

# Lärmbelästigung durch Straßen- und Schienenverkehr zu unterschiedlichen Tageszeiten

Dirk Schreckenberger<sup>1</sup>, Rainer Guski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung (ZEUS GmbH), Universitätsstr. 142, 44799 Bochum

<sup>2</sup> Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Psychologie, 44780 Bochum

**Korrespondenzautor:** Dipl.-Psych. Dirk Schreckenberger; E-Mail: [schreckenberger@zeusgmbh.de](mailto:schreckenberger@zeusgmbh.de)

**Zusammenfassung.** Eine wesentliche, die Lebensqualität beeinträchtigende Wirkung von Lärm ist die Störung von Aktivitäten (Kommunizieren, Entspannen, Konzentrieren, Schlafen) und die damit verbundene Belästigung. Eine anhaltende Lärmbelästigung kann zu weiteren gesundheitlichen Beschwerden führen. Es ist plausibel, dass sich mit tageszeitlich variierenden Tätigkeiten auch das Ruhebedürfnis und die Lärmbelästigung im Tagesverlauf ändern. Im Rahmen des BMBF-Forschungsverbundes „Leiser Verkehr“ wurde von 2002 bis 2004 eine Studie zur Belästigung durch Straßen- und Schienenverkehrslärm im Tagesverlauf (die Nachtzeit ausgenommen) durchgeführt. 1110 erwachsene Personen – 683 aus vier Wohngebieten mit dominierendem Straßenverkehrslärm, 427 aus zwei Gebieten mit dominierendem Schienenverkehrslärm – wurden nach ihren Wohn- und Lebensbedingungen sowie nach Beeinträchtigungen durch Lärm befragt. Für jeden Probanden wurden quellenspezifische, stündliche Immissionspegel bestimmt. Ein Teilsample von 131 Personen gab zusätzlich drei Tage lang mithilfe eines Taschencomputers die stündliche Lärmbelästigung an. Straßenverkehrslärm verursacht nachmittags und am frühen Abend (16-19 Uhr) eine erhöhte Lärmbelästigung bei vergleichbarem Mittelungspegel. Durch Schienenverkehrslärm betroffene Anwohner reagieren bei vergleichbarem Pegel vor allem zur Abendzeit (18-22 Uhr) mit erhöhter Lärmbelästigung gegenüber den davor liegenden Tagesstunden. Die tageszeitlichen Unterschiede in der Belästigung sind umso größer, je höher die Geräuschbelastung ist.

**Schlagwörter:** Belästigung; Lärmwirkung; Schienenverkehr; Straßenverkehr; Tageszeit

## Abstract

### Diurnally varying annoyance due to railway and road traffic noise

One of the most prominent non-auditory effects of noise influencing the life quality of human beings is the disturbance of activities (i.e. communicating, relaxing, working, sleeping). The disturbance of activities results in noise annoyance, and in the long run may lead to further health effects. Due to the fact that activities vary diurnally it is plausible to assume that peoples' responses to noise differ depending on the times of day. The aim of the study, which is part of the German research network "Quiet Traffic" is to provide empirical data of dose-response relationships for different times of day (excluding the night). 1110 residents from four areas with dominant road traffic noise (683 subjects) and from two areas with dominant railway noise (427 subjects) have been asked in a face-to-face interview for contentment with house and living environment and noise reactions. 131 persons of the total sample took part in an additional study (experience-sampling study) in which the hourly noise annoyance was measured for three consecutive days using a handheld computer. For each subject individual source-specific immission noise level for each hour of the day has been calculated. There is higher annoyance due to road traffic noise in the late afternoon/evening from 4pm to 7pm. For railway noise higher annoyance is reported in the evening from 6pm to 10am. The reported differences in noise annoyance depending on the times of day are higher with increasing noise level.

**Keywords:** Annoyance; noise effects; railway; road traffic; times of day

## 1 Einleitung

Ein ungestörtes, gesundes Leben im eigenen Wohnumfeld ist ein wichtiges Gut und grundlegende Voraussetzung für eine hohe Wohn- und Lebenszufriedenheit in der Bevölkerung. Insbesondere Verkehrslärm ist dabei einer der wesentlichen Umweltstressoren, die die Wohn- und Lebensqualität nachhaltig negativ beeinflussen können. So wird der Lärm seit Jahren in repräsentativen Bevölkerungsumfragen (z.B. Schreckenberger et al. 1999, LfU 2004) als Umweltproblem Nr. 1

in Wohngebieten genannt; der Straßenverkehrslärm gilt dabei als die am häufigsten genannte Lärmquelle.

Eine wesentliche durch Lärm verursachte extra-aurale Wirkung ist die Unterbrechung oder zumindest Behinderung alltäglicher Tätigkeiten (z.B. Entspannen, Kommunizieren, Hausarbeiten, Schlafen). Je häufiger und intensiver diese geräuschbedingte Störung im Alltagsleben auftritt, umso stärker ausgeprägt ist das Gefühl der Lärmbelästigung (u.a. Guski 2003). Die Lärmbelästigung, d.h. das in Abhängigkeit von

der Höhe der akustischen Belastung, individuellen Einstellungen, Dispositionen und situativen Bedingungen auftretende Gefühl, durch Geräusche beeinträchtigt bzw. gestört zu werden, ohne sie wirksam bewältigen zu können (Guski et al. 1999), ist eine zentrale Reaktion von Betroffenen auf den Umweltstressor "Lärm".

In der Literatur wird von Zusammenhängen zwischen der Lärmbelastung und weiteren psychischen und physischen Gesundheitsbeeinträchtigungen berichtet (u.a. Barbisch 1998, Stansfeld 1992, Stansfeld und Lercher 2003). Allerdings kann die Lärmbelastung dabei nicht mit der Lärmexposition selbst gleichgesetzt werden, da die Belästigung nur zu etwa einem Drittel durch die Geräuschbelastung erklärt werden kann (u.a. Höger 1999). Entsprechend können hierzu vorliegende Untersuchungen die Hypothese einer Kausalbeziehung zwischen chronischer Lärmbelastung und physischen, insbesondere kardio-vaskulären Erkrankungen weder verifizieren noch falsifizieren (Griefahn 2003). Es kann davon ausgegangen werden, dass Verkehrslärm zusammen mit anderen Umweltfaktoren und personenbezogenen Merkmalen eher auf indirektem Wege, d.h. vermittelt über Störungen von Aktivitäten, Schlaf, Kommunikation sowie kognitiven und emotionalen Reaktionen wie der Lärmbelastigung pathogen wirkt (Babisch 1998, 2000). Die umgekehrte Richtung der Kausalbeziehung, nämlich dass die vulnerable Gruppe erkrankter Menschen mit höherer Belästigung auf Lärm reagieren als gesunde Menschen kann ebenfalls nicht ausgeschlossen werden (Berglund und Lindvall 1995, Health Council of the Netherlands 1994). Unabhängig von der Frage der Kausalität von Lärm, Belästigung und weiteren Erkrankungen bleibt eine möglichst geringe Belästigung der Bevölkerung durch Lärm ein für die Lebensqualität erstrebenswertes Ziel.

Aufgrund der Tatsache, dass Aktivitäten im Tagesverlauf – bei den meisten Menschen in unserem Kulturkreis in ähnlicher Weise – variieren, kann angenommen werden, dass sich auch die Reaktionen auf Lärm tagesperiodisch ändern. In einigen Pegelindices werden deshalb Tageszeiten unterschiedlich gewichtet, um damit der tageszeitlich unterschiedlichen Lästigkeit von Lärm Rechnung zu tragen. So beinhaltet der in der EU-Umgebungslärmrichtlinie (EU-Richtlinie 2002/49/EG) definierte Gesamttagespegel  $L_{den}$  einen Zuschlag für die vierstündige Abendzeit (19-23 Uhr; in Deutschland 18-22 Uhr) in Höhe von 5 dB und für die achtstündige Nacht (23-7 Uhr, in Deutschland 22-6 Uhr) in Höhe von 10 dB gegenüber der für den 12-Stunden-Tageszeitraum (7-19 Uhr, in Deutschland 6-18 Uhr) bestimmten Lärmbelastung. Diese Zuschläge resultieren allerdings eher aus normativen Setzungen als aus empirischen Forschungsergebnissen.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsverbunds "Leiser Verkehr" wurde von 2002 bis 2004 eine Feldstudie durch-

geführt, um Tageszeiten einzugrenzen, in denen Menschen unseres Kulturkreises besonders empfindlich auf Verkehrslärm, d.h. bei gleichem Pegel mit erhöhter Lärmbelastigung bzw. Gestörtheit reagieren. Die Studie bezieht sich dabei im Wesentlichen auf die Beeinträchtigung durch Straßen- und Schienenverkehrslärm während der Wachzeit (max. 5-23 Uhr). Aussagen über verkehrslärmbedingte Störungen des nächtlichen Schlafs beinhaltet die Studie nicht.

## 2 Tageszeitliche Veränderungen der Lärmbelastigung – Erkenntnisse aus der Literatur

In verschiedenen Lärmwirkungsstudien zeigt sich, dass die Empfindlichkeit gegenüber der Einwirkung von Umweltgeräuschen tagesperiodischen Veränderungen unterliegt. Deutliche Unterschiede in den auf verschiedene Tageszeiten bezogenen Lärmbelastigungsurteilen (u.a. Felscher-Suhr et al. 1996, Schreckenber et al. 1999, LfU 2004) sowie in den Ruheansprüchen (Guski et al. 1999) werden berichtet. In einer qualitativen Untersuchung von Hallmann et al. (2002) gaben befragte Lärmbetroffene an, dass die Tageszeit des Auftretens belästigender Lärmereignisse für sie einen wichtigen Gesichtspunkt bei der Abgabe von Gesamtbelastigungsurteilen darstellt.

Bezogen auf einzelne Tageszeitintervalle zeigt sich:

- **Abends/Nachts:** Die auf den Abend oder die Nacht bezogene Lärmbelastigung liegt bei vergleichbaren Pegeln über der auf den Tag bezogenen Belästigung (u.a. McKennell 1963, Fields 1986, Höger et al. 2002 in einer Reanalyse von Daten aus einer Fluglärmuntersuchung von Kastka 1999, Wirth 2004). Datenanalysen von Studien zum Schienenverkehrslärm weisen entweder keinen Tageszeit-Effekt auf (IF-Studie 1983) oder zeigen, dass für den Schienenverkehrslärm die auf die Nacht bezogene Gesamtgestörtheit bei vergleichbaren Pegeln unterhalb der auf den Tag bezogenen Gestörtheit liegt (Höger et al. 2002 in einer Reanalyse der Daten von Griefahn et al. 1999). In einer jüngeren Befragungsstudie (LfU 2004) nannten die vornehmlich durch Schienenverkehrslärm Betroffenen die Abend- und Nachtzeit als Tageszeiträume, in denen der Lärm dieser Quelle sich besonders bemerkbar macht und entsprechend belästigt. Allerdings liegen in dieser Studie keine Angaben über die akustische Belastung vor, so dass anhand der Daten keine Aussagen über die Belästigung bei *vergleichbaren* Pegeln getroffen werden kann.
- **Morgendliche Nachtrand-/Tagesrandzeiten:** Sensible Tageszeiten im Bezug auf Umweltlärm insgesamt, insbesondere bezüglich Straßen- und Flugverkehrslärm stellen des Weiteren morgendliche Randzeiten dar. In den repräsentativen Umfragen zur Lärmbelastigung der Bevölkerung

in Baden-Württemberg 1999 und 2004 (Schreckenberger et al. 1999, LfU 2004) wurden von den Betroffenen als besonders sensible Tageszeiten im Bezug auf Straßen- und Flugverkehrslärm neben der Abendzeit der Morgen (1999: 6-9 Uhr, 2004: 7-9 Uhr) genannt. Wirth (2004) und Wirth et al. (2002) berichten als ein Ergebnis der Züricher Lärmstudie 2000 einen pegelunabhängigen, erhöhten Anteil von hoch Fluglärm-belastigten in den Morgenstunden (6-9 Uhr) – neben weiteren erhöhten Anteilen hoch Fluglärm-belastigter mittags (12-14 Uhr) und vor allem abends ab 21 Uhr.

- **Mittags/Nachmittags:** Felscher-Suhr et al. (1995, 1996) fanden in einer Studie zur Erfassung von Alltagstätigkeiten und deren Störungen durch Umweltlärm (Straßenverkehrslärm, Fluglärm) als besonders sensible Tageszeiten bei den hoch belasteten Düsseldorfer Flughafenrainern: werktags zwischen 11 und 12 Uhr sowie gegen 16 Uhr und an Wochenenden zwischen 11 und 12 Uhr sowie gegen 15 Uhr und gegen 19 Uhr.

Da sich der zeitliche Tagesablauf bei der Mehrzahl der Menschen unseres Kulturkreises in ähnlicher Weise vollzieht, kommt der Bestimmung der empfindlichen Zeiten und der notwendigen Zuschläge in Beurteilungspegeln wie dem europäischen Gesamttagespegel  $L_{den}$  oder dem vor allem in den USA üblichen Tag-Nacht-Pegel  $L_{dn}$  (mit einem Pegelzuschlag von 10 dB(A) für die Nacht) eine erhebliche Bedeutung zu. Ziel der hier beschriebenen Feldstudie war es daher, in erster Linie für den dominierenden, innerstädtischen Straßenverkehrslärm sowie auch für den Schienenverkehrslärm mögliche Unterschiede in der Belästigung je nach Tageszeit genauer zu erfassen und damit zur Bestimmung angemessener Ab-/Zuschläge beizutragen. Ausgangshypothese ist dabei, dass die betroffenen Anwohner in den späten Nachmittags- und Abendstunden einen erhöhten Ruheanspruch haben und sich daher durch Straßen- bzw. Schienenverkehrslärm zu diesen Tageszeiten – bei gleicher Belastung bzw. gleichem Mittelungspegel – stärker als zu anderen Tagstunden belästigt bzw. gestört fühlen. Zwar wird auch für die Nacht ein erhöhter Ruheanspruch angenommen, dieser Zeitraum ist allerdings in der Studie nicht betrachtet worden.

### 3 Durchführung der Feldstudie

Für die Analyse von Lärm-belastigungsunterschieden im Tagesverlauf wurden durch Straßen- bzw. Schienenverkehrslärm betroffene Menschen in Nordrhein-Westfalen ausführlich zu ihren Wohn- und Lebensbedingungen sowie zu den Beeinträchtigungen durch Lärm im Rahmen persönlicher Interviews in ihrem Haushalt befragt. Neben Fragen zur Belästigung bzw. Gestörtheit durch Straßen- bzw. Schienenverkehrslärm insgesamt, tags und nachts wurden Fragen zur stündlichen Lärm-belastigung gestellt:

- Offene Frage: "Zu welchen Tageszeiten, d.h. Uhrzeiten, werden Sie im Allgemeinen durch ... [*je nach Untersuchungsgebiet: Straßenverkehrslärm/Schienenverkehrslärm*] besonders stark belästigt?"
- Frage zur stündlichen Lärm-belastigung: "Wenn wir uns die verschiedenen Uhrzeiten genauer anschauen, können Sie mir bitte hier auf dieser Liste angeben, wie stark Sie sich innerhalb der letzten 12 Monate im Allgemeinen zu der angegebenen Uhrzeit jeweils durch Lärm vom ... [*Straßenverkehr/Schienenverkehr*] gestört oder belästigt gefühlt haben?" Antwortskala: 1 = überhaupt nicht, 2 = etwas, 3 = mittelmäßig, 4 = stark, 5 = äußerst gestört oder belästigt. Diese Frageformulierung orientiert sich inklusive der verwendeten Antwortskala an dem Vorschlag des Team 6 der *International Commission on Biological Effects of Noise* (ICBEN) zur Erhebung der Lärm-belastigung (vgl. Felscher-Suhr et al. 2000, Fields et al. 2001).
- Für jeden Probanden wurden individuelle Schienen- bzw. Straßenverkehrs-Immissionspegel (Außenpegel) auf Basis von Messungen und Berechnungen bestimmt. Ein Teilsample der Befragten nahm an einer ergänzenden Studie teil, in der sie an drei aufeinander folgenden Tagen in der Zeitspanne von 8 bis 23 Uhr mittels eines Taschencomputers (PDA, *Personal Digital Assistant*) ihre stündliche Belästigung durch Straßen- bzw. Schienenverkehrslärm angaben. Zusätzlich wurden mit dem PDA Aktivitäten, Aufenthaltsort und (bei Aufenthalt im Innenraum) die Fensterstellung erhoben. Diese Ergänzungsstudie stellt eine Variante des *experience-sampling*-Verfahrens (u.a. Bolger et al. 2003) dar und dient der Validierung der retrospektiven Interviewdaten.

Die Untersuchung wurde in vier Wohngebieten mit dominierendem Straßenverkehrslärm in den Städten Bochum, Dortmund und Düsseldorf und in zwei Gebieten mit dominierendem Schienenverkehrslärm in Bönen und Hamm-Westtünnen durchgeführt. Die Gebiete wurden so ausgewählt, dass im Wesentlichen nur die interessierende Lärmquelle vorherrschte und andere Emissionsquellen (z.B. Industrie, Flugverkehr) nicht vorhanden waren. Der Umfang der Untersuchungsgebiete wurde so bestimmt, dass eine genügend große Variation der akustischen Belastung durch Straßen- bzw. Schienenverkehr entsteht, um pegelbezogene statistische Auswertungen und somit Aussagen zu tageszeitlich differenzierten Dosis-Wirkungsbeziehungen vornehmen zu können.

Für die Stichprobenziehung in den ausgewählten Untersuchungsgebieten wurden von den zuständigen Einwohnermeldeämtern Adressdaten aus den amtlichen Melderegistern eingeholt. Aus der Grundgesamtheit der Melderegisterdaten wurde für jedes Gebiet eine Zufalls-Bruttostichprobe gezogen. Die so ausgewählten Probanden wurden vor Befragungsbeginn in einem Anschreiben über die Untersuchung informiert und um Teilnahme gebeten. Die Interviews wurden

von ausführlich geschulten Interviewerinnen und Interviewern – überwiegend Studierende der Universitäten Bochum, Essen, Duisburg und Düsseldorf mit Vorkenntnissen in der Befragungsdurchführung – durchgeführt.

Während der Feldzeit von April bis Juni 2004 wurden nacheinander in den sechs Untersuchungsgebieten zunächst die – durchschnittlich 45 Minuten dauernden – persönlichen Interviews durchgeführt. Am Ende eines jeweiligen Interviews wurden die Probanden nach ihrem Teilnahmeinteresse an der vertiefenden PDA-Studie gefragt. Mit den so gewonnenen Teilnehmern wurde der *experience-sampling*-Untersuchungsteil ca. zwei bis drei Wochen nach Beginn der Interviews im betreffenden Gebiet durchgeführt. Die Probanden nahmen dabei an drei aufeinander folgenden Tagen die Eingaben in das PDA-Gerät zur vollen Stunde auf ein vom PDA ausgesandtes akustisches Signal hin vor. Pro Tag umfassten die Eingaben die maximale Zeitspanne von 8 bis 23 Uhr. In ergänzenden Kurzfragebögen wurden täglich morgens und abends zu Kontrollzwecken Daten zur Schlafqualität, zur möglichen Beeinträchtigung durch die Erhebungsmethodik und zu besonderen Vorkommnissen während des Untersuchungszeitraums erhoben.

Während der Durchführung des *experience-sampling*-Untersuchungsteils wurde in den jeweiligen Untersuchungsgebieten der tageszeitliche Verlauf der Lärmbelastung an der Quelle (Hauptverkehrsstraße bzw. Bahnstrecke) an einem Dauermesspunkt von 5.00 bis 23.00 Uhr gemessen. Der entsprechende Verlauf wurde bei allen Befragten im Gebiet jeweils mittels Ausbreitungsrechnung berechnet. Diese Berechnungen berücksichtigen die Pegelabnahme durch Abstand, Abschirmung von und Reflexionen an Gebäuden sowie sonstigen Einflüssen von der Quelle zur Probandenwohnung. Die berechneten Pegelverläufe bei den Probanden wurden zudem durch Stichprobenmessungen, die auch Lärmeinwirkungen aus den Nebenstraßen erfassten, kontrolliert und gegebenenfalls angepasst. Die Pegel wurden für die lauteste Fassade sowie für die Außenseite des Schlaf- und des Wohnzimmers berechnet.

### 3.1 Stichprobe der Untersuchungsteilnehmer

Insgesamt wurden 1110 Untersuchungsteilnehmer (683 in den Straßengebieten, 427 in den Schienengebieten) persönlich interviewt. **Tabelle 1** zeigt getrennt für die Straßen- und Schienengebiete die Verteilung der interviewten Probanden nach Alter und Geschlecht.

Für die *experience-sampling*-Studie war eine Teilnehmerzahl von ca. 20 Personen pro Gebiet angestrebt. Aus jedem Befragungsgebiet konnten letztlich zwischen 15 und 28 Teilnehmer, insgesamt 131 Probanden, rekrutiert werden, davon 89 in den Straßengebieten und 42 in den Schienengebieten.

**Tabelle 1:** Verteilung der Probanden nach Geschlecht und Alter

	Straßengebiete		Schienengebiete	
	n	%	n	%
<b>Geschlecht</b>				
Männlich	279	40,8	202	47,3
Weiblich	404	59,2	225	52,7
Gesamt	683	100,0	427	100,0
<b>Altersklasse</b>				
18-29 Jahre	113	16,5	37	8,7
30-39 Jahre	162	23,7	45	10,5
40-49 Jahre	129	18,9	96	22,5
50-59 Jahre	88	12,9	94	22,0
60-69 Jahre	95	13,9	77	18,0
70-79 Jahre	62	9,1	56	13,1
80-89 Jahre	30	4,4	20	4,7
90-99 Jahre	4	0,6	1	0,2
keine Angabe	0	0	1	0,2
Gesamt	683	100,0	427	100,0

Die soziodemografische Struktur der Teilnehmer dieses ergänzenden Studienteils unterscheidet sich insgesamt kaum von der der Gesamtstichprobe. Gegenüber dem Verfahren inklusive der Benutzung eines Taschencomputers bestand eine Akzeptanz unter den Probanden unabhängig vom Alter (20-83 Jahre) und Geschlecht (49% Männer, 51% Frauen).

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Akustische Belastung in den Schienen- und Straßengebieten

Für jeden Probanden liegen quellspezifische stündliche Mittelungspegel  $L_{Aeq}$ , Maximalpegel  $L_{max}$ , Perzentilpegel  $L_1$  und Hintergrundpegel  $L_{95}$  für die Zeit von 5 bis 23 Uhr vor. Insgesamt korrelieren alle Pegelmaße untereinander sowie mit den Belastungsurteilen. Mittelungspegel, berechnet für die lauteste Fassade, weisen allerdings engere Pegel-Reaktions-Beziehungen als die übrigen Pegelmaße auf, weswegen sich die weiteren Auswertungen auf dieses Pegelmaß beziehen. Die stündlichen Mittelungspegel wurden für einige Auswertungen zu energieäquivalenten Dauerschallpegeln für den 12-Stunden-Tag (6-18 Uhr,  $L_{day}$ ), 16-Stunden-Tag (6-22 Uhr,  $L_{Aeq,tag}$ ), für die Abendzeit (18-22 Uhr,  $L_{evening}$ ) sowie für den gesamten 24-Stunden-Tag ( $L_{Aeq,24h}$  und – mit Zuschlägen für die Abend- und Nachtzeit –  $L_{den}$ ) zusammengefasst. Zur Bestimmung der 24-Stundenpegel wurden die Verkehrsmengen im Nachtzeitraum anhand von vorhandenen Tagesverläufen an vergleichbaren Straßenwegen bzw. Schienestrecken abgeschätzt. In den Straßengebieten umfasst der Pegelbereich des Straßenverkehrslärms bezogen auf den  $L_{Aeq,tag}$  26 bis 71 dB(A), in den Schienengebieten für Schienenver-

kehrslärm 32 bis 70 dB(A). Weitere pegelbezogene Auswertungen beziehen sich allerdings auf Mittelungspegel ab 35 dB(A), da unterhalb dieser Schwelle die Geräusche kaum wahrnehmbar und Belästigungsangaben nicht interpretierbar sind.

#### 4.2 Beziehung zwischen akustischer Belastung und Lärmbelästigung

Für die Quantifizierung der Pegel-Reaktions-Beziehungen bezogen auf die stündlichen Mittelungspegel und die im Interview erhobenen stündlichen Lärmbelästigungen wurden Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten ( $r$ ), die maximale Werte von  $\pm 1$  annehmen, bestimmt. Bezogen auf Straßenverkehrslärm liegen – statistisch signifikante – Korrelationen im Bereich  $,11 \leq r \leq ,22$  (Median der Koeffizienten bei  $r = ,15$ ) vor. Bezogen auf Schienenverkehrslärm sind die Pegel-Reaktions-Beziehungen zum Teil geringfügig höher, die Korrelationen liegen je nach Tageszeit im Bereich von  $,17$  bis  $,31$  (Median der Korrelationen:  $r = ,21$ ). Die Werte sprechen insgesamt für einen recht mäßigen Zusammenhang zwischen der stündlichen akustischen Belastung und der hierauf bezogenen Belästigung, liegen allerdings aufgrund der multifaktoriellen Bedingtheit der Lärmbelästigung im erwarteten Bereich.

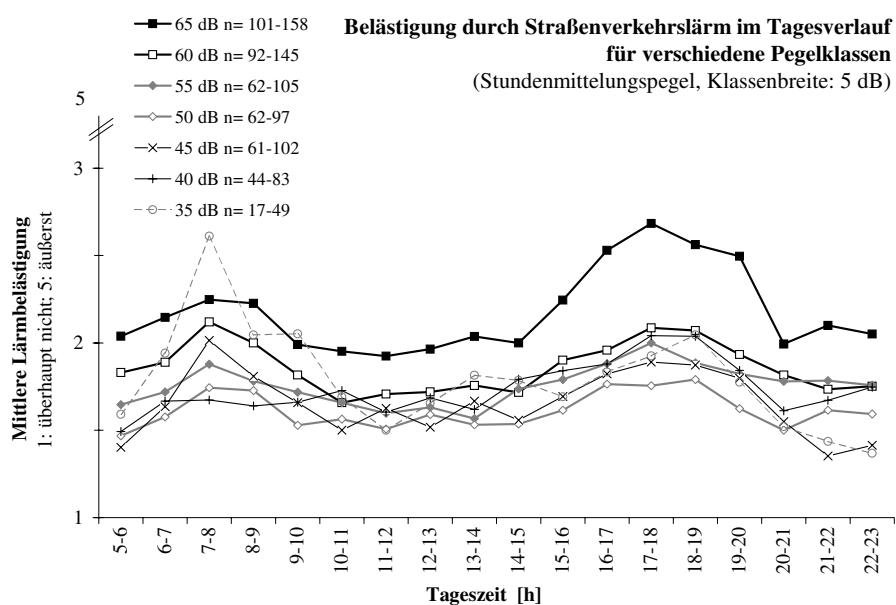
#### 4.3 Lärmbelästigung im Tagesverlauf

Die Verteilung der offenen Antworten zur Frage, wann der Straßenverkehrslärm besonders stark belästigt, ist zweigipfelig: Besonders starke Belästigung berichten die Befragten

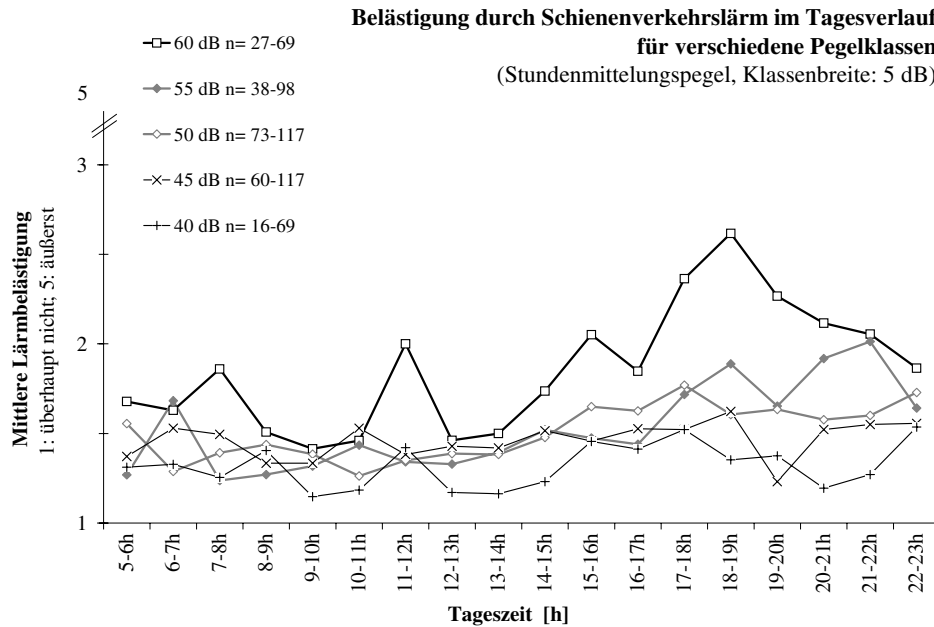
in den Morgenstunden und am Spätnachmittag bzw. Abend. In den Gebieten mit Schienenverkehrslärm sind die Uhrzeiten mit selbst berichteter starker Belästigung anders gelagert als in den Straßengebieten: Es gibt nur einen Gipfel, der jedoch weniger stark ausgeprägt ist als in den Straßengebieten und um mehrere Stunden verschoben in den späteren Abendstunden liegt. Die offenen Angaben der Befragten zu Tageszeiten starker Straßen- bzw. Schienenverkehrslärmbelästigung geben selbst noch keinen hinreichenden Hinweis auf lärmsensible Tageszeiten im Sinne einer erhöhten Lärmbelästigung bei Konstanthaltung der Geräuschbelastung. Vielmehr können sie auch die tageszeitliche Schwankung des Lärmpegels widerspiegeln.

Demgegenüber zeigen die **Abb. 1** und **2** getrennt für Schienen- und Straßenverkehrslärm das Ausmaß der stündlichen Belästigung bei annähernd gleicher Geräuschbelastung im Tagesverlauf. Dargestellt ist für jede Lärmquelle und Stunde zwischen 5 und 23 Uhr die mittlere Lärmbelästigung pro Pegelklasse (Stundenpegel,  $L_{Aeq,1h}$ ; Pegelklassenbreite: 5 dB). Berücksichtigt wurden in den Abbildungen Pegelklassen, die durchgehend über alle Stunden hinweg mit Belästigungsurteilen von mindestens 10 Personen besetzt sind. Die Pegelklassenbildung erfolgte für  $L_{Aeq}$ -Werte ab 35 dB(A). Ein Proband ist über den Tag verteilt unterschiedlichen Stundenpegelklassen zugeordnet worden, je nach dem, welche Belastung zu einer gegebenen Tagesstunde für ihn ermittelt worden ist.

Während beim Straßenverkehr die Tageszeiten mit höherer Lärmbelästigung bei vergleichbarem Pegel vornehmlich zwischen 16 und 19 Uhr liegen, sind die Lärmbelästigungsurteile beim Schienenverkehr dagegen zwischen 18 und 22 Uhr



**Abb. 1:** Lärmbelästigung durch Straßenverkehr in Abhängigkeit von Schallbelastung und Tagesverlauf (Pegelklassen der Breite 5 dB(A), 5-stufige verbale Belästigungsskala)



**Abb. 2:** Lärmbelästigung durch Schienenverkehr in Abhängigkeit von Schallbelastung und Tagesverlauf (Pegelklassen der Breite 5 dB(A), 5-stufige verbale Belästigungsskala)

höher als in den Stunden zuvor<sup>1</sup>. Weiterhin scheinen bei beiden Lärmquellen, deutlicher aber noch beim Schienenverkehrslärm, Tageszeitunterschiede in der Lärmbelästigung von der Höhe der Geräuschbelastung abzuhängen.

Die hier dargestellten Belästigungsunterschiede in Abhängigkeit von Tageszeit und Pegel wurden im Rahmen des Allgemeinen Linearen Modells (ALM) inferenzstatistisch überprüft. In das Modell gingen die Faktoren "Tageszeit" (4x 4-Stunden-Zeiträume) und "Pegelklasse" ( $L_{Aeq,tag}$ ; 7-8 Stufen à 5 dB Klassenbreite) ein. Zellenbesetzungen kleiner 10 Probanden wurden in dem Modell nicht berücksichtigt. Daher reicht beim Schienenverkehrslärm (s. **Abb. 4**) die Auswertung bis zur Pegelklasse 65 dB (= 62,5-67,5 dB), obwohl der gesamte Pegelrange Geräuschbelastungen bis 70 dB umfasst. Die Tageszeitblöcke wurden so gewählt, dass der für den  $L_{evening}$  relevante Abendzeitraum (18-22 Uhr) als ein Block übrigen Tageszeitblöcken gleicher Zeitspanne (jeweils 4 Stunden: 6-10 Uhr, 10-14 Uhr, 14-18 Uhr) gegenüber gestellt werden kann. Für die einzelnen Tageszeitabschnitte wurden aus den Stundenbelästigungsurteilen die Mittelwerte für die in der Analyse betrachteten Tageszeitblöcke bestimmt. In **Tabelle 2** sind die Kennwerte der statistischen Signifikanzprüfung nach dem ALM dargestellt. Danach sind die Haupteffekte der beiden Faktoren "Tageszeit" und "Pegel" auf die Lärmbelästigung bei beiden Lärmquellen statistisch signifikant. Weiterhin liegt für die Schiene eine signifikante Wechsel-

wirkung von Pegel und Tageszeit vor; für die Straße gilt dies bei einem festgelegten Signifikanzniveau von  $\alpha = 1\%$  nur in der Tendenz. **Abb. 3** und **4** stellen getrennt für Schienen- und Straßenverkehr die Haupteffekte und Wechselwirkung deskriptiv dar.

Die Ergebnisse der ALM-Analyse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

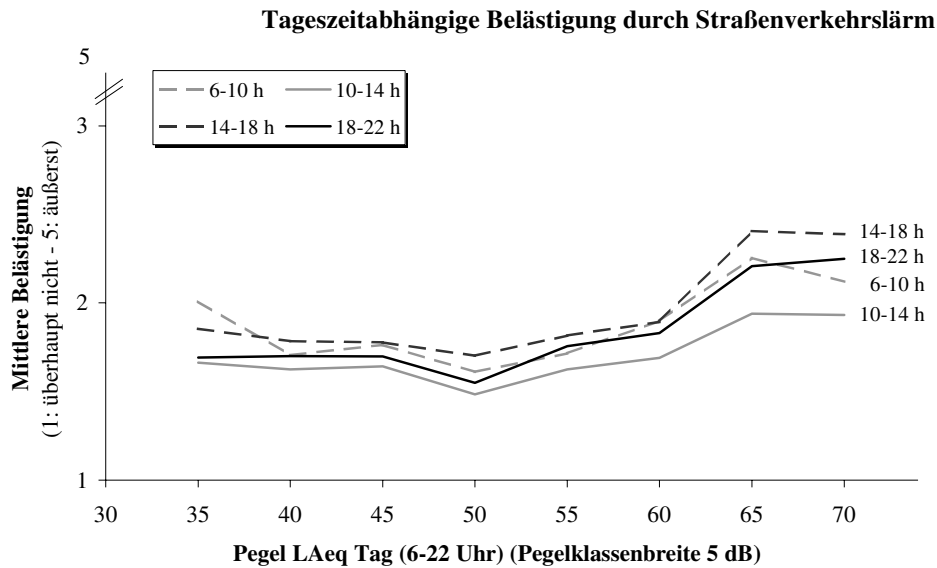
- Erwartungsgemäß steigt die Lärmbelästigung zu allen untersuchten Tageszeiten mit zunehmendem Pegel an.
- Für die Straße gilt, dass insbesondere bei  $L_{Aeq,tag}$ -Pegeln oberhalb von 60 dB die Lärmbelästigung im Nachmittags-Zeitfenster (Fenster "14-18 Uhr") bei gleichem Pegel höher ist als in den anderen Zeitintervallen und am späten Vormittag/Mittag zwischen 10 und 14 Uhr die Lärmbelästigung am geringsten ist. Die erhöhte Lärmbelästigung im Nachmittags-Zeitfenster erklärt sich dabei im Wesentlichen durch die in **Abb. 1** dargestellten höheren Lärmbelästigungsurteile ab 16 Uhr.

**Tabelle 2:** Ergebnisse der Signifikanzprüfung nach dem Allgemeinen Linearen Modell zum Vergleich der Lärmbelästigung in Abhängigkeit von Tageszeit und Geräuschbelastung getrennt für die Lärmquellen Schiene und Straße (Zweifaktorielle Analyse; Faktor 1: "Tageszeit" (6-10h; 10-14h, 14-18h; 18-22h); Faktor 2: "Pegel" ( $L_{Aeq,tag}$ ), 7 (Schiene) bzw. 8 (Straße) Pegelklassen zu 5 dB(A) für den Bereich zwischen 35 und 65 bzw. 70 dB(A)).

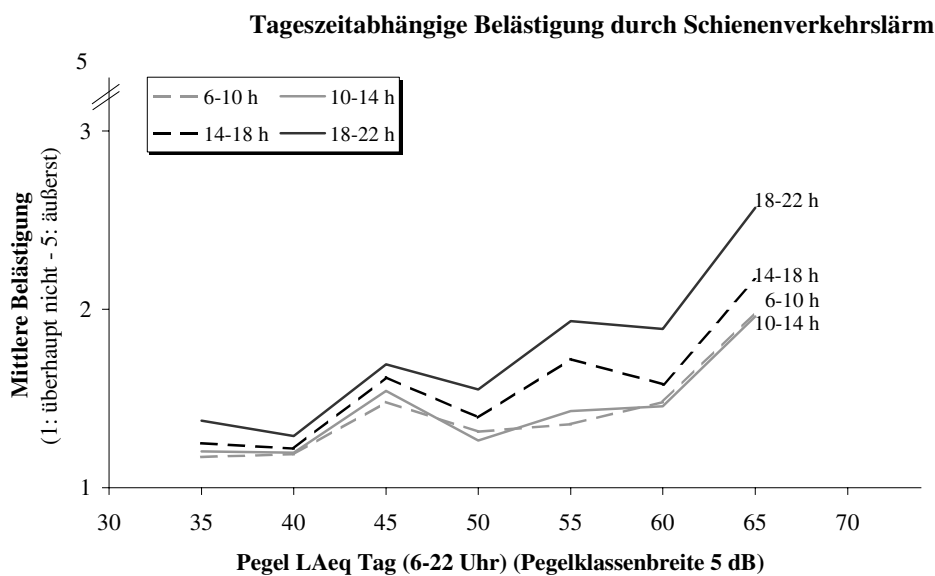
Effekt	Straße (n = 629)		Schiene (n = 419)	
	F	p <	F	p <
Tageszeit	22,86	,000	55,97	,000
Pegel	5,35	,000	7,80	,000
Tageszeit x Pegel	1,65	,036	4,12	,000

F = Prüfgröße; p = Überschreitungswahrscheinlichkeit

<sup>1</sup> Die genannten Tageszeiten erhöhter Lärmbelästigung ergeben sich auch bei Betrachtung von kleinstufigeren Pegelklassen (etwa 2-5dB-Klassen). Die in den **Abb. 1** und **2** vorgenommene größere Einteilung in 5-dB-Pegelstufen erfolgte aus Überichtsgründen.



**Abb. 3:** Mittlere Lärmbelästigung durch Straßenverkehr in Abhängigkeit vom Pegel (5 dB-Pegelklassen mit  $n \geq 10$  pro Klasse) und von verschiedenen Tageszeitintervallen



**Abb. 4:** Mittlere Lärmbelästigung durch Schienenverkehr in Abhängigkeit vom Pegel (5 dB-Pegelklassen mit  $n \geq 10$  pro Klasse) und von verschiedenen Tageszeitintervallen

- Bei der Schiene ist die Lärmbelästigung insbesondere oberhalb eines  $L_{Aeq,tag}$ -Pegels von 50 dB am Abend im Zeitraum von 18-22 Uhr höher als in den Tagesstunden davor.

In einem weiteren Auswertungsschritt wurde getrennt für beide Lärmquellen die Differenz zwischen der Lärmbelästigung tagsüber (6-18 Uhr) und der Lärmbelästigung abends (18-22 Uhr) ausgedrückt in Pegeleinheiten bestimmt ( $\Delta L$ -Schätzung, zur Methodik vgl. Liepert et al. 2000, 2003, Ströhlein 2000, 2001). Damit sollte geprüft werden, ob der im  $L_{den}$  verankerte Abendzuschlag (5 dB) bezogen auf die Lärmbelästigung durch Schienen- und Straßenverkehrslärm gerechtfertigt ist. Zu diesem Zweck wurden lineare Regres-

sionsmodelle getrennt für jede Verkehrslärmquelle mit der Lärmbelästigung als abhängige Variable und dem Mittelungspegel  $L_{Aeq}$  als unabhängige Variable für die Tageszeiträume tags und abends bestimmt. Der  $\Delta L$ -Wert ergibt sich dann aus dem horizontalen Abstand zwischen den beiden Regressionsgeraden (getrennt für jede Lärmquelle). Er beinhaltet dabei die Differenz ausgedrückt in dB(A), mit der tagsüber der Straßen- bzw. Schienenverkehrslärm lauter sein muss als abends, um das gleiche Ausmaß an Belästigung zu erzielen (Abendmalus). Diese DL-Schätzungen sind für verschiedene Pegelbereiche – 50, 60 und 70 dB(A) – vorgenommen worden. **Tabelle 3** zeigt die Ergebnisse der  $\Delta L$ -Schätzungen.

**Tabelle 3:**  $\Delta L$ -Werte für die Belästigung durch Straßen- und Schienenverkehrslärm für unterschiedliche Tageszeiträume

Quelle	$\Delta L$ im Mittelungspegelbereich von ...					
	50 dB(A)		60 dB(A)		70 dB(A)	
Schiene	8,9		13,5		14,0	
Straße	1,0		3,3		5,0	
	n			r		
	Tag	Abend	Tag	Abend		
Schiene	423	424	0,2	0,3		
Straße	645	661	0,2	0,2		
	Mw Pegel [dB(A)]		Mw Reaktion			
	Tag	Abend	Tag	Abend		
Schiene	49,8	52,0	1,5	1,8		
Straße	55,6	55,0	1,9	1,9		

$\Delta L$  = Pegeldifferenz der Lärmbelastigung tagsüber (6-18h) und abends (18-22h) – positive Werte: größere Belästigung abends; n = Anzahl der Messwertpaare; r = Produkt-Moment-Korrelation; Mw = Mittelwert

Auch die  $\Delta L$ -Werte zeigen, dass tageszeitliche Unterschiede in der Lärmbelastigung mit zunehmendem Pegel an Bedeutung gewinnen. Für beide Lärmquellen Schiene und Straße gilt, dass die  $\Delta L$ -Werte bei Mittelungspegeln von 60 und 70 dB(A) höher ausfallen, als bei 50 dB(A). Bei der Schiene reichen die  $\Delta L$ -Werte von knapp 9 bis 14 dB. Bei der Straße sind die  $\Delta L$ -Werte insgesamt geringer und reichen von knapp 1 bis 5 dB(A).

Die Auswertung der zeit- und ereignisnäheren Erhebung mittels PDA des *experience-sampling*-Untersuchungsteils bestätigen grundsätzlich die Interviewdaten zur stündlichen Lärmbelastigung. Die mittels PDA erhobenen Lärmbelastigungsurteile schwanken im Tagesverlauf stärker und stehen in etwas engerer Beziehung zum Pegelverlauf als die im Interview erhobene Lärmbelastigung. Insgesamt aber sind die mit beiden Erhebungsmethoden erhobenen Urteile im Niveau und Verlauf vergleichbar.

Neben der stündlichen PDA-Eingabe ihrer schienen- bzw. straßenverkehrsbedingten Lärmbelastigung gaben die Teilnehmer der *experience-sampling*-Studie ihre überwiegend in der vorangegangenen Stunde ausgeübte Aktivität an. Für den im Bezug auf Straßenverkehrslärm sensiblen Tageszeitraum 16-19 Uhr geben die Probanden aus den Straßengebieten überwiegend die Ausübung "entspannender" Tätigkeiten wie "Lesen", "Unterhalten/Telefonieren" und "TV sehen, Radio hören" an. Gleichzeitig wird von ihnen für diesen Zeitraum die höchste Belästigung bei Mahlzeiten berichtet. In den Schienenverkehrslärmgebieten liegt eine erhöhte Lärmbelastigung in der Abendzeit zwischen 18 und 22 Uhr vor. Zu dieser Zeit erfolgt nach Angaben der Teilnehmer der *experience-sampling*-Studie überwiegend passive Kommunikation (Fernsehen, Radio/Musik hören).

## 5 Fazit

Im Rahmen der Feldstudie wurde für die Lärmquellen Schiene und Straße geprüft, ob bei vergleichbarer Geräuschbelastung der Lärm zu verschiedenen Tageszeiten unterschiedlich belästigend oder störend wirkt. Aufgrund der Erkenntnisse aus der Literatur wurde angenommen, dass insbesondere abends die Belästigung bei gleichem Pegel höher ist als zur davor liegenden Tageszeit. Diese Annahme konnte für beide Lärmquellen, wenn auch im unterschiedlichem Maße, bestätigt werden. Dabei gewinnen bei beiden Lärmquellen tageszeitliche Unterschiede in der Lärmbelastigung mit zunehmendem Pegel an Bedeutung.

Für den Straßenverkehrslärm konnte festgestellt werden, dass insbesondere am Spätnachmittag bzw. frühen Abend (16-19 Uhr) Menschen auf den Lärm mit erhöhter Belästigung und Gestörtheit bei vergleichbarem Pegel reagieren. Es handelt sich dabei um den Tageszeitraum, in dem der nachmittägliche Berufs- und Feierabendverkehr stattfindet und in dem zu Hause überwiegend entspannende Aktivitäten (Ausruhen, Lesen, Unterhalten, TV sehen, Radio hören, Mahlzeit einnehmen) ausgeübt werden.

Die  $\Delta L$ -Schätzungen zum Straßenverkehrslärm haben gezeigt, dass der Lästigkeitsunterschied abends gegenüber tagsüber insgesamt geringer ist als beim Schienenverkehrslärm. Das erklärt sich dadurch, dass die erhöhte Belästigung durch Straßenverkehrslärm bereits am Nachmittag (gegen 16 Uhr) beginnt und nach Beginn des definierten Abendzeitraumes (gegen 19 Uhr) wieder abklingt. Bei der Straße liegen demnach zwar tageszeitlich bedingte Belästigungsunterschiede vor. Diese werden aber durch die Wahl des hier betrachteten Abend-Zeitintervalls und eines hierfür ermittelten Pegelzuschlags (Abendmalus) nicht adäquat abgedeckt. Analog gilt dies auch für das Zeitintervall von 19-23 Uhr, welches in der EU-Umgebungsärmrichtlinie als Definition der Abendzeit vorgeschlagen wird. Der in der Richtlinie definierte Abend ist im Vergleich zu dem untersuchten und in Deutschland als Definition üblichen Abendzeitraum um eine Stunde nach hinten in die Nacht verschoben und berücksichtigt den für die Straßenverkehrslärmbelastigung relevanten Spätnachmittag noch weniger.

Es stellt eine große Herausforderung dar, den Straßenverkehrslärm zum Schutz des erhöhten Ruheanspruchs in der Wohnbevölkerung gerade zur identifizierten lärmsensiblen Tageszeit zu mindern. Verschiedene Maßnahmen, angefangen von temporären Fahrverboten oder einer (zeitlich begrenzten) City-Maut, wie sie etwa derzeit im Zusammenhang mit der Umsetzung von EU-Vorgaben zur Luftreinhaltung diskutiert werden, sind neben technischen Minderungsmaßnahmen an der Quelle (Fahrzeug, Fahrbahn) ebenso denkbar wie die weitere Flexibilisierung von Arbeitszeiten. Aber auch der einzelne Verkehrsteilnehmer ist gefragt, seine Ver-



kehrsmittelwahl auf dem Weg von und zur Arbeit sowie im nachmittäglichen Besorgungs- und Freizeitverkehr zu überprüfen. Neu ist diese Überlegung nicht. Möglicherweise aber sind dabei auf die Wohn-Lebensqualität und Gesundheit bezogene Argumente dem Betreffenden für die Entscheidung zu einem nachhaltigen Mobilitätsverhalten näher und motivierender als die ausschließliche Darstellung von abstrakten Umweltfolgen des Straßenverkehrs wie "Ozonloch" oder "Treibhauseffekt".

Die Anwohner von Bahnstrecken reagieren in dieser Studie vor allem abends (18-22 Uhr) sensibler auf den Schienenverkehrslärm. Zu diesem Zeitpunkt findet überwiegend passive Kommunikation (Fernsehen, Radio hören) statt; Aktivitäten also, bei denen lautere Einzelgeräusche, wie sie beim Bahnverkehr der Fall sind, besonders leicht stören können. Wie zudem auch die  $\Delta L$ -Schätzungen gezeigt haben, ist die Berechnung eines Pegelzuschlags für die Abend- (und Nacht-)zeit in Gesamttages-Pegelindeces gerade für die Lärmquelle Schiene angemessen. Vor dem Hintergrund der erhöhten Lärmbelastigung zur Abendzeit ist zu prüfen, inwieweit nicht ein Zielkonflikt entsteht, wenn eine zunehmende Güterverkehrsverlagerung auf die Schiene angestrebt wird. Der im Vergleich zum Reisezug lästigere Güterzugverkehr (zusammenfassend u.a. Schuemer 2003) wird oftmals gerade abends und nachts, wenn der Personenverkehr nachlässt, auf den Hauptabfuhrstrecken geführt. Diesem Zielkonflikt lässt sich langfristig durch kontinuierliche Weiterentwicklung lärmemissionsreduzierter Güterzüge und vor allem dem forcierten Einsatz der hier bereits existierenden Lösungen in der Fahrzeug- und Gleisbautechnik lösen. Kurz- bis mittelfristig können "vertrauensbildende" Maßnahmen gegenüber den Anrainern von Bahnstrecken die Lärmbelastigung reduzieren (vgl. u.a. Schreckenberget al. 2001, Felscher-Suhr et al. 2001). Entsprechende Ansätze im Bereich des Schienenverkehrslärms liegen zwar vor (z.B. Liepert et al. 1999, Ofner, 2004). Für die Beurteilung des Erfolgs eines systematischen Einsatz dieser Art von „kommunizierender“ Planung existieren allerdings zu wenig Evaluationsstudien.

Einschränkend ist festzuhalten, dass die Ergebnisse zum Schienenverkehrslärm in lediglich zwei Untersuchungsgebieten gewonnen wurden und Gebietseffekte daher nicht gänzlich ausgeschlossen werden können. Hinzu kommt, dass insbesondere bei der Schiene die oberen Pegelklassen bei den Wohnanschriften der Befragten vergleichsweise gering besetzt waren und auch deshalb die Generalisierung der Aussagen eingeschränkt ist. Inwieweit die Ergebnisse also auf Bahnstrecken mit einer anderen tageszeitlichen Bahnverkehrsstruktur übertragbar sind, kann an dieser Stelle nicht abschließend entschieden werden; weitere Prüfungen im Rahmen künftiger Forschungsvorhaben sind hierfür erforderlich. Entsprechend wären für die weitere Generalisierbarkeit der Ergebnisse zur tageszeitabhängigen Lärmbelastigung durch Straßenverkehr

Untersuchungen in weiteren Wohngebieten an Straßen mit verschiedenen Arten des tageszeitlichen Pegelverlaufs ratsam.

## 6 Literatur

- Babisch W (1998): Epidemiological studies of cardiovascular effects of traffic noise. In: Carter N, Job RFS, eds: Noise Effects '98. Proceedings of the 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney 1998. Noise Effects '98 PTY LTD, Sydney, 221-229.
- Babisch W (2000): Traffic noise and cardiovascular disease. Epidemiological review and synthesis. Noise & Health 8, 9-32
- Berglund B, Lindvall T, Hrsg. (1995): Community noise. Document prepared for the World Health Organization. Archives of the Center for Sensory Research, Vol. 2, Issue 1, 1995
- Bolger N, Davis A, Eshkol R (2003): Diary Methods: Capturing life as it is lived. Annu Rev Psychol 54, 579-616
- EU-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
- Felscher-Suhr U, Guski R, Hunecke M, Kastka J, Paulsen R, Schuemer R, Vogt J (1995): Störungen von Alltagstätigkeiten durch Flug- und Straßenlärm. Eine methodologische Vorstudie. Ruhr-Universität Bochum.
- Felscher-Suhr U, Guski R, Hunecke M, Kastka J, Paulsen R, Schuemer R, Vogt J (1996): Eine methodologische Studie zur aktuellen Erfassung von Alltagstätigkeiten und deren Störungen durch Umweltlärm. Z Lärmbekämpfung 43, 61-68.
- Felscher-Suhr U, Guski R, Schuemer R, Schulte-Pelkum J (1999): Internationale Standardisierungsbestrebungen zur Erhebung der Lärmbelastigung. Eine vorbereitende empirische Untersuchung in zehn Ländern. Umweltpsychologie 3(1), 34-45
- Felscher-Suhr U, Guski R, Schuemer R (2000): Internationale Standardisierungsbestrebungen zur Erhebung der Lärmbelastigung. Die Entwicklung von international vergleichbaren äquidistanten Lärmbelastigungsskalen. Z Lärmbekämpfung 47, 68-70
- Felscher-Suhr U, Schreckenberget al. (2001): Vertrauensbildung als flankierende Maßnahme zur Lärmbelastigungsminderung? Ein Vorschlag für eine interdisziplinäre Umsetzung in der Praxis. Fortschritte der Akustik – DAGA 2001, 228-229
- Fields JM (1986): The relative effect of noise at different times of day. NASA Contractor Report CR-3965. NASA, Hampton, USA
- Fields JM, de Jong RG, Gjestland T, et al. (2001): General-purpose noise reaction questions for community noise surveys: reserach and a recommendation. J Sound Vib 242, 641-679
- Griefahn B (2003): Physiologische Lärmwirkungen. In: Schuemer R, Schreckenberget al., Felscher-Suhr U, Hrsg.: Wirkungen von Schienen- und Straßenverkehrslärm. ZEUS GmbH, Bochum, S 111-123. [www.verkehrslaermwirkung.de](http://www.verkehrslaermwirkung.de) ■ genauen Link angeben ■
- Griefahn B, Möhler U, Schuemer R, Hrsg. (1999): Vergleichende Untersuchung über die Lärmwirkung bei Straßen- und Schienenverkehr. SGS, München
- Guski R (2003): Konzepte und Methoden der Lärmwirkungsforschung. In: Schuemer R, Schreckenberget al., Felscher-Suhr U, Hrsg.: Wirkungen von Schienen- und Straßenverkehrslärm. ZEUS GmbH, Bochum, S 1-16. [www.verkehrslaermwirkung.de](http://www.verkehrslaermwirkung.de) ■ genauen Link angeben ■
- Guski R, Schuemer R, Felscher-Suhr U (1999): The concept of noise annoyance: How international experts see it. J Sound Vib, 223, 513-527

- 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
- Health Council of the Netherlands (Gezondheidsraad), Committee on Noise and Health (1994): Noise and Health. The Hague: Health Council of the Netherlands. Publication no 1994/15E
- Höger R (1999): Theoretische Ansätze und Ergebnisse der psychologisch orientierten Lärmwirkungsforschung. *Umweltpsychologie* 3, 6-20
- Höger R, Schreckenberg D, Felscher-Suhr U, Griefahn B (2002): Night-time annoyance – state of the art. *Noise & Health* 4(15), 19-24
- IF-Studie II (1983): Interdisziplinäre Feldstudie II über die Besonderheiten des Schienenverkehrslärms gegenüber dem Straßenverkehrslärm. (Erweiterte Untersuchung). Bericht über ein Forschungsvorhaben zum Verkehrslärmschutzgesetz im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bd 1 und 2. Forschungsnummer 70081/80 des Bundesministers für Verkehr. Planungsbüro Obermeyer, München
- Kastka J (1999): Untersuchung der Fluglärmbelastungs- und Belästigungssituation der Allgemeinbevölkerung der Umgebung des Flughafens Frankfurt. Gutachten im Auftrag der Mediationsgruppe Flughafen Frankfurt/Main. Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf
- LfU, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Hrsg. (2004): Lärmbelastung in Baden-Württemberg. Ergebnisse sozialwissenschaftlicher Untersuchungen. Bearbeitung: ZEUS GmbH, Bochum. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe
- Liepert M, Möhler U, Schreckenberg D, Schuemer R (2000): Lästigkeitsunterschied von Straßen- und Schienenverkehrslärm im Innenraum. Abschlussbericht. SGS, München
- Liepert M, Möhler U, Schreckenberg D, Schuemer R, Fastl H (2003): Lästigkeitsunterschied von Straßen- und Schienenverkehrslärm bei hoher Vorbeifahrtäufigkeit. Hauptstudie. Möhler + Partner, München
- Liepert M, Hegner A, Möhler U, Schreckenberg D, Schuemer-Kohrs A, Schuemer R (1999): Lärmbelastung durch Schienenverkehrslärm vor und nach dem Schienenschleifen. Zwischenbericht zur Hauptstudie Akzeptanzbefragung. Bericht Nr. 101-707 im Auftrag der Deutschen Bahn AG. Möhler + Partner, München
- McKenna AC (1963): Aircraft noise around London (Heathrow) Airport. Central Office of Information, London
- Niemann H, Maschke C (2004): WHO-LARES study. First interim report – noise effects and morbidity. Berlin: Berlin Center of Public Health. Interdisciplinary research network "Noise and Health", TU, Berlin
- Niemann H, Maschke C, Hecht K (2004): Belästigung und Erkrankungsrisiko – Ergebnisse des Pan Europäischen LARES-Survey zum Fluglärm. Interdisziplinärer Forschungsverbund "Lärm und Gesundheit" im Berliner Zentrum Public Health, Technische Universität, Berlin
- Ofner J (2004): "Der Vergleich macht sie sicher" – Hörbare Lärmprognosen können Anrainern die Wirksamkeit geplanter Lärmschutzmaßnahmen z. B. an Eisenbahnstrecken besser vermitteln. Hamann-Consult AG – 13. Konferenz Verkehrslärm 8.-10. Oktober 2004, Dresden
- Schreckenberg D, Felscher-Suhr U, Lass J (1999): Sozialwissenschaftliche Erhebung zur Lärmbelastung in Baden-Württemberg. Bericht Nr. 1010/53478/33-90003913 im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. ZEUS GmbH, Bochum
- Schreckenberg D, Schuemer R, Möhler U (2001): Railway-noise annoyance and "misfeasance" under conditions of change. In Boone R, Ed: Proceedings of internoise 2001, CD-ROM C 344, cl. 66, The Hague
- Schuemer R (2003): Belästigungswirkung von Schienenverkehrslärm. In: Schuemer R, Schreckenberg D, Felscher-Suhr U, Hrsg.: Wirkungen von Schienen- und Straßenverkehrslärm. ZEUS GmbH, Bochum, S 17-48. [www.verkehrslaermwirkung.de](http://www.verkehrslaermwirkung.de) ■genauen Link angeben■
- Stansfeld SA (1992). Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psychophysiological studies. *Psychol Med.* 1992, Suppl 22,1-44
- Stansfeld SA, Lercher P (2003): Non-auditory physiological effects of noise: five year review and future directions. In: de Jong R, Houtgast T, Franssen EAM, Hofman W, Hrsg.: ICBEN 2003. Proceedings of the 8th International Congress on Noise as a Public Health Problem, Rotterdam. Foundation ICBEN 2003, Schiedam, S. 84-90
- Ströhlein G (2000): Entwicklung eines Bootstrapping-Verfahrens bei linearer Regression mit zwei fehlerbehafteten Variablen am Beispiel empirischer und simulierter Daten. NUMACON, Iserlohn
- Ströhlein G (2001): Entwicklung eines SAS<sup>®</sup>-Makros zur Regressionsanalyse fehlerbehafteter Daten mit Fehlerrechnung und Visualisierung. NUMACON, Iserlohn
- Wirth K (2004): Lärmstudie 2000. Die Belästigungssituation im Umfeld des Flughafens Zürich. Shaker, Aachen
- Wirth K, Brink M, Schierz C (2002): Lärmstudie 2000 - Projektdesign und erste Resultate. Fortschritte in der Akustik, 346-347

Eingegangen am: 10.01.2005  
Akzeptiert am: 29.03.2005