

Vergleichende Untersuchung über die Lärmwirkung bei Straßen- und Schienenverkehr

Ulrich Möhler, Manfred Liepert, Rudolf Schuemer, Anke Schuemer-Kohrs, Dirk Schreckenberger, Peter Mehnert, Barbara Griefahn

Zusammenfassung Im vorliegenden Beitrag wird über eine Lärmwirkungsuntersuchung zu den Unterschieden in der Lästigkeitswirkung von Schienen- und Straßenverkehrslärm berichtet. In dieser Studie sollten insbesondere die Unterschiede der Störwirkung in der Nachtzeit untersucht werden. Es wurde eine zweiteilige Felduntersuchung in acht Untersuchungsgebieten durchgeführt. Im physiologischen Untersuchungsteil wurden bei 377 Probanden Körperbewegungen im Schlaf mit Aktimetern erfasst, die subjektive Schlafqualität morgens erfragt sowie morgens und abends Leistungstests durchgeführt. Im sozialwissenschaftlichen Untersuchungsteil wurden bei 1 600 Probanden Befragungen zur Belästigung durch Schienen- und Straßenverkehrslärm durchgeführt. Die akustische Belastung (äquivalenter Dauerschallpegel) wurde durch umfangreiche Schallmessungen und Berechnungen für jeden einzelnen Probanden erfasst. Geräuschpegelabhängige Schlafstörungen ließen sich mit den angewandten physiologischen Methoden und den daraus abgeleiteten Kriterien weder für Schienen- noch für Straßengebiete nachweisen. Die in den früheren sozio-akustischen Studien ermittelten Lästigkeitsunterschiede zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm bei gleicher akustischer Belastung wurden im Wesentlichen bestätigt. **Schlüsselwörter** Lärmwirkung – Straßenverkehrslärm – Schienenverkehrslärm – Schienenbonus – Schlafstörungen

The relative annoyance caused by rail and road traffic noise

Summary In the following contribution, a study of the disturbance/annoyance caused by rail and road traffic noise is reported. The investigation was particularly intended to examine for any differences in nocturnal disturbance between the two sources of noise. A two-part field study was carried out in 8 locations. In the physiological part of the study, the body movements during sleep of 377 participants were monitored using an actimeter, they were questioned each morning about the subjective quality of their sleep, and they did performance tests morning and evening. In the social scientific part, 1600 participants were questioned about annoyance/disturbance by road and rail noise. Acoustic levels/loads (L_{eq}) were determined for each participant by an extensive range of sound measurements and calculations. The physiological measures and the criteria derived from them did not produce evidence for noise-dependent disturbances of sleep in either rail or road traffic areas. The differences found by earlier socio-acoustic studies in annoyance/disturbance between rail and road traffic noise of the same acoustic level were essentially confirmed.

Key words railroad noise – road traffic noise – noise effects – annoyance – sleep disturbance

1 Vorbemerkung

Die Deutsche Bahn AG (Forschungs- und Technologiezentrum, FTZ München) hat unter Beteiligung der Österreichischen Bundesbahnen im Jahr 1994 ein Forschungsprogramm zu den Lärmwirkungen von Schienenverkehrslärm initiiert. Dieses Forschungsprogramm umfasst Lärmwirkungsstudien zu den Themen „Lästigkeitswirkung von Güter- und Reisezügen“, „Lästigkeitswirkung von Hochgeschwindigkeitszügen“, „Einfluss von Schallschutzwänden an Schienenstrecken auf die Lärmwirkung“, „Veränderung in der Lärmwirkung an Neu- und Ausbaustrecken der Eisenbahn“, „Lästigkeitswirkung von Schienen- und Straßenverkehrslärm innerhalb von Wohnräumen“ sowie „Vergleichende Untersuchung über die Lärmwirkung bei Straßen- und Schienenverkehr“; über letztere wird in vorliegendem Beitrag berichtet. Mit der Durchführung dieser Untersuchungen wurde die „Studiengemeinschaft Schienenverkehr“ (SGS) betraut, die von den Ingenieur-Büros Möhler + Partner und Obermeyer, Planen + Beraten, gebildet wurde. Die Durchführung der Studien wird von einem Lärmwirkungsbeirat begleitet, der sich aus Fachleuten des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, des Umweltbundesamtes, des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz, des Eisenbahnbundesamtes, des Deutschen Arbeitsrings für Lärmbekämpfung (DAL) und des Deutschen Zentrums für Luft und Raumfahrt (DLR) zusammensetzt.

2 Untersuchungsgegenstand

Im § 41 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [1] wurde festgelegt, dass beim Bau oder der wesentlichen Änderung von Straßen und Eisenbahnen sicherzustellen ist, „dass durch diese keine schädlichen Umwelteinwirkungen durch Verkehrsgerausche hervorgerufen werden können, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind“. In § 43 des gleichen Gesetzes wird die Bundesregierung ermächtigt, Vorschriften u. a. über Art und Umfang der erforderlichen Schallschutzmaßnahmen zu erlassen, wobei den Besonderheiten des Schienenverkehrs Rechnung zu tragen ist. Diese Vorschrift liegt als Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16.BImSchV) vor [2]. Darin ist die Besonderheit des Schienenverkehrs gegenüber dem Straßenverkehr mit einem sog. Schienenbonus von 5 dB(A) berücksichtigt. Dieser Schienenbonus wurde als politische Setzung im Wesentlichen auf der Grundlage der „Stuttgarter Studie“ [3] und der „IF-Studie“ [4], die zwischen 1975 und 1983 durchgeführt wurden, festgelegt.

In den letzten Jahren wurde der Schienenbonus aus verschiedenen Gründen im Rahmen von Planfeststellungsverfahren und den damit verbundenen Gerichtsverfahren beim Neu- und Ausbau von Schienenstrecken angezweifelt. Die Deutsche Bahn AG hat daher ein Forschungsprogramm initiiert, das die

Eingang des überarbeiteten Manuskripts: 25. Mai 2000

Dipl.-Ing. Ulrich Möhler, Dipl.-Ing. Manfred Liepert, Möhler + Partner, München.
Dr. phil. Rudolf Schuemer, Dipl.-Psych. Anke Schuemer-Kohrs, Dipl.-Psych. Dirk Schreckenberger, ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt- und Sozialforschung, Bochum.
Dipl.-Math. Peter Mehnert, Prof. Dr. med. Barbara Griefahn, Institut für Arbeitsphysiologie, Universität Dortmund.

Tabelle 1 Gebietsauswahl.

| Gebiet | Anzahl der Vorbeifahrten* | | | Sv-/Gz-Anteil** | | Erhebungszeitraum |
|-----------------------|---------------------------|---------------------|--------|-------------------|---------------------|-------------------|
| | Tag 6.00-22.00 | Nacht 22.00-6.00 | 24h | Tag 6.00-22.00 | Nacht 22.00-6.00 | |
| Straßengebiete | | | | | | |
| Kreuztal | 18 200 | 1 600 | 19 800 | 7 % | 8 % | Frühjahr 1997 |
| Hilchenbach | 13 500 | 1 000 | 14 500 | 10 % | 8 % | |
| Herborn – Seelbach | 12 800 | 1 200 | 14 000 | 8 % | 7 % | Frühjahr 1997 |
| Herborn – Burg | 12 000 | 1 000 | 13 000 | 6 % | 6 % | |
| Bottrop | 13 200 | 1 100 | 14 300 | 5 % | 4 % | Frühjahr 1996 |
| Langenfeld | 15 000 | 700 | 15 700 | 9 % | 7 % | Herbst 1997 |
| Schienegebiete | | | | | | |
| Rheda | 172 | 83 | 255 | 45 % | 80 % | Herbst 1996 |
| Oelde | 166 | 85 | 251 | 45 % | 79 % | Herbst 1996 |
| Bönen | 126 | 61 | 187 | 58 % | 87 % | Frühjahr 1996 |
| Essen | 144 | 64 | 208 | 34 % | 73 % | Herbst 1997 |

* Mittelwert aus den Verkehrszählungen an Werktagen (Montagmittag bis Freitagmittag)

** Schwerkverkehrsanteil in Straßengebieten bzw. Güterzuganteil in Schieneengebieten

Belästigungswirkung von Schienenverkehrslärm unter verschiedenen Gesichtspunkten beleuchten soll (s. o.); zu diesem Programm gehört auch die vorliegende Untersuchung.

In mehreren früheren Felduntersuchungen in Europa zur relativen Lästigkeit von Schienen- und Straßenverkehrslärm war gezeigt worden, dass Schienenverkehrslärm bei gleichen äquivalenten Dauerschallpegeln (L_{eq}) als weniger belästigend und weniger störend als Straßenverkehrslärm empfunden wird (vgl. zusammenfassend [5; 6]). Lästigkeitsdifferenzen ergaben sich dabei auch für erfragte Schlafstörungen, die von den Befragten im Interview auf den jeweiligen Verkehrslärm zurückgeführt werden. Es ist aber zu fragen, ob am Tage im Interview erfragte Schlafstörungen als gültige Indikatoren einer verminderten Schlafgüte interpretierbar sind.

Darüber hinaus wird nicht ausgeschlossen, dass sich seit Abschluss der Erhebungen für die „IF – Studie“ im Jahr 1981 sowohl die verkehrlichen als auch die gesellschaftlichen Randbedingungen derart geändert haben, dass sie sich auf die Höhe der Lästigkeitsunterschiede zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm auswirken können.

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung war daher:

- die Erfassung und der Vergleich von Schlafbeeinträchtigungen durch Schienen- und Straßenverkehrslärm mittels physiologischer Schlafindikatoren,
- die Überprüfung, ob und inwieweit der in der „IF-Studie“ gefundene Lästigkeitsunterschied zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm auch heute noch unter möglicherweise veränderten Verkehrsbedingungen gültig ist.

3 Durchführung der Untersuchung

Die Studie wurde als Feldstudie in Wohngebieten durchgeführt, in denen jeweils Verkehrsgeräusche aus beiden Quellen (Schienen-/Straßenverkehr) in unterschiedlichem Ausmaß vorhanden waren. In den ausgewählten Gebieten wurden betroffene Anwohner hinsichtlich ihrer Belästigungsreaktionen und ihres Schlafverhaltens in ihrem natürlichen Wohnumfeld untersucht.

Um eine ausreichende Variation der Geräuschbelastung zu gewährleisten, wurden vier Belastungssituationen (Gebiets-

typen) untersucht, die durch die Dominanz von Straßen- oder Schienenverkehrslärm und durch eine mittlere oder hohe Verkehrsdichte charakterisiert sind. Dabei wurde jeder Gebiets-typ aus zwei unterschiedlichen örtlichen Gebieten gebildet, die auch in unterschiedlichen Zeiträumen (Frühjahr/Herbst) untersucht wurden. Innerhalb jedes Gebiets wurden zudem die Vorbeifahrtpegel und der individuelle äquivalente Dauerschallpegel durch die Entfernung der Wohnungen von der Primärschallquelle (Straße oder Schiene) und durch die vorgefundene Ausrichtung der Schlafräume zu dieser Quelle variiert. In **Tabelle 1** wird ein Überblick über die Untersuchungsgebiete gegeben.

Zum Vergleich: Die entsprechenden Verkehrsmengen der in der „IF-Studie“ untersuchten Gebiete lagen bei den Straßengebieten zwischen 1 700 und 40 000 Kfz/24 h und bei den Schienegebieten zwischen 80 und 260 Zügen/24 h.

3.1 Akustische Untersuchung

Die akustische Belastungssituation wurde durch messtechnisch und rechnerisch ermittelte quellenspezifische äquivalente Dauerschallpegel beschrieben. Dabei wurden für die Verknüpfung mit den Daten der sozialwissenschaftlichen Befragung quellenspezifische Pegel außen an der lautesten Fassade errechnet und für die Verknüpfung mit den Daten der physiologischen Untersuchung Schallpegel außen vor dem Schlafraum sowie innerhalb der Schlafräume durch ein dafür entwickeltes Messverfahren ermittelt.

Für dieses Messverfahren wurden Dauermessungen an der Quelle und Stichprobenmessungen an den insgesamt 377 Immissionsorten der physiologischen Untersuchung durchgeführt, um ein möglichst zeitnahes Bild über die akustische Situation bezüglich des Verkehrslärms zu erhalten. Die Dauermessungen an der Quelle fanden in jedem Untersuchungsgebiet über einen Zeitraum von zwei mal fünf Wochentagen (Sonntagabend bis freitagmorgens) jeweils über den gesamten Nachtzeitraum (ca. 20.00 Uhr bis ca. 09.00 Uhr) statt. Zusätzlich wurde bei jedem Probanden außen vor der Fassade in einer Nacht Kurzzeitmessungen (ca. eine Stunde) vorgenommen; in einer Nacht wurde zusätzlich eine Schallmessung innerhalb des Schlafzimmers durchgeführt. Die Schallpegelmessungen fanden gleichzeitig mit der Registrierung der Körper-

| Pegelbezug | Bezugszeitraum | Straßengebiete | Schiengebiete |
|---|----------------------|-------------------|-----------------|
| Probanden der physiologischen Schlafuntersuchung (377 Probanden) | | | |
| außen, vor dem Schlafzimmerfenster | Nacht (22.00 – 6.00) | 40 – 70 dB(A) | 40 – 75 dB(A) |
| innen, im Schlafzimmer (bei erfragter Fensterstellung) | Nacht (22.00 – 6.00) | 20 – 52,5 dB(A) | 20 – 57,5 dB(A) |
| Probanden der sozialwissenschaftlichen Befragung (1 600 Probanden) | | | |
| außen, an lautester Fassade | Tag (6.00 – 22.00) | 42,5 – 77,5 dB(A) | 45 – 72,5 dB(A) |
| außen, an lautester Fassade | Nacht (22.00 – 6.00) | 40 – 70 dB(A) | 50 – 75 dB(A) |

Tabelle 2 | Pegelbereich der physiologischen und der sozialwissenschaftlichen Untersuchung (Quellenspezifischer äquivalenter Dauerschallpegel L_{Aeq}).

bewegungen statt. Auf der Grundlage dieser Messungen wurden Übertragungsfunktionen vom Dauermesspunkt zum jeweiligen Immissionsort außen und innen gebildet und für jeden Probanden der zeitliche Verlauf des Verkehrslärmpegels außerhalb und innerhalb des Schlafraumes so differenziert ermittelt, dass eine ereignisbezogene Zuordnung des Schallpegels zu den Messungen des Schlafverhaltens hergestellt werden konnte. Das Hintergrundgeräusch außer- bzw. innerhalb des Schlafzimmers wurde dabei als momentaner Minimalwert für den ermittelten Zeitverlauf gesetzt. Dieser betrug im Außenbereich ca. 40 dB(A) und in den Schlafzimmern bis zu minimal 20 dB(A).

Darüber hinaus wurden in Hinblick auf die Verknüpfung mit den erfragten Reaktionen der insgesamt 1 600 Probanden der sozialwissenschaftlichen Untersuchung die für den Vergleich mit Belästigungsreaktionen üblicherweise verwendeten Schallpegel rechnerisch bestimmt. Die Berechnungen wurden auf der Grundlage der messtechnisch erhobenen Ausgangsdaten (wie Verkehrsmengen, Geschwindigkeiten etc.) mittels Schallimmissions-Berechnungsprogrammen durchgeführt.

3.2 Physiologische Untersuchung des Schlafverhaltens

In jedem Untersuchungsgebiet wurden bei bis zu 50 Probanden, insgesamt bei 377 Probanden, über jeweils zehn Untersuchungsächte Messungen des Schlafverhaltens durchgeführt. Als Methode zur Erfassung des Schlafverhaltens wurden Aktimetermessungen gewählt, d. h. die Körperbewegungen wurden mit einem Beschleunigungsaufnehmer, der am Handgelenk angebracht war, registriert. Die in dieser Untersuchung eingesetzten Aktimeter registrierten Körperbewegungen bei Überschreitung einer im Gerät festgelegten Schwelle der Beschleunigung von 0,1 g. Die Aufzeichnung erfolgte in 2-Sekunden-Intervallen. Das Aktigramm ist zwar ein weit weniger empfindlicher Indikator von Schlafstörungen als das Polysomnogramm (Aufzeichnung von Hirnstrom, Augenbewegungen und Muskelspannung); dieses Messverfahren wurde jedoch für die hier vorliegende Fragestellung als ausreichend erachtet, die lärmbedingten Schlafreaktionen zuverlässig zu erfassen. Zur Bestimmung der Schlafstörungen wurden bei 377 Probanden die folgenden Variablen registriert:

- die motorische Unruhe mit einem Aktimeter,
- die qualitative und quantitative Einschätzung des Schlafs mittels Fragebogen (das typische Schlafverhalten in einem einmalig auszufüllenden Fragebogen sowie das aktuelle Schlafverhalten in einem täglich morgens und abends auszufüllenden Fragebogen),
- die Leistung mit einem täglich morgens und abends auszufüllenden Wahlreaktionstest,

- die Fensterstellung in den Untersuchungsächten,
- bei 238 Probanden (davon 225 verwertbar) wurde zusätzlich in einer Nacht das Polysomnogramm aufgezeichnet, um die Validität der Aktimetermessung zu prüfen.

3.3 Sozialwissenschaftliche Befragung

Die sozialwissenschaftliche Befragung zur Belästigung und Gestörtheit durch Schienen- bzw. Straßengeräusche fand jeweils in den der Schlafuntersuchung und den akustischen Messungen vorangehenden Wochen statt. Die Befragung wurde in Form persönlicher Interviews durchgeführt, an deren Ende die Probanden vom Interviewer für die Schlafuntersuchung angeworben wurden. Wegen des großen Umfangs des Fragebogens wurde die Befragung in zwei Abschnitte, vor und nach der Schlafuntersuchung, aufgeteilt, wobei die Zweitbefragung im Wesentlichen nur bei jenen Probanden durchgeführt wurde, die auch an der Aktimeteruntersuchung teilgenommen hatten. Es wurden 1 600 auswertbare Erstinterviews und 479 Zweitinterviews erzielt (die Befragungsinhalte und Variablen aus den Zweitinterviews betrafen im Wesentlichen einige speziellere Hypothesen, auf die hier nicht näher eingegangen wird).

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der akustischen Erhebungen und Auswertungen

Ein Überblick über die Schallsituation in den Untersuchungsgebieten ist in **Tabelle 2** aufgezeigt. Sie zeigt den für die Probanden der sozialwissenschaftlichen Befragung berechneten äquivalenten Dauerschallpegel für den Tages- und Nachtzeitraum sowie den für die physiologische Untersuchung messtechnisch ermittelten äquivalenten Dauerschallpegel für den Nachtzeitraum. Die angegebenen Pegelbereiche geben einen Hinweis auf den Gültigkeitsbereich der Ergebnisse der vorliegenden Studie aus akustischer Sicht.

Die berechneten Pegel berücksichtigen die Verkehrsmengen, Zusammensetzung und Geschwindigkeiten, die während der Schallmessungen vorgefunden wurden. Dabei wurden Zählwerte aus den Nächten von Sonntag auf Montag nicht berücksichtigt, da sich diese insbesondere bei der Schiene deutlich von denjenigen der anderen Wochentage unterscheiden. Es wird angenommen, dass aufgrund der Jahreszeit und des Wochentages während der Schallmessung (Herbst/Frühjahr bzw. Montagabend bis Freitagmorgen) diese Werte in etwa dem durchschnittlichen Werktag entsprechen. In den Rechen-

verfahren werden außerdem meteorologische Einflüsse in Form von Mitwind von der Schallquelle zum Immissionsort berücksichtigt.

Bei den Messwerten für die Probanden der physiologischen Schlafuntersuchung sind meteorologische Einflüsse im Messwert berücksichtigt (alle Messungen wurden bei Windgeschwindigkeiten < 3 m/s durchgeführt).

Der entsprechende Pegelbereich der „IF-Studie“ für die lauteste Fassade lag bei den Straßengebieten tags zwischen 57 und 72 dB(A) und nachts zwischen 48 und 67 dB(A), bei den Schienengebieten tags zwischen 45 dB(A) und 70 dB(A), nachts zwischen 39 und 69 dB(A).

Weitere Ergebnisse der akustischen Erhebungen waren:

- Der **zeitliche Verlauf** des Straßenverkehrsgeräuschs unterscheidet sich von demjenigen des Schienenverkehrsgeräuschs sowohl bezüglich der Tageszeit als auch bezüglich des Wochentags: Beim Straßenverkehr nimmt die Lärmbelastung bei Nacht deutlich (um ca. 10 dB(A)) gegenüber dem Tageszeitraum ab, während beim Schienenverkehr tags und nachts in etwa die gleiche Lärmbelastung vorherrscht. Bezüglich des Wochentags wurde bestätigt, dass die Nacht von Sonntag auf Montag bei der Schiene eine deutlich geringere Lärmbelastung aufweist als die weiteren werktäglichen Untersuchungsnächte; dieser Unterschied wurde bei der Straße nicht festgestellt.
- Ein Vergleich der Messwerte mit den Berechnungswerten hat gezeigt, dass die gemessenen Schallpegel im Mittel unter den rechnerisch ermittelten Werten liegen. Dabei übersteigen die für die Schiene ermittelten Rechenwerte die zugehörigen Messwerte um ca. 1 dB(A) stärker als die für die Straße ermittelten Werte. Ursache hierfür können u. a. die bei den Berechnungen nicht berücksichtigten tatsächlichen Schienen- bzw. Fahrbahnzustände sein.
- Die **Abstände** zwischen den Gebäuden der Probanden und den Primärschallquellen Straße oder Schiene differieren stark. Der Abstand zwischen der betrachteten Hauptverkehrsstraße und der ersten Hausreihe betrug ca. 6 m, der entsprechende Abstand bei der Schiene betrug ca. 20 m.
- Der **Pegelanstieg** des Vorbeifahrtgeräuschs von Schienen- und Straßenverkehr unterscheidet sich im untersuchten Abstandsgebiet nicht systematisch.
- Die **innerhalb der Schlafräume** gemessenen äquivalenten Dauerschallpegel liegen um teilweise mehr als 10 dB(A) über den für den Innenraum aus der Übertragungsfunktion vom Dauermesspunkt ermittelten, quellenspezifischen Dauerschallpegeln des Straßenverkehrs bzw. Schienenverkehrs. Dies ist vermutlich auf die Geräusche durch laufende Fernsehgeräte oder Radiogeräte, Schnarchen etc. zurückzuführen.
- Der Einfluss der **Fensterstellgewohnheit** wurde bei der Ermittlung der Innenschallpegel durch die gemessene Pegeldifferenz zwischen innen und außen berücksichtigt. Dabei hat sich herausgestellt, dass über den gesamten betrachteten Pegelbereich die Straßenprobanden deutlich öfter das Schlafzimmerfenster geschlossen halten als die Schienenprobanden.
- Das **Frequenzspektrum** des Vorbeifahrgeräuschs von Straßen- und Schienenverkehr unterscheidet sich, wie bereits in früheren Untersuchungen festgestellt wurde, in seinem Verlauf deutlich. Das Spektrum des Straßenverkehrs weist gegenüber dem Schienenverkehr wesentlich mehr Anteile im tieffrequenten Bereich auf, während beim Schienenverkehrsgeräusch der Frequenzbereich um 1 000 Hz vorherrschend ist.

4.2 Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Erhebungen und Auswertungen

Die Erhebungen wurden für den sozialwissenschaftlichen Untersuchungsteil in mündlichen Interviews anhand von weitgehend standardisierten Fragebögen vorgenommen. Eine Analyse der Verteilungen der Probanden der vorliegenden Studie hinsichtlich soziodemographischer Merkmale zeigte:

- Die Verteilungen bezüglich **Alter und Geschlecht** in der vorliegenden Studie und im Bundesdurchschnitt stimmen weitgehend überein. Allerdings sind Personen mit kürzerer Schulausbildung, Angestellte sowie Personen mit mittleren Haushaltseinkommen in der Stichprobe im Vergleich zum Bundesdurchschnitt über-, hingegen Selbständige und Beamte etwas unterrepräsentiert.
- Die Schienen- und Straßenprobanden unterscheiden sich hinsichtlich **Geschlecht und Alter** statistisch nicht voneinander. Die Probanden in den Schienengebieten haben aber gegenüber denen in den Straßengebieten eine etwas kürzere **Schulausbildung**. In den Schienengebieten ist relativ zu den Straßengebieten der Anteil der Arbeiter etwas höher; außerdem liegt in diesen Gebieten das monatliche Haushaltsnettoeinkommen häufiger als in den Straßengebieten unter 4 500 DM.
- Es finden sich pro Quelle keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Probandenverteilung hinsichtlich der ausgewählten soziodemographischen Merkmale zwischen Pegelklassen.
- Ähnlich wie in der „IF-Studie“ zeigten sich auch hier kaum Zusammenhänge zwischen soziodemographischen Merkmalen und den Gestörtheitsreaktionen.

4.3 Ergebnisse der physiologischen Erhebungen und Auswertungen

Insgesamt konnten die Daten von 377 Probanden ausgewertet werden. Der Anteil der männlichen und weiblichen Probanden und der Anteil von Probanden in Straßen- und Schienengebieten waren etwa gleich. Aus den Aktimetermessungen wurden Indikatoren errechnet, die jeweils unterschiedliche Charakteristika des Bewegungsablaufs beschreiben. Die Validität der Aktimetermessung wurde durch einen Vergleich mit den auswertbaren polysomnografischen Aufzeichnungen bei 225 Probanden untersucht. Danach stimmten 82 % der durch die Aktimetrie indizierten Epochen mit Bewegungen mit Registrierungen von Bewegungsartefakten in der Polysomnografie überein (Sensitivität der Aktimetrie). Der Anteil von übereinstimmend registrierten Epochen ohne Bewegungen betrug 76 % (Spezifität der Aktimetrie).

In Hinblick auf Unterschiede zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm resultierten folgende Ergebnisse:

- Bezogen auf 2-Sekunden-Epochen betrug der prozentuale Anteil der Bewegungen im Schlaf 1,4 %. Bezogen auf die in vergleichbaren Studien meistens genutzten 30-Sekunden-Epochen entsprach der Anteil mit 6,5 % an der Straße und 6,7 % an der Schiene in etwa den Angaben aus der Literatur. Die Anzahl und die Dauer der Bewegungen und der bewegungsfreien Intervalle zeigten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Straßen- und Schienenprobanden.
- Im morgens ausgefüllten **Fragebogen** lagen die selbst eingeschätzte Schlaftiefe, Schlaferholung, Bewegung im Schlaf, Aufwachschwierigkeit und aktuelle Müdigkeit in einem mittleren Bereich mit der Tendenz zu einer eher positiven Einschätzung. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----|---|-------------|--|--|
| 1 | Variable (Anzahl der Items) | Zeitbereich | Mittelwert Lästigkeitsunterschied in dB(A) | Mittelwert Lästigkeitsunterschied in dB(A) |
| 2 | Bezeichnung in vorliegender Studie/in „IF-Studie“ | | vorliegende Studie | „IF-Studie“ |
| 3 | Gesamtbelästigung (1) | 24 h | + 4,0 | + 2,7 |
| 4 | Gesamtgestörtheit tags und nachts (1) | 24 h | + 3,6 | |
| 5 | Gesamtgestörtheit tags (1) | Tag | + 3,4 | + 4,2 |
| 6 | Erholung, Innenraum (2) | Tag | - 1,2 | + 3,7 |
| 7 | Kommunik., Innenraum (3) | Tag | - 8,0 | - 2,9 |
| 8 | Erholung, draußen (1) | Tag | + 2,5 | |
| 9 | Kommunikation, draußen (1) | Tag | - 0,7 | |
| 10 | Unterhaltung und Erholung, draußen (2) | Tag | | - 0,7 |
| 11 | Gesamtgestörtheit nachts (1) | Nacht | + 8,0 | + 7,7 |
| 12 | im Interview erfragte „Schlafstörungen“ (3) | Nacht | +13,6 | +12,9 |

Tabelle 3 | Differenz des äquivalenten Dauerschallpegels zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm bei gleicher Lästigkeit (ΔL in dB(A); positive Werte entsprechen einer geringeren Lästigkeit des Schienenverkehrslärms).

den Straßen- und Schienenprobanden bestanden in keiner der betrachteten Variablen.

– Der Zusammenhang zwischen **Schlafindikatoren aus dem Aktimeter und den subjektiven Einschätzungen** war generell sehr gering. Bei den Straßenprobanden ergaben sich Rangkorrelationen über 0,2 für die Variablen Schlafruhe, Bewegungs- und Aufwachhäufigkeit mit den Aktimetervariablen (Bewegungshäufigkeiten). Die subjektiv geschätzte Schlafdauer korrelierte negativ mit der mittleren Dauer der Bewegungen. Die höchste Übereinstimmung bestand zwischen der Einschlafdauer, bestimmt aus den Aktimeterregistrierungen, und der Angabe im morgendlichen Fragebogen.

– Die **Fensterstellung** im Schlafräum wurde in den Schienengebieten häufiger mit „offen/gekippt“ angegeben als in den Straßengebieten.

– Die **quantitative Leistung**, gemessen an der Reaktionszeit, zeigte einen deutlichen Übungseffekt im Laufe der Woche. Im konventionellen¹⁾ und adaptiven²⁾ Test fielen die mittleren Reaktionszeiten bei den Schienenprobanden höher aus. Die quantitative Leistung im konventionellen Test verbesserte sich morgens gegenüber abends bei den Straßenprobanden, nicht aber bei den Schienenprobanden.

– Die **qualitative Leistung**, gemessen an der Fehlerhäufigkeit, wird durch Übung kaum beeinflusst. Im konventionellen Test überwogen die Eingabefehler, Auslassungen kamen nur selten vor. Dagegen überwogen im adaptiven Test die Auslassungen deutlich gegenüber den Eingabefehlern. Gebietsbezogen fanden sich nur geringfügige, statistisch nicht signifikante Unterschiede in der qualitativen Leistung.

– Der **Zusammenhang der quantitativen Leistung mit Moderatorvariablen** war bei den Straßenprobanden deutlicher ausgeprägt. So korrelierte hier die Leistung mit dem Alter, der zirkadianen Phase (individueller Biorhythmus, z. B. Morgen- oder Abendtyp) und der subjektiv eingeschätzten morgendlichen Müdigkeit.

¹⁾ Konventioneller Test: Wahrreaktionstest mit fester maximal erlaubter Reaktionszeit.

²⁾ Adaptiver Test: Wahrreaktionstest mit variabler maximal erlaubter Reaktionszeit.

4.4 Ergebnisse der interdisziplinären Auswertungen

Für die sozio-akustischen Analysen wurden die Daten aus den Erstinterviews bei den 1 600 Befragten verwendet. Um zu gewährleisten, dass für eine Quelle jeweils nur die Angaben solcher Befragten berücksichtigt wurden, für die die jeweilige Quelle dominant war, wurde für jede der beiden Quellen eine Probanden-Auswahl nach akustischen Kriterien vorgenommen (näheres dazu s. [7], S. 40ff): Für die Analysen wurden in Hinblick auf je eine der beiden Quellen jeweils nur jene Befragten herangezogen, die zum einen in Gebieten wohnten, in dem diese Quelle insgesamt dominant war, und für deren Wohneinheit die quellenspezifischen Außenmittelungspegel an der lautesten Fassade tags und nachts jeweils mindestens 40 dB(A) und die Differenz zum jeweils korrespondierenden Pegel für die Sekundärquelle jeweils mindestens 5 dB(A) betrug. Nach Durchführung dieser Auswahl verblieben für die Analysen bei der Straße maximal 629 und bei der Schiene maximal 605 Probanden. Angemerkt sei, dass sich die im Folgenden dargestellten Ergebnisse der sozio-akustischen Analysen auch bei Zugrundelegung anderer Auswahlvarianten im Wesentlichen nicht ändern.

Für die akustisch-physiologischen Analysen wurden die Daten der insgesamt 377 Aktimeter-Probanden herangezogen.

4.4.1 Pegel-Reaktionsbeziehungen und Lästigkeitsunterschiede zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm für Variablen aus den sozialwissenschaftlichen Befragungen

Die Beziehung zwischen den akustischen Daten und den erfragten Reaktionen erfolgte sowohl auf der Basis jeder einzelnen befragten Person („Individualdatenbasis“) als auch auf der Grundlage von in Pegelklassen mit einer Klassenbreite von 2,5 dB(A) zusammengefassten Probanden („Aggregatdatenbasis“). Getrennt für jede der beiden Lärmarten (Straßen-/Schienenverkehrslärm) berechnete Korrelationen zwischen Belästigungs- und Gestörtheitsvariablen aus dem Interview und äquivalenten Dauerschallpegeln ergeben auf Individualdatenbasis bei beiden Lärmarten Koeffizienten zwischen 0,20 bis 0,50. Nur ein vergleichsweise geringer Anteil der Varianz in den individuellen Belästigungs-/Gestörtheits-

reaktionen kann also durch die Geräuschbelastung erklärt werden. Als wirksame moderierende Variablen, die einen pegel-unabhängigen Beitrag zur Erklärung der Reaktionsunterschiede zwischen den befragten Personen erbringen, erweisen sich auch in vorliegender Studie die „Lärmempfindlichkeit“ sowie die „psycho-vegetative Labilität“ (als Indikator einer allgemeinen Stressanfälligkeit).

Im Vergleich zu den Koeffizienten auf Individualdatenniveau sind hingegen die entsprechenden Koeffizienten für die Pegel-Reaktions-Beziehungen auf Aggregatdatenniveau erwartungsgemäß wesentlich größer (in vielen Fällen 0,90 oder größer). Verschiedene andere Pegelmaße (u. a. Perzentilpegel) ergeben keine wesentlich höheren Korrelationen mit den Reaktionen als diejenigen mit dem äquivalenten Dauerschallpegel.

Für die verschiedenen Belästigungs- und Gestörtheitsvariablen wurden mittels der gleichen Schätzmethode wie in der „IF-Studie“ (s. [4, S. 62 ff.; 6; 8, S. 169 ff.]) – ausgehend von den Pegel-Reaktionsbeziehungen auf Aggregatdatenniveau – die Lästigkeitsdifferenzen zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm bestimmt und – soweit möglich – mit den Ergebnissen der „IF-Studie“ verglichen. Die Lästigkeitsdifferenzen für ausgewählte Variablen in vorliegender Studie und in der „IF-Studie“ sind in **Tabelle 3** zusammengefasst.

Die Werte für die Lästigkeitsdifferenzen (ΔL -Werte in dB(A)) in der Tabelle wurden jeweils durch Mittelung von Schätzungen für den unteren Pegelbereich bei 50 dB(A) und für den oberen Pegelbereich bei 70 dB(A) bestimmt. Diese aus den Schätzungen für den unteren und oberen Pegelbereich errechneten mittleren ΔL -Werte entsprechen mit nur sehr geringen Abweichungen den ΔL -Werten, die sich für den mittleren Pegelbereich bei 60 dB(A) bestimmen lassen; Schätzungen letzterer Art finden sich in [9].

Zur statistischen Prüfung der Quellenunterschiede: Parallel zur Bestimmung der Lästigkeitsdifferenzen – ausgedrückt in dB(A); s. Tabelle 3 – wurden zur statistischen Prüfung der Reaktionsunterschiede zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm nonparametrische Tests sowie zweifaktorielle uni- und multivariate Analysen nach dem Allgemeinen Linearen Modell (ALM) durchgeführt. Abhängige Variablen: die Belästigungs-/Gestörtheitsvariablen; unabhängige Variablen: Faktor 1 „Quelle“ (Schiene/Strasse), Faktor 2 „Pegelklassen“ (zu je 5 dB(A) für den Bereich 50 bis 70 dB(A)). Tests für jeweils korrespondierende Effekte erbrachten in den verschiedenen Analysen weitgehend analoge Ergebnisse; die Signifikanzangaben in den folgenden Abschnitten beziehen sich auf Tests für den Faktor „Quelle“ aus den univariaten ALM-Analysen (Näheres zu den Analysen: s. [7], Abschn. 8.2.3.1). Hinzugefügt sei, dass in diesen Analysen der Faktor „Pegelklassen“ erwartungsgemäß für alle hier betrachteten Variablen signifikant ($p \leq 0,001$), hingegen die Interaktion „Quelle x Pegelklassen“ für keine der hier betrachteten Variablen signifikant war.

Die Lästigkeitsunterschiede zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

– Bei den beiden Reaktionen, die sich auf **Tag und Nacht zusammen** (24 h) beziehen, ergab sich eine statistisch bedeutsam ($p < 0,01$) geringere Gesamtbelastung bzw. -gestörtheit durch Schienen- als durch Straßenverkehrslärm.

– Auch bei den beiden Reaktionsvariablen, die sich nur auf die **Nacht** beziehen (Gesamtgestörtheit nachts; erfragte

Schlafstörungen, die von den Betroffenen dem Lärm zugeschrieben werden), ergab sich eine deutlich geringere Gestörtheit durch Schienen- als durch Straßenverkehrslärm. Die entsprechende Reaktionsdifferenz ist auch statistisch signifikant.

– Bei den auf den **Tag** bezogenen Gestörtheitsvariablen ist das Bild uneinheitlich: Für die Mehrzahl der Gestörtheitsaspekte fand sich **kein** statistisch bedeutsamer Unterschied in den Reaktionen auf Schienen- und Straßenverkehrslärm bei vergleichbarer Geräuschbelastung; dementsprechend gering fallen für diese Variablen die Lästigkeitsdifferenzen – ausgedrückt in Pegelheiten – aus. Bei der „Gesamtgestörtheit tags“ wie auch bei der „Erholung draußen“ findet sich für die Schiene im Vergleich zur Straße eine statistisch signifikant geringere, hingegen bei der „Kommunikation im Innenraum“ (u. a. sich unterhalten/telefonieren; Hören von Musik, Radio/TV; häusliche Geselligkeit) eine statistisch signifikant größere Gestörtheit.

– Eine ähnliche Relation in den Lästigkeitsdifferenzen für den 24 h-, Tages- und Nachtzeitraum wie in vorliegender Studie und in der „IF-Studie“ zeigte sich auch in anderen europäischen Studien (vgl. zusammenfassend [5; 6]).

– Eine insgesamt geringere Gesamtgestörtheit durch Schienenverkehrslärm ergibt sich auch aus den Antworten der Befragten, wenn sie die Gestörtheit durch die beiden Lärmarten **direkt** vergleichen sollen. Im Vergleich beider Lärmarten wird Straßenverkehrslärm bei gleichem äquivalentem Dauerschallpegel, bezogen auf 24 h, häufiger als Schienenverkehrslärm als störender benannt.

– Bei den auf den Innenraum bezogenen Reaktionsvariablen ist zu beachten, dass die Reaktionen mit dem Außenpegeln verknüpft wurden und somit der Einfluss der o. g. stark unterschiedlichen Fensterstellung bei Schienen- und Straßenverkehrslärm auf die akustische Situation nicht berücksichtigt ist. Der Zusammenhang zwischen den Reaktionen und den Schallpegeln innerhalb von Wohnungen wird in einer gesonderten Studie untersucht.

Zum Einfluss der Geradenschätzmethode auf die ΔL -Schätzungen: In zusätzlichen Analysen [9] wurde untersucht, in wieweit die ΔL -Schätzungen von der Methode zur Schätzung der Geradenparameter beeinflusst werden. Alternativ zu der bereits in der „IF-Studie“ [4] verwendeten Schätzmethode (d. h. der Schätzung auf Aggregatebene über die Strukturgerade³⁾ mit einem Lambda, das über das Streuungsverhältnis der jeweils betrachteten beiden Variablen definiert ist) wurden für ausgewählte Variablenpaare auf Individual- oder Aggregatdatenebene weitere Schätzverfahren auf der Basis unterschiedlicher Annahmen angewendet; zudem wurden mittels „bootstrapping“ (vgl. dazu z. B. die Einführung in [10]) die Verteilungen der Geradenparameter sowie der jeweils resultierenden ΔL -Schätzungen (für die Pegelbereiche bei 50, 60 und 70 dB(A)) bestimmt. Die Ergebnisse dieser Analysen können in Hinblick auf die ΔL -Schätzungen in folgender Weise zusammengefasst werden:

– Jeweils für dasselbe Variablenpaar und denselben Pegelbereich divergieren die bei den verschiedenen Geradenparameter-Schätzverfahren resultierenden ΔL -Werte im Betrag zwischen ca. 0,2 und ca. 1 dB(A). Diese Divergenzen in den ΔL -

³⁾ Für jedes Variablenpaar durchgeführte Tests der Linearitätsannahme ergaben, dass (auch bei Zugrundelegung moderater Alpha-Werte) in keinem Fall die Linearitätsannahme verworfen werden musste.

Werten sind bei manchen Variablen im unteren, bei anderen im oberen Pegelbereich (bei 50 bzw. 70 dB(A)) größer.

– Die über das „bootstrapping“ bestimmten Streuungen der ΔL -Werte (für jeweils dasselbe Variablenpaar bei Verwendung eines bestimmten Schätzverfahrens) variieren u. a. in Abhängigkeit von dem jeweils betrachteten Variablenpaar, dem Pegelbereich und der Parameterschätzmethode. Die Streuungen können im oberen und unteren Pegelbereich bis zu 2 dB(A) betragen und sind dort jeweils größer als für den mittleren Pegelbereich (für 60 dB(A)), wo sie i. d. R. deutlich unter 1 dB(A) betragen.

4.4.2 Pegel-Reaktionsbeziehungen für die Variablen aus den physiologischen Erhebungen

Geräuschpegelabhängige Schlafstörungen ließen sich mit der in Feldstudien zum Fluglärm angewandten Methode der Aktimetermessung und den daraus abgeleiteten Kriterien weder für Schienen- noch für Straßengebiete nachweisen. Dies gilt sowohl für die Körperbewegungen als auch für die subjektiven Einschätzungen des Schlafs und die Testleistung. Die Rangkorrelation nach *Spearman* lag höchstens bei 0,16. Das Ergebnis, dass ein Zusammenhang zwischen der Schallbelastung einerseits und den Bewegungsindikatoren und der subjektiven Einschätzung und Bewertung der qualitativen und der quantitativen Parameter des Schlafs andererseits nicht nachgewiesen werden konnte, stimmt mit den Ergebnissen weiterer Feldstudien aus jüngster Zeit überein (u. a. [11; 12]).

Möglicherweise ist die Methode zur Erfassung der Körperbewegungen, insbesondere die Aktimetrie, die in Studien über Fluglärm, in der letzten Zeit aber auch in Studien über Straßenverkehrslärm angewendet wurde, für die Bewertung der Wirkungen von Schienen- und von Straßenlärm nicht ausreichend empfindlich. Weckreaktionen, wie sie durch Flugverkehrsgeräusche hervorgerufen werden und mit Aktimetern registrierbar sind, können sich wegen der größeren Ereignishäufigkeit von Geräuschen in Schienen- und Straßengebieten und wegen geringerer Pegel unter Umständen eher in einer Störung der Schlafstruktur wiederfinden, die sich aktimetrisch nicht erfassen lässt. Auf der anderen Seite zeigten aber auch weder die subjektive Einschätzung des Schlafs noch die Testleistung eine Geräuschabhängigkeit.

Darüber hinaus ist im Innenraum mit Störungen durch andere Schallquellen zu rechnen, die die zu untersuchenden Verkehrsgeräuschquellen überdecken können.

Zu einer Unterschätzung der schlafstörenden Potenz von Geräuschereignissen könnte auch beitragen, dass in dieser Studie im Vergleich zu den Angaben in der Literatur so kurze Schlafzeiten auftreten, dass angenommen werden kann, dass der leichter störbare fakultative⁴⁾ Schlaf abnimmt und der schwerer störbare obligate⁵⁾ Schlaf einen vergleichsweise größeren Anteil der beobachteten Schlafperiode ausmacht.

4.4.3 Diskussion der Unterschiede in der Pegel-Reaktionsbeziehung für physiologisch und sozialwissenschaftlich erfasste Reaktionen

Die interdisziplinären Auswertungen der physiologischen und sozialwissenschaftlichen Erhebungen zeigen – je nach Er-

hebungsmethode – einen deutlichen Unterschied im Zusammenhang zwischen Schlafstörungen und Lärmbelastung durch Schienen- und Straßenverkehrslärm. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die im Interview erfragten „Schlafstörungen“ eher als Ausdruck der in den Wachzeiten erlebten Belästigungen und Störungen denn als gültige Indikatoren von Schlafstörungen im eigentlichen Sinne interpretiert werden müssen. Dafür spricht u. a. auch, dass diese Variablen mit den Aktimetervariablen nicht und mit den Variablen aus den morgendlichen Angaben der Probanden zur Qualität ihres Schlafs in der jeweils vorausgehenden Nacht nur gering korrelieren. Bei letzteren geringen Zusammenhängen ist die unterschiedliche Art der Erhebung zu berücksichtigen: Während die Probanden im Interview nach Schlafstörungen gefragt wurden, die infolge des Lärms aus der jeweiligen Quelle auftreten, erfolgte die morgendliche Abfrage zur Qualität des Schlafs in der jeweils vorausgegangenen Nacht ohne Bezug zum Lärm. Durch die Art der Erhebung bedingte Unterschiede finden sich auch in anderen Untersuchungen (vgl. [13]).

Bezüglich des Nicht-Zusammenhangs zwischen Aktimetervariablen und der Lärmbelastung durch Straßen- und Schienenverkehr sei noch einmal darauf verwiesen, dass Zusammenhänge zwischen Schlafindikatoren und Geräuschbelastungen im Labor in der Regel sehr viel deutlicher als im Feld sind. Die geringeren Zusammenhänge im Feld mögen dabei u. a. auf die Verdeckung der quellspezifischen Innenpegel durch andere Geräusche, insbesondere bei geschlossenen Fenstern, und auf Einflüsse weiterer Störfaktoren zurückzuführen sein, die im Feld nur schwerer zu kontrollieren sind. Demnach ist es also nicht gerechtfertigt, aus dem fehlenden Zusammenhang zwischen Geräuschbelastung und Aktimetervariablen unter Feldbedingungen zu schließen, dass die Geräuschbelastung keinerlei Einfluss auf das Schlafverhalten habe.

Die vorliegende Untersuchung deckt auf akustischer Seite Situationen ab, wie sie überwiegend in Deutschland an hochbelasteten Bahnstrecken und hochbelasteten innerörtlichen Straßen – bei der Bahn außerhalb des Bereichs von Haltepunkten – vorgefunden werden. Für andere Situationen, z. B. für Strecken mit sehr hohem Güterverkehrsanteil werden im Rahmen des Forschungsprogramms „Lärmwirkungen des Schienenverkehrs“ weitere Untersuchungen durchgeführt.

Bei der interdisziplinären Auswertung der physiologischen und akustischen Erhebungen hat sich gezeigt, dass sich die nur stichprobenartige Messung der akustischen Situation innerhalb von Schlafräumen als unzureichend erwies. Bei vergleichbaren Aufgabenstellungen erscheint eine genauere Erfassung der akustischen Situation – insbesondere auch im Innenraum – erforderlich.

5 Zusammenfassende Schlussbetrachtung

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung war die Beantwortung folgender beiden Hauptfragestellungen:

– Kann der in Feldstudien mit sozialwissenschaftlichen Interviews gefundene Lästigkeitsunterschied zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm bezogen auf Schlafstörungen auch durch messtechnisch erfasste Schlafindikatoren bestätigt werden?

– Haben Lästigkeitsunterschiede zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm, wie sie in früheren Studien in Deutsch-

⁴⁾ Fakultativer Schlaf: Über die Dauer für die minimal erforderliche Schlafdauer hinaus gehende Schlafdauer.

⁵⁾ Obligatorischer Schlaf: Individuell unterschiedliche minimal erforderliche Schlafdauer.

land („Stuttgarter Studie“, „IF-Studie“) gefunden wurden, auch heute noch unter möglicherweise veränderten verkehrlichen Randbedingungen ihre Gültigkeit?

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen wurde eine zweiteilige Felduntersuchung in acht Untersuchungsgebieten durchgeführt. Im physiologischen Untersuchungsteil wurden bei 377 Probanden Körperbewegungen im Schlaf mit Aktimetern erfasst, die subjektive Schlafqualität morgens erfragt sowie morgens und abends Leistungstests durchgeführt. Im sozialwissenschaftlichen Untersuchungsteil wurden bei 1 600 Probanden Befragungen zur Belästigung durch Schienen- und Straßenverkehrslärm durchgeführt. Die Verkehrsstärke in den Untersuchungsgebieten variierte zwischen ca. 13 000 bis 20 000 Kfz-Vorbeifahrten/24 h in den Straßengebieten und zwischen ca. 190 bis 260 Zugvorbeifahrten/24 h in den Schienengebieten. Die akustische Belastung (äquivalenter Dauerschallpegel) vor der lautesten Fassade der Wohnungen der Probanden lag in den Straßengebieten tags zwischen 43 und 78 dB(A) und nachts zwischen 40 und 70 dB(A). Die entsprechenden Pegelbereiche in den Schienengebieten lagen tags zwischen 45 und 73 dB(A) und nachts zwischen 50 und 75 dB(A).

Die Untersuchungen kommen zu folgendem Ergebnis:

– Im physiologischen Untersuchungsteil ließen sich geräuschpegelabhängige Schlafstörungen mit den angewandten Methoden und den daraus abgeleiteten Kriterien weder für Schienen- noch für Straßengebiete nachweisen. Dies gilt sowohl für die Körperbewegungen als auch für die subjektiven Einschätzungen des Schlafs und die Testleistung. Es bleibt künftigen Untersuchungen vorbehalten, ob man mit anderen akustischen und physiologischen Untersuchungsmethoden einen Zusammenhang zwischen gemessenen Schlafstörungen und der Lärmbelastung feststellt. Ein solcher Zusammenhang wäre Voraussetzung, um auch mit physiologischen Untersuchungen mögliche Unterschiede zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm in der Wirkung auf den Schlaf feststellen und interpretieren zu können.

– Die in früheren Studien ermittelten Lästigkeitsunterschiede zwischen Schienen- und Straßenverkehrslärm bei gleicher akustischer Belastung wurden im Wesentlichen bestätigt. Ähnlich wie in der „IF-Studie“ ergibt sich in vorliegender Studie, dass Schienenverkehrslärm erst bei ca. 4 dB(A) höheren äquivalenten Dauerschallpegeln (Gesamtbelastung über 24 h) die gleiche Lästigkeit bewirkt wie Straßenverkehrslärm. Auch bei den im Interview erfragten, auf die Nacht bezogenen Störungen und Belästigungen zeigt sich wiederum ein Unterschied von im Mittel ca. 10 dB(A) zugunsten des Schienenverkehrslärms, wobei die nächtlichen Dauerschallpegel außen, vor dem Wohngebäude, zum Vergleich herangezogen wurden. Abweichungen zu den Ergebnissen der „IF-Studie“ ergaben sich lediglich bei Reaktionen, die sich auf den Innenraum

tagsüber beziehen. Insbesondere bei den Kommunikationsstörungen im Innenraum findet sich eine größere Gestörtheit durch Schienenlärm; der Unterschied beträgt bezogen auf den äquivalenten Dauerschallpegel tags außen 8 dB(A). Über Lästigkeitsvergleiche von Straßen- und Schienenverkehrslärm innerhalb von Wohnräumen wird eine eigene Studie durchgeführt. Darin soll untersucht werden, ob bzw. in welchem Maß die Störungen im Innenraum durch die Fensterstellgewohnheiten beeinflusst sind. Es hat sich nämlich auch in dieser Studie bestätigt, dass bei vergleichbarer Geräuschbelastung Anwohner an Straßen die Fenster wesentlich häufiger geschlossen halten als Anwohner an Schienenwegen.

Literatur

- [1] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1990. BGBl. I, S. 880, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Fünften Gesetzes zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, BGBl. I, S. 3178.
- [2] Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) vom 12. Juni 1990. BGBl. I, S. 1036.
- [3] Heimerl, G.; Holzmann E.: Ermittlung der Belästigung durch Verkehrslärm in Abhängigkeit von Verkehrsmittel und Verkehrsdichte in einem Ballungsgebiet (Straßen- und Eisenbahnverkehr) („Stuttgarter Studie“). Kampf dem Lärm 26 (1979), S. 64 – 69.
- [4] 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) („IF-Studie“). Band I: Hauptbericht; Band II: Anhang. München: Planungsbüro Obermeyer 1983.
- [5] Möhler, U.: Community response to railway noise: a review of social surveys. Journal of Sound and Vibration 120 (1988), S. 321–332.
- [6] Schuemer, R.; Schuemer-Kohrs, A.: Lästigkeit von Schienenverkehrslärm im Vergleich zu anderen Lärmquellen – Überblick über Forschungsergebnisse. Zeitschrift für Lärmbekämpfung 38 (1991), S. 1–9.
- [7] Griefahn, B.; Möhler, U.; Schuemer, R. (Hrsg.): Vergleichende Untersuchung über die Lärmwirkung bei Straßen- und Schienenverkehr. München: Studiengemeinschaft Schienenverkehr (SGS) 1999.
- [8] Rohrmann, B.: Psychologische Forschung und umweltpolitische Entscheidungen: das Beispiel Lärm. Opladen: Westdeutscher Verlag 1984.
- [9] Ströhmlein, G.: Entwicklung eines Bootstrapping-Verfahrens bei linearer Regression mit zwei fehlerbehafteten Variablen am Beispiel empirischer und simulierter Daten. Iserlohn: NUMACON (im Auftrag der ZEUS GmbH) 2000.
- [10] Mooney, C. Z.; Duval, R. D.: Bootstrapping – A nonparametric approach to statistical inference. Newbury Park, Cal: Sage 1993.
- [11] Fidell S.; Howe R. R.; Tabachnik B. G.; Pearsons K. S.; Silvati L.; Sneddon M.; Fletcher E.: Field studies of habituation to change in nighttime aircraft noise and of sleep motility measurement methods. NASA (CR F41624–96-C-9003) 1998.
- [12] Öhrström, E.; Agge, A.; Björkman, M.: Sleep disturbances before and after reduction in road traffic noise. In: Carter, N.; Job, R. F. S. (eds): Noise Effects '98. 7th International Congress on Noise as a Public Health Problem. Sydney 1998, Vol. 2, S. 451–454.
- [13] Kastka, J.: Auswirkung der Fluglärmbelastung in Tiefenbroich (Median 61,5 dB(A) L_{eq}) im Vergleich zum übrigen Ratingen (Median 46 dB(A) L_{eq}). Düsseldorf: Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf 1998.