Äquivalenter Pegel", sowie die Moderatorvariablen "Lärmempfindlichkeit" und "Geschlecht". Der Tabelle 6-2 und der Abbildung 6-2 zufolge spielt die Variabilität der Maximalpegel für die Bewertung der Lästigkeit keine entscheidende Rolle. Der Einfluss der Verkehrsdichte auf das Lästigkeitsurteil war aber ebenso wie der des äquivalenten Pegels hochsignifikant. Auch der Einfluss der Lärmempfindlichkeit war hochsignifikant. Das Geschlecht erwies sich nur bei der Bewertung der normierten Geräusche als bedeutsam.

Tab. 6-2: Bedeutung der Variabilität der Maximalpegel der Einzelvorbeifahrten für das Gesamturteil.

| Variable | df | Versuchsplan 2-1 | | Versuchsplan 2-2 | |
|-----------------------------------|----|----------------------|---------|--------------------|---------|
| | | L_{Aeq} ansteigend | p-Wert | L_{Aeq} normiert | p-Wert |
| Maximalpegel (konstant, variabel) | 1 | 6,769 | 0,010 | 2,403 | 0,123 |
| Verkehrsstärke | 3 | 23,379 | < 0,001 | 13,782 | < 0,001 |
| Lärmempfindlichkeit (Mediansplit) | 1 | 11,162 | 0,001 | 10,034 | 0,002 |
| Geschlecht | 1 | 0,164 | 0,686 | 7,528 | 0,007 |
| Äquivalenter Pegel (L_{Aeq}) | | | | 31,321 | < 0,001 |

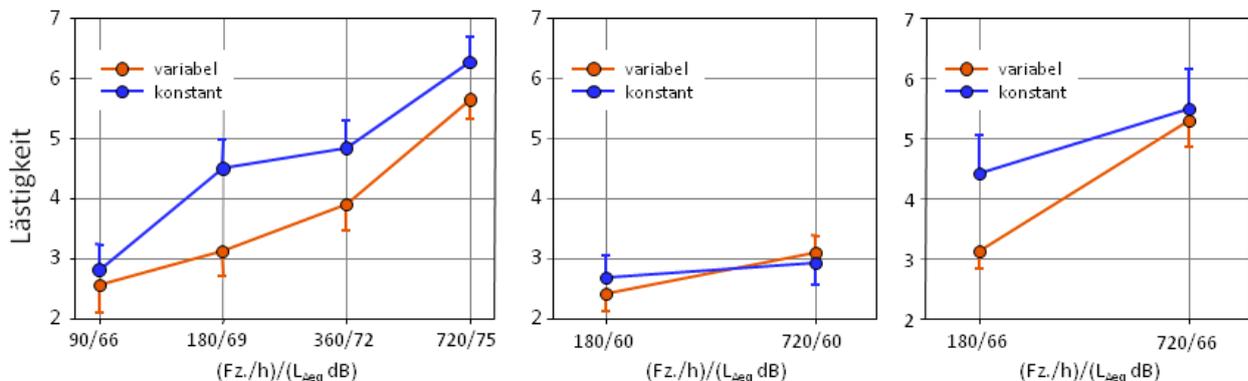


Abb. 6-2: Bedeutung der Variabilität der Maximalpegel für das Lästigkeitsurteil in Szenarien.

TS3: Verkehrsrichtung (Gegenverkehr vs Einbahnverkehr)

In Teilstudie TS3 wurden Szenarien, die dem Einbahnverkehr entsprechen mit Gegenverkehrsszenarien verglichen. Die Verkehrsstärke wurde in 2 Stufen variiert (180, 720 Fz./h), der äquivalente Pegel auf 60 dB(A) normiert (Versuchsplan TS3).

Teilstudie – TS3 Verkehrsrichtung

Normierte äquivalente Pegel für Einbahn- und Gegenverkehrsszenarien.

| Verkehrsrichtung | Versuchsplan 3 | |
|------------------|---------------------------|-------|
| | L _{Aeq} normiert | |
| | Verkehrsstärke Fz./h | |
| | 180 | 720 |
| Einbahnverkehr | 60 dB | 60 dB |
| Gegenverkehr | 60 dB | 60 dB |

In die Varianzanalyse gingen die unabhängigen Variablen "Gegenverkehr" und "Verkehrsstärke", sowie die Moderatorvariablen "Lärmsensitivität" und "Geschlecht" ein. Die Verkehrsrichtung hatte keinen signifikanten Effekt, während die Lästigkeit mit der Verkehrsdichte zunahm. In dieser Teilstudie waren weder die Lärmempfindlichkeit noch das Geschlecht für das Lästigkeitsurteil entscheidend.

Tab. 6-3: Bedeutung der Verkehrsrichtung der Einzelvorbeifahrten für das Gesamturteil.

| Versuchsplan TS3 | | | |
|-----------------------------------|----|-------|--------|
| L _{Aeq} normiert | | | |
| Variable | df | F | p-Wert |
| Einbahnverkehr, Gegenverkehr | 1 | 1,024 | 0,314 |
| Verkehrsstärke | 3 | 5,355 | 0,023 |
| Lärmempfindlichkeit (Mediansplit) | 1 | 1,410 | 0,238 |
| Geschlecht | 1 | 2,140 | 0,147 |

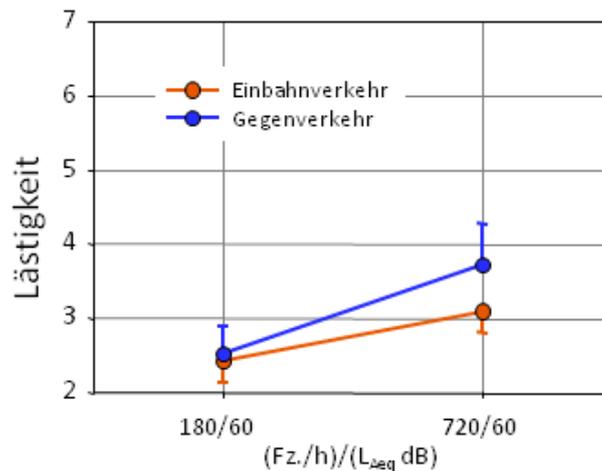


Abb. 6-3: Bedeutung der Verkehrsrichtung für die Lästigkeitsbewertung von Szenarien.

TS4: Reale vs synthetische Geräusche

In Teilstudie TS4 wurden die Aufzeichnungen realer Kfz-Vorbeifahrten und die synthetischer Vorbeifahrtgeräusche bewertet (Versuchsplan TS4-1). Bei gleich bewerteter Lästigkeit sollten die synthetischen Geräusche, die für Geschwindigkeiten von 40 – 100 km/h vorlagen, zur Untersuchung von Szenarien mit unterschiedlicher Geschwindigkeit genutzt werden. Zusätzlich wurden die entsprechenden Geräuschkategorien nach der Normierung der äquivalenten Pegel auf 72 dB(A) bewertet (Versuchsplan TS4-2).

Teilstudie TS4 – Reale vs synthetische Geräusche

(Normierte) äquivalente Pegel für Szenarien mit realen und synthetischen Vorbeifahrtgeräuschen.

| Geräuschart | Versuchsplan TS4-1 | | | | Versuchsplan TS4-2 | | | |
|------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | L _{Aeq} ansteigend | | | | L _{Aeq} normiert | | | |
| | Verkehrsstärke Fz./h | | | | Verkehrsstärke Fz./h | | | |
| | 90 | 180 | 360 | 720 | 90 | 180 | 360 | 720 |
| Reale Geräusche | 66 dB | 69 dB | 72 dB | 75 dB | 72 dB | 72 dB | 72 dB | 72 dB |
| Synthetische Geräusche | 66 dB | 69 dB | 72 dB | 75 dB | 72 dB | 72 dB | 72 dB | 72 dB |

In die Varianzanalyse gingen die unabhängigen Variablen "Geräuschart" und "Verkehrsstärke" sowie die Moderatorvariablen "Lärmsensitivität" und "Geschlecht" ein. Die Geräuschart war nur bei den nicht normierten Szenarien bedeutsam für das Lästigkeitsurteil, wobei die synthetischen Geräusche als lästiger empfunden wurden. Die Lästigkeit nahm sowohl bei den aus realen Vorbeifahrtgeräuschen zusammengesetzten Szenarien als auch bei Szenarien aus synthetischen Vorbeifahrtgeräuschen signifikant mit der Verkehrsstärke zu (Abb. 6-4); sie fiel bei den lärmempfindlichen Personen signifikant höher als bei den lärmunempfindlichen Personen aus. Das Geschlecht spielte nur bei der Bewertung der normierten Geräusche eine Rolle.

Tab. 6-4: Bewertung von Szenarien mit synthetischen und realen Vorbeifahrtgeräuschen.

| Variable | df | Versuchsplan TS4-1 | | Versuchsplan TS4-2 | |
|-----------------------------------|----|-----------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|
| | | L _{Aeq} ansteigend | F | L _{Aeq} normiert | p-Wert |
| Geräuschart (real, synthetisch) | 1 | 4,309 | 0,040 | 0,047 | 0,828 |
| Verkehrsstärke | 3 | 17,187 | < 0,001 | 4,433 | 0,005 |
| Lärmempfindlichkeit (Mediansplit) | 1 | 19,341 | < 0,001 | 13,386 | < 0,001 |
| Geschlecht | 1 | 0,042 | 0,838 | 7,281 | 0,008 |

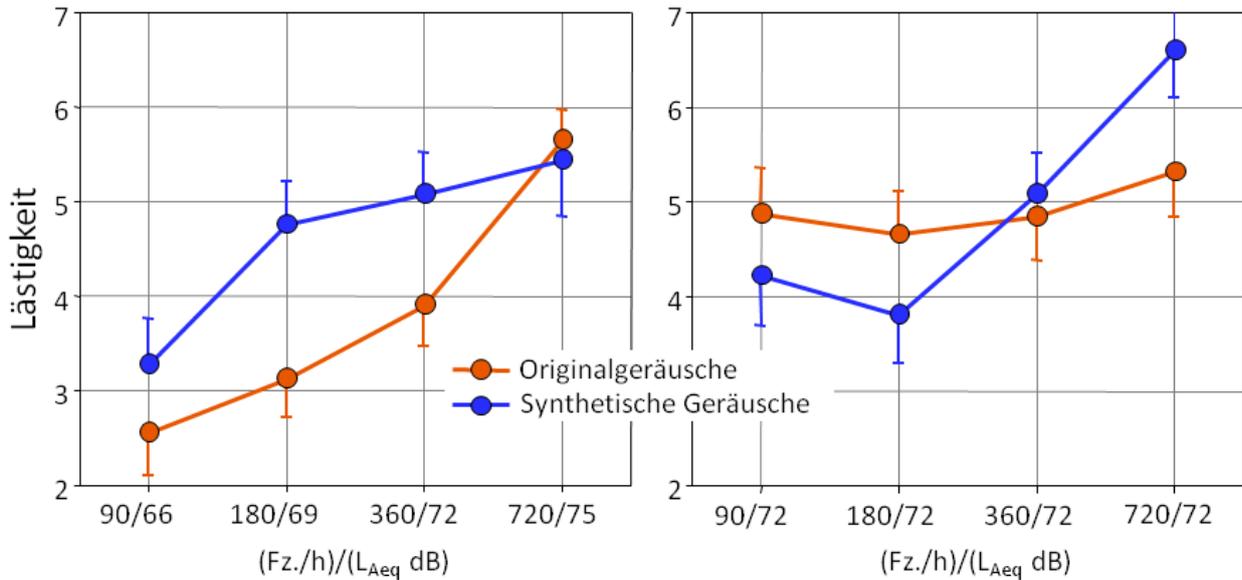


Abb. 6-4: Bewertung von Szenarien mit synthetischen und realen Vorbeifahrtgeräuschen.
Links: L_{Aeq} ansteigend. Rechts: L_{Aeq} normiert.

6.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

In Tabelle 6-5 sind die Ergebnisse der Teilstudien TS1 bis TS4 zusammengefasst. Danach spielt die Geräuschart (Lästigkeit der Einzelvorbeifahrten, Variabilität der Maximalpegel, Verkehrsrichtung) für die Bewertung der Verkehrslärmszenarien keine Rolle. Lediglich die Szenarien mit synthetischen Geräuschen werden im Vergleich zu Szenarien aus Aufnahmen realer Geräusche als lästiger empfunden. Die Untersuchung von Szenarien mit unterschiedlicher Geschwindigkeit der Vorbeifahrten war also auf der Basis der synthetischen Geräusche nicht angezeigt. Die Verkehrsdichte ist für die Beurteilung der Lästigkeit hingegen von überragender Bedeutung auch dann, wenn die äquivalenten Pegel auf einen bestimmten Wert normiert werden (mit einer Ausnahme). Der äquivalente Pegel hatte, wie erwartet, für das Lästigkeitsurteil eine signifikante Bedeutung.

Als bedeutsamer Moderator in nahezu allen Teiluntersuchungen bestätigte sich auch in dieser Studie die Lärmempfindlichkeit, wohingegen das Geschlecht bei der Präsentation der "natürlichen" Szenarien keine, bei der Präsentation der normierten Szenarien jedoch in zwei Fällen einen signifikanten Effekt hatte, wobei die Frauen stärker auf die Geräusche reagieren als die Männer.

Tab. 6-5: Übersicht über die Ergebnisse der Teilstudien TS1 bis TS4.
 +: signifikanter Effekt auf das Lästigkeitsurteil, -: kein signifikanter Effekt.

| | TS1 | TS2 | TS3 | TS4 |
|-------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| | Lästigkeit Einzelvorbei- fahrten | Variabilität der Maximal- pegel | Einbahn-, Gegen- verkehr | Reale vs synthetische Geräusche |
| Aufsteigender L_{Aeq} | | | | |
| Geräuschart | -- | -- | | + |
| Verkehrsdichte | + | + | | + |
| Lärmempfindlichkeit | + | + | | + |
| Geschlecht | -- | -- | | -- |
| L_{Aeq} normiert | | | | |
| Geräuschart | -- | -- | -- | -- |
| Verkehrsdichte | -- | + | + | + |
| Äquivalenter Pegel | | + | | |
| Lärmempfindlichkeit | + | + | -- | + |
| Geschlecht | -- | + | -- | + |

7 Lästigkeit zweistündiger Geräuschszenarien (AP4)

Im Arbeitspaket AP4 wurden zweistündige Geräuschszenarien beurteilt. Entsprechend der Annahme, dass die Lästigkeit eines Geräusches aus der Störung aktueller Tätigkeiten resultiert, wurden während der Geräuschemposition mehrere die Aufmerksamkeit und das Arbeitsgedächtnis beanspruchende Tätigkeiten ausgeführt. Die Lästigkeit wurde jeweils nach Beendigung jedes einzelnen der insgesamt 6 Tests eingeschätzt, ebenso die aktuelle Anstrengung und die Stimmung.

7.1 Design und Ablauf der Versuche

Die im Arbeitspaket AP4 verwendeten Instrumente zur Bestimmung von Persönlichkeitsmerkmalen, zur Beurteilung der Lästigkeit, der Anstrengung und der Stimmung sowie die Beschreibung der Leistungstests finden sich in Kapitel 3.

Die Lästigkeit von Verkehrslärmszenarien resultiert insbesondere aus der Störung aktueller Tätigkeiten. Deshalb wurden in diesem Arbeitspaket AP4 – der Realsituation entsprechend – während der Lärmexposition verschiedene Tätigkeiten ausgeübt. Dazu wurden standardisierte Leistungstests gewählt. Für die Bewertung der Geräuscheinwirkung standen daher nicht nur die Lästigkeitsurteile, sondern auch die Leistungsparameter der während der Exposition durchgeführten Tests zur Verfügung.

Da das Ausmaß der Lästigkeit ebenso wie das der Leistungsbeeinträchtigung durch verschiedene individuelle und situative Faktoren beeinflusst werden kann, wurden darüber hinaus einige Persönlichkeitsmerkmale als potentielle Moderatoren mit Hilfe standardisierter und validierter Fragebögen erfasst und in den statistischen Analysen berücksichtigt.

Das generelle Design der Untersuchung ist in Tabelle 7-1 grafisch wiedergegeben. Jeder Versuch erstreckte sich über eine Dauer von 125 Minuten, in denen kontinuierlich eines der in Tabelle 7-2 aufgelisteten Verkehrsszenarien bzw. das Kontrollgeräusch (das verkehrliche Hintergrundrauschen mit $L_{Aeq} = 32$ dB appliziert worden war. Die Experimente begannen jeweils um 9 Uhr, 12 Uhr und 15 Uhr.

Unmittelbar vor dem Einsetzen der Exposition erhielten die Probanden eine Lernaufgabe mit figuralen und verbalen Elementen. Das Gelernte wurde nach Beendigung der Exposition abgefragt. Auf eine initiale 5 Minuten dauernde Referenzphase, in der die Probanden nach etwa 3 Minuten die Lästigkeit des

Geräusches und die aktuelle Stimmung bewertet hatten, wurden die folgenden 120 Minuten in 6 Abschnitte mit einer Dauer von jeweils 20 Minuten unterteilt. Jeder dieser Abschnitte begann in permutierter Folge mit einem der nachfolgenden je 15 Minuten dauernden Tests.

- *Simple Reaction Time Test (SRT)*
- *Selektive Aufmerksamkeit (Go/Nogo)*
- *Arbeitsgedächtnis (ARGE)*
- *Geteilte Aufmerksamkeit (GETA)*
- *Stroop-Test*
- *Grammatical Reasoning Test (GRT).*

Unmittelbar nach Beendigung jedes Tests wurden die Lästigkeit, die aktuelle Anstrengung und das Befinden mittels geeigneter Skalen (Kap. 3.3) angegeben.

Da für die Untersuchungen ein *between subject design* gewählt worden war, absolvierte jeder Proband nur einen Versuch. Einen Tag vor dem Versuch waren die Hörschwelle gemessen, die Persönlichkeitsmerkmale mittels verschiedener Fragebögen bestimmt und die 6 Leistungstests erläutert und eingeübt worden (siehe Material und Methoden, Kapitel 3).

Tab. 7-1: Experimentelles Design der Untersuchungen zur Bestimmung der Lästigkeit unter Berücksichtigung der aktuellen Tätigkeit.

| | Lern- und Gedächtnisaufgabe | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | Kurze Pause | | | | | |
| 6 Tests à 15 min, + je 5 min Pause, permutierte Folge gesamt 120 min | Test 1 (SRT) | Test 2 (GRT) | Test 3 (GNG) | Test 4 (Stroop) | Test 5 (ARGE) | Test 6 (GETA) |
| Befragung 5 min | Lästigkeit Anstrengung Befinden | Lästigkeit Anstrengung Befinden | Lästigkeit Anstrengung Befinden | Lästigkeit Anstrengung Befinden | Lästigkeit Anstrengung Befinden | Lästigkeit Anstrengung Befinden |
| | Abfrage Lern- und Gedächtnisaufgabe | | | | | |

7.2 Unabhängige, abhängige und intervenierende Variablen

Unabhängige Variablen. Basierend auf den Ergebnissen des Arbeitspakets AP3 wurden, abgesehen von der Kontrollsituation (verkehrliches Hintergrundrauschen, $L_{Aeq} = 32$ dB) die in Tabelle 7-2 aufgelisteten acht Verkehrslärmszenarien

ausgewählt. Mit diesen Szenarien wurde die Bedeutung der Verkehrsdichte, des äquivalenten Pegels, der Variabilität der Maximalpegel und des Gegenverkehrs auf das Lästigkeitsurteil und auf die Leistung in 3 Teilstudien (Kap. 7.3.3) untersucht.

Tab. 7-2: Unabhängige Variablen: Verkehrslärmszenarien.

| Kontrollsituation | Verkehrliches Hintergrundrauschen $L_{Aeq} = 32$ dB (Lärm 0) | |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Verkehrslärmszenarien | Verkehrsstärke | |
| | 180 Fz./h | 720 Fz./h |
| Hohe Variabilität der Maximalpegel | L_{Aeq} : 66 dB (Lärm 1) | L_{Aeq} : 66 dB (Lärm 2) |
| | L_{Aeq} : 60 dB (Lärm 3) | L_{Aeq} : 60 dB (Lärm 4) |
| Geringe Variabilität der Maximalpegel | L_{Aeq} : 60 dB (Lärm 5) | L_{Aeq} : 60 dB (Lärm 6) |
| Gegenverkehr | L_{Aeq} : 60 dB (Lärm 7) | L_{Aeq} : 60 dB (Lärm 8) |

Abhängige Variablen. Zu den abhängigen Variablen gehören die Bewertung der Experimentalsituation (Lästigkeit des Geräusches, Anstrengung bezogen auf die Testaufgaben, aktuelle Stimmung). Die Leistungsvariablen ergeben sich aus den 6 in permutierter Folge durchgeführten Leistungstests. Aus diesen Tests wurden jeweils qualitative und quantitative Parameter abgeleitet. Die abhängigen Variablen sind im Ergebnisteil in den Tabellen 7-3 und 7.4 (Kap. 7.3.1) aufgelistet.

Moderatorvariablen. Lästigkeit und Leistung können durch bestimmte Persönlichkeitsmerkmale wie auch durch situative Faktoren beeinflusst sein. Mehrere hier erfasste und in der statistischen Analyse berücksichtigte Moderatoren sind in Tabelle 7-4 (Kap. 7.3.2) aufgelistet.

7.3 Ergebnisse

Jedes einzelne Verkehrslärmszenario war von 13 bis 14, die Kontrollsituation von 19 Probanden beurteilt worden. Daran waren jeweils die etwa gleiche Anzahl von Männern und Frauen beteiligt.

Die statistische Analyse erfolgte in drei Schritten. Mit einfaktoriellen Varianzanalysen wurden zunächst Unterschiede zwischen den insgesamt 9 Expositiongruppen (Verkehrslärmszenarien) bezüglich der abhängigen Variablen und der Verteilung von Persönlichkeitsmerkmalen ermittelt. Für diejenigen abhängigen Variablen, bei denen sich ein Unterschied zeigte, wurde mit weiteren Varianzanalysen der Einfluss individueller und situativer Faktoren geprüft. Signifikante Moderatorvariablen wurden dann in der anschließenden multifaktoriellen Varianzanalyse berücksichtigt.

7.3.1 Ermittlung von Unterschieden zwischen den Expositionsgruppen

Abhängige Variablen

Subjektive Beurteilungen. Zunächst wurden die nach jedem Leistungstest eingeschätzten Variablen (Lästigkeit, Anstrengung, Stimmung, Müdigkeit, Unruhe) auf Unterschiede zwischen den Expositionsgruppen hin untersucht. Die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalyse zeigt Tabelle 7-3. Signifikante Unterschiede ließen sich nur für das Lästigkeitsurteil sichern. Die auf die einzelnen Lärmszenarien bezogene Lästigkeit ist in Abbildung 7-1 dargestellt. Hier wird deutlich, dass die Lästigkeit der Verkehrslärmszenarien höher als in der Kontrollsituation (verkehrliches Hintergrundrauschen) ausfiel und zwischen den einzelnen Szenarien stark variierte.

Tab. 7-3: Unterschiede der subjektiven Beurteilungen zwischen den Expositionsgruppen.

| ANOVA einfaktorielle Varianzanalysen | Versuchsplan 4-1 | | | |
|--------------------------------------|------------------|----|------|--------------|
| | N | df | F | p-Wert |
| Lästigkeit | 8 | 8 | 2,36 | 0,022 |
| Anstrengung) | 8 | 8 | 1,11 | 0,365 |
| Stimmung (MDBF) | 8 | 8 | 0,39 | 0,924 |
| Müdigkeit (MDBF) | 8 | 8 | 0,96 | 0,471 |
| Unruhe (MDBF) | 8 | 8 | 0,74 | 0,659 |

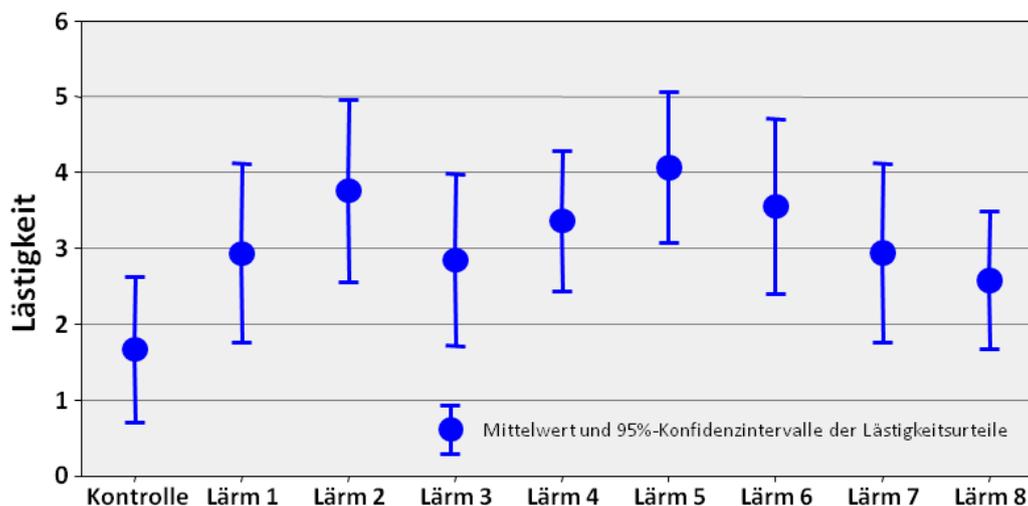


Abb. 7-1: Mittelwerte und 95 %-Konfidenzintervalle der Lästigkeit der Verkehrslärmszenarien

Leistungsparameter. Für die Leistungsparameter sind die Ergebnisse der einfaktoriellen Varianzanalysen in Tabelle 7-4 aufgeführt. Für das mit dem LGT erfasste Figural- und Verbalgedächtnis, das durch eine Lernphase vor und durch Abfragen des Gelernten nach der Exposition geprüft worden war, fanden sich keine

signifikanten Unterschiede zwischen den Experimentalgruppen. Von den qualitativen und quantitativen Leistungsparametern der während der Exposition bearbeiteten 6 Leistungstests ergaben sich lediglich für die Anzahl der Fehler im auditiven Teil des Tests zur geteilten Aufmerksamkeit (GETAa) signifikante Unterschiede zwischen den Expositionsgruppen. Wie Abbildung 7-2 zeigt war die Anzahl der Fehler jedoch nur unter Einwirkung der mit $L_{Aeq} = 66$ dB präsentierten Szenarien erhöht.

Tab. 7-4: Unterschiede der Leistungsparameter zwischen den Expositionsgruppen.

| ANOVA einfaktorielle Varianzanalysen | Versuchsplan 4-1 | | | |
|------------------------------------------|------------------|----|-------|--------|
| | N | df | F | p-Wert |
| Figurales Gedächtnis (LGT) | | 8 | 0,92 | 0,507 |
| Verbalgedächtnis (LGT) | | 8 | 0,70 | 0,688 |
| SRT: Reaktionszeit | 124 | 8 | 1,65 | 0,120 |
| SRT: Reaktionen < 150 ms, > 1500 ms | 124 | 8 | 1,46 | 0,179 |
| Go/Nogo: Anzahl Fehler | 117 | 8 | 1,06 | 0,398 |
| Go/Nogo: Reaktionszeit | 117 | 8 | 0,65 | 0,733 |
| ARGE: Reaktionszeit | 112 | 8 | 0,44 | 0,894 |
| ARGE: Anzahl Fehler | 112 | 8 | 1,75 | 0,095 |
| GETAa: Reaktionszeit | 110 | 8 | 0,81 | 0,599 |
| GETAa: Anzahl Fehler | 110 | 8 | 2,28 | 0,028 |
| GETAv: Reaktionszeit | 110 | 8 | 1,25 | 0,277 |
| GETAv: Anzahl Fehler | 110 | 8 | 0,79 | 0,609 |
| STROOP kongruente Reize: Reaktionszeit | 115 | 8 | 0,37 | 0,934 |
| STROOP kongruente Reize: Anzahl Fehler | 115 | 8 | 0,85 | 0,559 |
| STROOP inkongruente Reize: Reaktionszeit | 115 | 8 | 0,48 | 0,870 |
| STROOP inkongruente Reize: Anzahl Fehler | 115 | 8 | 0,74 | 0,653 |
| GRT: Anzahl richtiger Lösungen | 124 | 8 | 1,572 | 0,141 |
| GRT Bearbeitungszeit, richtige Lösungen | 124 | 8 | 1,264 | 0,269 |

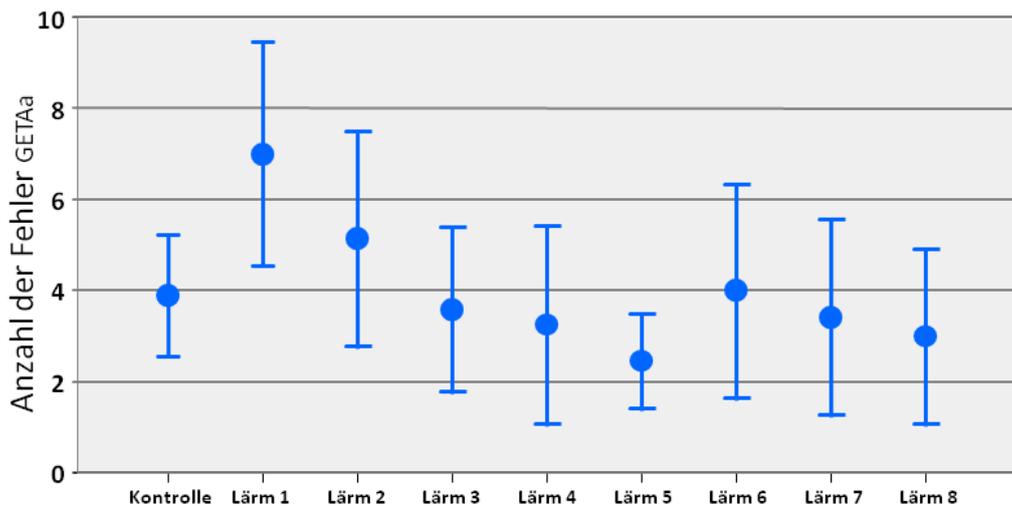


Abb. 7-2: Mittelwerte und 95 %-Konfidenzintervalle der Fehleranzahl im auditiven Teil der Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit bei den verschiedenen Verkehrslärmszenarien

Moderatorvariablen. Die Verteilung der Persönlichkeitsmerkmale, die das Lästigkeitsurteil und/oder die Leistung beeinflussen können, war in allen Expositionsgruppen nahezu gleich. Es gab keinerlei Gruppenunterschiede bezüglich der Merkmale "Kognitive Vermeidung" (ABI-E, $p = 0,85$), der mit dem NEO-FFI ermittelten Faktoren "Offenheit" ($p = 0,14$), "Neurotizismus" ($p = 0,74$), "Extraversion" ($p = 0,19$), "Gewissenhaftigkeit" ($p = 0,99$) und "Verträglichkeit" ($p = 0,69$) oder für die mit dem HADS-D erfassten Merkmale "Ängstlichkeit" ($p = 0,32$) und "Depressivität" ($p = 0,29$). Diese Faktoren wurden in der weiteren statistischen Analyse daher nicht mehr berücksichtigt. Ein Gruppenunterschied ergab sich lediglich für den ABI-E Faktor "Vigilanz", der aber nicht in die folgenden Analysen einging, da für deren Einfluss keine eindeutige Hypothese formuliert werden konnte.

7.3.2 Einfluss der Moderatorvariablen auf signifikante Effekte

Mit einfaktoriellen Varianzanalysen wurde die Wirkung möglicher Moderatoren auf das Lästigkeitsurteil und auf die Leistungsparameter geprüft. Es wurde jeweils der Einfluss des Geschlechts und des Persönlichkeitsmerkmals "Lärmempfindlichkeit" sowie der situativen Faktoren "Tageszeit", zu der die Experimente stattfanden und der "Belastungsdauer", d.h. die Reihenfolge der während einer Sitzung nach jedem Test abgegebenen Urteile geprüft. Bei der Analyse der Lästigkeit wurden zudem die "Tätigkeiten" bzw. die 6 verschiedenen Leistungstests bezüglich ihrer Wirkung auf das Lästigkeitsempfinden untersucht.

Lästigkeit. Nachweislich Tabelle 7-5 hatten nur die "Lärmempfindlichkeit" und die "Tätigkeit" einen signifikanten Einfluss auf das Lästigkeitsurteil.

Tab. 7-5: Einfluss von Moderatorvariablen auf das Lästigkeitsurteil.

| ANOVA Lästigkeit | | | |
|----------------------------|----|-------|--------------|
| | df | F | p-Wert |
| Geschlecht | 1 | 2,34 | 0,128 |
| Lärmempfindlichkeit | 1 | 17,06 | 0,000 |
| Tageszeit | 2 | 1,70 | 0,187 |
| Belastungsdauer | 5 | 0,08 | 0,995 |
| Tätigkeit | 5 | 23,78 | 0,000 |

Keinen Effekt auf das Lästigkeitsurteil hatte das Geschlecht. Auch die Tageszeit, zu der die Untersuchungen vorgenommen wurden, spielte hierbei keine Rolle. Dies gilt auch für die Belastungsdauer. Urteile über die Lästigkeit der Verkehrslärmszenarien waren während jeder Exposition insgesamt 7-mal abgegeben worden, während der initialen 5 Minuten dauernden Referenzphase und nach jedem einzelnen Test. Wie sich aus Abbildung 7-3 ergibt, sind die Lästigkeitsurteile unmittelbar nach den

Leistungstests höher als in der initialen Referenzphase, unterscheiden sich untereinander aber kaum ($df = 6$, $F = 0.925$, $p = 0.476$).

Demnach konnten bezüglich der Lästigkeit in den multifaktoriellen Varianzanalysen auch das Geschlecht, die Tageszeit und die Reihenfolge der Tests bzw. der Beurteilungen außer Acht gelassen werden.

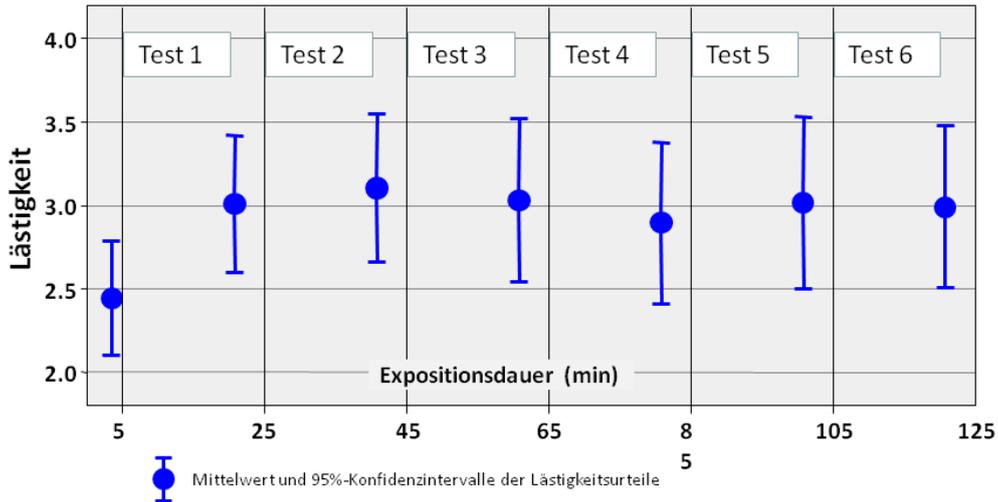


Abb. 7-3: Mittelwerte und Konfidenzintervalle der Lästigkeitsurteile im Zeitverlauf.

In Abbildung 7-4 sind die Lästigkeitsurteile nach den Tests aufsteigend sortiert. Dabei zeigt sich, dass die Lästigkeit der Geräuschexposition während der Go/Nogo-Aufgabe (selektive Aufmerksamkeit) am geringsten und während der GETAa (geteilte Aufmerksamkeit, auditiver Teil) am stärksten beeinflusst war.

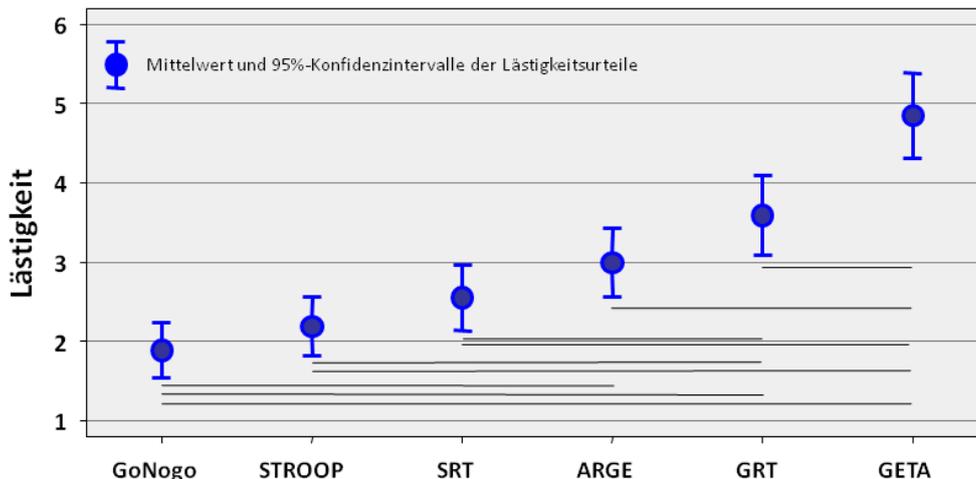


Abb. 7-4: Mittelwerte und 95 %-Konfidenzintervalle der Lästigkeitsurteile über alle Expositionen rangiert nach den Lästigkeitsurteilen unmittelbar nach den Tests. Die waagerechten Linien geben signifikante Unterschiede ($p < 0.01$) zwischen den verschiedenen Tests an.

Abbildung 7-5 gibt die Lästigkeit für jeden Test und jede Exposition wieder. Die Abbildung macht deutlich, dass die Lästigkeitsrangfolge bezüglich der Tests, abgesehen von der Kontrollsituation mit wenigen Ausnahmen bei allen Verkehrslärmszenarien gleich bleibt.

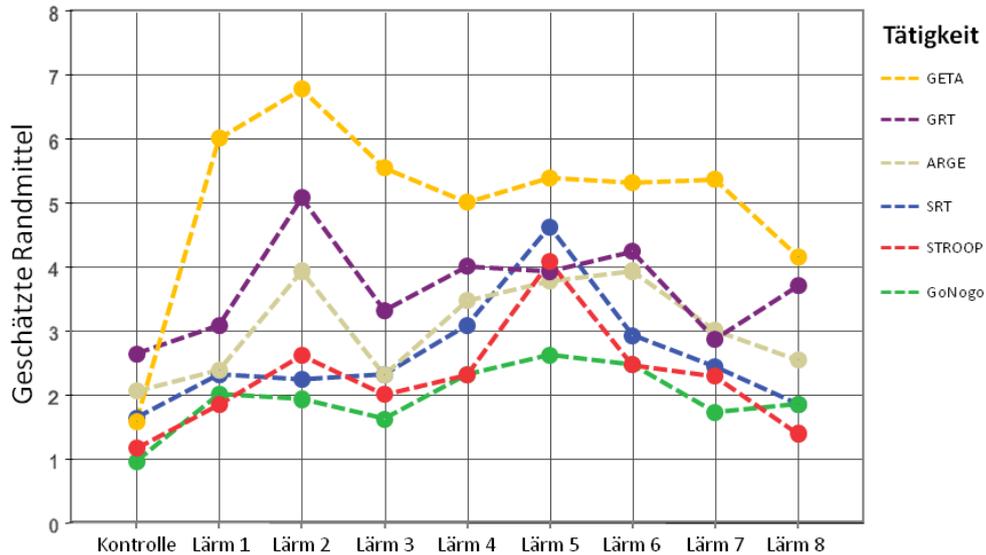


Abb. 7-5: Mittelwerte der Lästigkeitsurteile getrennt für die einzelnen Tests und Verkehrslärmszenarien.

Abbildung 7-6 gibt den Einfluss der Lärmempfindlichkeit auf das Lästigkeitsurteil wieder, das bei den Lärmempfindlichen in jeder Situation (bei jedem Test) deutlich höher als bei den lärmunempfindlichen Personen ausfällt.

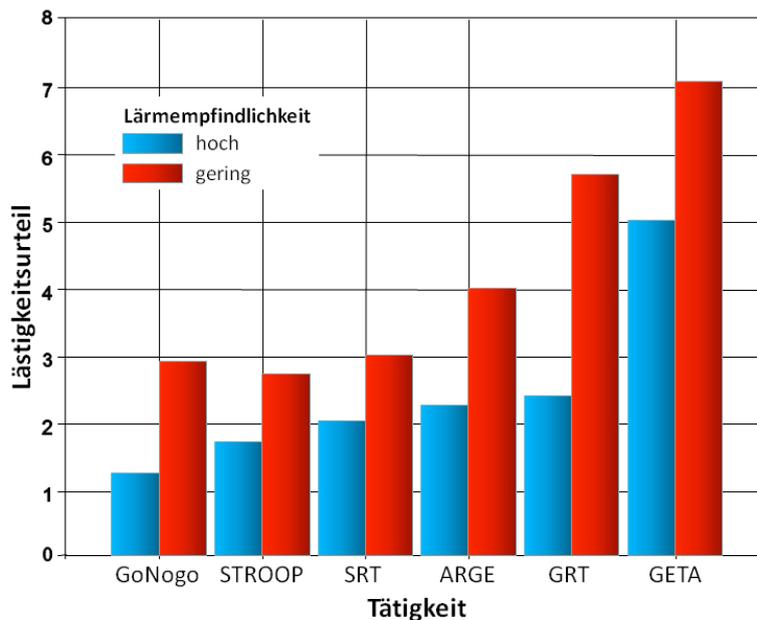


Abb. 7-6: Lästigkeitsurteile von Personen hoher und niedriger Lärmempfindlichkeit bei der Ausübung unterschiedlicher Leistungstests.

Leistung. Tabelle 7-6 zeigt den Einfluss des Geschlechts, der Lärmempfindlichkeit, der Tageszeit und der Belastungsdauer auf die Anzahl der Fehler im auditiven Teil der Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit (GETAa). Dabei erwies sich keiner der möglichen Moderatoren als signifikant.

Tab. 7-6: Einfluss von Moderatorvariablen auf die Anzahl der Fehler in auditiven Teil der Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit (GETAa).

| ANOVA GETAa | | | |
|---------------------|----|------|--------|
| | df | F | p-Wert |
| Geschlecht | 1 | 0,12 | 0,732 |
| Lärmempfindlichkeit | 1 | 1,65 | 0,201 |
| Tageszeit | 2 | 0,08 | 0,920 |
| Belastungsdauer | 5 | 2,18 | 0,062 |

7.3.3 Multifaktorielle Varianzanalysen

Multifaktorielle Varianzanalysen wurden nur für diejenigen abhängigen Variablen gerechnet, die signifikant mit den Geräuschszenarien variierten. Dabei wurden, abgesehen von den akustischen Variablen (äquivalenter Pegel, Verkehrsstärke) die nach der einfaktoriellen Varianzanalyse signifikant moderierenden Einflüsse berücksichtigt. Die Analysen wurden in drei Teilstudien vorgenommen.

TS1: Äquivalenter Pegel

Teilstudie TS1 konzentrierte sich auf die Bedeutung des äquivalenten Pegels für das Lästigkeitsurteil. Die Szenarien bestanden aus Vorbeifahrten mit hoher Variabilität der Maximalpegel (20 dB(A)), die mit den Verkehrsstärken 180 und 720 Fz./h und mit äquivalenten Pegeln (L_{Aeq}) von jeweils 60 und 66 dB(A) appliziert worden waren.

Teilstudie – TS1 Äquivalenter Pegel

| Äquivalenter Pegel (L_{Aeq}) | Verkehrsstärke (Fz./h) | |
|-------------------------------------|---------------------------|--------|
| | 180 | 720 |
| 66 dB | Lärm 1 | Lärm 2 |
| 60 dB | Lärm 3 | Lärm 4 |

Lästigkeit. Nach Tabelle 7-7 war das Lästigkeitsurteil weder durch den äquivalenten Pegel noch durch die Verkehrsstärke beeinflusst, während die aktuelle Tätigkeit und die Lärmempfindlichkeit einen hochsignifikanten Einfluss auf das Lästigkeitsurteil hatten. Darüber hinaus ergab sich eine Wechselwirkung von Tätigkeit und Lärmempfindlichkeit.

Tab. 7-7: Bedeutung des äquivalenten Pegels und der Verkehrsstärke für das Lästigkeitsurteil.

| TS1 – Abhängige Variable: Lästigkeit | | | |
|---------------------------------------------|-------|--------------------|--------------|
| | df | F | p-Wert |
| <i>Within-subjects Effekte</i> | | | |
| | | Greenhouse-Geisser | |
| Tätigkeit | 3,747 | 38,72 | 0,000 |
| Tätigkeit * Äquivalenter Pegel | 3,747 | 1,38 | 0,247 |
| Tätigkeit * Verkehrsstärke | 3,747 | 1,27 | 0,287 |
| Tätigkeit * Lärmempfindlichkeit | 3,747 | 3,17 | 0,017 |
| <i>Between-subjects Effekte</i> | | | |
| Äquivalenter Pegel | 1 | 0,75 | 0,391 |
| Verkehrsstärke | 1 | 1,14 | 0,291 |
| Lärmempfindlichkeit | 1 | 15,44 | 0,000 |
| Äquivalenter Pegel * Verkehrsstärke | 1 | 0,10 | 0,754 |
| Äquivalenter Pegel * Lärmempfindlichkeit | 1 | 2,30 | 0,137 |
| Verkehrsstärke * Lärmempfindlichkeit | 1 | 0,001 | 0,974 |

Leistung. Die Beeinträchtigung im GETAa ist entscheidend durch den äquivalenten Pegel beeinflusst, nicht jedoch durch die Verkehrsstärke (Tab. 7-8). In Abbildung 7-7 wird evident, dass eine Zunahme des äquivalenten Pegels mit einer Zunahme der Fehler einhergeht; die Zunahme der Verkehrsstärke ist bei dem höheren äquivalenten Pegel aber mit einer Abnahme der Fehlerhäufigkeit assoziiert.

Tab. 7-8: Bedeutung des äquivalenten Pegels und der Verkehrsstärke für die Anzahl der Fehler in auditiven Teil der Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit (GETAa).

| TS1 – Abhängige Variable: GETAa | | | |
|----------------------------------------|----|------|--------------|
| | df | F | p-Wert |
| <i>Between-subjects Effekte</i> | | | |
| Äquivalenter Pegel | 1 | 6,66 | 0,014 |
| Verkehrsstärke | 1 | 1,13 | 0,293 |
| Interaktion | 1 | 0,55 | 0,463 |

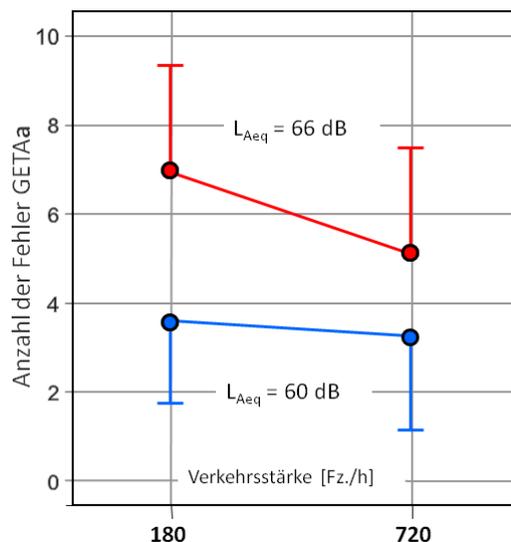


Abb. 7-7: Anzahl der Fehler im auditiven Teil des Tests zur geteilten Aufmerksamkeit (GETAa).

TS2: Maximalpegelvariabilität

Teilstudie TS2 prüfte den Effekt von Geräuschkennszenarien mit unterschiedlicher Variabilität der Maximalpegel. Die zu beurteilenden Szenarien wurden mit 180 und 720 Fz./h, mit hoher (20 dB) und geringer Variabilität (2 dB) der Maximalpegel präsentiert. Der äquivalente Pegel war auf $L_{Aeq} = 60$ dB normiert.

Teilstudie – TS2 Maximalpegelvariabilität

| Maximalpegel der Einzelvorbeifahrten | Verkehrsstärke (Fz./h) | |
|--------------------------------------|------------------------|--------|
| | 180 | 720 |
| variabel | Lärm 3 | Lärm 4 |
| konstant | Lärm 5 | Lärm 6 |

Lästigkeit. Die Lästigkeit der Szenarien war (siehe Tab. 7-9) signifikant allein durch die Tätigkeit beeinflusst, nicht aber durch die Variabilität der Maximalpegel oder durch die Verkehrsstärke. Auch die Lärmempfindlichkeit hatte hier keinen Einfluss.

Tab. 7-9: Bedeutung der Variabilität der Maximalpegel der Einzelvorbeifahrten für das Gesamturteil.

| TS2 – Abhängige Variable: Lästigkeit | | | |
|---------------------------------------------|----|--------------------|--------------|
| | df | F | p-Wert |
| <i>Within-subjects Effekte</i> | | | |
| | | Greenhouse-Geisser | |
| Tätigkeit | 5 | 38,72 | 0,000 |
| Tätigkeit * Maximalpegelvariabilität | 5 | ,63 | 0,681 |
| Tätigkeit * Verkehrsstärke | 5 | ,93 | 0,465 |
| Tätigkeit * Lärmempfindlichkeit | 5 | ,90 | 0,483 |
| <i>Between-subjects Effekte</i> | | | |
| Maximalpegelvariabilität MaxVar | 1 | 1,21 | 0,278 |
| Verkehrsstärke | 1 | ,001 | 0,977 |
| Lärmempfindlichkeit | 1 | 1,68 | 0,202 |
| MaxVar * Verkehrsstärke | 1 | ,43 | 0,518 |
| MaxVar * Lärmempfindlichkeit | 1 | ,74 | 0,396 |
| Verkehrsstärke * Lärmempfindlichkeit | 1 | ,46 | 0,502 |

Leistung. Nachweislich Tabelle 7-10 ist die Anzahl der Fehler im GETAa weder durch die Variabilität der Maximalpegel noch durch die Verkehrsstärke beeinflusst.

Tab. 7-10: Bedeutung der Variabilität der Maximalpegel der Einzelvorbeifahrten für die Anzahl der Fehler in auditiven Teil der Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit (GETAa).

| TS2 – Abhängige Variable: GETAa | | | |
|----------------------------------------|----|------|--------|
| | df | F | p-Wert |
| <i>Between-subjects Effekte</i> | | | |
| Maximalpegelvariabilität | 1 | 0,05 | 0,829 |
| Verkehrsstärke | 1 | 0,50 | 0,485 |
| Interaktion | 1 | 1,20 | 0,279 |

TS3: Gegenverkehr

Mit Teilstudie TS3 war die Bedeutung der Verkehrsrichtung zu klären. Es wurden je 2 Einbahn- und Gegenverkehrsszenarien mit den Verkehrsstärken 180 und 720 Fz./h und einem auf 60 dB(A) normierten äquivalenten Pegel appliziert.

Teilstudie – TS3 Verkehrsrichtung

| Verkehrsrichtung | Verkehrsstärke (Fz./h) | |
|------------------|------------------------|--------|
| | 180 | 720 |
| Einbahnverkehr | Lärm 3 | Lärm 4 |
| Gegenverkehr | Lärm 7 | Lärm 8 |

Lästigkeit. Weder die Verkehrsrichtung noch die Verkehrsstärke waren für das Lästigkeitsurteil von Bedeutung. Die aktuelle Tätigkeit (der Leistungstest) hatte aber, ebenso wie die individuelle Lärmempfindlichkeit, einen hochsignifikanten Einfluss.

Tab. 7-11: Bedeutung der Verkehrsrichtung für das Lästigkeitsurteil.

| TS3 – Abhängige Variable: Lästigkeit | | | |
|---------------------------------------------|-------|--------------------|--------------|
| | df | F | p-Wert |
| <i>Within-subjects Effekte</i> | | | |
| | | Greenhouse-Geisser | |
| Tätigkeit | 3,849 | 26,02 | 0,000 |
| Tätigkeit * Verkehrsrichtung | 3,849 | ,41 | 0,793 |
| Tätigkeit * Verkehrsstärke | 3,849 | 2,30 | 0,063 |
| Tätigkeit * Lärmempfindlichkeit | 3,849 | 1,85 | 0,123 |
| <i>Between-subjects Effekte</i> | | | |
| Verkehrsrichtung | 1 | ,09 | 0,768 |
| Verkehrsstärke | 1 | ,05 | 0,826 |
| Lärmempfindlichkeit | 1 | 8,51 | 0,005 |
| Verkehrsrichtung * Verkehrsstärke | 1 | ,22 | 0,642 |
| Verkehrsrichtung * Lärmempfindlichkeit | 1 | ,37 | 0,545 |
| Verkehrsstärke * Lärmempfindlichkeit | 1 | ,27 | 0,609 |

Leistung. Wie Tabelle 7-12 zeigt, haben weder die Verkehrsrichtung noch die Verkehrsstärke einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Fehler im GETAa.

Tab. 7-12: Bedeutung der Verkehrsrichtung für die Anzahl der Fehler in auditiven Teil der Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit (GETAa).

| TS3 – Abhängige Variable: GETAa | | | |
|----------------------------------------|----|------|--------|
| | df | F | p-Wert |
| <i>Between-subjects Effekte</i> | | | |
| Verkehrsrichtung | 1 | 0,05 | 0,821 |
| Verkehrsstärke | 1 | 0,17 | 0,684 |
| Interaktion | 1 | 0,00 | 0,964 |

7.3.4 Zusammenfassung

Insgesamt zeigte sich ein hochsignifikanter Einfluss der aktuellen Tätigkeit und der Lärmempfindlichkeit auf das Lästigkeitsurteil, wohingegen weder der äquivalente Pegel, die Variabilität der Maximalpegel oder die Verkehrsrichtung noch die Verkehrsstärke das Lästigkeitsurteil moderierten. Einen Einfluss auf die Leistung hatte lediglich der äquivalente Pegel.

Tab. 7-13: Übersicht über die Ergebnisse der Teilstudien TS1 bis TS3.
 +: signifikanter Effekt auf das Lästigkeitsurteil, -: kein signifikanter Effekt.

| | TS1 Äquivalenter Pegel | TS2 Variabilität der Maximal- pegel | TS3 Einbahn-, Gegen- verkehr |
|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Lästigkeit | | | |
| Tätigkeit | + | + | + |
| Geräuschart | -- | -- | -- |
| Verkehrsdichte | -- | -- | -- |
| Lärmempfindlichkeit | + | -- | + |
| Leistung | | | |
| Geräuschart | + | -- | -- |
| Verkehrsdichte | -- | -- | -- |

8 Diskussion

Angesichts der gravierenden Folgen des Verkehrslärms für Befinden, Leistung und Gesundheit wird die Lärmbekämpfung zu einem essentiellen Element eines umfassenden Gesundheitsschutzes. Prioritär ist dabei die Begrenzung der Emission durch technische Maßnahmen an jedem einzelnen Verkehrsmittel. Diese Maßnahme ist jederzeit und flächendeckend wirksam, stellt sich jedoch nur "schleichend" über Zeiträume von mehreren Jahren ein. Deshalb sind ergänzende verkehrlenkende Maßnahmen unerlässlich, die im Gegensatz zu den technischen Maßnahmen zwar regional begrenzt aber kurzfristig umsetzbar sind.

8.1 Kurzfassung

Ziel. Ziel der Untersuchungen war es, makrostrukturelle Merkmale des Straßenverkehrslärms zu untersuchen und zu ermitteln, ob deren Änderung zur Reduktion der Lästigkeit des Straßenverkehrslärms beitragen kann. Dazu wurden Situationen untersucht, in denen sich die Probanden auf die Geräusche konzentrierten und Situationen, in denen sie standardisierte Aufgaben bearbeiteten.

Es wurde angenommen, dass die Lästigkeit von Verkehrslärm bestimmt ist durch

- den äquivalenten Pegel
- die Verkehrsstärke
- die Lästigkeit der Einzelvorbeifahrten
- die Variabilität der Maximalpegel
- die Dauer der einzelnen Vorbeifahrten und
- die Verkehrsrichtung (Einbahn-, Gegenverkehr).

Methodik. Bewertet wurden einzelne Vorbeifahrtgeräusche sowie zehn Minuten und zwei Stunden dauernde Verkehrslärmszenarien. Die Szenarien wurden aus einzelnen Vorbeifahrtgeräuschen eines umfangreichen Geräuschkatalogs zusammengestellt (Pkws, 40-60 km/h, 15 m von der Fahrbahnmitte) und für die Perzeption im Innenraum bei gekipptem Fenster bearbeitet. Alle Geräusche und Szenarien wurden von jungen Probanden (18-30 Jahre), ein Teil der Vorbeifahrtgeräusche auch von älteren Probanden (40-67 Jahre) beurteilt. Die zeitliche Stabilität der Lästigkeitsurteile über Einzelvorbeifahrten wurde bei 16 Probanden durch eine nach 5 Monaten wiederholte Untersuchung geprüft.

Ergebnisse. Das Lästigkeitsurteil über die einzelnen Vorbeifahrtgeräusche war

- unabhängig von dem Geräuschpool, in den sie eingebettet waren

- nach 5 Monaten bezogen auf den Gruppenmittelwert trotz intraindividuell erheblicher Abweichungen nahezu identisch
- mit dem Maximalpegel der Vorbeifahrtgeräusche korreliert
- unabhängig von der Geräuschkdauer
- bei älteren Probanden signifikant höher als bei jüngeren
- bei lärmempfindlichen Personen weit höher als bei unempfindlichen Personen.

Für die Lästigkeit der 10 Minuten dauernden Verkehrslärmszenarien spielte deren Zusammensetzung (Lästigkeit der Einzelvorbeifahrten, Variabilität der Maximalpegel, Verkehrsrichtung) keine Rolle. Szenarien aus synthetischen Vorbeifahrtgeräuschen waren aber lästiger als Szenarien, die aus realen Vorbeifahrtgeräuschen bestanden und erlauben daher keine validen Rückschlüsse auf die Lästigkeit realer Szenarien. Die äquivalenten Pegel und die Verkehrsdichte sind für die Beurteilung der Lästigkeit entscheidend.

Ein bedeutsamer Moderator in nahezu allen Teiluntersuchungen war die Lärmempfindlichkeit. Das Geschlecht wirkte sich nur bei der Präsentation normierter Szenarien aus, wobei Frauen stärker reagierten als Männer.

Da die Lästigkeit des Verkehrslärms weitgehend aus der Störung aktueller Tätigkeiten resultiert, wurden während zweistündiger Expositionen standardisierte Leistungstests bearbeitet. Für die Bewertung der Geräusche standen daher die nach jedem Test beurteilte Lästigkeit sowie die Leistung während der Tests zur Verfügung.

Signifikante Unterschiede zwischen den Verkehrslärmszenarien ergaben sich lediglich für die Lästigkeit und die Anzahl der Fehler im auditiven Teil der Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit (GETAa). Mehrfaktoriellen Varianzanalysen zufolge war die Lästigkeit weder durch die äquivalenten Pegel, die Variabilität der Maximalpegel oder die Verkehrsrichtung sondern nur durch die aktuelle Tätigkeit und die Lärmempfindlichkeit beeinflusst. Die Leistung im GETAa war durch den äquivalenten Pegel beeinflusst.

8.2 Methodische Aspekte

Für die Bewertung der Lästigkeit wurde die international standardisierte ICBEN-Skala genutzt (ISO TS 15666:2003). Diese wurde mit dem Ziel der Vergleichbarkeit der in den verschiedenen Ländern erhobenen Belästigung bei Anwohnern frequentierter Verkehrswege entwickelt. Sie wird mit gutem Erfolg aber auch zunehmend zur Erfassung der Lästigkeit einzelner Geräusche oder komplexer Szenarien in

laborexperimentellen Untersuchungen genutzt [Kaczmarek et al. 2006, Sandrock et al. 2008, 2009]. Dies gilt auch für die vorliegende Untersuchung. Die mit der ICBEN-Skala erfasste Lästigkeit einzelner Vorbeifahrten war unabhängig von dem Geräuschpool, in den diese eingebunden waren. Darüber hinaus war das Lästigkeitsurteil zeitlich stabil, wie Wiederholungsuntersuchungen nach 5 Monaten zeigten.

Der vorliegende Bericht beschränkt sich auf die Vorbeifahrtgeräusche von Pkws. Schwerverkehr war nicht einbezogen worden, nachdem eigene Untersuchungen bereits gezeigt hatten, dass ein solcher Mischverkehr zu einer höheren Belästigung führt und unter Umständen die Interpretation der hier erarbeiteten Ergebnisse erschwert haben würde.

8.3 Bedeutung akustischer Parameter für das Lästigkeitsurteil

Synthetische Geräusche. Vom Institut für Akustik der Adam-Mickiewicz-Universität in Poznań (Polen) waren synthetische Geräusche mit simulierten Geschwindigkeiten von 40 bis 100 km/h zur Verfügung gestellt worden. Mit diesen Geräuschen sollten Szenarien mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten generiert werden. Valide Rückschlüsse auf die Lästigkeit realer Szenarien setzen aber eine mit realen Szenarien vergleichbare Bewertung voraus. In die Lästigkeitsbewertung einzelner Vorbeifahrten wurden daher auch 3 synthetische Vorbeifahrgeräusche mit Geschwindigkeiten von 60, 85, 100 km/h und einem Maximalpegel von $L_{Amax} = 80$ dB einbezogen. Diese in Abbildung 5-2 weiß gekennzeichnete Geräusche wurden ebenso lästig empfunden wie die realen auf einen Maximalpegel von $L_{Amax} = 80$ dB normierten Vorbeifahrtgeräusche. Die aus synthetischen Vorbeifahrtgeräuschen zusammengesetzten 10 Minuten dauernden Szenarien wurden allerdings signifikant lästiger beurteilt als die Szenarien aus realen Vorbeifahrtgeräuschen. Über die Ursache dieser Diskrepanz kann hier nur spekuliert werden. Möglicherweise werden die eher uniformen synthetischen Geräusche erst bei mehrfacher Wiederholung, also in Szenarien als unnatürlich und damit lästiger als reale Geräusche empfunden. Daher wurde auf die aufwändige Generierung von Szenarien mit unterschiedlicher Geschwindigkeit verzichtet. Die Aufnahme von realen Vorbeifahrten mit unterschiedlicher Geschwindigkeit konnte im Rahmen der finanziellen und zeitlichen Rahmenbedingungen in diesem Forschungsvorhaben nicht geleistet werden. Mit diesen synthetischen Geräuschen hatten Kaczmarek et al. [2006] aber auf der Basis einzeln bewerteter Geräusche eine mit der Geschwindigkeit zunehmende Lästigkeit

ermittelt, wozu die damit verbundene Änderung der Maximalpegel und der Frequenzspektren beitragen. Signifikant unterschiedliche Lästigkeitsurteile sind dann zu erwarten, wenn der Geschwindigkeitsunterschied im Mittel mindestens 13,4 km/h beträgt.

Vorbeifahrtdauer. Bei der Lästigkeitsbeurteilung einzelner Vorbeifahrtgeräusche erwies sich die Dauer der Vorbeifahrt als unerheblich. Dies ist möglicherweise auf die nur begrenzte Spannweite der Vorbeifahrtdauern zurückzuführen, die zwischen 8.5 und 15.9 Sekunden lag. Möglicherweise wäre, wenn in dieser Untersuchung auch Lkw-Vorbeifahrten untersucht worden wären, ein solcher Zusammenhang evident geworden. Allerdings hätte ein solches Ergebnis dann wegen der von Pkws abweichenden spektralen Zusammensetzung nicht allein auf die Dauer der Vorbeifahrt zurückgeführt werden können. Darüber hinaus ist aus eigenen Untersuchungen, in denen der Lkw-Anteil systematisch variiert worden war, bereits bekannt, dass die Lästigkeit in Übereinstimmung mit Björkman [1991] mit dem Lkw-Anteil zunimmt [Sandrock et al. 2008, 2009].

Maximalpegel. Die Maximalpegel der einzelnen Vorbeifahrten variierten zwischen $L_{Amax} = 58.3$ dB und $L_{Amax} = 80.4$ dB. Zwischen diesen und der von den Probanden empfundenen Lästigkeit bestand eine signifikante Korrelation. Dies war, abgeleitet aus zahlreichen Publikationen, in denen entsprechende Zusammenhänge für die Vorbeifahrtgeräusche von Schienen- und von Straßenverkehrsmitteln beschrieben wurden, auch so erwartet worden [z.B. Sandrock et al. 2008]. Deshalb waren, um ein vom Maximalpegel unabhängiges Urteil über die Lästigkeit zu ermöglichen, die Geräusche in einem weiteren Schritt nach der Normierung auf einen einheitlichen Maximalpegel von $L_{Amax} = 80$ dB erneut hinsichtlich ihrer Lästigkeit bewertet worden. Wie sich aus Abbildung 5-2 ergibt, in der die Originalgeräusche blau und die normierten Geräusche rot gekennzeichnet sind, variiert das Lästigkeitsurteil nach der Normierung in einem weit engeren Bereich als das Urteil über die entsprechenden Originalgeräusche.

Variabilität der Maximalpegel. Die signifikante Korrelation zwischen Maximalpegel und Lästigkeit der Einzelvorbeifahrten stützt nun wiederum die Plausibilität der Annahme, dass Verkehrslärmszenarien, in denen die Maximalpegel stark variieren, deutlich lästiger beurteilt werden als Szenarien, in denen die Maximalpegel mehr oder weniger konstant bleiben. Die entsprechende Bewertung der kurzdauernden (10 Minuten) wie auch der länger dauernden (2 Stunden) Expositionen bestätigte dies jedoch nicht.

Äquivalente Pegel und Verkehrsstärke. Zahlreiche laborexperimentelle Untersuchungen, vor allem aber Feldstudien und Metaanalysen zur Frage der Belästigung bzw. der Lästigkeit des Verkehrslärms zeigten immer wieder hoch signifikante Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen dem äquivalenten Pegel und der Lästigkeit/Belästigung [Hellbrück et al. 2005, Miedema & Oudshoorn 2001, Miedema & Vos 1998], wobei die Steigung der Regressionsgeraden ebenso wie die Varianz zum Teil erheblich voneinander abweichen. In diesen Untersuchungen resultiert die Zunahme der äquivalenten Pegel in aller Regel aus der Zunahme des Verkehrsaufkommens, teilweise aber auch aus einer zunehmend geringeren Entfernung zur Schallquelle. Um solche Konfundierungen zu vermeiden, wurden hier mehrere Szenarien generiert, bei denen die äquivalenten Pegel (1) mit der Verkehrsdichte zunahm und (2) trotz zunehmender Verkehrsdichte gleich blieben. Während die Bewertung der zehn Minuten dauernden Szenarien eine eindeutige Abhängigkeit vom äquivalenten Pegel und von der Verkehrsdichte ergab, spielten diese beiden akustischen Parameter bei der Präsentation der zweistündigen Szenarien keine Rolle. Die Ursache dieser diskrepanten Beurteilung ist mutmaßlich durch die Tätigkeit bedingt, die während der zweistündigen Exposition durchgeführt worden war.

8.4 Bedeutung von Moderatorvariablen für das Lästigkeitsurteil

Aktuelle Tätigkeit, Leistung. Während der zweistündigen Szenarien bearbeiteten die Probanden in randomisierter Folge 6 verschiedene Leistungstests, den Simple Reaction Time Test (SRT) sowie Aufgaben zur Selektiven Aufmerksamkeit (Go/Nogo), zum Arbeitsgedächtnis (ARGE), zur Geteilten Aufmerksamkeit (GETA), den Stroop-Test und den Grammatical Reasoning Test (GRT). Diese Tätigkeiten erwiesen sich für das Lästigkeitsurteil von größter Bedeutung und waren vermutlich ursächlich für die diskrepante Beurteilung der zehnminütigen und der zweistündigen Szenarien. Während der zehnminütigen Szenarien konzentrierten sich die Probanden auf die wiederholte, alle 2 Minuten fällige Beurteilung der Lästigkeit der Geräusche. Dabei zeigte sich der erwartete hoch signifikante Einfluss der äquivalenten Pegel und der Verkehrsstärke auf das Lästigkeitsurteil. Während der zweistündigen Szenarien konzentrierten sich die Probanden hingegen auf die ihnen gestellten Aufgaben, die sie entsprechend der Anweisung, so schnell und so genau wie möglich bearbeiteten. Ganz offensichtlich kann die auf eine bestimmte Aufgabe gerichtete Aufmerksamkeit also, wie schon von anderen Autoren beschrieben, zwar einerseits durch Umweltlärm abgelenkt werden, andererseits aber auch zum

Ausblenden bzw. zur eingeschränkten Wahrnehmung von Umweltgeräuschen führen [Botteldooren et al. 2008, Fritz et al. 2007, Knudsen 2007]. In der vorliegenden Untersuchung hatte die Tätigkeit ganz offensichtlich ein Ausblenden der externen Störung bewirkt.

Das Lästigkeitsurteil fiel, wie in Abbildung 7-3 gezeigt, bei den einzelnen Tests unterschiedlich aus. Es ist bei der Aufgabe zur selektiven Aufmerksamkeit (Go/Nogo) am niedrigsten und beim auditiven Teil der Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit (GETAa) am höchsten. Die Rückwirkung der Tätigkeit auf das Lästigkeitsurteil wird durch die Ergebnisse anderer Autoren gestützt. So beschreiben Hellbrück et al. [2005] einen deutlichen Einfluss der Art der Aufgabe auf die Lästigkeitseinschätzung von Schallszenarien. Sandrock et al. [2009] beobachteten dementsprechend eine mit der Schwierigkeit der Aufgabe ansteigende Lästigkeit. Kjellberg et al. [1996] beobachteten entsprechend bei Personen mit stark beanspruchenden Tätigkeiten eine höhere Lärmbelastigung als bei Personen mit weniger anspruchsvollen Tätigkeiten. Hellbrück et al. [2005] schließen, dass möglicherweise nicht mehr das Geräusch selbst, sondern die Schallwirkung in Form der erlebten Störung der Tätigkeit beurteilt wird. Abgeleitet aus Abbildung 7-5, in der die Lästigkeit in der Kontrollsituation bei allen Aufgaben etwa gleich war und erst bei den unterschiedlichen Szenarien variierte, ist aber davon auszugehen, dass das Lästigkeitsurteil aus der Wirkung des Lärms auf die Erledigung der Aufgabe resultiert.

Eine Grundannahme in dieser Studie war, dass die Lästigkeit des Verkehrslärms weitgehend aus der Störung der aktuellen Tätigkeit resultiert. Damit war auch ein Leistungsabfall infolge der Lärmeinwirkung erwartet worden. Dies war jedoch - ebenso wie in vielen anderen Studien auch - nicht der Fall. Ein Leistungsabfall in Form vermehrter Fehler ergab sich nur in einem einzigen Test, bei dem im Gegensatz zu den anderen Aufgaben akustische Informationen verarbeitet werden mussten (GETAa). Die erhöhte Lästigkeit ist damit nicht das Ergebnis einer Leistungsbeeinträchtigung, steht aber mit der Art der Aufgabe in Beziehung und resultiert mutmaßlich aus einer erhöhten Konzentration, um die Leistung aufrecht zu erhalten.

In der Tat stehen Erwachsenen eine Reihe im Laufe des Lebens entwickelter Kompensationsmechanismen und besondere Strategien zur Bewältigung definierter Aufgaben, auch unter erschwerten Bedingungen zu Verfügung. Diese Annahme resultiert schon aus der Tatsache, dass lärmbedingte Leistungsbeeinträchtigungen

bei Kindern regelmäßig zu beobachten sind. So beobachtete Hygge [2003] in einem Feldexperiment mit Kindern zwischen 12 und 14 Jahren unter Einwirkung von Verkehrsgeräuschen mit $L_{Aeq} = 66$ dB Störungen des Langzeitgedächtnisses. In der RANCH-Study (Road Traffic and Aircraft Exposure in Children's Cognition and Health: Exposure Effect Relationships and Combined Effects [Stansfeld et al. 2005]), in der 2.832 Schüler aus 89 Schulen im Umfeld der Großflughäfen Madrid, London-Heathrow und Amsterdam-Schiphol untersucht wurden, ergaben sich Beeinträchtigungen des Textverstehens und des Gedächtnisses (Wiedererkennung).

In den hier durchgeführten 6 Tests war lediglich die Leistung im auditiven Teil der Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit (GETAa) beeinträchtigt und die Anzahl der Fehler unter Einwirkung von Lärm erhöht. Bei diesen musste gleichzeitig mit einer visuellen Aufgabe eine alternierende Folge zweier Töne verfolgt und die Aufeinanderfolge zweier gleicher Töne signalisiert werden. Es leuchtet ein, dass diese Aufgabe, bei der die akustischen Signale möglicherweise (teil-)maskiert und daher nur eingeschränkt wahrnehmbar waren, stärker als jeder der visuellen Tests beeinträchtigt war. Deshalb ist auch plausibel, dass diese Beeinträchtigung mit dem äquivalenten Pegel zunahm.

Eine effektive Strategie bei der Bewältigung mentaler Aufgaben ist die willentliche Unterdrückung der Reaktion auf ablenkende externe Reize. Dies ist bei unterschiedlichen Modalitäten der relevanten Testreize und der irrelevanten Störreize (visuelle Aufgaben – akustische Störung) leichter als bei gleichen Modalitäten (auditive Aufgaben – akustische Störung). In beiden Fällen ist aber (im ersten weniger als im zweiten Fall) zu erwarten, dass die erhöhte Konzentration mentale Kapazitäten bindet, die für die weitere Informationsverarbeitung nicht mehr zur Verfügung stehen. Die Folgen sind u.a. eine schnellere Ermüdung [Surprenant 1999], die in dieser Untersuchung zwar nicht erhoben wurde, aber angenommen werden kann.

Lärmempfindlichkeit. Bei den meisten der in dieser Untersuchung vorgenommenen Beurteilungen erwies sich die Lärmempfindlichkeit als stärkster Moderator der empfundenen Lästigkeit. Dies war auch so erwartet worden. Die Lärmempfindlichkeit ist ein eigenständiges und über die Zeit stabiles Persönlichkeitsmerkmal [Stansfeld 1992]. Sie führt nach Miedema und Vos [1999] zu einer stärkeren Wahrnehmung und Bewertung lärmbedingter Störungen, hier der Anstrengung, die erforderlich ist, um eine bestimmte Leistungen zu erbringen. Dafür sprechen die Ergebnisse von Sandrock et al. [2009], wonach lärmempfindliche Personen nicht nur den Lärm an

sich als lästiger bewerten, sondern auch bei der Ausübung der Testaufgaben stärker gestresst sind. Eine bei Lärmempfindlichen stärkere Leistungsbeeinträchtigung trat zumindest in dieser aber auch in anderen Untersuchungen nicht auf [z.B. [Belojevic et al. 1992, 2003](#); [Ljungberg & Neely 2007](#); [Sandrock et al. 2009](#)].

9 Schlussfolgerungen

Ziel der Untersuchungen war es, Kenntnisse zu erarbeiten, die im Sinne operationeller Eingriffe in die Verkehrsführung genutzt werden können, um so die Lästigkeit des Straßenverkehrs zu reduzieren.

Überraschend zeigte sich, dass die makrostrukturellen Merkmale (Variabilität der Maximalpegel, Verkehrsrichtung) weder bei den kurz noch bei den länger dauernden Verkehrslärmszenarien eine Rolle spielten, so dass diese hier nicht berücksichtigt werden müssen.

Zu den wichtigsten Ergebnissen dieser Arbeit gehört die Diskrepanz der Lästigkeitsbeurteilung der zehn Minuten und der zwei Stunden dauernden Verkehrslärmszenarien. Während der äquivalente Pegel und die Verkehrsstärke das Lästigkeitsurteil über die zehn Minuten dauernden Szenarien bestimmten, spielten diese bei der Beurteilung der zwei Stunden dauernden Szenarien keine Rolle. Diese Diskrepanz ist jedoch nicht das Ergebnis der Einwirkdauer, sondern der aktuellen Tätigkeit der Probanden. Während der kurzdauernden Szenarien konzentrierten sich diese auf die Beurteilung der Geräusche, während der länger dauernden Szenarien auf bestimmte vorgegebene Tätigkeiten, die sie der Anweisung entsprechend, so schnell und so genau wie möglich bearbeiteten. Damit wurden zwei extrem gegensätzliche Situationen untersucht. Andererseits hätten Tätigkeiten, die nur schwer kontrolliert werden können, wie etwa das Lesen eines Buchs oder einer Zeitschrift, zu möglicherweise kaum interpretierbaren Ergebnissen geführt. In der Realsituation findet ein ständiger Wechsel statt zwischen Phasen, in denen hochkonzentriert gearbeitet oder wenig getan wird.

Die Lästigkeit der zehn Minuten dauernden Verkehrslärmszenarien und die Leistung im auditiven Teil der Aufgabe zur geteilten Aufmerksamkeit (GETAa) nahmen mit dem äquivalenten Pegel zu. Die Reduktion des äquivalenten Pegels ist daher eine unabdingbare Maßnahme zur Minderung der Lästigkeit des Straßenverkehrslärms. Nach den hier vorliegenden Ergebnissen wäre hierbei eine Reduktion der Anzahl der Vorbeifahrten das geeignete Mittel. Dem widersprechen jedoch die Ergebnisse von Björkman [1991] und Sato et al. [1999], in deren Untersuchungen die Lästigkeit ab einer bestimmten Häufigkeit nicht weiter zunahm (diese Häufigkeit entspricht etwa der niedrigsten Verkehrsstärke in der vorliegenden Untersuchung). Schönewolf [2006] berichtete sogar über eine bei sehr hoher Verkehrsdichte geringere Lästigkeit. Weitere Möglichkeiten der Reduktion des äquivalenten Pegels bestehen in der Minderung der Schallemission durch technische Manipulation am einzelnen Verkehrsmittel und konstruktive Maßnahmen im Fahrzeugbau, durch

Geschwindigkeitsbegrenzungen, durch Schallschutzwände oder offenporige 'Flüster'-Asphalte.

10 Literatur

- Babisch W, 2006: Transportation noise and cardiovascular risk: Updated review and synthesis of epidemiological studies indicate that the evidence has increased. *Noise & Health* 8:1-29.
- Banbury SP, Macken WJ, Tremblay S, Jones DM, 2001: Auditory distraction and short-term memory: Phenomenons and practical implications. *Human Factors* 43:12-29.
- Belojevic G, Jakovljevic B, Slepcevic V, 2003: Noise and mental performance: personality attributes and noise sensitivity. *Noise & Health* 6(21):77-89.
- Belojevic G, Öhrström E, Rylander R, 1992: Effects of noise on mental performance with regard to subjective noise sensitivity. *Int Arch Occup Environ Health* 64:293-301.
- Björkman M, 1991: Community noise annoyance. Importance of noise levels and the number of noise events. *Journal of Sound and Vibration* 151: 497-503.
- Borkenau P, Ostendorf F, 1993: NEO-FFI, Göttingen: Hogrefe.
- Botteldooren D, De Coensel B, Berglund B, Nilsson ME, Lercher P, 2008: Modeling the role of attention in the assessment of environmental noise annoyance. ICBEN
- Ellermeier W, Eigenstetter M, Zimmer K, 2001: Psychoacoustic correlates of individual noise sensitivity. *J Acoust Soc Am* 109:1464-1473.
- Ellermeier W, Hellbrück J, 1998: Is level irrelevant in 'irrelevant speech'? Effects of Loudness, signal-to-noise ratio, and binaural unmasking. *J Exper Psychol. Human Perception and Performance* 24:1406-1414.
- Felscher-Suhr U, Guski R, Schuemer R, 1998a: Constructing equidistant annoyance scales – an international study. In: Goodwin VC, Stevenson DC (eds): *Inter-noise 98 - Sound and Silence: Setting the balance* (Beitrag Nr. 112). Auckland: New Zealand Acoustical Society (CD-Rom).
- Felscher-Suhr U, Guski R, Schuemer R, 1998b: Some results of an international scaling study and their implications on noise research. In: Carter N, Job RFS (eds): *7th International Congress on Noise as a Public Health Problem: Congress proceedings, Vol 2* (pp 733-736) Sydney.
- Fields J, DeJong R, Gjestland T, Flindell I, Job RS, Kurra S, Lercher P, Vallet M, Yano T, Guski R, Felscher-Suhr U, Schuemer R, 2001: Standardized noise reaction questions for community noise surveys: research and a recommendation. *J Sound Vib* 242:641-679.
- Fields JM, 1993: Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas. *J Acoust Soc Am* 93:2753-2763.
- Fritz JB, Elhilali M, David SV, Shamma SA, 2007: Auditory attention – focusing the searchlight on sound. *Curr Opin Neurobiol* 17(4):437-455.
- Griefahn B, Bisping R, Feil A, Guski R, Hellbrück J, Kuhnt S, Kulka M, Kurtz P, Lazarus H, Liebl A, Marks A, Meis M, Möhler U, Schick A, Schreckenberger D, Schürmann C, Schütte M, Steckel R, Sukowski H, Sust C, Vormann M, Wenning E, 2007: Forschungsverbund 'Leiser Verkehr' Bereich 2000 'Lärmwirkungen'. Schlussbericht – Zusammenfassung der Einzelaufgaben. Dortmund, Essen, Bochum, Eichstätt, Gießen, Oldenburg.
- Hallmann, S., Guski, R., Schuemer, R. (2002). *What residents have in mind when asked for scaling noise annoyance*. The 2002 International Congress and Exposition on Noise Control Engineering. Dearborn, MI, USA. August 19-21, 2002.
- Hellbrück J, Griefahn B, Bisping R, Kuhnt S, Schürmann C, Schütte M, Vormann M, Wenning E, 2005: Lästigkeit kombinierter Verkehrslärmquellen – laborexperimenteller Ringversuch. Abschlussbericht des Forschungsverbunds 'Leiser Verkehr – Lärmwirkungen'. Eichstätt, Dortmund, Essen, Oldenburg.
- Herrmann C, Buss U, Snaith RP, 1995: Hospital Anxiety and Depression Scale – deutsche Version (HADS-D) Hans Huber Verlag.
- Hygge S, 2003: Classroom experiments on the effects of different noise sources and sound levels on long-term recall and recognition in children. *Applied Cognitive Psychology* 17:895-914.

- Hygge S, Jones DM, Smith AP, 1998: Recent developments in noise and performance, In *Noise effects '98*, Carter N and Job RFS, Eds (Noise Effects '98 Pty Ltd, Sydney. pp 321-328.
- ISO/TS 15666 2003, [Acoustics -Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys](#). Genf: International Organization for Standardization.
- Job RFS, 1988b: Over-reaction to changes in noise exposure: The possible effect of attitude. *J Sound Vib* 126:550-552.
- Job RFS, 1999: Noise sensitivity as a factor influencing human reaction to noise. *Noise & Health* 3:57-68.
- Jones DM, 1990: Recent advances in the study of performance in noise. *Environment Int* 16:447-458.
- Jones DM, 1999: The cognitive psychology of auditory distraction: The 1997 BPS Broadbent Lecture. *Brit J Psychol* 90:167-187.
- Jones DM, Alford D, Bridges A, Tremblay S, Macken WJ, 1999: Organizational factors in selective attention: The interplay of acoustic distinctiveness and auditory streaming in the irrelevant sound effect. *J Exp Psychol: Learning, Memory, and Cognition* 25:464-473.
- Jones DM, Alford D, Bridges A, Tremblay S, Macken WJ, 1999: Organizational factors in selective attention: The interplay of acoustic distinctiveness and auditory streaming in the irrelevant sound effect. *J Exp Psychol: Learning, Memory, and Cognition* 25:464-473.
- Jones DM, Broadbent DE, 1991: Human performance and noise. In CCM Harris (Ed.), *Handbook of acoustical measurement and noise control* (pp 24.1-24.24). New York: McGraw-Hill.
- Jones DM, Morris N, 1992: Irrelevant speech and cognition. In: Smith AP, Jones DM (eds): *Factors affecting human performance: The physical environment*. London: Academic Press. Vol 1: pp 29-53.
- Kaczmarek T, 2005: Auditory perception of sound source velocity. *J Acoust Soc Am* 117:3149-3156.
- Kaczmarek T, Hafke H, Preis A, Sandrock S, Griefahn B, Gjestland T, 2006: The tram bonus. *Archives of Acoustics* 31(4):405-412.
- Kjellberg A, Landström U, Tesaarz M, Söderberg L, Akerlund E, 1996: The effects of nonphysical noise characteristics, ongoing task and noise sensitivity on annoyance and distraction due to noise at work. *Journal of Environmental Psychology*, 16:123-136.
- Klatte M, Kilcher H, Hellbrück J, 1995: Wirkungen der zeitlichen Struktur von Hintergrundschall auf das Arbeitsgedächtnis und ihre theoretischen und praktischen Implikationen. *Z Exp Psychologie* 42:517-544.
- Knudsen EI, 2007: Fundamental components of attention. *Annu Rev Neurosci* 30:57-78.
- Koelega HS, 1987: Introduction: Environmental annoyance. In: Koelega HS (ed): *Environmental annoyance: Characterization, measurement, and control* (pp 1-7). Amsterdam: Elsevier.
- Kötz WD (2004). Zur Frage der effektiven Schalldämmung von geöffneten Fenstern. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 51, 21-26.
- Krohne HW, Egloff B (1999). *Das Angstbewältigungs-Inventar (ABI)*. Manual. Frankfurt a. M.: Swets Test Service.
- Lindvall T, Radford EP, 1973: Measurement of annoyance due to exposure to environmental factors: The 4th Karolinska Institute symposium on environmental health 6(1):1-36.
- Ljungberg JK, Neely G, 2007: Stress, subjective experience and cognitive performance during exposure to noise and vibration. *J Environ Psychol* 27:44–54.
- Miedema HME, Vos H, 1998: Exposure-response relationships for transportation noise. *J Acoust Soc Am* 104:3432-3445.
- Miedema HME, Vos H, 1999: Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. *J Acoust Soc Am* 105:3336-3344.
- Miedema, H.M. & Oudshoorn, C.G. (2001). Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure Metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental Health Perspectives* 109, 409-416.
- Peters RW, Moore BCJ, Baer T, 1998: Speech reception thresholds in noise with and without spectral and temporal dips for hearing impaired and normally hearing people. *J Acoust Soc Am* 103:1,577-587.

- Richtlinie 2002/49/ EG Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm, veröffentlicht am 18.07.2002 im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften.
- Sandrock S, Griefahn B, Kaczmarek T, Hafke H, Preis A, Gjestland T, 2008: Experimental studies on annoyance caused by noises from trams and buses. *J Sound Vib* 313:908-919
- Sandrock S, Schütte M, Griefahn B, 2009: Impairing effects of noise in high and low noise sensitive persons working on different mental tasks. *Int Arch Occup Environ Health* 82:779-785.
- Sato T, Yano T, Björkman M, Rylander R, 1999: Road traffic noise annoyance in relation to average noise level, number of events and maximum noise level. *J Sound Vib* 223:775-784.
- Schönewolf J, 2006: Geräuschqualität von Straßenverkehrslärm. Möglichkeiten der psychophysiologischen Bewertung anhand von Herzfrequenz und Hautleitfähigkeit sowie subjektiver Einschätzung. Diss Med Fak Düsseldorf.
- Schütte M, Marks A, Wenning E, Griefahn B, 2007: The Development of the Noise Sensitivity Questionnaire (NoiSeQ). *Noise & Health* 9:15-24.
- Schütte M, Sandrock S, Griefahn B, 2007: Untersuchung der Validität des NoiSeQ. Eine konfirmatorische Faktorenanalyse. In: GfA (Hrsg): Dortmund: GfA-Press, pp 739-742.
- Smith AP, 1993: A review of the effects of noise on human performance. *Scand J Psychol* 30:185-206.
- Smith AP, Broadbent DE, 1991: Non-auditory effects of noise at work: a review of the literature. HSE Contract research report No. 30/1991
- Smith AP, Jones DM, 1992: Noise and performance. In: Jones DM, Smith AP (eds): Handbook of human performance. The physical environment. London: Harcourt Brace Jovanovich, 1:1-28.
- Stansfeld SA, 1992: Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psychophysiological studies. *Psychol Med supplement* 22.
- Stansfeld SA, Berglund B, Clark C, Lopez Barrio I, Fischer P, Ohrstrom E, Haines MM, Head J, Hygge S, van Kamp I. & Berry B. (2005). Aircraft and road traffic noise and children's cognition & health: exposure-effect relationships. *The Lancet*, 365, 1942-1949.
- Surprenant A, 1999: The effect of noise on memory for spoken syllables. *Int J Psychol* 34:328-333.
- Tafalla RJ, Evans GW, 1997: Noise, physiology and human performance: The potential role of effort. *J Occup Health Psychol* 2:148-155.
- Weinstein ND, 1980: Individual differences in critical tendencies and noise annoyance. *J Sound Vib* 68:241-248.
- Zimmermann, P., Fimm, B., 2002. A test battery for attentional performance. In: M. Leclercq & P. Zimmermann (eds.). Applied Neuropsychology of Attention. *Theory, Diagnosis and Rehabilitation*. 110-151.

Bisher in der FAT-Schriftenreihe erschienen (ab 2006)

| Nr. | Titel | Preis / € |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 199 | Anwendungspotentiale und Prozeßgrenzen der Klebtechnik für die Umformung von Doppel-lagenblechen, 2006 | 76,- |
| 200 | Thermisches Fügen für die stahlintensive Hybridbauweise im Fahrzeugleichtbau, 2006 | 76,- |
| 201 | Lufthygienische Beurteilung von Pkw-Innenraumfiltern, 2006 | 96,- |
| 202 | Vergleich verschiedener Konzepte der Bodensimulation und von drehenden Rädern zur Nachbildung der Straßenfahrt im Windkanal und deren Auswirkung auf Fahrzeuge, 2006 | 40,- |
| 203 | Methodischer Ansatz im Stahlleichtbau am Beispiel Federbein/Dämpfer, 2006 | 50,- |
| 204 | Innovative Nfz-Konzepte - Gesamtwirtschaftliche Effekte durch Einführung schwerer und langer Lkw, 2006 | 45,- |
| 205 | Technische Kompatibilität von innovativen Nutzfahrzeugkonzepten auf den kombinierten Verkehr Straße/Schiene sowie den Containerverkehr, 2006 | 50,- |
| 206 | Größenaufgelöste physikalische und chemische Bestimmung von elementarem und Organischem Kohlenstoff in Nanopartikeln, 2006 | 55,- |
| 207 | Erstellung einer VHDL-AMS-Modellbibliothek für die Simulation von Kfz-Systemen, 2006 | 50,- |
| 208 | Fahrer-Fahrzeug-Wechselwirkungen bei Fahrmanövern mit Querdynamikbeanspruchungen und zusätzlichen Vertikaldynamikstörungen, 2006 | 50,- |
| 209 | Innovative Nfz-Konzepte - Akzeptanzuntersuchungen zur Einführung und zum Einsatz Innovativer Nutzfahrzeuge, 2007 | 40,- |
| 210 | Das Konzept des Situationsbewusstseins und seine Implikationen für die Fahrsicherheit, 2007 | 50,- |
| 211 | FAT-Richtlinie Dynamische Werkstoffkennwerte für die Crashesimulation, 2007 | 40,- |
| 212 | Innovative Nfz-Konzepte - Wirtschaftlichkeitsanalyse EuroCombi, 2007 | 35,- |
| 213 | Störfestigkeit von Fahrzeugelektronik bezüglich ESD und Impulseinkopplung, 2007 | 40,- |
| 214 | Betriebsfeste Bemessung von mehrachsig belasteten Laserstrahlschweißverbindungen aus Stahlfeinblechen des Karosseriebaus, 2007 | 40,- |
| 215 | Örtlich ertragbare Beanspruchungen bei Spannungskonzentrationen in Karosseriebauteilen aus hoch- und höherfesten Stählen, 2008 | 35,- |
| 216 | Auswirkung der Berücksichtigung lokaler Größen des E-Moduls im Hinblick auf die verbesserte Auslegung umgeformter Karosserieblechstrukturen aus Stahl, 2008 | 35,- |
| 217 | Aktueller Stand und Trends in der CFK-Berechnung im Fahrzeugbau, 2008 | 49,- |
| 218 | In-vitro-Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit von an Dieselpartikel gebundenen polyaromatischen Kohlenwasserstoffen und Nitropyrenen, 2008 | 35,- |
| 219 | Bewertender Vergleich der aktuellen Empfehlungen zu den Luftqualitätsgrenzwerten NO ₂ + Evidenz-basierter Vergleich der epidemiologischen Studien 2002-2006 zu Gesundheitseffekten durch NO ₂ , 2008 | 40,- |
| 220 | Fahrdynamische Analyse innovativer Nfz-Konzepte (EuroCombi), 2008 | 49,- |
| 221 | Entwicklung einer Methode zur vergleichenden Bewertung von Schwingfestigkeitsversuchen mit gefügten Stahlblechen in Abhängigkeit des Versagensverhaltens, 2009 | 40,- |

| | | |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 222 | Untersuchung zur Wahrnehmung von Lenkmomenten bei Pkw, 2009 | 35,- |
| 223 | Entwicklung einer Prüfspezifikation zur Charakterisierung von Luftfedern, 2009 | 35,- |
| 224 | Klimatische Daten und Pkw-Nutzung - Klimadaten und Nutzungsverhalten zu Auslegung, Versuch und Simulation an Kraftfahrzeug-Kälte-/Heizanlagen in Europa, USA, China und Indien, 2009 | 35,- |
| 225 | CO ₂ -Einsparung durch Verflüssigung des Verkehrsablaufs - Abschätzung staubedingter CO ₂ -Emissionen und von Reduktionspotentialen durch Verbesserung des Verkehrsablaufs, 2009 | 35,- |
| 226 | Modellbasierte Systementwicklung, 2009 | 50,- |
| 227 | Schwingfestigkeitsbewertung von Nahtenden MSG-geschweißter Dünobleche aus Stahl, 2010 | 40,- |
| 228 | Systemmodellierung für Komponenten von Hybridfahrzeugen unter Berücksichtigung von Funktions- und EMV-Gesichtspunkten, 2010 | 35,- |
| 229 | Methodische und technische Aspekte einer Naturalistic Driving Study, 2010 | 40,- |
| 230 | Analyse der sekundären Gewichtseinsparung, 2010 | 40,- |
| 231 | Zuverlässigkeit von automotive embedded Systems, 2011 | kostenloser Download |
| 232 | Erweiterung von Prozessgrenzen der Bonded Blank Technologie durch hydromechanische Umformung, 2011 | kostenloser Download |
| 233 | Spezifische Anforderungen an das Heiz-Klimasystem elektromotorisch angetriebener Fahrzeuge, 2011 | kostenloser Download |
| 234 | Konsistentes Materialmodell für Umwandlung und mechanische Eigenschaften beim Schweißen hochfester Mehrphasen-Stähle, 2011 | kostenloser Download |
| 235 | Makrostrukturelle Änderungen des Straßenverkehrslärms, Auswirkung auf Lästigkeit und Leistung, 2011 | kostenloser Download |

Impressum

| | |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Herausgeber | FAT Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. Behrenstraße 35 10117 Berlin Telefon +49 30 897842-0 Fax +49 30 897842-600 www.vda-fat.de |
| ISSN | 2192-7863 |
| Copyright | Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) 2011 |

VDA

Verband der
Automobilindustrie

FAT

Forschungsvereinigung
Automobiltechnik

Behrenstraße 35
10117 Berlin
www.vda.de
www.vda-fat.de