

Vergleich der Lästigkeit von Schienen- und Straßenverkehrslärm

U. Möhler, München, R. Schuemer, Hagen, V. Knall, München und A. Schuemer-Kohrs, Hagen

Zusammenfassung. Es wird über eine Untersuchung der Lästigkeitsdifferenzen zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm berichtet. In 20 Gebieten wurden die Geräuschbelastung (gemessen als L_m) und die Lärmbelastung durch Schienen- und Straßenlärm erhoben. Die empfundene Lästigkeit wurde mittels eines Fragebogens für ca. 1500 Betroffene erfaßt. Die Analyse der Beziehungen zwischen Gestörtheitsreaktionen und Mittelungspegeln ergab: Schienenverkehrslärm ist im allgemeinen bei gleichem Mittelungspegel L_m weniger lästig als Straßenverkehrslärm (Schienenbonus). Die Höhe dieses Lästigkeitsunterschiedes ist stark abhängig von der betrachteten Gestörtheitsreaktion, von der Pegelhöhe und vom betrachteten Bezugszeitraum Tag oder Nacht, jedoch wenig abhängig von der Auswertungsmethode und der Gebietslage (Stadt oder Land).

Schlüsselwörter: Lärmwirkung – Schienenverkehrslärm – Straßenverkehrslärm – Lärmquellenvergleich

Comparison of the annoyance due to railway and road traffic noise

Summary. Reported are the results of a study on the differences of the disturbance-reactions to railway noise and road traffic noise. In 20 areas the noise levels (L_m) and the noise annoyance due to rail- and road traffic noise were measured. The noise annoyance of 1500 subjects was measured by questionnaire. The analysis of the relations between L_m and annoyance indicates that in general railway noise is less annoying than road traffic noise. However, this difference depends strongly on the disturbance reaction considered, the reference period (day or night) and the noise level range. In contrast there is only a small dependence on the methods used and on the site considered (urban or rural area).

Key words: noise annoyance – railway noise – road traffic noise – comparison of noise sources

Comparaison de la gêne due au bruit ferroviaire et routier

Résumé. Ils s'agit d'une étude sur l'ennui causé par les bruits de circulation routière et ferroviaire dans des régions rurales et urbaines. 20 régions avec des différentes intensités (L_m) de bruits de circulation routière et ferroviaire ont été examinées. L'effet ennuyant subi fut établi

au moyen d'un questionnaire rempli par à peu près 1500 personnes. L'analyse de relation entre le degré d'ennui subi et la valeur moyenne L_m a donné les résultats suivants: En général pour la même intensité L_m le degré de perturbation de la circulation ferroviaire est moins intense que celui de la circulation routière. Ces différences de la gêne dépendent fortement des réactions de la perturbation, du niveau sonore et du temps jour ou nuit, elles dépendent moins des méthodes de la calcul et de la région (urbaine ou rurale).

Mots clés: effets du bruit – bruit ferroviaire – bruit routier – comparaison des sources de bruit

1 Fragestellung und Untersuchungsziel

Das Ziel der »Interdisziplinären Feldstudie II über die Besonderheiten von Schienenverkehrslärm gegenüber dem Straßenverkehrslärm« (IF-Studie II) – Forschungsvorhaben zum Verkehrslärmschutzgesetz im Auftrag des Bundesministers für Verkehr [16] –, über die hier berichtet wird, war es, die Auswirkungen von Schienen- und Straßenverkehrslärm auf die betroffene Bevölkerung zu untersuchen und mögliche Unterschiede in der Störwirkung der Geräuschbelastung durch die beiden Verkehrssysteme zu ermitteln und zu quantifizieren. (Diese Studie stellt eine Erweiterung einer früheren Untersuchung dar, über die u. a. in [7, 10, 22] berichtet wurde.)

Vordringlich waren die Fragen zu klären:

- Wird der Schienenverkehrslärm gegenüber dem Straßenverkehrslärm bei gleicher Geräuschbelastung als unterschiedlich lästig empfunden?
- In welchen Gestörtheitsbereichen besteht ein möglicher Unterschied zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm, und wie groß ist er?
- Inwieweit ist ein möglicher Lästigkeitsunterschied abhängig von der Höhe der Lärmbelastung?
- Läßt sich ein Unterschied in der Störwirkung von Schienen- und Straßenverkehrslärm gleichermaßen für Stadt- und Landbewohner feststellen, oder unterscheiden sich Stadt- und Landbewohner in ihren Reaktionen auf Straßen- und Schienenverkehrslärm?

Ferner soll hier insbesondere untersucht werden, ob und inwieweit ein auftretender Lästigkeitsunterschied invariant gegenüber verschiedenen Schätzmethoden ist.

2 Untersuchungsverfahren

2.1 Untersuchungsplan

Zur Untersuchung der Fragestellung wurde ein Feld- bzw. Quasi-Experiment [1] geplant: Die Untersuchung sollte außerhalb des Labors in der »natürlichen Lebenswelt« der Betroffenen durchgeführt werden. Die akustischen Untersuchungsbedingungen wurden also nicht willkürlich von den Untersuchern manipuliert und variiert; vielmehr sollten die zur Beantwortung der o. g. Fragestellungen geeignet erscheinenden Bedingungen »im Felde« gesucht werden.

Zunächst galt es also, Gebiete mit den gewünschten akustischen Bedingungen auszuwählen (siehe 2.2); in diesen Gebieten wurden akustische Messungen (siehe 2.3) durchgeführt und zufällig ausgewählte betroffene Anwohner anhand eines Fragebogens mündlich befragt (siehe 2.4).

2.2 Gebietsauswahl

Es wurden 20 Untersuchungsgebiete – verteilt über die Bundesrepublik – ausgewählt (auf die Daten aus zwei zusätzlich untersuchten S-Bahngebieten wird hier nicht eingegangen):

- jeweils 7 Gebiete mit dominantem Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm, wobei als sekundäre Schallquelle der jeweils andere Verkehrsträger – wenn auch in deutlich geringerer Ausprägung (min. Differenz im $L_{m,24h}$ ca. 6 dB(A)) – vorhanden bzw. hörbar war. (Das Vorhandensein beider Quellen war Voraussetzung dafür, daß derselbe Fragebogen mit Fragen nach beiden Verkehrslärmarten für alle Probanden anwendbar ist.) Von den jeweils 7 Gebieten waren jeweils 3 Gebiete sehr laut ($L_{m,24h}$ ca. 70 dB(A)) und jeweils 4 Gebiete leiser ($L_{m,24h}$ ca. 60 dB(A)).
- 4 Gebiete mit annähernd gleicher Geräuschbelastung durch Schienen- und Straßenverkehrslärm (Mischgebiete); davon zwei Gebiete sehr laut ($L_{m,24h}$ ca. 70 dB(A)) und zwei Gebiete leiser ($L_{m,24h}$ ca. 60 dB(A)).
- 2 Gebiete mit sowohl leisem Schienen- als auch leisem Straßenverkehrslärm (Kontrollgebiete mit $L_{m,24h}$ um 50 dB(A)).

Jeweils die Hälfte der Gebiete waren städtisch, die jeweils andere Hälfte eher ländlich (Gemeindegröße < 20 000). Der Plan zur Gebietsauswahl ist in Tabelle 1 dargestellt.

Bei allen Gebieten war der Straßenverkehrslärm durch annähernd gleichförmigen Verkehrsfluß bedingt, da Häuser im Nahbereich von ampelgesteuerten Kreuzungen nicht berücksichtigt wurden. Beim Schienenverkehr

wurden nur Probanden, die in der Nähe von elektrifizierten Durchfahrstrecken (also außerhalb von Bahnhöfen und Haltepunkten) wohnten, befragt.

Gebiete, in denen andere als die hier zu untersuchenden Geräuschbelastungen durch Straßen- bzw. Schienenverkehr (wie z. B. Flug-, Industrie- oder Baulärm) deutlich wahrnehmbar vorhanden waren, wurden bei der Auswahl nicht berücksichtigt.

Eine weitere Bedingung bei der Gebietsauswahl war, daß die Verkehrswege schon über längere Zeit bestehen sollten und die Bebauung älter als 5 Jahre war.

Bei der Gebietsuche und -auswahl wurden neben der Überprüfung der Rahmenbedingungen akustische Stichprobenmessungen und Verkehrserhebungen (Verkehrszählungen beim Straßenverkehr; Auswertung der Zugmeldebücher beim Schienenverkehr) in allen Gebieten vorgenommen.

2.3 Akustische Messungen

Nach Abschluß der sozialwissenschaftlichen Erhebung (s. 2.4) wurden zur Ermittlung der Geräuschbelastung Dauermessungen über 24 Stunden durchgeführt, wobei die Meßdaten stündlich abgerufen wurden (entsprechend der DIN 45 642: Messung von Verkehrsgeräuschen), so daß mit den Daten neben dem L_m weitere akustische Kennwerte gebildet werden konnten. Der Meßpunkt pro Gebiet war so bestimmt, daß er im »akustischen Schwerpunkt« der Häuser bzw. Haushalte lag, in denen Befragungen durchgeführt worden waren. Stichprobenmessungen innerhalb der ausgewählten Gebiete ergaben Abweichungen vom L_m am Dauermeßplatz von maximal 2 dB(A).

Die quellspezifischen Mittelungspegel für Straßen- und Schienenverkehrslärm wurden für die jeweiligen Dauermeßpunkte unter Berücksichtigung der erhobenen Verkehrsmengendaten und der Schallausbreitungsverhältnisse nach den einschlägigen Richtlinien [24, 25, 26] errechnet und über die Meßwerte abgeglichen. Nach Auswertung der Messungen und Berechnungen ergab sich für die Zeiträume Tag, Nacht und 24 h die in Bild 1 dargestellte Verteilung der Mittelungspegel L_m .

Wie die Abbildung zeigt, konnte die im Untersuchungsplan vorgesehene Gebietsauswahl von dominanten Gebieten und Mischgebieten, bezogen auf den $L_{m,24h}$ und $L_{m,Tag}$, relativ gut realisiert werden, während beim $L_{m,Nacht}$ eine deutliche Verschiebung der ursprünglichen Straßen- und Mischgebiete zu Misch- bzw. Schienengebieten zu verzeichnen ist (d. h. Gebiete, die – gemessen am $L_{m,Tag}$ – als dominante Straßenverkehrslärmgebiete zu bezeichnen sind, weisen bezogen auf den Nachtmittelungspegel eine geringe Differenz in der quellspezifischen Lärmbelastung auf). Diese Verschiebung ist auf das im allgemeinen verkehrstypische Verhalten von Schienen- und Straßenverkehr zurückzuführen. So weist die Tagesganglinie des stündlich gemittelten L_m bei Schienenverkehr in der Regel kaum Schwankungen im Verlauf von 24 h auf, während bei Straßenverkehr zwischen Tag und Nacht Differenzen von bis zu 8 dB(A) typisch sind (Bild 2).

2.4 Sozialwissenschaftliche Variablen und Erhebung

2.4.1 Fragebogen

Zur Erfassung der Störwirkung der beiden Verkehrslärmarten wurde ein zuvor erprobter standardisierter Frage

Tabelle 1. Schema zur Gebietsauswahl

Geräuschbelastung		Hoch	Mittel- mäßig	Sehr gering	
Straßenverkehrs- gebiete:	Stadt	x	x		
	Land	x	x		
Schienenverkehrs- gebiete:	Stadt	x	x		
	Land	x	x		
(Immissions)- Mischgebiete:	Stadt	x	x	x	Kontroll- gebiete
	Land	x	x	x	

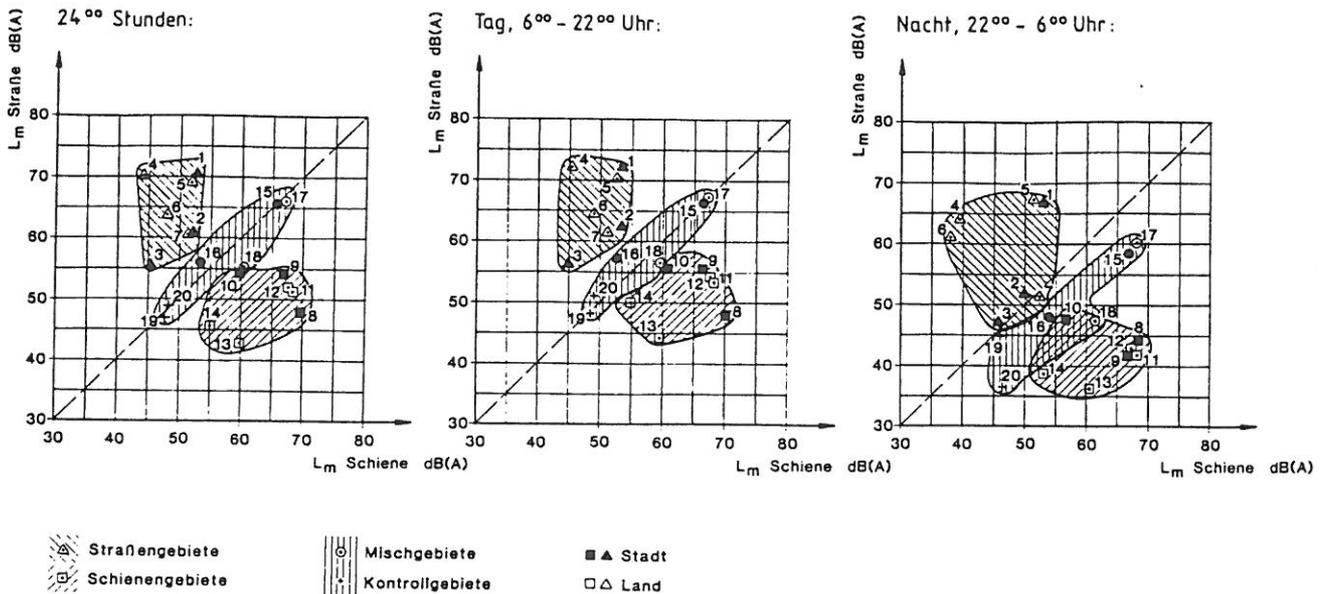


Bild 1. Verteilung der quellspezifischen Mittelungspegel in den Untersuchungsgebieten

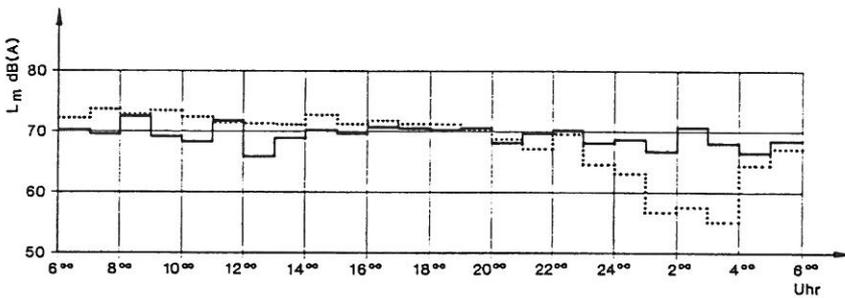


Bild 2. Typische Tagesganglinie des Mittelungspegel in einem StraÙen- und Schienenverkehrsgebiet

..... StraÙenverkehrsgebiet
 ————— Schienenverkehrsgebiet

bogen verwendet, der den Fragebögen zur Lärmthematik, wie sie in der Literatur [3, 5, 17] beschrieben sind, ähnlich ist.

Der Fragebogen enthält i. w. vier Bereiche:

1) *Sozio-demographische Merkmale:*

u. a. Alter, Geschlecht, sozio-ökonomischer Status

2) *Fragen zur Erfassung der Störwirkung des Verkehrs-lärms (Reaktionsvariablen);*

entsprechende Variablen sind u. a.:

- Rekreatiionsstörungen infolge Lärms
- Störungen der Kommunikation
- (erfragte) vegetative und somatische Störungen
- allgemeine Gestörtheit durch Lärm tags- bzw. nachts-über
- Belästigungs- und Ärgerempfindungen.

Der größte Teil dieser Variablen wurde quellspezifisch (also getrennt für Schienen- und StraÙenverkehr) erhoben; ein kleinerer Teil wurde nicht-quellspezifisch erfragt.

Insgesamt wurden 27 solcher Variablen erfaßt; diese Variablen korrelieren untereinander sowohl bei StraÙenverkehrslärm als auch beim Schienenverkehrslärm recht hoch. Die mittels z' über die Reaktionen gemittelte Kor-

relation beträgt bei StraÙenverkehrslärm und auf Gebietsmittelwertsbasis $\bar{r} = 0.90$; bei Schienenverkehrslärm ist der entsprechende Wert $\bar{r} = 0.81$. Die entsprechenden Werte auf Individualdatenbasis betragen $\bar{r} = 0.52$ bei der StraÙe und $\bar{r} = 0.43$ bei der Schiene.

Für die Zwecke des vorliegenden Berichtes wurden – u. a. nach der Höhe der Korrelation zwischen Mittelungspegel und Reaktion – neun (quellspezifisch erhobene) dieser Variablen ausgewählt. 5 davon beziehen sich auf den Tageszeitraum, 2 auf den Nachtzeitraum, und 2 sind ohne tageszeitlichen Bezug.

Für den Bereich der Tages- bzw. Nachtstörungen wurden zudem zwei zusammenfassende Maße RT bzw. RN (durch Mittelung entsprechender Einzelskalen) gebildet. Diese (9 + 2) Variablen sind in Tab. 2 zusammengefaßt.

Bei den Fragen, die den in Tab. 2 aufgeführten Variablen zugrundeliegen, wurde jeweils eine 5-stufige Antwortskala (nicht, wenig, mittel, ziemlich, sehr) vorgegeben.

3) *Fragen, die außer-akustische Einflüsse betreffen,* von denen ein die Reaktion auf Verkehrslärm mitbeeinflussender bzw. moderierender Einfluß angenommen wird (zum Moderatoren-Begriff in der Lärmforschung

Tabelle 2. Die ausgewählten Reaktionsvariablen

I Einzelvariablen	
a) Störungen ohne tageszeitlichen Bezug	
BEL	Allgemeine empfundene Belästigung durch Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm (e) ^a
AERGER	Ärger über Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm und seine Folgen (e)
b) Störungen am Tage	
GES 1	Allgemeine Gestörtheit durch Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm tagsüber (e)
RUHE	Störungen der Ruhe und Erholung in der Wohnung infolge Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm (c 3) ^b
FREI	Störungen der Erholung und Kommunikation im Freien durch Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm (c 2)
KOMM	Störungen der Kommunikation durch Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm (c 4)
VEG	Erfragte vegetative somatische und Störungen infolge Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm (c 3)
c) Störungen nachts	
GES 2	Allgemeine Gestörtheit durch Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm, nachts (e)
SCHLAF	Schlafstörungen infolge Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm (c 2)
II Zusammenfassende Maße	
RT	Tagstörungen durch Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm (Kombination aus GES 1, RUHE, FREI, KOMM, VEG)
RN	Nachtstörungen durch Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm (Kombination aus GES 2 und SCHLAF)

^ae: Einzelitem

^bc: Composite score; die nachgestellte Ziffer gibt die Anzahl der berücksichtigten Einzelitems an. Die interne Konsistenz nach Cronbach beträgt $\alpha \geq 0,8$.

[17, 20, 21]). Hierzu sind Fragen bzw. Variablen zu rechnen wie u. a.:

- allgemeine Lärmempfindlichkeit
- Glaube, sich an Lärm gewöhnen zu können
- Einstellung zur Umwelt und zur Zivilisation und Technik
- Zufriedenheit mit der Wohngegend.

4) *Fragen zum Gesundheitszustand und zum Gesundheitsverhalten:* u. a. Fragen zu verschiedenen vegetativen und somatischen Symptomen sowie zum Medikamenten-Konsum. (Diese Fragen wurden in Absprache mit den am Projekt beteiligten Medizinern konzipiert. Ferner wurden von den Medizinern in einem weiteren Untersuchungsschritt an einem Teil der Probanden audiometrische Messungen durchgeführt. Über diese wie auch über den gesamten medizinischen Bereich wird an anderer Stelle berichtet [16]).

Der Fragebogen wurde mittels der üblichen teststatistischen Verfahren analysiert; soweit möglich, wurden Einzelfragen, die Ähnliches beinhalten, zur Erhöhung der internen Konsistenz bzw. der Meßgenauigkeit zu Indizes (composite scores) zusammengefaßt.

2.4.2 Sozialwissenschaftliche Erhebung

Zur Durchführung der Befragung wurden in jedem der 20 Untersuchungsgebiete Probanden im Alter zwischen 18 und 70 Jahren aus einer Adressenkartei zufällig ausgewählt. Nach einer brieflichen Ankündigung wurden die so ermittelten Probanden von einem geschulten Interviewer aufgesucht und befragt. Insgesamt konnten 1516 Interviews in den 20 Gebieten – pro Gebiet zwischen 53 und 89 – ausgewertet werden.

Die Anzahl der Interviews war insgesamt ausreichend, um einen Bevölkerungsquerschnitt zu erreichen, der in sozio-demographischer Hinsicht in den Schienen- und Straßenverkehrsgebieten relativ gut übereinstimmte. Abweichungen vom Bundesdurchschnitt waren vernachlässigbar.

3 Methode zur Schätzung des Lästigkeitsunterschiedes zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm

Die Frage nach einem Lästigkeitsunterschied zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm läßt sich in zweierlei Weise beantworten:

1) Die Frage kann dadurch beantwortet werden, daß in Einheiten der dB(A)-Skala angegeben wird, um wieviel lauter bzw. leiser der Schienenverkehrslärm gegenüber dem Straßenverkehrslärm zur Erreichung der gleichen Reaktion sein muß.

2) Die Frage kann auch in der Weise beantwortet werden, daß der Unterschied zwischen der Reaktion auf Schienenverkehrslärm und jener auf Straßenverkehrslärm in Einheiten der Reaktion bei gleichem Pegelniveau angegeben wird.

Voraussetzung für die Quantifizierung des Lästigkeitsunterschiedes ist die Darstellung der Beziehung zwischen der Gestörtheitsreaktion und dem Schallpegel für jede der beiden Quellen (Schiene/Straße). Dabei wird, wie u. a. in [3, 4, 5, 17] bereits erörtert, von einer linearen Beziehung zwischen Gestörtheitsreaktion (R) und Lärmbelastung (L_m) ausgegangen:

$$R_{Sch} = b_{Sch} \cdot L_{m, Sch} + c_{Sch} \quad (1)$$

$$R_{Str} = b_{Str} \cdot L_{m, Str} + c_{Str} \quad (2)$$

Die Geradenparameter wurden zu diesem Zweck verschiedentlich durch die konventionelle lineare Regression zur Schätzung der Reaktion (R) aus den Pegeln L_m (L) bestimmt, so z. B. bei [4]. Diese Schätzmethode erscheint den Autoren jedoch aus zwei Gründen weniger geeignet, da sie a) eine Meßfehlerbehaftung nur bei den Reaktionen, nicht jedoch bei den Pegeln voraussetzt und da sie b) der Fragestellung insofern nicht adäquat ist, als diese nicht uni-, sondern bidirektional ist: es interessiert sowohl die Lästigkeitsdifferenz in dB(A) zwischen den Quellen bei gegebener Reaktion als auch die Gestörtheitsdifferenz in Reaktions-Einheiten bei gegebenem Schallpegel.

Somit muß die gesuchte »Bezugsgerade« (Bild 3) zwischen den beiden möglichen Regressionsgeraden (in der Schätzrichtung »Reaktion aus Pegel« und »Pegel aus Reaktion«) liegen.

Zur Lösung dieses Problems wurde in [5, 10] die Winkelhalbierende zwischen den beiden Regressionsgeraden bestimmt. In vorliegender Studie wurde als angemessenes Verfahren die Strukturgerade nach Madansky [11] ge-

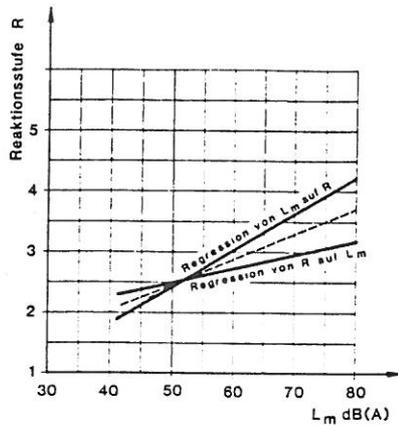


Bild 3. Schematische Darstellung der Beziehung zwischen Reaktion und Schallpegel durch Regressionsgeraden

wählt. Die Steigung dieser Strukturgeraden berechnet sich zu:

$$b_{SG} = \frac{s_R^2 - \lambda s_L^2 + \sqrt{(s_R^2 - \lambda s_L^2)^2 + 4 \lambda \text{COV}_{LR}^2}}{2 \text{COV}_{LR}} \quad (3)$$

Die Besonderheit der Strukturgeraden gegenüber der üblichen Regression und der Winkelhalbierenden liegt darin, daß für die Schätzungen von R aus L_m und vice versa dieselbe Gerade zugrunde gelegt wird; dies wird dadurch erreicht, daß für beide Variablen explizite Fehlerannahmen gemacht werden müssen. Diese werden in den sog. λ -Koeffizienten zueinander in Beziehung gesetzt:

$$\lambda = \frac{s_{eR}^2}{s_{eL}^2} \quad (4)$$

mit s_{eR} : Fehlervarianz der Reaktionen;
mit s_{eL} : Fehlervarianz der L_m .

Für die Zwecke vorliegender Untersuchung werden zwei mögliche λ -Definitionen verwendet:

1) Verhältnis der quadrierten Standardfehler der Reaktionen zum quadrierten Meßfehler der Mittelungspegel, der üblicherweise mit ± 2 dB(A) angesetzt wird:

$$\lambda_1 = \frac{s_R^2/N}{2^2} \quad (5)$$

2) Verhältnis des quadrierten Standardschätzfehlers aus der Korrelation (r) zwischen Reaktion und Pegel:

$$\lambda_2 = \frac{s_R^2 (1 - r_{LR}^2)}{s_L^2 (1 - r_{LR}^2)} \quad (6)$$

λ_2 kann also auf das Verhältnis der Reaktionsvarianz zur Pegelvarianz verkürzt werden. Beim Einsetzen von λ_2 in Gl. (3) resultiert für die Steigung der Strukturgeraden $b_{SG} = s_R/s_L$; die Steigung der Geraden entspricht also dem Streuungsverhältnis beider implizierter Variablen (was der Steigung einer Regressionsgeraden bei einer Korrelation von 1.0 entspricht). Diese Lösung entspricht auch dem in [23] entwickelten Ansatz auf der Grundlage eines Hauptachsenmodells von [2]. Ferner wurde diese Lösung in [17] als »ungerichtete Bezugsgerade« herangezogen.

Die in Abschn. 4 mitgeteilten Ergebnisse beruhen auf der Strukturgeraden mit λ_2 . (Im Abschn. 5.1 werden zusätzliche Schätzungen aufgrund der Strukturgeraden mit

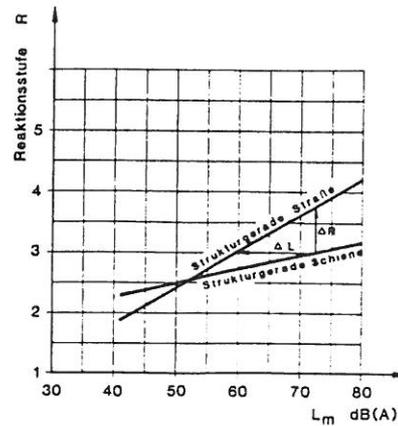


Bild 4. Schematische Darstellung des Lästigkeitsunterschiedes zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm ($\Delta L =$ in Pegel-einheiten; $\Delta R =$ in Reaktionseinheiten)

λ_1 , den linearen Regressionen von R auf L und vice versa sowie der Winkelhalbierenden aus den beiden Regressionen dargestellt.) Ausgehend von der Strukturgeraden jeder Quelle (Schiene, Straße) wird der Lästigkeitsunterschied als Mittelungspegeldifferenz in dB(A) oder als Reaktionsdifferenz in Reaktionseinheiten ausgedrückt (Bild 4).

Der horizontale Abstand zwischen den beiden Geraden in Bild 4 gibt die Pegeldifferenz ΔL in dB(A) zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm bei gleicher Gestörtheit, der vertikale Abstand den Gestörtheitsunterschied ΔR bei gleichem Mittelungspegel an.

Der Lästigkeitsunterschied zwischen den beiden Schallquellen läßt sich also aus der Gleichsetzung der jeweiligen Geradengleichungen (1) und (2) mit dem gewählten Gleichungsparameter aus der Regression, Winkelhalbierenden oder Strukturgeraden ableiten.

Für $R_{Str} = R_{Sch}$ ergibt sich somit:

$$b_{Sch} \cdot L_{m,Sch} + c_{Sch} = b_{Str} \cdot L_{m,Str} + c_{Str} \quad (7)$$

Nach Auflösung dieser Gleichung nach $L_{m,Sch}$ oder $L_{m,Str}$ kann daraus direkt bei vorgegebenem Schallpegel der einen Schallquelle der entsprechende Schallpegel der anderen Schallquelle bei gleicher Gestörtheitsreaktion errechnet werden:

$$L_{m,Str} = \frac{1}{b_{Str}} (L_{m,Sch} \cdot b_{Sch} + c_{Sch} - c_{Str}) \quad (8)$$

Für die direkte Bestimmung des Lästigkeitsunterschiedes ergibt sich z. B. durch die Definition

$$\text{»Schienebonus« } \Delta L = L_{m,Sch} - L_{m,Str} \quad (9)$$

nach Umformung und Einsetzen in (8)

$$\text{»Schienebonus« } \Delta L = \frac{c_{Str} - c_{Sch}}{b_{Sch}} + L_{m,Str} \cdot \left(\frac{b_{Str}}{b_{Sch}} - 1 \right) \quad (10)$$

Aus den Gl. (7) und (8) läßt sich somit der Lästigkeitsunterschied zwischen zwei Schallquellen als »Kurve gleicher Lästigkeit« im Diagramm (Bild 5) darstellen.

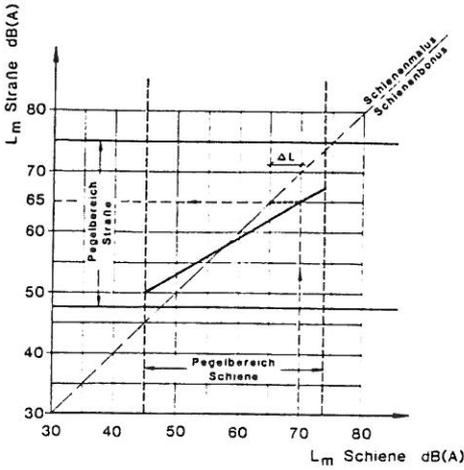


Bild 5. Schematische Darstellung des Mittelungspegels von Straßen- und Schienenverkehr bei gleicher Lästigkeit (z. B. einem $L_m = 70$ dB(A) aus Schienenverkehr entspricht bei gleicher Lästigkeit ein $L_m = 65$ dB(A) aus Straßenverkehr; der Schienenbonus beträgt 5 dB(A))

Für die Angabe eines Lästigkeitsunterschiedes jeweils für den oberen und unteren Pegelbereich wurde das in Bild 6 dargestellte Verfahren angewendet. Um eine Extrapolation über den untersuchten Pegelbereich hinaus zu vermeiden, wird bei 50 dB(A), ausgehend von der jeweils oberen Geraden, der horizontale Abstand nach rechts bestimmt; bei 70 dB(A) wird, ausgehend von der jeweils unteren Geraden, der horizontale Abstand nach links bestimmt.

Die o. a. Methoden gestatten also die Bestimmung von Schallpegeldifferenzen bei gleicher Gestörtheit für variierende Pegel der einen bzw. anderen Quelle und somit die Untersuchung der Abhängigkeit der Lästigkeitsdifferenz vom Belastungsniveau. Die Bestimmung der Lästigkeitsdifferenzen kann zudem getrennt für den Tages- und Nachtzeitraum vorgenommen werden, wie es der Unterteilung in den meisten einschlägigen Regelwerken bei der Festlegung von Grenzwerten entspricht.

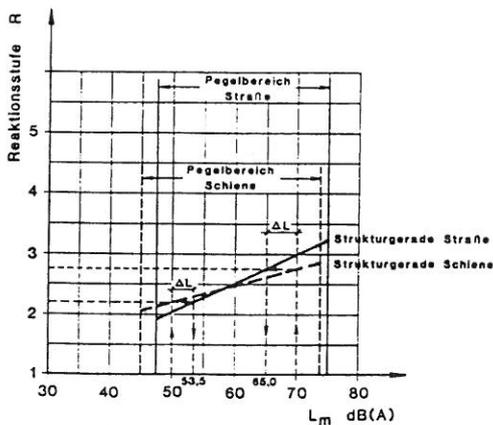


Bild 6. Schematische Darstellung zur Schätzmethode des Lästigkeitsunterschiedes im oberen und unteren Pegelbereich

4 Ergebnisse und Interpretation

4.1 Zusammenhang zwischen Geräuschbelastung und Reaktionen auf Schienen- bzw. Straßenverkehrsgeräusche

Vor der Beantwortung der Hauptfragestellungen sollen zunächst die Korrelationen zwischen verschiedenen Pegelmaßen ($L_{m,24h}$; $L_{m,Tag}$; $L_{m,Nacht}$) und verschiedenen Reaktionsvariablen, jeweils getrennt für Schienen- und Straßenverkehrslärm, betrachtet werden.

Den Reaktionen wurden die Mittelungspegel mit dem jeweils entsprechenden zeitlichen Bezug gegenübergestellt: den Störungen am Tage (RT, GES 1, RUHE, FREI, KOMM, VEG) der $L_{m,Tag}$; den Nachtstörungen (RN, GES 2, SCHLAF) der $L_{m,Nacht}$ und schließlich den Störungen ohne tageszeitlichen Bezug (BEL, AERGER) der $L_{m,24h}$.

Die in Tabelle 3 zusammengefaßten Koeffizienten beruhen jeweils auf den Daten aus 13 Gebieten (je 7 dominante Schienen- bzw. Straßenverkehrslärmgebiete, 4 Mischgebiete, 2 Kontrollgebiete) und beziehen sich sowohl auf die durchschnittlichen Reaktionen pro Gebiet (Kollektivdaten) als auch auf die individuellen Reaktionen (Individualdaten).

Zusammenfassend lassen sich folgende Tendenzen feststellen:

- Die Korrelationskoeffizienten fallen für den Straßenverkehrslärm etwas höher als für den Schienenverkehrslärm aus.
- Die Zusammenhänge auf Kollektivdatenbasis sind zwar keineswegs perfekt, erlauben jedoch mit akzeptabler Genauigkeit die Vorhersage der durchschnittlichen Reaktion bzw. Gestörtheit pro Gebiet aus den Pegeln.
- Hingegen sind die entsprechenden Korrelationen auf der Ebene der individuellen Gestörtheitsreaktion wesentlich niedriger: So beträgt etwa der Koeffizient für die Beziehung zwischen den individuellen Werten für RT und $L_{m,Tag}$ nur 0.53 für die Straße bzw. 0.46 für die Schiene (gegenüber 0.87 bzw. 0.88 auf der Aggregatsebene); ähnlich bei RN und $L_{m,Nacht}$ nur 0.44 für

Tabelle 3. Korrelationen zwischen L_m und Reaktionen auf Individualdaten- und Kollektivdaten-Niveau

	Schienen-, Misch-Kontrollgebiete		Straßen-, Misch-Kontrollgebiete	
	Individualdaten	Kollektivdaten	Individualdaten	Kollektivdaten
BEL	0.40	0.81	0.55	0.90
AERGER	0.41	0.80	0.51	0.91
GES 1	0.37	0.83	0.50	0.89
RUHE	0.29	0.73	0.43	0.86
KOMM	0.45	0.84	0.43	0.80
VEG	0.20	0.77	0.36	0.87
FREI	0.46	0.90	0.45	0.81
GES2	0.29	0.70	0.45	0.86
SCHLAF	0.21	0.63	0.37	0.85
RT	0.46	0.88	0.53	0.87
RN	0.28	0.68	0.44	0.86
N	1007	13	997	13

bzw. 0.68 auf der Aggregatsebene). Dieses Absinken die Straße und 0.28 für die Schiene (gegenüber 0.86 der Koeffizienten beim Wechsel von der Aggregatzur Individualbetrachtung spiegelt den Umstand wider, daß im ersteren Fall von der großen interindividuellen Reaktionsvarianz innerhalb der Gebiete abstrahiert wird und lediglich die Varianz zwischen den Gebieten in die Koeffizientenbestimmung eingeht.

Eine Vorhersage individueller Reaktionen aus den Mittelungspegeln erscheint daher nur sehr eingeschränkt möglich. Eben deswegen, aber auch aufgrund des vorgegebenen Forschungsauftrages werden im folgenden nur die Beziehungen auf Aggregatsebene betrachtet, obwohl uns bewußt ist, daß ein solches Vorgehen, nämlich die Abstraktion von der individuell bedingten Abweichung vom Durchschnitt, nicht unproblematisch ist (vgl. dazu u. a. [19–21]).

Die Korrelationen zwischen den Gestörtheitsvariablen und verschiedenen akustischen Indices wie L_1 , L_5 , L_{95} , TNI, NNI wurden – auf Gebietsmittelwertbasis – ebenfalls überprüft und mit dem L_m verglichen. Die in [13] dargestellten und diskutierten Ergebnisse dieser Analyse zeigen, daß für den relativen Vergleich zwischen Schienen- und Straßenlärm der L_m am besten zur Vorhersage der Gestörtheitsreaktionen geeignet ist.

4.2 Lästigkeitsunterschiede zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm

4.2.1 Lästigkeitsunterschiede für ausgewählte Gestörtheitsreaktionen

Für jede der Quellen getrennt wurden die Strukturgeraden mit λ_2 auf der Basis von jeweils 13 Gebieten (je 7 Gebiete mit dominanten Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm, 4 Mischgebiete und 2 Kontrollgebiete) bestimmt; jedem Mittelungspegel pro Gebiet wurde die durchschnittliche Reaktion gegenübergestellt.

Für die ausgewählten neun Einzelvariablen sowie die beiden Gesamtreaktionsmaße RT und RN sind die Kurven gleicher Gestörtheit in Bild 7 getrennt für die beiden Zeiträume Tag (6.00–22.00 Uhr) und Nacht (22.00–6.00 Uhr) dargestellt.

Aus den beiden Diagrammen in Bild 7 läßt sich leicht

erkennen, daß der Lästigkeitsunterschied stark von dem betrachteten Gestörtheitsbereich, vom Bezugszeitraum Tag/Nacht und von der Pegelhöhe abhängt:

- Bei den allgemeinen Störungen tagsüber und nachts (GES 1, GES 2, RT, RN), Störungen der Ruhe und Erholung in der Wohnung (RUHE sowie den erfragten vegetativen Störungen (VEG) und den Schlafstörungen (SCHLAF) ergibt sich eine geringere Störwirkung des Schienenverkehrs (Schienenbonus)¹.
- Bei den Störungen der Kommunikation in der Wohnung (KOMM) und den Störungen der Erholung und Kommunikation im Freien (FREI) zeigt sich, daß die gleiche Gestörtheitswirkung durch einen niederen L_m , Schiene als L_m , Straße hervorgerufen wird (Schienenmalus)¹.
- Die Lästigkeitsunterschiede sind insgesamt bei den Tagstörungen geringer als bei den Nachtstörungen.
- Im unteren Pegelbereich sind die Lästigkeitsunterschiede geringer als im oberen Pegelbereich.

Diese Ergebnisse stimmen weitgehend mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen [4, 15] überein. Nur in [8] wird berichtet, daß die Lästigkeitsunterschiede im unteren Pegelbereich größer sind als im oberen.

In Tabelle 4 sind die Lästigkeitsunterschiede quantitativ für die ausgewählten Reaktionsvariablen zusammengestellt. Diese Lästigkeitsunterschiede sind wohl zum einen darauf zurückzuführen, daß der L_m die unterschiedlichen verkehrswegspezifischen akustischen Merkmale von Schienen- und Straßenverkehrslärm entsprechend dem Ausmaß ihrer jeweiligen Störwirkung nicht abzubilden vermag. Diese unterschiedlichen akustischen Merkmale sind im wesentlichen:

¹ Die Ergebnisse zum Schienenbonus/malus werden durch Kovarianzanalysen bestätigt: Analysen mit der Quelle (Schienen-/Straßenverkehrslärm) und der Gebietslage (Stadt/Land) als unabhängigen Variablen, den Pegeln als Kovariaten und den Reaktionen als abhängigen Variablen zeigen, daß nur der Quelleneffekt statistisch bedeutsame Unterschiede (i. S. einer größeren Gestörtheit durch Straßenverkehrslärm bei den meisten Reaktionen) aufweist (vgl. [16]). Hingegen sind der Gebietslageeffekt (s. auch Abschn. 4.3.2) und die Interaktion »Quelle \times Gebietslage« relativ unbedeutend und zumeist nicht signifikant.

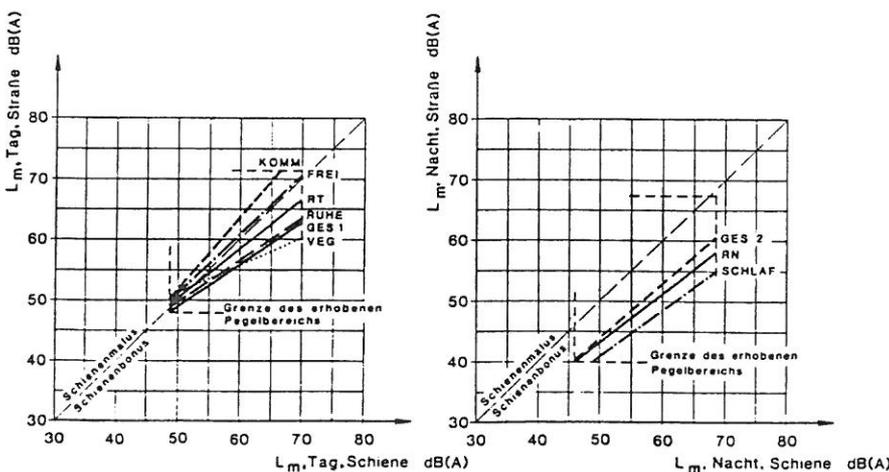


Bild 7. Mittelungspegel L_m von Straßen- und Schienenverkehr bei gleicher Störwirkung für ausgewählte Reaktionsvariable

Tabelle 4. Lästigkeitsunterschiede zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm in dB(A)

Variable	Unterer Pegelbereich			Oberer Pegelbereich			Mittelwert	Zeitbereich
	Schallpegel bei gleicher Gestörtheit			Schallpegel bei gleicher Gestörtheit				
	L _m , Schiene dB(A)	L _m , Straße dB(A)	ΔL _m dB(A)	L _m , Schiene dB(A)	L _m , Straße dB(A)	ΔL _m dB(A)		
BEL AERGER	50,0	50,8	+ 0,8	65,4	70,0	+ 4,6	+ 2,7	Tag + Nacht
	50,0	51,3	+ 1,3	65,9	70,0	+ 4,1	+ 2,7	
GES 1 RUHE KOMM VEG FREI	50,0	51,3	+ 1,3	62,9	70,0	+ 7,1	+ 4,2	Tag
	50,0	50,8	+ 0,8	63,3	70,0	+ 6,7	+ 3,7	
	51,3	50,0	- 1,3	70,0	65,6	- 4,4	- 2,9	
	50,9	50,0	- 0,9	60,3	70,0	+ 9,7	+ 4,4	
	50,7	50,0	- 0,7	70,0	69,4	- 0,6	- 0,7	
RT	50,4	50,0	- 0,4	66,6	70,0	+ 3,4	+ 1,5	
GES 2 SCHLAF	50,0	56,9	+ 6,9	61,6	70,0	+ 8,4	+ 7,7	Nacht
	50,0	61,9	+ 11,9	56,1	70,0	+ 13,9	+ 12,9	
RN	50,0	59,0	+ 9,0	59,0	70,0	+ 11,0	+ 10,0	

+ -Werte bedeuten einen Schienenbonus

--Werte bedeuten einen Schienenmalus

- Die Vorbeifahrhäufigkeit beim Schienenverkehr ist bei gleichem L_m wesentlich geringer als beim Straßenverkehrslärm, d. h. auch die Ruhepausen zwischen den Schallereignissen sind beim Schienenverkehrslärm länger [6].
- Der Unterschied zwischen L_m und Spitzenpegel ist bei gleichem L_m beim Schienenverkehr i. allg. größer als beim Straßenverkehr.
- Die Dauer des einzelnen Vorbeifahrtgeräusches ist bei gleichem L_m länger als das des Straßenverkehrs.
- In der spektralen Frequenzzusammensetzung überwiegen beim Schienenverkehr eher hohe Frequenzen (elektrifiziert), beim Straßenverkehr dagegen tiefe Frequenzen [14].

Zum anderen führen sicherlich auch außerakustische Faktoren wie z. B. die unterschiedliche Abgasbelastung zu einer unterschiedlichen Beurteilung der Belästigung durch Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm [20].

4.2.2 Diskussion der Darstellung von Lästigkeitsunterschieden

In vergleichbaren Veröffentlichungen zur selben Thematik [4, 8] werden Lästigkeitsunterschiede als Einzahlwert ohne Differenzierung in einen Tages- und Nachtwert (und zudem teilweise ohne Differenzierung hinsichtlich der Pegelhöhe) angegeben. Auch für die Diskussion in der Öffentlichkeit und im Hinblick auf die Praktikabilität in der Gesetzgebung erscheint es wünschenswert, eine Einzahlangabe des Schienenbonus zugrundelegen zu können.

Im vorhergehenden Abschnitt wurde aber darauf hingewiesen, daß die »Bonus/Malus«-Schätzungen abhängig sind

- von der jeweils betrachteten Reaktion
- vom tageszeitlichen Bezug
- von der Pegelhöhe.

Dadurch wird eine Einzahl-Bonusangabe zur Charakterisierung des Lästigkeitsunterschiedes zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm problematisch: Im Verlauf der Auswertung wurden mehrere Möglichkeiten zur Bildung eines Einzahlwertes erprobt; u. a. wurde eine Zusammenfassung der Lästigkeitsunterschiede bei den einzelnen Reaktionsvariablen durch gewichtete Mittelung untersucht, wobei die Gewichtung durch Expertenurteil erfolgen sollte. Die Expertenurteile weichen jedoch sowohl bei der Gewichtung der Einzelreaktionen als auch bezüglich des Tag- und Nachtzeitraumes so stark voneinander ab, daß auf die Bildung eines Einzahlwertes für den Tag- und Nachtzeitraum verzichtet wurde. Statt dessen wurde – getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum – je ein zusammenfassendes Reaktionsmaß, RT bzw. RN, durch arithmetische Mittelung der entsprechenden Einzelreaktionen gebildet und sodann für diese beiden Variablen jeweils die Lästigkeitsdifferenz bestimmt.

Eine getrennte Betrachtung des Tag- und Nachtbereiches erscheint auch sinnvoll, da gerade in diesen Zeiträumen, wie in Bild 2 dargestellt, ein unterschiedliches verkehrstypisches Verhalten im Pegelverlauf vorliegt. Außerdem wird diese Unterteilung auch in den meisten einschlägigen Regelwerten bei der Festlegung von Grenzwerten vorgenommen.

Eine Mittelung der Lästigkeitsdifferenzen über den unteren und oberen Pegelbereich erscheint ebenso problematisch: Wie Tabelle 4 zeigt, schwanken die Lästigkeitsdifferenzen, bezogen auf RT und RN tagsüber zwischen -0,4 und + 3,4, nachts zwischen + 9 und + 11 dB(A). Eine Mittelung dieser Bonuswerte über den unteren und oberen Pegelbereich würde somit zu unnötig undifferenzierten Aussagen führen.

Es erscheint daher sinnvoll, den Lästigkeitsunterschied als Diagramm (Bild 7) in Abhängigkeit von der Pegelhöhe getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum darzustellen. Mit ihrer Hilfe könnte die besondere Lästigkeitswir-

Tabelle 5. Lästigkeitsunterschiede zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm in Abhängigkeit von der Schätzmethode (in dB(A)) für Gesamtstörungen Tag (RT) und Nacht (RN)

Lösung	Tag			Nacht		
	Unterer Pegelbereich	Oberer Pegelbereich	Mittelwert	Unterer Pegelbereich	Oberer Pegelbereich	Mittelwert
V1	-0,4	+3,4	+1,5	+9,0	+11,0	+10,0
V2	-0,3	+3,4	+1,6	+9,1	+11,3	+10,2
V3	-0,9	+3,1	+1,1	+8,8	+8,5	+8,7
V4	-0,2	+3,7	+2,0	+9,5	+13,2	+11,4
V5	-0,4	+3,4	+1,5	+9,0	+11,0	+10,0

(+ = Schienenbonus, - = Schienenmalus)

kung des Schienenverkehrs bereits im Berechnungsverfahren für die Schallimmissionen berücksichtigt werden. (In ähnlicher Weise wird dies bereits in der RLS-81 [26] für Zuschläge wegen der besonderen Lästigkeit von Kreuzungen praktiziert.)

4.3 Sensitivitätsuntersuchungen

Im folgenden soll aufgezeigt werden, inwieweit sich die Lästigkeitsunterschiede (in dB(A)) verändern, wenn andere Methoden zu ihrer Schätzung oder eine andere Gebietsauswahl zugrunde gelegt werden.

4.3.1 Lästigkeitsunterschiede in Abhängigkeit von der Schätzmethode

Die hier betrachteten Schätzmethode (Abschn. 3) sind:

- V 1 Strukturgerade mit λ_2
- V 2 Strukturgerade mit λ_1
- V 3 Regression: Pegel, geschätzt aus Reaktion
- V 4 Regression: Reaktion, geschätzt aus Pegel
- V 5 Winkelhalbierende aus den beiden vorstehenden Regressionsgeraden

Den Bonusschätzungen wurden je 13 Gebietsmittelwerte der Pegel und Reaktion zugrundegelegt. Die daraus resultierenden Lästigkeitsunterschiede sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Wie der Tabelle 5 zu entnehmen ist, weichen die Lästigkeitsdifferenzen sowohl für den Tagbereich als auch für den Nachtbereich nur wenig voneinander ab: bei Tag ist der maximale Unterschied 0,9 dB(A) (gemessen am Mittelwert aus dem unteren und oberen Pegelbereich) bei einem mittleren Schienenbonus von 1,5 dB(A); bei Nacht beträgt der maximale Unterschied 2,7 dB(A) bei einem mittleren Schienenbonus von 10 dB(A); allerdings findet sich eine deutlich größere Differenz im oberen Pegelbereich und für die Nacht zwischen den Bonusschätzungen mittels der beiden (uni-direktionalen) Regressionslösungen (V 3, V 4). Gemessen an den anderen Lösungen führt also die Bestimmung von ΔL auf der Basis der Regression »Reaktionen vorhergesagt aus den Pegeln« (wie bei [4] oder [8]) tendenziell zu einer Überschätzung des Schienenbonus.

4.3.2 Lästigkeitsunterschiede in Abhängigkeit von der Art und Anzahl der ausgewählten Gebiete

Die bisherigen Bonusschätzungen basieren auf 13 Wertepaaren von Gebietsmittelwerten (Pegel-Reaktion) je

Schallquelle Straße/Schiene, und zwar auf je 7 dominanten, 4 Misch- und 2 Kontrollgebieten. Im folgenden sollen die Lästigkeitsunterschiede auf der Grundlage von weiteren – aus inhaltlichen und methodischen Gründen möglichen – Gebietsauswahlen betrachtet werden.

L 1: Nur städtische Gebiete

Es werden nur die Wertepaare der städtischen Gebiete mit über 20 000 Einwohnern betrachtet.

L 2: Nur ländliche Gebiete

Es werden nur die Wertepaare der städtischen Gebiete mit weniger als 20 000 Einwohnern betrachtet.

L 3: Misch- und Kontrollgebiete ohne dominante Gebiete

Bei dieser Gebietsauswahl wird unterstellt, daß die Probanden u. U. dadurch, daß beide Schallquellen etwa gleich laut vorhanden sind, den Lästigkeitsunterschied Straße/Schiene besser vergleichen können, da sie jeweils beide Quellen in annähernd gleichem Maße aus eigenem Erleben kennen.

L 4: Dominante Gebiete ohne Misch- und Kontrollgebiete

Hier sind alle Reaktionen eindeutig auf jeweils eine der beiden Schallquellen bezogen, da der Pegelunterschied zwischen Primär- und Sekundärschallquelle relativ groß ist. Außerdem können hier die ausschließlich durch Messungen gewonnenen Mittelungspegel berücksichtigt werden.

L 5: Dominante Gebiete und Mischgebiete ohne Kontrollgebiete

Durch den Wegfall der Kontrollgebiete soll überprüft werden, welchen Einfluß die sehr leisen Gebiete auf die Steigung der Strukturgeraden und damit auf die Bonusschätzung haben.

L 6: Dominante Straßen- und Schienengebiete als »Mischgebiete«, Misch- und Kontrollgebiete

Hier werden in den dominanten Gebieten auch die Reaktionen und Schallpegel der Sekundärschallquellen in die Auswertung mit einbezogen. Diese Auswahl stellt also die größtmögliche »Ausbeute« an Wertepaaren (Pegel-Reaktion) dar. Jedoch ist hierbei zu bedenken, daß in den dominanten Gebieten die Reaktionen auf die Sekundärschallquelle vergleichsweise zu gering ausfallen können. Ein solcher »Kontrasteffekt« ist aus der psychophysischen Forschung bekannt.

In Tabelle 6 sind die resultierenden Bonus-/Maluswerte für die verschiedenen Lösungen für die Gesamtreaktionsvariablen Tag (RT) und Nacht (RN) aufgeführt. Die Werte beruhen auf der Schätzmethode mit der Strukturgeraden unter Verwendung von λ_2 .

Aus der Tabelle 6 geht hervor, daß der Einfluß der Gebietsauswahl auf die Bonusschätzung insgesamt relativ gering ist: Weder die getrennte Schätzung für Stadt- und Landgebiete noch weitere aus methodischen oder inhaltlichen Gründen mögliche Gebietsauswahlen bewirken größere Abweichungen der Bonuswerte: Die maximale Abweichung beträgt für den Tagbereich 2,9 dB(A), für

Tabelle 6. Lästigkeitsunterschiede zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm in Abhängigkeit von der Gebietsauswahl in dB(A) für Gesamtstörungen Tag (RT) und Nacht (RN)

Lösung	Tag			Nacht		
	Unterer Pegelbereich	Oberer Pegelbereich	Mittelwert	Unterer Pegelbereich	Oberer Pegelbereich	Mittelwert
L1	+0,8	+3,1	+2,0	+ 7,8	+11,8	+ 9,8
L2	-1,7	+3,5	+0,9	+10,0	+10,9	+10,5
L3	+0,1	+5,2	+2,7	+ 9,1	+10,7	+ 9,9
L4	-3,1	+2,9	-0,1	+ 8,2	+10,6	+ 9,4
L5	-2,3	+4,0	+0,9	+ 9,1	+10,8	+10,0
L6	+2,5	+3,0	+2,8	+10,3	+11,6	+11,0

(+ = Schienenbonus, - = Schienenmalus)

den Nachtbereich 1,6 dB(A) (gemessen am Mittelwert aus dem unteren und oberen Pegelbereich).

5 Schlußbemerkungen

Die vorstehenden Analysen zeigen, daß – gemessen an den meisten Reaktionen – Straßenverkehrslärm bei gleicher Geräuschbelastung, gemessen als L_m , eine größere Störwirkung hat als Schienenverkehrslärm (*»Schienenbonus«*), wie dies auch durch zahlreiche andere Studien [15] bestätigt wird.

Diese zentrale Aussage bedarf jedoch der Differenzierung; anscheinend ist diese Lästigkeitsdifferenz abhängig – vom jeweils betrachteten *tageszeitlichen Bezug*: Die Differenz ist bei den Nachtstörungen deutlich größer als bei den Tagesstörungen.

– von der jeweils betrachteten *Reaktion*: Insbesondere bei den Tagesstörungen ergeben sich Unterschiede in Abhängigkeit von der betrachteten Reaktion; während sich bei »Störungen der Ruhe und Erholung in der Wohnung« und den (erfragten) »vegetativen Störungen« ein Schienenbonus zeigt, ist bei den »Kommunikationsstörungen« ein Schienenmalus zu verzeichnen.

– von der *Pegelhöhe*: Die Lästigkeitsdifferenzen fallen im unteren Pegelbereich i. a. kleiner als im oberen Pegelbereich aus.

Die Lästigkeitsdifferenzen sind dabei anscheinend relativ wenig anfällig gegenüber der Methode zu ihrer Schätzung (etwa Regressionsansatz vs. Strukturgerade) oder gegenüber Änderungen in der Gebietsauswahl (etwa Stadt- vs. Landgebiete).

Die o. a. Ergebnisse zeigen, daß der im Entwurf des Verkehrslärmschutzgesetzes (EVLärmSchG) [24] berücksichtigte Schienenbonus von 5 dB(A) für den Tag- und den Nachtzeitraum zu gering angesetzt ist: Da einerseits der Tag-Nachtunterschied bei Schienenverkehrslärm i. a. gering ist, andererseits dieser Tag-Nachtunterschied in den Grenzwerten i. a. 10 dB(A) beträgt, stellt sich der Nachtzeitraum als kritischer Zeitraum bei der Begutachtung zur Bemessung von Schallschutz heraus. Da aber gerade in diesem Zeitraum von Schienenverkehrslärm eine geringere Störwirkung von ca. 10 dB(A) gegenüber dem Straßenverkehrslärm ausgeht, sind die Anforderungen an den Schallschutz nach der Regelung des EV-

LärmSchG für Schienenverkehrslärm im Vergleich zu Straßenverkehrslärm um ca. 5 dB(A) zu hoch.

Abschließend soll noch auf einige offene Probleme hingewiesen werden:

Da die oben beschriebenen Ergebnisse auf Befragungen an freien DB-Strecken basieren, können diese Ergebnisse nicht auf Betroffene im Bereich von Rangieranlagen, Bahnhöfen und reinen S-Bahnstrecken übertragen werden.

Ferner resultieren die Lästigkeitsunterschiede aus außen gemessenen Pegelwerten und Reaktionen, die sich nicht eindeutig auf den Aufenthalt innerhalb oder außerhalb von Wohnungen beziehen; insbesondere im Hinblick auf die Dimensionierung von Schallschutzfenstern erscheint eine gezielte Betrachtung zur Lästigkeitswirkung innerhalb von Wohnungen angebracht. Eine differenzierte Untersuchung zu dieser »Innen-Außen-Problematik« liegt in [12] vor, über die hier nicht berichtet werden soll.

Ein weiteres Problem liegt in der Orientierung der einschlägigen Schallschutz-Gesetze und -Verordnungen an durchschnittlichen Belästigungsreaktionen aller Betroffenen (Schmale [19] spricht in diesem Zusammenhang von »Durchschnittsfetischismus«). Während man etwa bei der Festlegung von Grenzwerten für medizinisch relevante Schadstoffe gewöhnlich betroffenen Risikogruppen (Kleinkindern, Alten, Kranken) Rechnung zu tragen versucht, werden die großen (u. a. durch unterschiedliche generelle Lärmempfindlichkeit oder vegetative Labilität bedingten) interindividuellen Unterschiede in der Gestörtheit bei gleicher akustischer Belastung in keiner Weise berücksichtigt. So könnte man i. S. eines verbesserten Lärmschutzes versucht sein, den großen Streuungsbereich menschlicher Reaktionen angemessen zu berücksichtigen und sich weniger an den durchschnittlichen Reaktionen aller Betroffenen, sondern eher an den Durchschnittsreaktionen nur z. B. der lärmempfindlichen oder vegetativ-labilen Personengruppen zu orientieren.

Zudem darf nicht übersehen werden, daß die oben mitgeteilten Ergebnisse (und die daraus gezogenen Schlußfolgerungen) auf den hier erfragten bewußten Empfindungen und Kognitionen der Betroffenen basieren; d. h. die den Betroffenen nicht bewußten (und damit auch nicht zu verbalisierenden) Wirkungen – etwa physiologische Effekte oder kaum durch eine Befragung zu erfassende Veränderungen im Verhalten – wurden hier nicht berücksichtigt.

Literatur

1. Campbell, D. T.; Stanley, J. C.: Experimental and quasi-experimental designs for research. In: Gage, N. L. (ed.): Handbook of research on teaching. Chicago: Rand McNally College publishing Company 1966
2. Cremer, L.: Physikalische Analogien zur Faktorenanalyse. *Acustica* 42 (1979) 1–17
3. DFG-Forschungsbericht: Die Fluglärmwirkungen – eine interdisziplinäre Untersuchung über die Auswirkungen des Fluglärms auf den Menschen. Boppard: Bolt 1974
4. Fields, J. F.; Walker, J. G.: Comparing the relationships between noise level and annoyance in different surveys: a railway noise vs aircraft and road traffic comparison. *J Sound Vib* 81 (1982) 51–80
5. Finke, H.-O.; Guski, R.; Rohrmann, B.: Betroffenheit einer Stadt durch Lärm. Forschungsbericht 80-10501301 im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin 1980

6. Finke, H.-O.: Messung und Beurteilung der Ruheigkeit bei Geräuschmissionen. *Acustica* 46 (1980) 141–148
7. Hauck, G.: Unterschiedliche Lästigkeit von Straßenverkehrslärm und Schienenverkehrslärm. *Eisenbahntechnische Rundschau (ETR)*, 10 (1979) 365–374
8. Holzmann, E.: Ermittlung der Belästigung durch Verkehrslärm in Abhängigkeit von Verkehrsmittel und Verkehrsdichte in einem Ballungsgebiet. Forschungsarbeit des Verkehrswissenschaftlichen Instituts an der Universität Stuttgart, Bericht 13, 1978
9. Kaminski, G. (Hrsg): *Umweltpsychologie, Perspektiven-Probleme-Praxis*. Stuttgart: Klett-Cotta 1976
10. Knall, V.; Schuemer, R.: The differing annoyance levels of rail and road traffic noise. *J Sound Vib* 87 (1982) 321–326
11. Madansky, A.: The fitting of straight lines when both variables are subject to error. *J Am Statistic Asso* 54 (1953) 173–205
12. Möhler, U.: Die unterschiedliche Lästigkeit von Schienen- und Straßenverkehrslärm innerhalb und außerhalb von Wohngebäuden. Bericht des Planungsbüro Obermeyer im Auftrag des Bundesbahnzentralamtes München, April 1985
13. Möhler, U.; Knall, V.: Correlation of acoustic indices and disturbance reaction factors on railway and road traffic noise. *Proceedings of Internoise*. Edinburgh: Institute of Acoustics (1983) 989–992
14. Möhler, U.; Knall, V.: Lautstärkeunterschied zwischen Schienen- und Straßenverkehr. *Fortschritte der Akustik. DAGA 84* (1984) 587–590
15. Möhler, U.; Schuemer-Kohrs, A.: Literaturstudie über die Lästigkeitswirkung von Schienenverkehrslärm allein und im Vergleich zu anderen Schallquellen. Bericht des Planungsbüros Obermeyer im Auftrag des ORE/UIC, DT 170, Utrecht 1985
16. Planungsbüro Obermeyer (Hrsg): *Interdisziplinäre Feldstudie II über die Besonderheiten des Schienenverkehrslärms gegenüber dem Straßenverkehrslärms*. Forschungsnummer 70081/80 des Bundesministers für Verkehr München/Bonn 1983
17. Rohrmann, B.: *Psychologische Forschung und umweltpolitische Entscheidungen: das Beispiel Lärm*. Opladen: Westdeutscher Verlag 1984
18. Schach, S.; Schaefer, T. H.: *Regressions- und Varianzanalyse. Eine Einführung*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1978
19. Schmale, H.: Probleme der Umweltpsychologie. In: Kaminski, G. (Hrsg): *Umweltpsychologie. Perspektiven-Probleme-Praxis*, S. 99–106. Stuttgart: Klett-Cotta 1976
20. Schuemer, R.: Zum Einfluß außer-akustischer Faktoren auf die Reaktionen auf verschiedene Verkehrslärmarten. *Schlußbericht für das DFG-Projekt »Lärmmoderatoren«* Hagen, 1983
21. Schuemer, R.; Schuemer-Kohrs, A.: The influence of some non-acoustical factors on reactions to road and railway traffic noise. *Proceedings of Internoise*. Edinburgh: Institute of Acoustics (1983) 935–938
22. Schuemer-Kohrs, A.; Schuemer, R.; Knall, V.; Kasubeck, W.: Vergleich der Lästigkeit von Schienen- und Straßenverkehrslärm in städtischen und ländlichen Regionen. *Z. Lärmbekämpfung*. 28 (1982) 123–130
23. Wettschureck, R.: Aktenvermerk zu den Auswertungen der IF-Studie. Müller-BBM GmbH, Nr. 7217.20, Januar 1982
24. *EVLärmSchG: Entwurf eines Gesetzes zum Schutze gegen Verkehrslärm an Straßen und Schienenwegen*; Bundestagsdrucksache 8/3730 vom 28. 2. 1980
25. DIN 45642: *Messung von Verkehrsgeräuschen*, Oktober 1974
26. *Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-81)*. Der Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau, Ausg. 1981

Dipl.-Ing. U. Möhler
 Dipl.-Ing. V. Knall
 Planungsbüro Obermeyer
 Ges. für Planungen im Bauwesen mbH
 Hansasträße 40
 D-8000 München 21

Dipl.-Psych. Dr. R. Schuemer
 Dipl.-Psych. A. Schuemer-Kohrs
 Elberfelder Straße 32
 D-5800 Hagen 1

Corrigenda für Tab. 4

Tabelle 4. Lästigkeitsunterschiede zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm in dB(A)

Variable	Unterer Pegelbereich			Oberer Pegelbereich			Mittelwert	Zeitbereich
	Schallpegel bei gleicher Gestörtheit			Schallpegel bei gleicher Gestörtheit				
	L_m , Schiene dB(A)	L_m , Straße dB(A)	ΔL_m dB(A)	L_m , Schiene dB(A)	L_m , Straße dB(A)	ΔL_m dB(A)	ΔL_m dB(A)	
BEL	50,0	50,8	+ 0,8	65,4	70,0	+ 4,6	+ 2,7	Tag + Nacht
AERGER	50,0	51,3	+ 1,3	65,9	70,0	+ 4,1	+ 2,7	
GES 1	50,0	51,3	+ 1,3	62,9	70,0	+ 7,1	+ 4,2	Tag
RUHE	50,0	50,8	+ 0,8	63,3	70,0	+ 6,7	+ 3,7	
KOMM	51,3	50,0	- 1,3	70,0	65,6	- 4,4	- 2,9	
VEG	50,9	50,0	- 0,9	60,3	70,0	+ 9,7	+ 4,4	
FREI	50,7	50,0	- 0,7	70,0	69,4	- 0,6	- 0,7	
RT	50,4	50,0	- 0,4	66,6	70,0	+ 3,4	+ 1,5	
GES 2	50,0	56,9	+ 6,9	61,6	70,0	+ 8,4	+ 7,7	Nacht
SCHLAF	50,0	61,9	+ 11,9	56,1	70,0	+ 13,9	+ 12,9	
RN	50,0	59,0	+ 9,0	59,0	70,0	+ 11,0	+ 10,0	

+ -Werte bedeuten einen Schienenbonus

- -Werte bedeuten einen Schienenmalus

- Die Vorbeifahrhäufigkeit beim Schienenverkehr ist bei gleichem L_m wesentlich geringer als beim Straßenverkehrslärm, d. h. auch die Ruhepausen zwischen den Schallereignissen sind beim Schienenverkehrslärm länger [6].
- Der Unterschied zwischen L_m und Spitzenpegel ist bei gleichem L_m beim Schienenverkehr i. allg. größer als beim Straßenverkehr.
- Die Dauer des einzelnen Vorbeifahrtgeräusches ist bei gleichem L_m länger als das des Straßenverkehrs.
- In der spektralen Frequenzzusammensetzung überwiegen beim Schienenverkehr eher hohe Frequenzen (elektrifiziert), beim Straßenverkehr dagegen tiefe Frequenzen [14].

Zum anderen führen sicherlich auch außerakustische Faktoren wie z. B. die unterschiedliche Abgasbelastung zu einer unterschiedlichen Beurteilung der Belästigung durch Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm [20].

4.2.2 Diskussion der Darstellung von Lästigkeitsunterschieden

In vergleichbaren Veröffentlichungen zur selben Thematik [4, 8] werden Lästigkeitsunterschiede als Einzahlwert ohne Differenzierung in einen Tages- und Nachtwert (und zudem teilweise ohne Differenzierung hinsichtlich der Pegelhöhe) angegeben. Auch für die Diskussion in der Öffentlichkeit und im Hinblick auf die Praktikabilität in der Gesetzgebung erscheint es wünschenswert, eine Einzahlangabe des Schienenbonus zugrundelegen zu können.

Im vorhergehenden Abschnitt wurde aber darauf hingewiesen, daß die »Bonus/Malus«-Schätzungen abhängig sind

- von der jeweils betrachteten Reaktion
- vom tageszeitlichen Bezug
- von der Pegelhöhe.

Dadurch wird eine Einzahl-Bonusangabe zur Charakterisierung des Lästigkeitsunterschiedes zwischen Straßen- und Schienenverkehrslärm problematisch: Im Verlauf der Auswertung wurden mehrere Möglichkeiten zur Bildung eines Einzahlwertes erprobt; u. a. wurde eine Zusammenfassung der Lästigkeitsunterschiede bei den einzelnen Reaktionsvariablen durch gewichtete Mittelung untersucht, wobei die Gewichtung durch Expertenurteil erfolgen sollte. Die Expertenurteile weichen jedoch sowohl bei der Gewichtung der Einzelreaktionen als auch bezüglich des Tag- und Nachtzeitraumes so stark voneinander ab, daß auf die Bildung eines Einzahlwertes für den Tag- und Nachtzeitraum verzichtet wurde. Statt dessen wurde - getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum - je ein zusammenfassendes Reaktionsmaß, RT bzw. RN, durch arithmetische Mittelung der entsprechenden Einzelreaktionen gebildet und sodann für diese beiden Variablen jeweils die Lästigkeitsdifferenz bestimmt.

Eine getrennte Betrachtung des Tag- und Nachtbereiches erscheint auch sinnvoll, da gerade in diesen Zeiträumen, wie in Bild 2 dargestellt, ein unterschiedliches verkehrstypisches Verhalten im Pegelverlauf vorliegt. Außerdem wird diese Unterteilung auch in den meisten einschlägigen Regelwerten bei der Festlegung von Grenzwerten vorgenommen.

Eine Mittelung der Lästigkeitsdifferenzen über den unteren und oberen Pegelbereich erscheint ebenso problematisch: Wie Tabelle 4 zeigt, schwanken die Lästigkeitsdifferenzen, bezogen auf RT und RN tagsüber zwischen -0,4 und + 3,4, nachts zwischen + 9 und + 11 dB(A). Eine Mittelung dieser Bonuswerte über den unteren und oberen Pegelbereich würde somit zu unnötig undifferenzierten Aussagen führen.

Es erscheint daher sinnvoll, den Lästigkeitsunterschied als Diagramm (Bild 7) in Abhängigkeit von der Pegelhöhe getrennt für den Tag- und Nachtzeitraum darzustellen. Mit ihrer Hilfe könnte die besondere Lästigkeitswir-