

Zur Anwendung des Schienenbonus bei der Beurteilung von Verkehrsgeräuschen

Ulrich Möhler und Manfred Liepert, München, Dirk Schreckenberger, Hagen

Zusammenfassung In einer Literaturschau wurde untersucht, ob die Bestimmung der Bahn im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern noch gerechtfertigt ist und somit der in zahlreichen Verordnungen verankerte Schienenbonus einer Überprüfung bedarf. Die Sichtung der Literatur lässt folgende Schlussfolgerungen zu: Die Festlegung des Schienenbonus im Rahmen der Verkehrslärmschutzverordnung erfolgte auf der Grundlage breit angelegter sozialwissenschaftlicher Studien aus den Jahren 1978 und 1983 und wurde durch Studien aus dem Jahr 2001 weitgehend bestätigt. Die Ergebnisse decken einen umfangreichen akustischen Pegelbereich und sozialwissenschaftlichen repräsentativen Bevölkerungsquerschnitt ab. Durch die – politische – Setzung eines Schienenbonus auf 5 dB(A) wurde auf eine fachlich mögliche Differenzierung zugunsten einer einfachen Handhabung in der Praxis verzichtet. Ein Schienenbonus wurde auch in anderen europäischen Ländern, wie z. B. in Österreich, der Schweiz, Frankreich und Holland, aufgrund dortiger eigener Untersuchungen eingeführt. Forschungsdefizite im Hinblick auf den Schienenbonus wurden vor allem hinsichtlich der Bewertung des Nachtschlafs, der tageszeitlichen Veränderungen in der Belästigung insbesondere abends sowie in besonderen akustischen Situationen (erhöhter Güterzuganteil, Hochgeschwindigkeitsstrecken) festgestellt. Die Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, dass aufgrund der inzwischen eingetretenen Veränderungen in der Verkehrszusammensetzung und im Freizeitverhalten der Bevölkerung eine Differenzierung in der Anwendung des Schienenbonus vorgenommen werden muss.

The application of the „railway -bonus“ with regard to rating of traffic noise

Summary The survey examines the question, whether the advantage for the railway in comparison to other traffic noise sources is still justified. The survey shows, whether the numerous regulations regarding railway track bonuses need a new review and inspection. It is based on a literature analysis, which leads to following conclusions: The definition of the railway bonus according to German traffic noise law was based on the results of extensive sociological surveys from 1978 to 1983. These results were in the main confirmed by studies from 2001. The examinations covered an extensive acoustic level range and a representative sociological public profile. Due to the political setting, a railway – bonus of 5 dB(A) was established even though with regard to the scientific results, a possible differentiation was proposed. Regarding further research in different countries, a railway – bonus was also established in other European countries, such as Austria, Switzerland, France and the Netherlands. As an aspect, laboratory studies relating to sleeping disorders were carried out with the results that at same pass by sound level the measured sleep disturbances due to railway noise are higher than those from road traffic noise as well as air traffic noise. However the presented sound scenarios of railway noise were not realistic. Therefore the transfer of these results in a regulation with respect to the railway bonus seems not to be recommendable. Deficits in research were mainly detected regarding the assessment of sleep, changes in the noise annoyance during the day, especially in the evening, special acoustic situations e.g. increased freight traffic or high speed lines. The survey results lead us to the conclusion that the meanwhile current changes in traffic and leisure attitude of the general public, must indicate a new differentiation in railway bonus.

In zahlreichen europäischen Ländern wurde in Gesetzen und Verordnungen zur Berücksichtigung der Lästigkeitswirkung von Schienenverkehrslärm ein sog. Schienenbonus eingeführt. Dieser Schienenbonus soll die geringere Lästigkeitswirkung von Schienen- gegenüber Straßenverkehrslärm berücksichtigen. Seine Einführung beruht in Deutschland auf Lärmwirkungsuntersuchungen, die zwischen 1975 und 1985 durchgeführt wurden. Zwischenzeitlich haben sich die technischen und betrieblichen Randbedingungen sowohl bei der Eisenbahn als auch im Straßenverkehr stark geändert: So ist z. B. durch die Eröffnung von neuen Eisenbahnstrecken mit Hochgeschwindigkeitsverkehr, durch den starken Anstieg des Güterverkehrs auf Straßen und Schienenwegen sowie durch den Einsatz moderner Fahrzeuge eine wesentlich andere Ausgangssituation vorhanden, als dies zum Zeitpunkt der Festlegung des Schienenbonus der Fall war. Auch ist nicht auszuschließen, dass sich nicht-akustische Faktoren, wie z. B. die Überführung der staatlichen Deutschen Bundesbahn in die private Deutsche Bahn (DB) AG und die Erweiterung der Bundesrepublik durch die östlichen Bundesländer, die Reaktionen auf Verkehrslärm beeinflussen. Nicht zuletzt können auch die Diskussionen und Regelungen zu verkehrsbedingten Luftverschmutzungen (CO₂-Ausstoß, Feinstaub, Umweltzonen etc.) die Höhe der Lärmreaktionen beeinflussen. Hinzu kommt, dass zwischenzeitlich bei der Erfassung der akustischen Gegebenheiten und der subjektiven Beeinträchtigung durch die Anwendung moderner Mess- und Berechnungsverfahren eine genauere Erfassung der Pegel-Reaktions-Beziehung möglich geworden ist. Daher wurde im Rahmen einer Literaturstudie im Auftrag des Umweltbundesamtes [1] der aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisstand zur Lästigkeitswirkung von Schienen- und Straßenverkehrslärm aus Veröffentlichungen zusammengetragen und bewertet. Die Literaturstudie beschränkt sich auf Untersuchungen aus dem europäischen Raum; die zahlreichen Untersuchungen aus Japan wurden nicht in die Auswertungen einbezogen, da deren Ergebnisse aufgrund des speziellen japanischen Eisenbahnbetriebs (konsequente Trennung Hochgeschwindigkeitsverkehr und Güterverkehr) sowie aufgrund der Bauweise der japanischen Wohngebäude auf europäische Verhältnisse nur sehr eingeschränkt übertragen werden können. Auch wurden die Untersuchungen, die vor Inkrafttreten der 16. BImSchV [2] im Jahre 1990 durchgeführt wurden, nicht nochmals einer Analyse unterworfen; diese wurden bereits ausführlich in den Literaturuntersuchungen [3; 4] gewürdigt.

„Historischer“ Abriss

Mit der Einführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [5] im Jahr 1974 wurde in § 43 die Bundesregierung ermächtigt, durch Rechtsverordnung bestimmte Grenzwerte zur Vermeidung von schädlichen Umwelteinwirkungen festzulegen. Darin heißt es: „In den Rechtsverordnungen nach Satz 1 ist den Besonderheiten des Schienenverkehrs Rechnung zu tragen“. Bei diesen Besonderheiten handelt

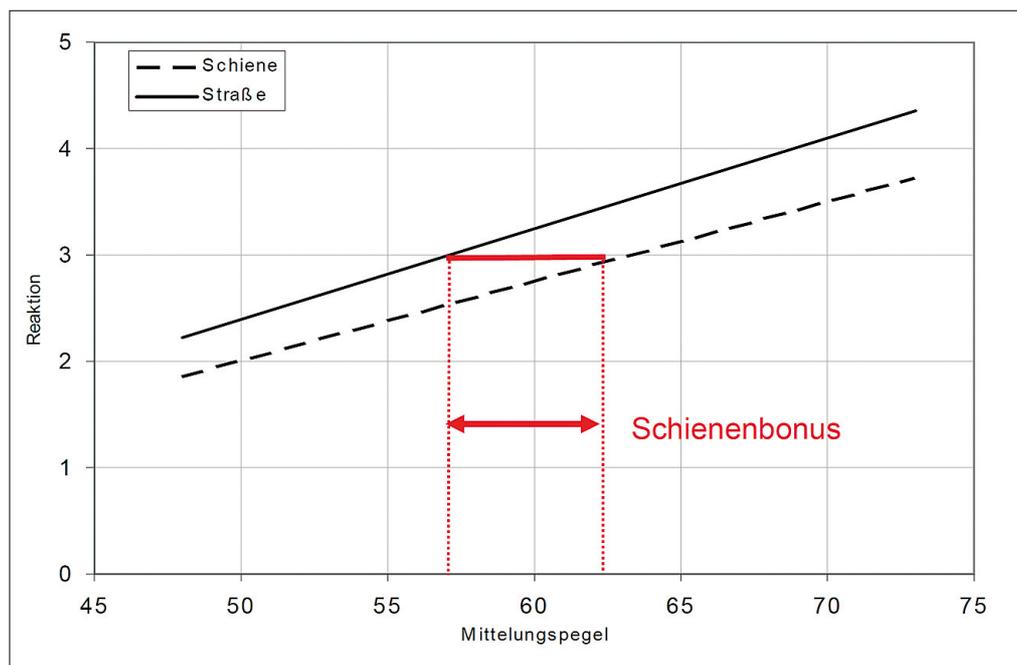


Bild 1 Prinzip der Bonus-schätzung.

es sich im Wesentlichen um den Lästigkeitsunterschied zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm bei gleichem Mittelungspegel. Die Notwendigkeit zur Quantifizierung dieses Lästigkeitsunterschieds ergab sich wiederum daraus, dass der Verordnungsgeber für Schienen- und Straßenverkehrslärm eine Regelung mit gleichen Grenzwerten für beide Verkehrsarten einführen wollte, obwohl die beiden Geräuscharten offensichtlich eine deutlich unterschiedliche Geräuschcharakteristik aufweisen. Wichtige Meilensteine zum Lästigkeitsunterschied zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm sind:

- 1976/78: Stuttgarter Studie [6],
- 1978/83: Interdisziplinäre Feldstudie über die Besonderheiten des Schienenverkehrslärms gegenüber dem Straßenverkehrslärm [7],
- 1984: Festlegung Schienenbonus von 5 dB(A) für den Entwurf des Verkehrslärmschutzgesetzes,
- 1984/86: UIC/ORE Literaturstudie [3],
- 1990: Einführung Schienenbonus von 5 dB(A) mit der 16. BImSchV [2].

Die Ermittlung des Schienenbonus erfolgte in diesen Studien durch Befragungen bei Anwohnern von Straßen- und Schienenstrecken und anschließender Erfassung der Lärmsituation durch Schallmessungen und Berechnungen. Bei den Befragungen wurde ein umfangreicher Fragebogen mit Fragen zur Belästigung und Gestörtheit von Schienen- und Straßenverkehrslärm verwendet. Durch Gegenüberstellung der Schallpegelbelastung mit den Belästigungsurteilen bezogen auf Straßen- und Schienenverkehrslärm wurde der Unterschied in der Belästigungswirkung zwischen den beiden Verkehrsträgern ermittelt; (vgl. **Bild 1** und zur Methodik der Bonusschätzungen [8; 9]):

Grundlage zur Festlegung des Schienenbonus in Deutschland war im Wesentlichen die „IF-Studie“ 1983 [7]. Diese Studie wurde für gemischte Verkehrsbelastung aus Personenverkehr und Güterverkehr (bei 10 000 bis 20 000 Kfz/24 h bzw. 190 bis 260 Zügen/24 h), einem Schallpegelbereich (Mittelungspegel) zwischen ca. 40 bis 75 dB(A), bei städtischer und ländlicher Bebauungsstruktur an bestehenden Strecken ohne Planung von Neu- oder Ausbaumaßnahmen durchgeführt. Die Lärmbelastung wurde durch Schallmessungen und ergänzende Berechnungen erfasst; die

Lärmbelastung wurde durch die Befragung eines repräsentativen Bevölkerungsquerschnitts zwischen 18 und 70 Jahren erhoben.

Je nach Gestörtheitsbereich und Belästigungsbereich ergaben sich stark unterschiedliche Lästigkeitsdifferenzen. Zusammengefasst liegt im Zeitbereich Tag der Lästigkeitsunterschied zugunsten der Schiene bei etwa 3 bis 4 dB(A), im Zeitbereich Nacht bei etwa 10 dB(A); bei Störungen der Kommunikation wurde ein Schienenmalus von etwa 3 bis 8 dB(A) festgestellt. Aus diesen Ergebnissen wurde durch politische Setzung der Schienenbonus mit 5 dB(A) festgelegt; damit wurde auf eine fachlich mögliche und sinnvolle Differenzierung zugunsten einer einfachen Handhabung in der Praxis verzichtet.

In den 1980er Jahren wurden auch in Untersuchungen in anderen europäischen Ländern Vergleiche zur Lästigkeit von Schienen- und Straßenverkehrslärm durchgeführt, etwa in Großbritannien der Schweiz, in den Niederlanden und in Österreich (siehe hierzu [3; 4]). Die Ergebnisse dieser Studien weisen ebenfalls überwiegend auf eine geringere Lästigkeit des Schienenverkehrslärms gegenüber dem Straßenverkehrslärm hin.

Gründe für den Schienenbonus

Schienen- und Straßenlärm unterscheiden sich bei gleichem Mittelungspegel in der Häufigkeit der Vorbeifahrten sowie in der Höhe des Maximalpegels. Unter Berücksichtigung des typischen Abstands zwischen Wohnbebauung und Verkehrsweg – dieser betrug in der IF-Studie [7] zur Straße etwa 20 m und zur Schiene etwa 90 m – ergibt sich bei gleichem Mittelungspegel zwischen Schienen- und Straßenverkehr eine Relation von etwa 1 : 100 Vorbeifahrten. Daraus lässt sich wiederum bei z. B. drei Zugvorbeifahrten und 300 Kfz Vorbeifahrten bei der Schiene eine Pausendauer von etwa 20 min und bei der Straße von etwa 1 s – bei gleichem Mittelungspegel – ableiten (vgl. [10], Beispiel in **Bild 2**).

Es ist zu vermuten, dass insbesondere diese vergleichsweise langen regelmäßigen Pausendauern einen wesentlichen Grund für die geringere Lästigkeitswirkung darstellen. Neben dem zeitlichen Verlauf unterscheidet sich auch das Frequenzspektrum von Schienen- und Straßenverkehrslärm. Vielfach werden von Betroffenen auch nicht-akustische Gründe für die geringere Lästigkeitswirkung aufgeführt: So wird z. B. die Bahn insgesamt als umwelt-

freundlicher, weniger gefährlich und weniger ungesund bewertet, die Bahngeräusche werden als weniger andauernd und unausweichlich bewertet und der Bahnlärm wird insgesamt als weniger beeinträchtigend empfunden, da die Geräusche für Betroffene vorhersagbar sind. Schließlich weisen Schienenverkehrsgeräusche gegenüber Straßenverkehrsgeräuschen eine größere Regelmäßigkeit im Auftreten und beim Vergleich der Einzelereignisse eine größere Homogenität in Lautstärke und Klang auf.

Unabhängig von den o. g. Vergleichen der Pegel-Reaktionsbeziehungen weisen auch die Fensterstellgewohnheiten von Anwohnern an Schienenwegen bzw. Verkehrsstraßen auf eine geringere Lästigkeit des Schienenverkehrslärms hin: So zeigte sich u. a. bei einer Re-Analyse der IF Studie [11], dass beim Straßenverkehrslärm mit zunehmendem Mittelungspegel die Lärmbelastung ansteigt und gleichzeitig mit zunehmendem Schallpegel die Fenster geschlossen werden. Dagegen erwies sich beim Schienenverkehrslärm der Anteil derer, die das Fenster auch bei hohen Schallpegeln geschlossen halten, wesentlich geringer.

Argumentation von Bürgerinitiativen

Kritik am Schienenbonus wird von Anwohnern von Schienenwegen geäußert, die sich zu Bürgerinitiativen gegen Schienenlärm zusammengeschlossen haben. Sie beziehen sich im Wesentlichen auf die zwischenzeitlich gesteigerten Verkehrsmengen und die Einführung von Hochgeschwindigkeitsverkehr in den 1990er Jahren. Je nach Herkunft der Bürgerinitiativen werden häufig die jeweiligen Besonderheiten der Bahnstrecken in den Vordergrund gestellt und als Anlass für Kritik am Schienenbonus herangezogen. So wird u. a. von der Bürgerinitiative IG Bohr [12] (an der Oberrhein-Strecke Offenburg-Basel) die hohe Verkehrsmengenbelastung, insbesondere die hohe Belastung durch Güterzugverkehr als Argumentation gegen die Anwendung des Schienenbonus in ihrer Situation angeführt. Von Seiten der IG Schienenlärm [13] wird zudem generell die Berücksichtigung von örtlichen Charakteristiken wie der Gesamtlärmsituation oder Besonderheiten der geplanten Streckenführung (z. B. Tunnel) bei der Anwendung der Bonusregel gefordert. Verbunden mit hoher Belastung durch nächtlichen Schienenverkehr bzw. Güterzugverkehr werden zumeist auch die Beeinträchtigungen des Nachtschlafs durch die hohen Vorbeifahrtpegel beklagt. In diesem Zusammenhang werden sowohl die Methode, Schlafstörungen durch nachträgliche Befragungen zu erheben, als auch die in der Gesetzgebung nicht vorhandene Berücksichtigung von Maximalpegeln kritisiert (siehe hierzu auch [14]). Die in den Untersuchungen zur Einführung des Schienenbonus gewonnenen Erkenntnisse zu außerakustischen Einflussfaktoren bezüglich der Wirkung von Schienenverkehrslärm werden ebenfalls aufgrund geänderter Randbedingungen in Zweifel gezogen. Dabei spielen insbesondere die Privatisierung der ehemaligen Deutschen Bundesbahn und die Forderung, das Unternehmen wie andere private Unternehmen zu „bewerten“, eine wesentliche Rolle.

Europäische Studien zum Vergleich der Lästigkeit von Schienen- und Straßenverkehrslärm.

	Untersuchungsdesign			
	F	L	R	G
Generell Schienenbonus		6	2	8
differenzierte Aussagen Schienenbonus/Schienenmalus	6			6
Generell kein Schienenbonus	2	3		5
Summe	8	9	2	19

F = Feldstudie; L = Laborstudie; R = Re-Meta-Analyse G = Gesamt/Summe

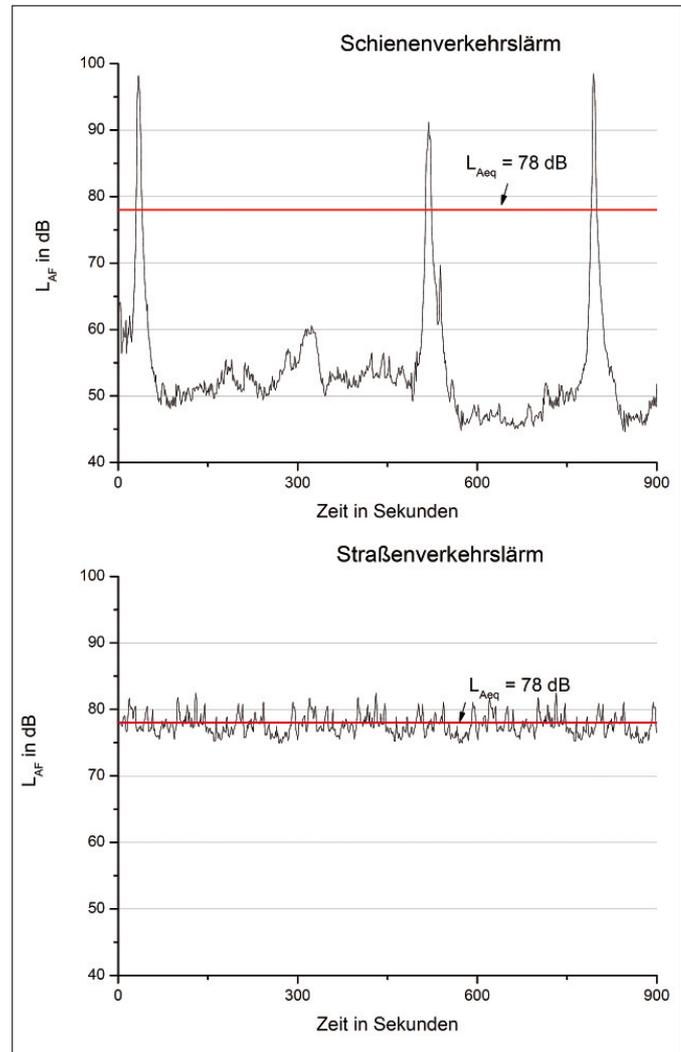


Bild 2 Zeitlicher Verlauf des Vorbeifahrtpegels an einer Eisenbahnstrecke und einer Straße bei etwa gleichem Mittelungspegel über ca. 15 min.

Literaturauswertung

Zur Klärung der Frage über eine weiterhin gerechtfertigte Gültigkeit des Bonus wurden neben drei Literaturuntersuchungen 17 Primäruntersuchungen und zwei Re-Analysen zur Thematik Schienenbonus ausgewertet, die nach der Festlegung des Schienenbonus im Jahr 1990 durchgeführt wurden.

In Hinblick auf die Hauptfragestellung zeigen diese Studien die in der **Tabelle** zusammengefassten Ergebnisse.

Bei den sechs Originalstudien, die grundsätzlich – ohne Differenzierung hinsichtlich der Reaktion – für einen Schienenbonus sprechen, handelt es sich ausnahmslos um Laborstudien. Fünf dieser Untersuchungen sind experimentelle Untersuchungen von Fastl et al. [15 bis 19], in denen unter Variation verschiedener Parameter, z. B. Straßen-/Schienenverkehrsgeräusche innerhalb und außerhalb von Gebäuden, die Lautheit von Schienen- und Straßenverkehrsgeräuschen untersucht wurde. In diesen Laborstudien wurden geringere Lautheitsurteile von Schienen- im Vergleich zu Straßenverkehrsgeräuschen

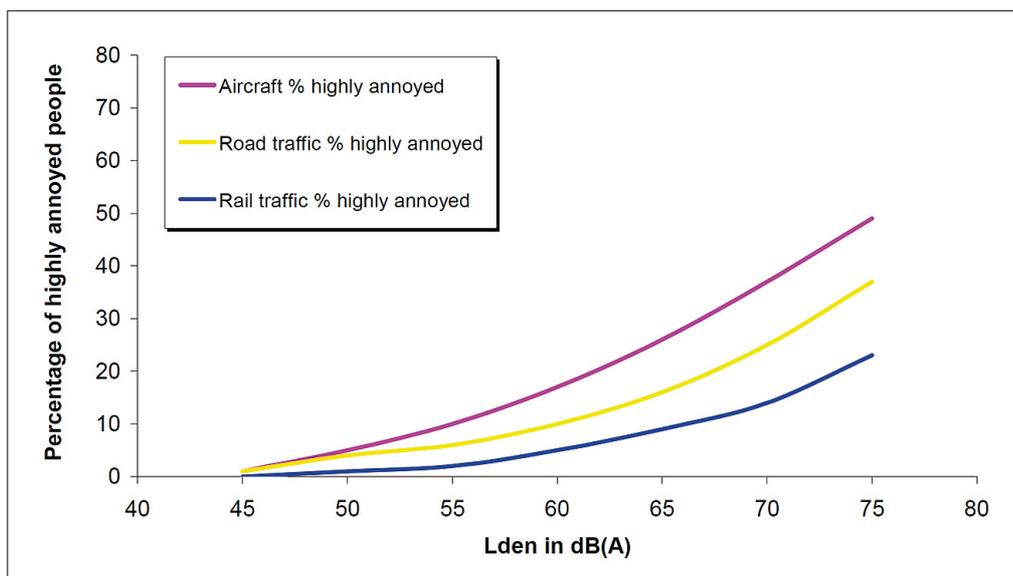


Bild 3 Dosis-Wirkungsbeziehung für den Prozentanteil hoch Lärmbelästigter (%HA) bezogen auf den Tag-Abend-Nachtpegel L_{DEN} aus [21].

bei gleichem Pegel festgestellt. In der Laborstudie von *Sandrock et al.* [20] wurden Bus- und Straßenbahngeräusche hinsichtlich Schärfe, Rauheit, Lautheit und Belästigung sowie kognitiver Leistung beurteilt. Die Autoren verglichen die Geräuschbeurteilungen in 3-dB-Stufen eingeteilte Maximalpegelklassen. Insbesondere für die Lautheit und Belästigung zeigten sich Lästigkeitsunterschiede zugunsten der Straßenbahn, wonach die Straßenbahngeräusche als ebenso lästig und laut beurteilt werden wie die Busgeräusche in der benachbarten, um 3 dB niedrigeren Pegelklasse. Die Autoren interpretieren dies als einen 3-dB-Bonus für Straßenbahn- gegenüber Busgeräuschen. Ein Schienenbonus ist auch ableitbar aus den generalisierten Dosis-Wirkungskurven von *Miedema et al.* [21; 22]. Neben Feldstudien zum Fluglärm wurden dabei die Daten aus 26 Studien zum Straßenverkehrslärm ($n= 19\ 172$ bzw. $21\ 228$) und aus acht Studien zum Schienenverkehrslärm ($n= 7\ 632$ bzw. $8\ 527$) aus den Jahren 1971 bis 1994 zu einer Metaanalyse herangezogen. Getrennt für jede Verkehrslärmquelle (Flug, Schiene, Straße) wurden Dosis-Wirkungsfunktionen für den Anteil Belästigter bzw. für den Anteil hoch Belästigter ermittelt. **Bild 3** zeigt die Dosis-Wirkungskurven für den Anteil hoch Belästigter bezogen auf den L_{DEN} nach [21]. Aus den zugrunde liegenden Funktionen lässt sich ein Schienenbonus von etwa 8 dB ableiten.

In einer Re-Analyse von französischen Feldstudien zur Schienen- bzw. Straßenverkehrslärmbelastung aus den Jahren 1996 bis 1998 an Bestandsverkehrswegen und neu gebauten Straßen und Schienenwegen fand *Lambert et al.* [23] den Schienenbonus an Bestandsstrecken bestätigt. Bei den neuen Verkehrswegen fiel der Quellenunterschied zugunsten der Bahn noch stärker aus. Insgesamt gibt der Autor bei einer Tagesbelastung von 50 dB einen Schienenbonus von 0 dB, bei 70 dB einen Bonus von 5 dB an.

In sechs Feldstudien werden differenzierte Ergebnisse in Bezug auf einen Schienenbonus berichtet. Diesen Studien zufolge fallen Lästigkeitsunterschiede von Schienen- und Straßenverkehrslärm in Abhängigkeit von der Höhe der Geräuschbelastung (Pegelbereich), der Art der Lärmwirkung (Belästigung, Störungen von Ruhe, Kommunikation, Nachtschlaf) und der Methode ihrer Erfassung (Befragungen, physiologische Erhebungen) unterschiedlich aus. Zu diesen Untersuchungen zählen drei von *Kofler, Lercher et al.* durchgeführte Feldstudien in Alpentälern in Österreich [24 bis 26] sowie eine Studie zu den Auswirkungen von Luftqualität und Straßen-/Schienenverkehrslärm auf die Gesundheit [27]. In [24] wurde die Straßen- und Schienenlärmbelastung insgesamt (ohne Tages-

zeitbezug) auf den nächtlichen Dauerschallpegel $L_{Aeq,22-06h}$ bezogen. Danach ergibt sich für einen Nachtpegel unterhalb von 50 dB ein Schienenbonus, oberhalb von 50 dB besteht ein Schienenmalus. Aus [25] liegen Ergebnisse zum Quellenunterschied in der Lärmbelastung bezogen auf den Tag-Abend-Nacht-Pegel L_{DEN} vor. Danach liegt unterhalb eines $L_{DEN} = 60$ dB ein geringfügiger Lästigkeitsunterschied (HA-Anteil) zugunsten der Bahn und oberhalb von 60 dB ein Lästigkeitsunterschied zugunsten der Straße vor. Bezogen auf die physische Gesundheit konnten Lärmwirkungen (signifikanter Anstieg der Medikamenteneinnahme oberhalb 70 dB gegenüber 55 dB) gefunden werden; signifikante Quellenunterschiede lagen dabei nicht vor. In [26] wurde der Anteil der durch Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm Hochbelästigten (HA-Anteil nachts, gesamt) auf den L_{DEN} , der HA-Anteil nachts zudem auf den Nachtpegel L_{night} bezogen. Ab einem L_{DEN} von 50 dB ergibt sich eine Belästigungsdifferenz zugunsten der Schiene sowohl im Vergleich zum Autobahn- als auch Hauptstraßenverkehrslärm. Nachts treten Pegel oberhalb von 50 dB nur für den Schienenverkehrslärm auf, unterhalb von 50 dB ist der HA-Anteil nachts von Schienen- und Hauptstraßenverkehrslärm gleich, gegenüber dem Autobahnlärm ist der durch Schienenverkehrslärm verursachte HA-Anteil etwas geringer. Bezogen auf die Einnahme von Schlafmitteln fanden sich keine Quellenunterschiede. Hinsichtlich der Lärmwirkungen auf die physische Gesundheit fanden sich nur beim Bluthochdruck (Beschwerden, Medikamenteneinnahme) bezogen auf Autobahnlärm und Probanden mit familiärer Anfälligkeit Dosis-Wirkungsbezüge, d. h. aus diesen Ergebnissen lassen sich keine Aussagen über Quellenunterschiede ableiten.

Zwischen 1996 und 2002 wurden in Deutschland mehrere vergleichende Schienen-/Straßenverkehrslärmstudien der Studiengemeinschaft Schienenverkehr (SGS Studiengemeinschaft Obermeyer und Möhler + Partner) durchgeführt (siehe [28 bis 33]). Dabei wurden u. a. Feldstudien an Bahnstrecken und städtischen sowie ländlichen Hauptverkehrsstraßen mit unterschiedlicher Vorbeifahrhäufigkeit (165 bis 378 Züge/Tag und 13 000 bis 145 000 Kfz/Tag) sowie einem Güterzuganteil von tags 3 bis 61 % und nachts 4 bis 92 % bzw. einem Lkw-Anteil von tags (nachts) 5 % (4 %) bis 10% (8%) durchgeführt. Die Lärmwirkungen wurden im Rahmen von Face-to-face-Interviews z. T. auch durch physiologische Messungen erhoben, die akustischen Daten anhand von Messungen und Berechnungen gewonnen. Je nach Gestörtheitsbereich fanden die Autoren unterschiedliche Differenzen in der

Lästigkeit von Schienen- und Straßenverkehr: Während etwa für die Lärmbelastigung durch Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm („Gesamtbelastigung“) ein Schienenbonus von + 4 bis + 6 dB ermittelt wurde, ergab sich z. B. für die Kommunikationsstörung im Innenraum ein Schienenmalus von - 5 bis - 9 dB. Die höchsten Bonuswerte wurden für die erfragten vegetativen (+ 14 dB) und Schlafstörungen (+ 13 dB) festgestellt. Die aus den Befragungen ermittelte Lästigkeitsdifferenz zugunsten der Bahn in der Nacht (Schlafstörungen) konnten in [28] nicht durch die bei einer Teilstichprobe durchgeführten physiologischen Messungen der nächtlichen Schlafstörungen (Aktimetrie, EEG) verifiziert werden. Zwischen dem Straßen- und Schienenverkehrslärm und den physiologisch ermittelten nächtlichen Schlafstörungen wurden keine Zusammenhänge gefunden – entsprechend auch keine Quellenunterschiede. Insofern wird das ermittelte Ausmaß der Lästigkeit der verschiedenen Lärmquellen auch durch die Methode, mit der die Wirkungen erhoben werden, beeinflusst.

Im Rahmen des BMWI/BMBF-Forschungsverbunds „Leiser Verkehr – Lärmwirkungen“ wurde im Jahr 2003 eine Feldstudie zur Belästigung durch Schienen- und Straßenverkehrslärm zu unterschiedlichen Tageszeiten durchgeführt (vgl. [34]). Die Lärmwirkungen wurden u. a. in persönlichen Interviews erhoben und die akustische Verkehrslärmbelastigung (an der lautesten Fassade) anhand von Messungen mit ergänzenden Berechnungen ermittelt. Es war nicht die primäre Aufgabe des Forschungsvorhabens, Lästigkeitsunterschiede zwischen den verschiedenen Lärmquellen zu untersuchen. Vielmehr war es das Ziel, jenseits einer Tag-/Nachtbetrachtung zu prüfen, ob sich tagsüber – bei gleichem Stundenpegel – die Lärmbelastigung zu unterschiedlichen Tagesstunden unterscheidet, d. h. „lärmsensible“ Tageszeiten außerhalb der Nacht identifiziert werden können. Die Daten erlauben allerdings den Quellenvergleich in der Lärmbelastigung zu unterschiedlichen Tageszeiten. Eine Re-Analyse der Daten [34] ergab, dass die Lästigkeitsunterschiede zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm abends (18 bis 22 Uhr) anders ausfällt als in den Tagesstunden davor. Während tagsüber (6 bis 18 Uhr) der Schienenbonus + 9 bis + 12 dB beträgt (je nach Mittelungspegelbereich zwischen 50 und 70 dB), ergibt sich für die Abendstunden eine insgesamt höhere Lästigkeit des Bahnlärms, die einem Bonus/Malus von + 3 (Bonus) bis - 7 dB (Malus) entspricht.

Fünf der analysierten europäischen Studien mit Quellenvergleich sprechen gegen die Gültigkeit eines Schienenbonus. Es handelt sich hierbei um drei Labor- [35 bis 37]) und zwei Feldstudien [38; 39]). Die Laborstudien behandeln vor allem nächtliche Störungen durch Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm. Im Rahmen des Verbundprojekts „Leiser Flugverkehr II“ ließen Basner et al. [35] in der sog. AiRoRa-Studie (Air-Road-Railway-Studie) 72 Personen elf Nächte im Schlaflabor schlafen, setzten sie während der Nächte Schienen-, Straßen- und Flugverkehrsgläuschen einzeln und in Kombination aus und erhoben die Schlafqualität mittels polysomnographischer Messungen, nachträglicher Befragungen und Leistungstests. Die subjektive Schlafqualität wurde in den Nächten mit Schienenverkehrslärm schlechter als der Schlaf in den übrigen Nächten beurteilt. Die Ergebnisse der ereigniskorrelierten Auswertung ergaben, dass der Straßen- und Schienenverkehrslärm mit signifikant höheren Aufwachwahrscheinlichkeiten bezogen auf den L_{max} der eingespielten Geräusche einhergingen als Fluglärm, sich selbst jedoch nicht signifikant voneinander unterschieden. Ähnliches berichten auch Griefahn et al. [36; 40; 41] anhand der Ergebnisse einer Laborstudie. Die Dosis-Wirkungskurve (logistische Regressionskurve) für die Aufwachwahrscheinlichkeit bezogen auf den L_{max} lag für Schienenverkehrslärm höher als die Kurven für

Straßenverkehrs- und Fluglärm, wobei sich nur die Kurven für Schienen- und Fluglärm signifikant voneinander unterschieden (vgl. [41]). Darüber hinaus bewirkte der Schienenverkehrslärm im Vergleich zum Flug- und Straßenverkehrslärm eine signifikant stärkere Beeinträchtigung des Schlafs in der ersten Schlafperiode bezogen auf die Tiefschlafatenz, Verweildauer im Leichtschlaf (S1) und im Wachzustand (S0) und auf die Dauer des Tiefschlafs. Bezogen auf den Gesamtschlaf beeinträchtigte der Schienenverkehrslärm stärker die Zeit im Tiefschlaf. Im Hinblick auf die subjektive Schlafqualität ergaben sich keine signifikanten Quellenunterschiede.

In der Laborstudie von Öhrström et al. [37] schliefen 18 Personen je fünf aufeinander folgende Nächte im Schlaflabor und wurden nach zwei Gewöhnungsnächten (Lärm- und Ruhenacht) in drei Nächten Schienen- und Straßenverkehrslärmereignissen ausgesetzt. Morgens nach dem Aufwachen füllten die Probanden einen Fragebogen zur Schlafqualität und nächtlichen Lärmbelastigung aus. Es ergaben sich keine Quellenunterschiede hinsichtlich des Berichts von Einschlafproblemen, nächtlichem Aufwachen, Schlafqualität, Unruhe im Schlaf und der Müdigkeit am nachfolgenden Tag morgens, tagsüber und abends. Ebenso erwies sich die leicht höhere nächtliche Belästigung durch Schienenlärm gegenüber der Straßenverkehrslärmbelastigung als statistisch nicht signifikant. Die Autoren fassen die Ergebnisse dahingehend zusammen, dass es keine Unterschiede zwischen den Nächten mit Schienenlärm und den Nächten mit Straßenverkehrslärm mit dem gleichen Geräuschpegel L_{night} oder L_{AFmax} gab.

De Coensel et al. [38] führten mit 100 Personen ein Quasi-Feldexperiment in einer niederländischen Feriensiedlung durch, in dem sie die Teilnehmer mit IC-, TGV-, Transrapid- und Autobahngeräuschen aus in der Feriensiedlung angebrachten Lautsprecher beschallten. Es ergaben sich keine Unterschiede in der erfragten Lärmbelastigung weder zwischen den Zugarten noch zwischen den Schienen- und Straßen- (bzw. Autobahn-)geräuschen.

Öhrström et al. [39; 42; 43] untersuchten Anwohner im schwedischen Ort Lerum, die zwischen einer Hauptstraßenverkehrsroute und einer Haupteisenbahnstrecke wohnten und beiden Lärmquellen in gleicher oder unterschiedlicher Dominanz ausgesetzt waren. Die Dosis-Wirkungsbeziehungen für die quellspezifischen Lärmbelastigungen sowie für die Gesamtlärmbelastigung unterschieden sich je nach Bezug auf den ungewichteten Dauerschallpegel $L_{Aeq,24h}$ oder den gewichteten Tag-Abend-Nachtpegel L_{DEN} . Bezogen auf den $L_{Aeq,24h}$ war die Schienenlärmbelastigung etwas höher als die Straßenverkehrslärmbelastigung, bezogen auf den L_{DEN} war es umgekehrt, was durch den unterschiedlich hohen Nachtpegel (für Schienenlärm höher als für Straßenverkehrslärm) erklärt werden kann. Bei zwei vorhandenen Lärmquellen (Schiene bzw. Straße) stieg die quellspezifische Lärmbelastigung an und war bei gleichem Gesamtlärmpegel ($L_{Aeq,24h}$) höher als bei nur einer der beiden Lärmquelle. Dies galt vor allem für die Schienenlärmbelastigung.

Diskussion der Ergebnisse

Die im Rahmen der Literaturlauswertung gefundenen Ergebnisse zum Schienenbonus werden im Folgenden thematisch diskutiert. Dabei steht im Vordergrund, inwieweit die vorhandenen Studien geeignet sind, neue Erkenntnisse in die Verordnungsverfahren einfließen zu lassen, in denen der Schienenbonus derzeit verankert ist, wie z. B. in die Verkehrslärmschutzverordnung oder in die Lärmsanierungsrichtlinien. Diese Auswertung soll lediglich die Aussagekraft der jeweiligen Studie bzgl. der Fragestellung des Schienenbonus wiedergeben. Abhängig davon, welche Zielsetzung die jeweilige Studie jeweils hatte, kann sich demnach auch er-

geben, dass eine Studie nur eine geringe oder keine Aussagekraft bezüglich des Schienenbonus aufweist. Dennoch ist es selbstverständlich möglich, dass die eigentliche Fragestellung der Studie umfänglich beantwortet werden konnte. Die folgende Auswertung soll daher nicht als Bewertung der Studien im Hinblick auf deren eigentliche Fragestellung missverstanden werden.

Untersuchungsplan

Etwas mehr als die Hälfte der untersuchten Studien wurde im Labor durchgeführt. Der Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und -belästigung ist bei Laborstudien wesentlich enger als im Feld, da im Labor viele Einflussfaktoren, die die Reaktionen beeinflussen können, ausgeschaltet werden. Insbesondere bei der physiologischen Erfassung von Schlafstörungen ergibt sich im Feld nur ein geringer Zusammenhang zwischen Schallpegel und Schlafstörung, während im Labor ein deutlicher Zusammenhang festgestellt wurde (vgl. [44]). So kann z. B. im Labor der Einfluss langfristiger Gewöhnung an Lärm, der ggf. insbesondere bei Schienenverkehrslärm eine Rolle spielen kann, nicht berücksichtigt werden; auch kann das individuelle Wohnumfeld nur schwierig im Labor dargestellt werden, obwohl davon eine Beeinflussung der Reaktionen erwartet werden kann. Die Ergebnisse von Laborstudien können daher für die Beschreibung einzelner isolierter Wirkungsbereiche des Verkehrslärms angewendet werden; es erscheint jedoch fraglich, ob deren Ergebnisse für eine eher generalisierende Aussage zur Lästigkeitsdifferenz in einer Verordnung geeignet sind. Bei einigen Felduntersuchungen wurden als Schallquellen nur Bus- und Straßenbahnverkehr [20] bzw. nur Personenfernverkehr und Autobahnlärm [38] betrachtet, sodass auch diese Ergebnisse nicht generalisiert werden können. Die Untersuchungspläne der Feldstudien der SGS (siehe [28 bis 33]) waren so angelegt, dass bezüglich der jeweiligen Fragestellung die Lärmbelastung und -belästigung eine möglichst umfassende Situation darstellt. So wurde z. B. darauf geachtet, dass die Befragten einen repräsentativen Querschnitt darstellen, die Untersuchungsgebiete nicht durch Fremdschallquellen wie Fluglärm oder Gewerbelärm belastet waren und keine Sensibilisierung der Befragten durch Planungen oder Bürgerinitiativen bestand.

Erfassung der Lärmbelastung

Die Erfassung der Lärmbelastung der Probanden erfolgte in den Feldstudien meist durch Schallmessungen mit ergänzenden Berechnungen, wobei unterschiedliche akustische Maße verwendet wurden. In einem Teil der Untersuchungen ([24 bis 26; 38; 39]) wurde der L_{DEN} nach den Vorgaben der EU-Umgebungs-lärmrichtlinie verwendet. Dieser akustische Kennwert bezieht sich auf 24 h und nimmt eine Gewichtung des Abend- und Nachtzeitraums vor; er lässt sich nicht direkt auf die in den deutschen Verordnungen üblicherweise verwendete Beurteilungspegel $L_{r,Tag}$ und $L_{r,Nacht}$ übertragen, die sich auf 16 bzw. 8 h beziehen und keine zeitliche Gewichtung vornehmen. In den Untersuchungen der SGS (siehe [28 bis 33]) wurden als akustische Parameter der L_{Aeq} bezogen auf den Tages- und Nachtzeitraum entsprechend den Vorgaben der 16. BImSchV verwendet und diese durch Schallmessungen und Berechnungen bestimmt.

Bei den Metaanalysen von [21; 22] wurden die akustischen Kennwerte einer Vielzahl von Untersuchungen auf den L_{DEN} umgerechnet, wobei nicht nachvollziehbar ist, wie diese Umrechnung erfolgt ist. Insbesondere bei der Berechnung von Straßen- und Schienenlärm können durch die unterschiedlichen Berechnungsmethoden systematische Unterschiede in der für die beiden Quellen ermittelten Lärmbelastung auftreten, die nicht der tatsäch-

lichen Lärmbelastung bei den Probanden entspricht. (vgl. [45]); dadurch sind Fehlinterpretationen möglich, die die Höhe des Lästigkeitsunterschieds erheblich beeinflussen können.

In den Laboruntersuchungen wurde die akustische Belastung künstlich erzeugt und den Probanden über unterschiedliche Zeiträume dargeboten. Um für Straßen- und Schienenverkehrslärm eine vergleichbare akustische Dosis zu erzeugen, wurden beispielsweise in [35; 40] die Relationen des Mittelungspegels zu den Maximalpegeln verändert; dies hatte zur Folge, dass Lärmszenarien dargeboten wurden, die nicht unbedingt einer realistischen Situation entsprechen. Darüber hinaus ist unklar, inwieweit die unterschiedliche Korrektur für Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm bezüglich der Schalldämmwirkung der Außenbauteile zur Bestimmung der Innenpegel in Schlafräumen in den Laboruntersuchungen berücksichtigt wurde.

Erfassung der Reaktionen

In den ausgewerteten Untersuchungen wurden Quellenvergleiche hauptsächlich bezogen auf die Lärmbelästigung sowie auf Störungen des Schlafs vorgenommen. Seltener wurden auch Quellenunterschiede bezogen auf andere Wirkungsbereiche (z. B. Kommunikationsstörungen, Ruhestörungen tagsüber, vegetative Störungen) untersucht. Dort, wo verschiedene Wirkungsbereiche betrachtet wurden, zeigte sich, dass Wirkungsunterschiede zwischen Bahn- und Straßenverkehrslärm vom Wirkungsbereich abhängen (z. B. [7; 28 bis 30]). In einigen Laborstudien ([15 bis 19]) wurde ausschließlich die Lautheit betrachtet, was eine Übertragung auf reale Wohnsituationen, in denen die Lärmbelästigung (in Wachphasen) bzw. die Störungen des Schlafs maßgeblicher sind, erschwert.

Je nach Wirkungsbereich wurden unterschiedliche Erhebungsmethoden verwendet. Lärmbelästigung und Störungen von Aktivitäten (Kommunikation, Ruhe, Konzentration) wurden mithilfe von Befragungen (im Feld, im Labor) erhoben, Schlafstörungen sowohl erfragt als auch mittels physiologischer Messmethoden sowie indirekt über Leistungstests erfasst.

Insbesondere bezogen auf Schlafstörungen zeigt sich, dass Quellenunterschiede je nach Erhebungsmethode und Geräuschpegelbezug unterschiedlich ausfallen: Während sich bei erfragten Schlafstörungen bezogen auf den Nachtmittelungspegel $L_{Aeq,22-06h}$ ein deutlicher Schienenbonus abzeichnet ([7; 28]), sich teilweise hierbei aber auch keine Quellenunterschiede ergeben [36], weisen die Ergebnisse zur polysomnographisch gemessenen Schlafqualität und Aufwachwahrscheinlichkeit eher auf einen Schienenmalus hin ([35; 36]), oder es finden sich – bei mittels Aktimetrie erfasster Schlafqualität – keine Quellenunterschiede [28]. Bezogen auf die Wirkung nächtlichen Bahn- und Straßenverkehrslärms kann demnach aufgrund der mit den verschiedenen Methoden zur Messung der Wirkung einhergehenden unterschiedlichen Ergebnissen nach derzeitigem Forschungsstand weder von der Gültigkeit eines Schienenbonus noch von der eines Schienenmalus gesprochen werden.

Die derzeit vorliegenden generalisierten – auf Metaanalysen beruhenden – Dosis-Wirkungskurven zur Belästigung durch Schienen- und Straßenverkehrslärm (und Fluglärm) [21; 22] haben im Hinblick auf die Belästigungserfassung den Nachteil, dass in den im Datensatz enthaltenen Originaluntersuchungen die Lärmbelästigung mittels unterschiedlicher Fragen und unterschiedlichen Antwortformaten erhoben wurden, sodass nicht gänzlich vergleichbare Wirkungsdimensionen in die Metaanalysen eingeflossen sind.

Ein weiterer Punkt bei Quellenvergleichen bezogen auf die Lärmbelastung ist, dass sich die Ergebnisdarstellung oftmals auf eine bestimmte Gruppe von Belästigten, genauer auf den Prozentsatz von Hochbelästigten (%HA, highly annoyed) konzentriert. Diese Darstellung findet sich sowohl in Metaanalysen [22; 23], als auch in Originaluntersuchungen [24 bis 27]. Durch diese Darstellungsform gehen Informationen verloren, da die Ausprägung etwaiger Quellenunterschiede unterhalb einer hohen Belästigung („mittlere“ oder „geringere“ Lärmbelastigung) unberücksichtigt bleiben. In früheren Untersuchungen (z. B. [7; 13]) basieren die Bonus-/Malusschätzungen auf Antworten aller Probanden, nicht nur der hoch belästigten, sodass hier das gesamte Informationsspektrum ausgeschöpft wurde.

Straßenverkehrs- und Bahnlärm weisen unterschiedliche Tagesverläufe auf, sodass es sinnvoll erscheint, die Lärmwirkungen getrennt nach unterschiedlichen Bezugszeiträumen (z. B. Tag/Nacht/24h oder Tag/Abend/Nacht/24h) zu betrachten und sie Geräuschpegeln gegenüber zu stellen, die sich auf den jeweils gleichen Bezugszeitraum beziehen. Dies ist in den ausgewerteten Untersuchungen nicht immer gemacht worden, sodass die so gewonnenen Befragungsergebnisse nur eingeschränkt verwendet werden können. So liegen Untersuchungen vor, in denen etwa die allgemeine Lärmbelastigung durch Schienen- bzw. Straßenverkehrslärm (ohne Tageszeitbezug) auf den Nachtmittelungspegel $L_{Aeq,22-06h}$ bezogen wurde [24; 26]. Umgekehrt ist der Bezug quellenpezifischer Lärmreaktionen (Lärmbelastigung) auf den Tag-Abend-Nachtpegel L_{DEN} ([25; 26; 39; 42; 43]) problematisch für einen Quellenvergleich, da einem gleichen L_{DEN} für Schienen- und Straßenverkehrslärm sehr unterschiedliche quellenpezifische Zeitverläufe der Verkehrsgeräusche tags, abends, nachts zugrunde liegen können.

Quantifizierung des Lästigkeitsunterschieds

Die Quantifizierung des Lästigkeitsunterschieds erfolgt i. d. R. durch Quellenvergleich der Reaktionen bei gegebenen Pegeln des Straßen- und Schienenverkehrslärms. Eine einheitliche und systematische Vorgehensweise zur Quantifizierung des Lästigkeitsunterschieds konnte bisher jedoch nicht festgestellt werden. Vielmehr orientiert sich die Vorgehensweise an der Art und dem Umfang der vorhandenen Daten.

In den Laborstudien wurden jedem Probanden identische Geräuschszenarien dargeboten. Die Höhe des Stimulus durch die Verkehrsgeräusche (Mittelungs- oder Maximalpegel) variiert dementsprechend in den meisten Laboruntersuchungen entweder nicht oder nur in einem begrenzten Umfang (z. B. [18; 37; 38]) durch Darbietung unterschiedlicher Szenarien. Aus Felduntersuchungen ist jedoch bekannt, dass gerade der Lästigkeitsunterschied stark von dem untersuchten Pegelbereich abhängen kann (vgl. u. a. [7]). Bei bestimmten Reaktionen kann sogar bei unterschiedlichen Pegelhöhen z. B. im unteren Pegelbereich ein Schienenbonus und im oberen Pegelbereich ein Malus resultieren ([24 bis 26]). Die Quellenunterschiede, die bei einem sehr begrenzten Pegelbereich ermittelt wurden, können daher auch nur für diese Pegelbereiche als repräsentativ unterstellt werden. In einzelnen Fällen erfolgte eine Quantifizierung des Lästigkeitsunterschieds, indem entweder die Belastung durch Verkehrslärm in Pegelstufen mit einem bestimmten Pegelrange eingeteilt wurde und die mittleren Reaktionen in diesen Pegelstufen verglichen [20] oder die Reaktionen bei einem vorgegebenen Pegelunterschied der Quellen miteinander verglichen wurden [18].

Selbst in den meisten Feldstudien, bei denen naturgemäß meist eine breite Streuung der Lärmbelastung auftritt, konnte keine sys-

tematische oder einheitliche Vorgehensweise bei der Quantifizierung des Quellenunterschieds festgestellt werden. Häufig wurden die Dosis-Wirkungs-Beziehungen in einer grafischen Form gegeneinander aufgetragen. Die Bestimmung des Quellenunterschieds erfolgte dabei meist qualitativ durch Vergleich der Verlaufs-funktionen (z. B. [25]). Wenngleich die statistische Signifikanz des Quellenunterschieds geprüft wurde [35], erfolgte dabei meist keine Quantifizierung. Auch die Meta-Analysen aus [22], die insgesamt eine hohe Streuung der Pegelwerte aufweisen können, verdichten zwar die erhaltenen Pegel-Reaktions-Beziehungen zu Regressionsfunktionen je Quelle, auf einen quantifizierenden Vergleich der Beziehungen wurde jedoch verzichtet. Lediglich die Felduntersuchungen der SGS ([28; 29]) enthalten eine systematische Vorgehensweise zur Quantifizierung des Lästigkeitsunterschieds für die unterschiedlichen Reaktionen. Diese basiert auf einem definierten Vergleich der Strukturgeraden für Straßen- und Schienenverkehr bei unterschiedlichen Pegelbereichen und einer anschließenden Mittelung der Werte verschiedener Pegelbereiche. Die Methodik erfordert dabei zwar einen hohen untersuchungstechnischen Aufwand, dennoch erscheint dieser Aufwand im Hinblick auf die zahlreichen Einflussparameter für die Ermittlung einer belastbaren Aussage zum Lästigkeitsunterschied Straße – Schiene gerechtfertigt. Eine ausführliche Beschreibung der Vorgehensweise ist u. a. in [9; 28] enthalten.

Erforderliche Anpassungen des Schienenbonus

Die Festlegung des Schienenbonus im Rahmen der Verkehrslärmschutzverordnung erfolgte auf der Grundlage von breit angelegten sozialwissenschaftlichen Studien aus den Jahren 1978 und 1983, deren Ergebnisse durch Studien aus dem Jahr 2001 im Wesentlichen bestätigt wurden. Die Ergebnisse decken einen umfangreichen akustischen Pegelbereich und sozialwissenschaftlichen repräsentativen Bevölkerungsquerschnitt ab. Durch die – politische – Setzung eines Schienenbonus auf 5 dB(A) wurde auf eine fachlich mögliche Differenzierung zugunsten einer einfachen Handhabung in der Praxis verzichtet. Ein Schienenbonus wurde auch in anderen europäischen Ländern, wie z. B. in Österreich, der Schweiz, Frankreich und Holland, aufgrund dortiger eigener Untersuchungen eingeführt. Neuere Erkenntnisse aus der Literatur aber auch aus den Veränderungen in den verkehrlichen Rahmenbedingungen scheinen jedoch Anpassungen und Überprüfungen der Gültigkeit des Schienenbonus erforderlich zu machen. Im Folgenden werden die wesentlichen Themenbereiche angesprochen, bei denen Anpassungsbedarf besteht.

Verkehrliche Rahmenbedingungen

Seit Durchführung der Studien im Jahr 1983 und 2001, die zur Festlegung bzw. Bestätigung des Schienenbonus geführt haben, sind grundlegende Veränderungen in den verkehrlichen Rahmenbedingungen eingetreten. So ist z. B. sowohl beim Schienen- als auch beim Straßenverkehr neben einer allgemeinen Verkehrszunahme eine deutliche Erhöhung des Güterverkehrsanteils eingetreten, die auch für die Zukunft prognostiziert wird. Durch die Privatisierung der Bahn und der Durchführung des Betriebs durch eine Vielzahl unterschiedlicher Streckenbetreiber können sich auch Veränderungen der Einstellung der Anwohner zu der Lärmquelle ergeben haben. Bisher sind hierzu keine Erkenntnisse vorhanden, insbesondere ob Veränderungen in positiver Richtung (höhere Akzeptanz aufgrund möglicher Verbesserung des Nahverkehrsangebots) oder negativer Richtung (Vorbehalte gegenüber privaten Betreibern) überwiegen.

Nachtschlaf

Die in letzter Zeit durchgeführten physiologischen Untersuchungen zu Nachtschlafstörungen durch Schienen- und Straßenverkehrslärm führen zu teils deutlich anderen Ergebnissen als Untersuchungen, die die Schlafqualität durch rückblickende Befragung ermitteln. Dabei scheinen neben Unterschieden im Studiendesign auch erhebungsmethodische Aspekte eine wesentliche Rolle zu spielen. Während bei den physiologischen Untersuchungen im Labor die Reaktionen auf Einzelschallereignisse erfasst wurden, beziehen sich Befragungen naturgemäß auf den ganzen Nachtzeitraum. Es sind daher physiologische Messungen der Schlafstörungen durch Schienen- und Straßenverkehrslärm unter realistischen Bedingungen der Lärmbelastung bezogen auf den gesamten Nachtzeitraum erforderlich; in einem Forschungsprojekt im Rahmen der Deutsch-Französischen Kooperation in der Verkehrsforschung (DEUFRAKO) werden derartige Messungen für den Schienenverkehrslärm durchgeführt (vgl. [46]); entsprechende Untersuchungen zum Straßenlärm und Vergleiche der Pegel-Reaktionsbeziehung zwischen den beiden Verkehrslärmquellen für realistischen Szenarien stehen noch aus.

Tageszeitliche Effekte

Aus Untersuchungen, die verschiedene Tageszeiten berücksichtigen, und auch aus früheren Untersuchungen ergeben sich Hinweise, dass zu unterschiedlichen Tageszeiten verschiedene Gestörtheitsaspekte überwiegen und unterschiedlich zu gewichten sind. Neuere u. a. internationale Untersuchungen lassen diese Unterschiede außer Betracht und verwenden den L_{DEN} , bei dem der Abend- und Nachtzeitraum einheitlich durch einen Zuschlag von 5 bzw. 10 dB(A) berücksichtigt wird. Daher besteht diesbezüglich und insbesondere im Hinblick auf die Tag-Abend-Nacht-Unterscheidung der EU-Umgebungslärmrichtlinie ein weiterer Bedarf an Erkenntnissen zum Lästigkeitsunterschied zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm bei verschiedenen Tageszeiten.

Fensterstellgewohnheit

Aus den Feldstudien lässt sich ableiten, dass sich die Fensterstellgewohnheit bei Schienen- und Straßenverkehr deutlich unterscheidet: Während beim Straßenverkehr mit zunehmender Lärmbelastung in gleichem Maß das Fenster geschlossen wird, werden beim Schienenverkehrslärm auch bei zunehmender Lärmbelastung die Fenster geöffnet gehalten. Inwieweit dieses unterschiedliche Verhalten als Reaktion oder/und als akustische Randbedingung zu bewerten ist und welche Auswirkungen dieses Verhalten auf den Schienenbonus hat, ist noch weitgehend ungeklärt.

Schienerbonus an bestehenden und geplanten Schienenstrecken

Die bisher durchgeführten Felduntersuchungen zum Schienenbonus wurden an Strecken durchgeführt, die seit mehreren Jahren in Betrieb und in deren Umfeld keine Neu- und Ausbauplanungen vorgesehen sind. Beim Neu- und Ausbau von Bahnstrecken werden immer wieder – durch Bürgerinitiativen unterstützt – Befürchtungen über die zu erwartende Verkehrslärmbelastung laut. In ersten Untersuchungen [31] deutet sich an, dass nach einer gewissen Zeit die tatsächlichen Reaktionen auf Schienenverkehrslärm nach Inbetriebnahme einer Strecke weit unter den Reaktionen liegen, die vor Inbetriebnahme der Strecken befürchtet wurden; allerdings beziehen sich die bisherigen Ergebnisse nur auf ein Untersuchungsgebiet. In diesem Zusammenhang erscheint es erforderlich, dieses Verhalten durch eine Erweiterung der betrachteten Gebiete zu untersuchen. Dabei ist auch eine Diskussion über die Anwendung des Schienenbonus beim Neu- und Ausbau von Strecken und bei der Lärmsanierung von bestehenden Strecken zu führen.

Fazit

Insgesamt führt die Literaturuntersuchung weder zu einer pauschalen Befürwortung noch zu einer grundsätzlichen Infragestellung eines Schienenbonus. Vielmehr zeigen sich zahlreiche Fragestellungen, die durch weitergehende Untersuchungen beantwortet werden müssen. Zunächst ist jedoch zu klären, ob zukünftig weiterhin eine Einzulangabe zur Berücksichtigung des Schienenbonus gewollt ist oder eine Differenzierung vorgenommen werden kann. Sollte eine Differenzierung des Schienenbonus vorgenommen werden, ist diese in Abhängigkeit von der akustischen Situation (z.B. Vorbeifahrthäufigkeit, Abstand), von der Tageszeit (Tag/ Abend/Nacht) und von der Nutzungsart (Wohnen, Schulen) sinnvoll. Darüber hinaus ist für weitere Untersuchungen eine Weichenstellung erforderlich, wie mit der Überlagerung verschiedener Verkehrslärmquellen umgegangen werden soll. Die bisherige Vorgehensweise in der Beurteilung von Verkehrslärm sieht eine strikte Trennung des Verkehrslärms in seine quellen-spezifischen Anteile aus Straßen-, Schienen- und Flugverkehr beim Betroffenen vor und dies hat schließlich zur Einführung des Schienenbonus geführt. Bei einer Betrachtung der Gesamtlärmbelastung durch eine geeignete Überlagerung der Verkehrslärmanteile unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Belästigungswirkung könnte ggf. auf die dezidierte Ausweisung eines Schienenbonus verzichtet werden

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die fachliche und finanzielle Unterstützung des Umweltbundesamtes bei der Durchführung der Literaturstudie. Das Vorhaben wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes im Rahmen des Umweltforschungsplanes – Förderkennzeichen 3708 51 102 – erstellt und mit Bundesmitteln finanziert.

Ulrich Möhler, Manfred Liepert, Möhler
+ Partner, München.
Dirk Schreckenberger, ZEUS GmbH,
Hagen.

Literatur

- [1] *Möhler, U.; Liepert, M.; Schreckenberger, D.*: Lärmbonus bei der Bahn? Ist die Besserstellung der Bahn im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern noch gerechtfertigt? UFOPLAN Ref.-Nr. 370851102. München, Hagen 2009.
- [2] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990. BGBl. I, S. 1036.
- [3] *Möhler, U.; Schuemer-Kohrs, A.*: Literaturstudie über die Wirkung von Schienenverkehrslärm allein und im Vergleich zu anderen Verkehrslärmquellen. Bericht des Planungsbüros Obermeyer im Auftrag des Office for Research and Experiments of the International Union of Railways. ORE, DT 170 (C163). Utrecht 1985.
- [4] *Schuemer, R.; Schuemer-Kohrs, A.*: Lästigkeit von Schienenverkehrslärm im Vergleich zu anderen Lärmquellen – Überblick über Forschungsergebnisse. Z. Lärmbekämpf. 38 (1991) Nr. 1, S. 1-9.
- [5] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002. BGBl. I, S. 3830, zul. geänd. durch Art. 2 des Gesetzes vom 11. August 2009. BGBl. I, S. 2723.
- [6] *Heimerl, G.*: Ermittlung der Belästigung durch Verkehrslärm in Abhängigkeit von Verkehrsmittel und Verkehrsdichte in einem Ballungsgebiet (Straßen- und Eisenbahnverkehr). Untersuchungsbericht, Juli 1978. Stuttgart: Verkehrswissenschaftliches Institut an der Universität Stuttgart.
- [7] 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 (Forschungsnr. 70081/80). Band I: Hauptbericht; Band II: Anhang. Planungsbüro Obermeyer. München 1983.
- [8] *Rohrmann, B.*: Psychologische Forschung und umweltpsychologische Entscheidungen: das Beispiel Lärm. Opladen: Westdeutscher Verlag 1984.
- [9] *Schuemer, R.; Schreckenberger, D.; Felscher-Suhr, U.*: Wirkungen von Schienen- und Straßenverkehrslärm. Hrsg.: ZEUS GmbH. Bochum 2003. www.verkehrslaermwirkung.de
- [10] *Möhler, U.*: Spitzenpegel beim Schienenverkehrslärm. Z. Lärmbekämpf. 37 (1990) Nr. 2, S. 35-40.
- [11] *Möhler, U.; Stetter, G.*: Die unterschiedliche Lästigkeit von Schienen- und Straßenverkehr innerhalb und außerhalb von Wohnräumen. Planungsbüro Obermeyer. München 1985.
- [12] www.ig-bohr.de
- [13] www.igschienenlaerm.de
- [14] www.schienenlaerm.de
- [15] *Fastl, H.; Kuwano, S.; Namba, S.*: Railway bonus and aircraft malus for different directions of the sound source. Vortrag Internoise, Rio de Janeiro 2005.
- [16] *Fastl, H.; Fruhmann, M.; Ache, S.*: Railway bonus for sound without meaning? Acoustics Australia 2003.
- [17] *Fastl, H.; Schmid, W.; Kuwano, S.; Namba, S.*: Untersuchungen zum Schienenbonus in Gebäuden. Fortschritte der Akustik, DAGA 1996, Bonn, S. 208-209.
- [18] *Fastl, H.; Kuwano, S.; Namba, S.*: Psychoakustische Experimente zum Schienenbonus. Fortschritte der Akustik, DAGA 1994, Dresden, Teil C, S. 1113-1116.
- [19] *Fastl, H.; Philippou, T.; Schmid, W.; Kuwano, S.; Namba, S.*: Psychoakustische Beurteilung von Geräuschimmissionen verschiedener Verkehrsträger. Fortschritte der Akustik, DAGA 1998, Zürich, S. 70-71.
- [20] *Sandrock, S.; Griefahn, B.; Kaczmarek, T.; Hafke, H.; Preis, A.; Gjestland, T.*: Experimental studies on annoyance caused by noises from trams and buses. J. Sound Vibr. 313 (2007), S. 908-919.
- [21] *Miedema, H. M. E.; Oudshoorn, C. G. M.*: Annoyance from transportation noise: Relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence limits. Environm. Health Perspec. 109 (2001) Nr. 4, S. 409-416.
- [22] *Miedema H. M. E.; Vos, H.*: Exposure-response relationships for transportation noise. J. Acoust. Soc. Am. 104 (1998) Nr. 6, S. 3342-3445.
- [23] *Lambert, J.; Champelovier, P.; Vernet, I.*: Assessing the railway bonus: The need to examine the „New infrastructure“ effect. Proceedings of internoise 1998, Christchurch, New Zealand, paper no. 419.
- [24] *Kofler, W.; Lercher, P.*: Umweltverträglichkeitsprüfung – Eisenbahnachse Brenner, Zulaufstrecke Nord, Unteres Inntal. Band 9. Teilgutachten: Fachgebiet Hygiene, Schutzgut Gesundheit – Wohlbefinden. Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Verkehr, Verwaltungsbereich Verkehr Innsbruck 1999. www.i-med.ac.at/sozialmedizin/documents/applications/environment_health/einschaetzung_bewertung/uvp-gvp/uvp_unterinntaltrasse/gesamtgutachten/uvp-gutachten.zip
- [25] *Lercher, P.*: Health effects and major co-determinants associated with rail and road noise exposure along transalpine traffic corridors. Proceedings of 9th Congress of the International Commission on the Biological Effects of Noise in Mashantucket, Connecticut, USA – IC BEN 2008, S. 322-323.
- [26] *Lercher, P.*: A comparison of regional noise-annoyance-curves in alpine areas with the European standard curves. Proceedings of 9th Congress of the International Commission on the Biological Effects of Noise in Mashantucket, Connecticut, USA – IC BEN 2008, S. 562-570.
- [27] *Heimann, D.; de Franceschi, M.; Emeis, S.; Lercher, P.; Seibert, P.*: Air pollution, traffic noise and related health effects in the alpine space. Trento: Università degli Studi di Trentok 2007. Part 1 and 2. www.alpnap.org/alpnap.org_ge.html
- [28] *Griefahn, B.; Möhler, U.; Schuemer, R.* (Hrsg.): Vergleichende Untersuchung über die Lärmwirkung bei Straßen- und Schienenverkehr. Abschlußbericht. München: SGS 1999.
- [29] *Liepert, M.; Möhler, U.; Schreckenberger, D.; Schuemer, R.*: Lästigkeitsunterschied von Straßen- und Schienenverkehrslärm im Innenraum. Abschlußbericht. München: SGS 2001.
- [30] *Liepert, M.; Möhler, U., Schreckenberger, D.; Schuemer, R.; Fastl, H.*: Lästigkeitsunterschied von Straßen- und Schienenverkehrslärm bei hoher Vorbeifahrtäufigkeit – Hauptstudie. München: Möhler + Partner 2003.
- [31] *Möhler, U.; Schuemer, R.* (Hrsg.): Veränderung in der Lärmwirkung an Neu- und Ausbaustrecken der Eisenbahn. Zwischenbericht. München: Studiengemeinschaft Schienenverkehr 1999.
- [32] *Zeichart, K.; Kilcher, H.; Herrmann, W.; Hils, T.; Gawlik, M.*: Untersuchung zur Lästigkeit von Hochgeschwindigkeits-

zügen am Beispiel der Neu- und Ausbaustrecke Hannover-Göttingen. Bericht über ein interdisziplinäres Forschungsvorhaben im Auftrag der Deutschen Bahn AG. München: SGS 1999.

[33] *Zeichart, K.; Sinz, A.; Schweiger, M.; Kilcher, H.;*

Herrmann, W.: Untersuchung zur Lästigkeit von Reise- und Güterzügen. Bericht über ein interdisziplinäres Forschungsvorhaben im Auftrag der Deutschen Bahn AG. Abschlußbericht. München: SGS 2001.

[34] *Schreckenberger, D.; Guski, R.*: Lärmbelastigung durch Straßen- und Schienenverkehrslärm zu unterschiedlichen Tageszeiten. *Umweltmed. Forsch. Praxis* 10 (2005) Nr. 2, S. 67-76.

[35] *Basner, M.; Elmenhorst, E. M.; Maass, U.; Müller, U.; Wuehl, J.; Vejvoda, M.*: Single and combined effects of air, road and rail traffic noise on sleep. In: Griefahn, B. (Hrsg.): Noise as a public health problem. Proceedings of 9th Congress of the International Commission on the Biological Effects of Noise in Mashantucket, Connecticut, USA – ICBEN 2008, S. 463-470.

[36] *Griefahn, B.*: Forschungsverbund „Leiser Verkehr“ Bereich 2000 Lärmwirkungen. Einzelaufgabe 2311: Lärmbedingte Schlafstörungen: Verkehrslärmarten, Frequenzspektren, temporäre Verkehrsruhe. Schlussbericht. Dortmund: IfADo 2007. www.fv-leiserverkehr.de/pdf-dokumenten/EA2311_Schlussbericht.pdf

[37] *Öhrström, E.; Ögren, M.; Jerson, T.; Gidlöf-Gunnarson, A.*: Experimental studies on sleep disturbances due to railway and road traffic noise. Proceedings of 9th Congress of the International Commission on the Biological Effects of Noise in Mashantucket, Connecticut, USA – ICBEN 2008.

[38] *de Coensel, B.; Botteldooren, D.; Berglund, B.; Nilsson, M.; De Muer, T.; Lercher, P.*: Experimental investigation of noise

annoyance by high-speed trains. *Acta Acustica* 93 (2007), S. 589-601.

[39] *Öhrström, E.; Barregård, L.; Skånberg, A.; Svensson, H.; Ångerheim, P.; Holmes, M.; Bonde, E.*: Undersökning av hälsoeffekter av buller från vägtrafik, tåg och flyg i Lerums kommun. Göteborgs universitet, avd för miljömedicin 2005.

[40] *Griefahn, B.; Marks, A.; Robens, S.*: Noise emitted from road, rail and air traffic and their effects on sleep. *J. Sound Vibr.* 295 (2006), S. 129-140.

[41] *Marks, A.; Griefahn, B.; Basner, M.*: Event-related awakenings caused by nocturnal transportation noise. *Noise Control Engineer. J.* 56 (2008) Nr. 1, S. 52-62.

[42] *Öhrström, E.; Barregård, L.; Skånberg, A.*: Effects of simultaneous exposure to noise from road- and railway traffic. Proceedings of inter-noise 2005, Rio de Janeiro, Brasilien, paper no 1570.

[43] *Öhrström, E.; Andersson, E.; Barregård, L.; Skånberg, A.*: Relationship between annoyance and exposure to single and combined noise from railway and road traffic. Proceedings of inter-noise 2007, Istanbul, Turkey, paper no. 242.

[44] *Basner, M.; Buess, H.; Elmenhorst, D.; Gerlich, A.; Luks, N.; Maaß, H.; Mawet, L.; Müller, E. W.; Müller, U.; Plath, G.; Quehl, J.; Samel, A.; Schulze, M.; Vejvoda, M.; Wenzel, J.*: Nachtfluglärmwirkungen (Bd. 1): Zusammenfassung. Köln: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) 2004.

[45] *Möhler, U.; Liepert, M.*: Die Ermittlung akustischer Kenndaten für Lärmwirkungsuntersuchungen. DAGA 2005, München.

[46] *Müller, U.*: Auswirkungen des nächtlichen Bahnlärms auf den Schlaf Methodik und Studiendesign eines laufenden Projektes. Rail-Noise 2009, ifv Bahntechnik.