

Akustische Auswirkungen von Lichtsignalanlagen und Kreisverkehren

FA 2.298

Forschungsstelle: HEAD acoustics GmbH, Herzogenrath
Bearbeiter: Papenfus, T. / Fiebig A. / Genuit K.
Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn
Abschluss: Oktober 2010

1. Aufgabenstellung

Nach den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90) wird für die Störwirkung von lichtzeichengeregelten Kreuzungen und Einmündungen ein abstandsabhängiger Zuschlag von bis zu 3 dB gegeben. Der Zuschlag berücksichtigt das veränderte Fahrverhalten von Fahrzeugführern in Annäherung an eine Kreuzung oder Einmündung mit Lichtzeichenregelung. Bremsvorgänge sowie häufiges Anfahren bedingen Geräusche, die zu einer erhöhten Störwirkung führen.

Dagegen werden Kreisverkehre sowie Kreuzungen und Einmündungen ohne Lichtzeichenanlage bislang nicht mit einem Malus versehen.

Im Rahmen der geplanten Überarbeitung der Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen soll der bisher vergebene Zuschlag für lichtzeichengeregelte Kreuzungen und Einmündungen überprüft und gegebenenfalls angepasst werden. Ferner gilt es zu ermitteln, ob für nicht durch lichtzeichengeregelte Kreuzungen und Einmündungen sowie Kreisverkehren hinsichtlich einer erhöhten Störwirkung ein Zuschlag gewährt werden müsste.

2. Ziel

Das Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens besteht darin, eine belastbare Aussage über die Störwirkungen von Straßenverkehrsgeräuschen an verschiedenen Kreuzungsknoten zu erhalten. Zur Erreichung des Ziels wurden verschiedene Verkehrssituationen aufgezeichnet, psychoakustisch analysiert und mittels Hörversuchen bewertet. Auf Grundlage der Ergebnisse dieser Untersuchungen sollten Vorschläge erarbeitet werden, die die erhöhten Störwirkungen an verschiedenen Verkehrsknoten unter Berücksichtigung des entsprechend veränderten Fahrverhaltens Mithilfe von Zuschlägen oder Abschlägen widerspiegeln.

3. Durchführung von Versuchen

3.1 Messung der verschiedenen Verkehrssituationen

Zur gezielten Herbeiführung repräsentativer und vergleichbarer Verkehrssituationen wurden spezifische Szenarien auf einer Teststrecke generiert. Es wurden auf der Teststrecke mit einer definierten Fahrzeugflotte, bestehend aus 8 Personenkraftwagen (Benzin- sowie Dieselfahrzeuge mit unterschiedlicher Motorisierung) und einem Lastkraftwagen, unterschiedliche Verkehrssituationen erzeugt und die resultierenden Verkehrsgeräusche an verschiedenen Immissionsorten aufgezeichnet. Es wurde monaurale Mikrofonteknik sowie Kopfhörertechnik eingesetzt, die eine gehörrichtige Wiedergabe der Verkehrsgeräusche in nachfolgenden Hörversuchen erlaubt. Die Messdauer pro Szenario betrug mindestens 10 Minuten.

Der wesentliche Vorteil der Teststreckenmessung, neben der Möglichkeit potenzielle Störeinflüsse wie Fahrbahnoberfläche, Fahrzeugcharakteristika, Wetterbedingungen etc. konstant zu halten, ist, dass bei konstanter Verkehrsflussmenge und Lkw-Anteil die identischen Fahrzeuge die einzelnen Verkehrssituationen durchlaufen und die Veränderungen in den Verkehrsge-

räuschen ausschließlich den durch die Verkehrssteuerung forcierten Änderungen des Fahrverhaltens zugeschrieben werden können. Zur Erhöhung der Authentizität der Verkehrssituationen wurde eine Lichtzeichenanlage auf dem Testgelände für spezielle Szenarien installiert.

Insgesamt wurden auf der Teststrecke folgende Verkehrsszenarien erzeugt und gemessen: durchgehende Straße mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h, durchgehende Straße mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h, Kreisverkehr, Kreuzung mit Lichtzeichenanlage, Kreuzung ohne Lichtzeichenanlage, Einmündung mit Lichtzeichenanlage und Einmündung ohne Lichtzeichenanlage.

Zur Validierung der auf Grundlage der Teststreckenmessungen gewonnenen Bewertungen der einzelnen Verkehrssituationen wurden zusätzlich Messungen an realen Straßen vorgenommen. Die Messungen von realen Straßenverkehrsgeräuschen wurden zeitgleich an verschiedenen Positionen (zuführende durchgehende Straße, folgender Kreisverkehr, folgende Kreuzung mit Lichtzeichenanlage) realisiert. Diese Geräusche wurden ergänzend zu den Teststreckengeräuschen in verschiedenen Hörversuchen von den Probanden bewertet und deren Ergebnisse ausgewertet.

3.2 Durchführung von Hörversuchen

Zur Bestimmung der akustischen Störwirkung von spezifischen Straßenverkehrsgeräuschen relativ zur Störwirkung des Straßenverkehrsgeräusches einer durchgehenden Straße bedarf es der Durchführung von Hörversuchen.

Die verschiedenen Versuchsreihen wurden in einem Hörstudio durchgeführt, das die Möglichkeit der strikten Kontrolle der Versuchsbedingungen bietet. Die Kontrolle bzw. das Konstanthalten von potenziellen Störvariablen in derartigen Laboruntersuchungen gewährleistet eine hohe interne Validität, in der sich Veränderungen der abhängigen Variable mit hoher Wahrscheinlichkeit ursächlich auf die unabhängigen Variablen zurückführen lassen. Darüber hinaus wurde eine hohe externe Validität der Ergebnisse mithilfe zusätzlicher Befragungen und Plausibilitätsprüfungen sichergestellt.

In einem Hörversuchsset wurden die Geräusche von verschiedenen Verkehrssituationen gehörrichtig wiedergegeben und von den Probanden eine Bewertung der Störwirkung erbeten. Eine zentrale Software steuerte den Versuchsablauf und stellte die pegelgetreue und korrekt entzerrte Wiedergabe der zu bewertenden Geräusche sicher. Setübergreifend wurde die Verkehrszusammensetzung variiert, d. h. der relative Anteil der Lastkraftwagen an der Gesamtmenge der Fahrzeuge verändert (0 %, 8 %, 14 % Lkw-Anteil). Darüber hinaus wurde die Geräuschsituation "durchgehende Straße" mit Ab- und Zuschlägen versehen und in den Hörversuchen präsentiert, um Indikationen hinsichtlich der erhöhten Störwirkung von verschiedenen Verkehrssituationen relativ zur "durchgehenden Straße" zu gewinnen.

Die Versuchsaufgabe wurde wie folgt gewählt: "Wie sehr fühlen Sie sich durch die Straßenverkehrsgeräusche gestört?"

Der assoziative Kontext, innerhalb dessen die Bewertung des Verkehrsgeräusches verortet werden sollte, war: "Stellen Sie sich vor, Sie befinden sich auf einem Balkon im Erdgeschoss und sitzen in der Sonne".

Zur besseren Vorstellung des Versuchskontexts für die Versuchsperson wurde zeitgleich zur Geräuschpräsentation ein visueller Reiz (Blick von einem Balkon auf eine anliegende Straße) dargeboten.

Die Quantifizierung der subjektiven Empfindungen der Probanden erfolgte in Anlehnung an eine 11-stufige Intervallskala, die in ISO/TS 15666:2003-02 hinsichtlich der Beurteilung der Belästigung durch Lärm vorgeschlagen wird. Diese 11-stufige Skala wird ebenfalls durch "ICBEN - Community Response to Noise (Team 6)" empfohlen.

In Vorversuchen wurde die Bewertungsskala und die Instruktion, d. h. Kontext, Versuchsaufgabe und präsentierte Fotografie geprüft, mit den Versuchsteilnehmern diskutiert und abschließend verabschiedet. Mithilfe einer Trainingsphase vor dem Beginn der eigentlichen Bewertungsaufgabe wurde sichergestellt, dass die Versuchsteilnehmer die Versuchsaufgabe verstanden haben und diese bewältigen können.

Zur ausreichenden Immersion der Versuchsteilnehmer in die einzelnen Verkehrsszenarien wurde jeweils eine Sequenz von mindestens 60 Sekunden präsentiert. Zur Vermeidung von Sequenzeffekten wurden die verschiedenen Stimuli in randomisierter Reihenfolge den Probanden dargeboten. Mithilfe von Mehrfachpräsentationen verschiedener Geräusche wurden die Konsistenz und die Reproduzierbarkeit der Urteile überprüft. Ferner wurden Mithilfe von Clusteranalysen Ausreißer, d. h. ungewöhnliche Beurteiler, identifiziert und deren Bedeutung auf die Mittelwertbildung untersucht.

An einem Hörversuchssatz nahmen rund 40 Versuchspersonen teil. Insgesamt wurden vier Hörversuchssätze durchgeführt und ein weiterer zusätzlicher Versuch mit erhöhtem Lkw-Anteil mit 21 Versuchspersonen realisiert. Auf Grundlage verschiedener statistischer Verfahren (deskriptiv, multivariat) wurden die Versuchsdaten ausgewertet. Mithilfe von Signifikanzprüfungen wurde sichergestellt, dass die ermittelten Ergebnisse aufgrund der genutzten Stichprobe im ausreichenden Maße die Grundgesamtheit widerspiegeln

3.3 Die Bewertung der Verkehrsgeräusche

Die verschiedenen Bewertungen des variierten Szenarios "durchgehende Straße" zeigten in den diversen Hörversuchen einen linearen, hochgradig korrelierenden Zusammenhang zwischen der Bewertung und dem L_{Aeq} . Hier konnte ein eindeutiger funktionaler Zusammenhang abgeleitet werden, d. h. die Zunahme des Lkw-Anteils, die Erhöhung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, das manipulative Anheben des Schalldruckpegels führten zu einer signifikanten Erhöhung der empfundenen Störwirkung.

Dieser Zusammenhang ist allerdings nur für diese spezielle Verkehrssituation gültig. Wie bereits in der bestehenden Richtlinie für den Lärmschutz an Straßen angenommen und mit dem Zuschlag für lichtzeichengeregelte Kreuzungen und Einmündungen konkretisiert, ist bei spezifischen Verkehrssituationen dieser Funktionszusammenhang zwischen Störwirkung und L_{Aeq} nur sehr eingeschränkt gültig. Beispielsweise wurden den Verkehrssituationen "Kreuzung mit Lichtzeichenanlage" sowie "Kreisverkehr" eine höhere Störwirkung durch den Probanden zugeschrieben als der Verkehrssituation "durchgehende Straße" mit identischer Verkehrszusammensetzung und -menge.

Diese Beurteilungen hinsichtlich der Störwirkung sind dem vorher genannten Funktionszusammenhang sogar gegenläufig, d. h. die Mittelungspegel wiesen für die betrachteten Verkehrssituationen aufgrund des Fahrverhaltens (z. B. Verringerung der Fahrgeschwindigkeit) geringere Mittelungspegel auf. Hier spiegelt der akustische Indikator L_{Aeq} nur unzureichend die resultierende Störwirkung wider und entsprechende Zuschläge zur Kompensation der Unzulänglichkeit des L_{Aeq} müssen gewährt werden.

Mithilfe einer psychoakustisch motivierten Metrik, in der die Parameter Lautheit, Schärfe und Parameter zur Quantifizierung

auffälliger Geräuschmuster (Relative Approach) kombiniert worden sind, ließen sich die wesentlichen Geräuschphänomene detektieren und entsprechend gewichten, die das subjektive Urteil maßgeblich beeinflussen. Anhand dieser Metrik wurden zusätzlich weitere Messsequenzen zur Untersuchung des entfernungsabhängigen Abbaus des Zuschlags und umfangreichere Messzeiträume analysiert und zur Überprüfung der in den Hörversuchen bewerteten Szenarien herangezogen. Die Anwendung der Metrik zeigte, dass die Werte, die für die 60 Sekunden Sequenzen ermittelt wurden, nicht von den Werten für längere Messzeiten abweichen. Damit ist sichergestellt, dass die Auswahl der präsentierten Sequenzen bezüglich der verschiedenen Verkehrssituationen repräsentativ war. Ferner wurde die Metrik angewendet, um für diverse Messpositionen, die unterschiedliche Abstände zu einem Verkehrsknoten darstellten, detaillierte Informationen hinsichtlich der Verringerung der erhöhten Störwirkung mit zunehmender Entfernung zum betrachteten Verkehrsknotenpunkt für die zufließende wie auch abfließende Straßenseite zu gewinnen.

Das Ableiten der notwendigen Zuschläge zur Berücksichtigung der erhöhten Störwirkung der verschiedenen Verkehrssituationen relativ zur Störwirkung der durchgehenden Straße wurde auf Grundlage von Bewertungsunterschieden vorgenommen. Mithilfe des ermittelten funktionellen linearen Zusammenhangs zwischen den Straßenverkehrsgeräuschen an der "durchgehenden Straße" und dem energie-äquivalenten Dauerschallpegel lassen sich Bewertungsdifferenzen zwischen der zuführenden durchgehenden Straße und der jeweiligen Verkehrsknotensituation Pegelwerte zuordnen. Diese Pegelwerte stellen notwendige Zuschläge dar, die auf die jeweilige zuführende "durchgehende Straße" aufgeschlagen werden müssten, um die identische Störwirkung für die "durchgehende Straße" im Vergleich zur Verkehrsknotensituation zu forcieren. Dieser Zuschlag ist ein pegelbezogener Malus für die erhöhte Störwirkung spezifischer Verkehrsgeräusche, die nicht ausreichend mit einem Mittelungspegel charakterisiert werden können. Durch Berücksichtigung verschiedener im Schalldruckpegel manipulierter Verkehrsgeräusche für die Situation "durchgehende Straße" in den Hörversuchen wurden die zu gewährenden pegelbasierten Zuschläge zusätzlich abgesichert.

4. Vorschlag für Belästigungszuschläge

Mithilfe der verschiedenen Beurteilungen, des funktionellen Zusammenhangs zwischen der Störwirkung einer "durchgehenden Straße" zur Beschreibungsgröße L_{Aeq} sowie unter Verwendung der entwickelten psychoakustischen Metrik konnten Belästigungszuschläge für spezifische Verkehrssituationen abgeleitet werden. Die Situation "lichtzeichengeregelte Kreuzung" wies eine erhöhte Störwirkung relativ zur Störwirkung des Straßenverkehrs der "durchgehenden Straße" von 2,0 dB in einer Entfernung bis zu 40 m auf. Diese erhöhte Störwirkung nimmt sukzessive mit zunehmender Entfernung zur Kreuzung ab. Hier war eine Abnahme auf 1,5 dB für eine Entfernung von 40 bis 50 m zu beobachten. Von 50 bis 80 m wurde noch eine erhöhte Störwirkung von 1,0 dB ermittelt. Für eine Entfernung von 80 bis 100 m ist die Störwirkung mit 0,5 dB zu beziffern. Danach wurde keine erhöhte Störwirkung relativ zur "durchgehenden Straße" eruiert.

Für die "Einmündung mit Lichtzeichenanlage" wurden geringere erhöhte Störwirkungen beobachtet. Die Unterschiede zur "lichtzeichengeregelten Kreuzung" resultieren aus den unterschiedlichen Zeitschaltungen der Ampel. Aufgrund der häufigen Bevorzugung einer Straße kommt es zu längeren "Grünphasen", in denen nicht die störenden Fahrsituationen (z. B. Bremsen, Anfahren) erzwungen werden, wodurch eine niedrigere erhöhte Störwirkung relativ zur "durchgehenden Straße" in Höhe von 1,5 dB in einer Entfernung bis zu 40 m ergab. In einer Entfer-

nung von 40 bis 50 m reduzierte sich diese auf 1,0 dB. In einer Distanz von 50 bis 100 m beträgt der Belästigungszuschlag noch 0,5 dB. Danach konnte keine erhöhte Störwirkung aufgrund der Verkehrsknotensituation bestimmt werden.

Für die Situation "Kreisverkehr" wurde ebenfalls eine erhöhte Störwirkung relativ zur "durchgehenden Straße" in den Versuchen konstatiert. Die erhöhte Störwirkung aufgrund der aus dem Kreis heraus beschleunigenden Fahrzeuge betrug bis zu einer Entfernung von 40 Metern zum Kreisverkehr 1,5 dB. Zwischen 40 und 50 m fällt der Belästigungszuschlag auf 1,0 dB ab. Bis zu einer Entfernung von 100 m wurde noch eine erhöhte Störwirkung von 0,5 dB ermittelt. Nach dieser Entfernung ist

von keiner erhöhten Störwirkung relativ zur "durchgehenden Straße" für den "Kreisverkehr" auszugehen.

Für die Verkehrssituationen "Einmündung ohne Lichtzeichenanlage" und "Kreuzung ohne Lichtzeichenanlage" wurde eine erhöhte Störwirkung in Höhe von 1,0 dB bis zu einer Entfernung von 40 m festgestellt. Bis 80 m Entfernung zum jeweiligen Kreuzungsbezugspunkt ist noch eine erhöhte Störwirkung von 0,5 dB zu beobachten. Ab 80 m ist bereits kein weiterer Belästigungszuschlag zu vergeben. Die nachfolgende Tabelle fasst die ermittelten Belästigungszuschläge für die verschiedenen Verkehrssituationen zusammen und zeigt deren Entfernungsabhängigkeit.

Tabelle 1: Vorschlag von Belästigungszuschlägen in dB für Kreuzungen, Einmündungen und Kreisverkehre

| Entfernung | Kreuzung mit Lichtzeichenanlage | Einmündung mit Lichtzeichenanlage/Kreisverkehr | Einmündung/Kreuzung ohne Lichtzeichenanlage |
|------------|---------------------------------|--|---|
| 0 - 40m | 2,0 | 1,5 | 1,0 |
| 40 - 50m | 1,5 | 1,0 | 0,5 |
| 50 - 80m | 1,0 | 0,5 | |
| 80 - 100m | 0,5 | | |