

**Psychoakustische Experimente zum Schienenbonus**

H. FASTL, S. KUWANO\*, S. NAMBA\*

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München

\*Laboratory of Auditory Perception, Osaka University, Japan

**Einführung**

Zur meßtechnischen Beurteilung von Geräuschimmissionen wird derzeit meist der A-bewertete energie-äquivalente Dauerschallpegel verwendet. Die A-Bewertungskurve ist zumindest vom Konzept her ein Versuch, eine Höreigenschaft - die Kurven gleicher Lautheit - zu simulieren. Dagegen beruht die energetische Mittelung auf einem rein physikalischen Prinzip ohne Berücksichtigung von Eigenschaften des menschlichen Gehörs. Aus diesem Grunde ergeben sich oft sehr große Unterschiede in der subjektiven bzw. meßtechnischen Beurteilung von Geräuschen. Da gehörrichtige Meßverfahren für die Immissionsbeurteilung erst vor kurzem vorgeschlagen wurden, wird bisher häufig versucht, die Diskrepanz zwischen subjektiver bzw. meßtechnischer Beurteilung durch Zuschläge zum äquivalenten Dauerschallpegel zu berücksichtigen.

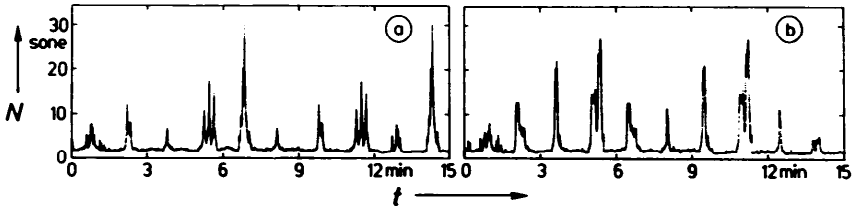
Aus zahlreichen Feldstudien ist bekannt (vgl. [1]), daß die Lästigkeit von Straßenverkehrslärm bzw. Schienenlärm trotz gleichem A-bewerteten Dauerschallpegel unterschiedlich beurteilt wird. Aufgrund dieser Unterschiede wurde ein "Schienenbonus" von 5dB(A) vorgeschlagen. Dabei wird davon ausgegangen, daß Schienenlärm einen um 5dB(A) höheren äquivalenten Dauerschallpegel erzeugen darf als Straßenverkehrslärm, damit entsprechend den Erhebungen von Feldstudien die gleiche Belästigung hervorgerufen wird.

In dieser Arbeit werden Ergebnisse psychoakustischer Experimente zum Schienenbonus dargestellt. Dabei wird in einer Pilotstudie untersucht, ob ein Schienenbonus im Labor auch dann nachzuweisen ist, wenn anstelle der Lästigkeitsbeurteilung eine Beurteilung der Lautheit von Straßenverkehrslärm bzw. Schienenlärm durchgeführt wird.

**Experimente**

An den Experimenten nahmen acht normalhörende Versuchspersonen im Alter von 23 bis 49 Jahren teil. Die Schalle wurden in einer schallisolierten Meßkabine diotisch über elektrodynamische Kopfhörer (Beyer DT 48) mit Freifeldentzerrer ([2], S. 7) dargeboten. Als Schalle wurden Vorbeifahrten von Lastkraftwagen, Personenkraftwagen, Expreszügen, Güterzügen, Personenzügen usw. verwendet, die in Japan auf DAT-Band aufgezeichnet wurden. Diesen Straßenverkehrsgeräuschen bzw. Schienenverkehrsgeräuschen wurde ein sehr leises Hintergrundgeräusch überlagert, das nachts in einer ruhigen Wohngegend Münchens auf DAT-Band aufgezeichnet wurde.

Figur 1 zeigt die Lautheits-Zeitmuster der für die Immissionsbeurteilungen verwendeten Geräusche. In Figur 1a ist das Lautheits-Zeitmuster für den Straßenverkehrslärm dargestellt, Figur 1b zeigt das Lautheits-Zeitmuster für den Schienenlärm. Die einzelnen Vorbeifahrtgeräusche heben sich deutlich vom Hintergrundlärm ab, dessen Lautheit etwa 2 sone beträgt. In den ersten zwei Minuten enthält das Hintergrundgeräusch auch impulsartige Anteile, die sich als Spitzen in der Lautheits-Zeitfunktion widerspiegeln.



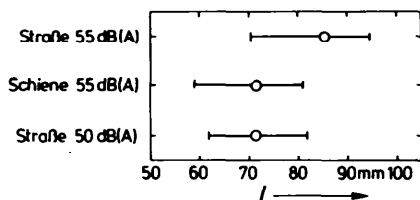
**Figur 1:** Lautheits-Zeitmuster von Straßenverkehrslärm (a) bzw. Schienenlärm (b) bei gleichem äquivalenten Dauerschallpegel von 55 dB(A).

Die subjektive Immissionsbeurteilung wurde anhand der Methode der Linienlänge durchgeführt. Dieses Verfahren ist in der Literatur ausführlich beschrieben [3], [4] und soll daher hier nur kurz angedeutet werden: Nach 15 Minuten Versuchsdauer erhält die Versuchsperson einen Fragebogen. Ihre Aufgabe ist es, die wahrgenommene globale Lautheit auf die Länge einer Linie abzubilden, wobei die maximal mögliche Linienlänge 150mm beträgt. Diese Methode hat sich bei der Beurteilung von Straßenverkehrslärm [4] und Fluglärm [5] bereits sehr gut bewährt.

Um den "Schienenbonus" auch im Labor überprüfen zu können, wurde der Straßenverkehrslärm auch mit um 5dB(A) reduziertem Pegel dargeboten. Darüberhinaus wurden auch 15 Minuten lange Schalle dargeboten, in denen sowohl Straßenverkehrslärm als auch Schienenlärm auftraten, um die Versuchspersonen über die Zielrichtung der Experimente im Unklaren zu lassen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in einer anderen Arbeit dargestellt [6].

## Ergebnisse

Figur 2 zeigt die Ergebnisse der Immissionsbeurteilungen. Die für die globale Lautheitsbeurteilung auf dem Fragebogen angegebene Linienlänge  $l$  ist für die drei interessierenden Situationen dargestellt: Straßenverkehrslärm mit einem äquivalenten Dauerschallpegel  $L_{\text{eq}}$  von 55dB(A) gemäß Figur 1a, Schienenverkehrslärm mit  $L_{\text{eq}} = 55\text{dB(A)}$  gemäß Figur 1b, sowie Straßenverkehrslärm mit 50dB(A) (Abschwächung der Geräusche gemäß Figur 1a um 5dB). In Figur 2 sind jeweils Zentralwerte mit Wahrscheinlichen Schwankungen aus den Daten der acht Versuchspersonen angegeben.



**Figur 2:** Immissionsbeurteilungen der Lautheit von Straßenverkehrslärm bzw. Schienenlärm. Linienlänge  $l$ , die der globalen Lautheitsbeurteilung entspricht, für Geräusche mit äquivalentem Dauerschallpegel wie angegeben.

Die der globalen Lautheitsbeurteilung entsprechende Linienlänge beträgt für Straßenverkehrslärm mit einem äquivalenten Dauerschallpegel von 55dB(A) etwa 86mm, während bei gleichem äquivalenten Dauerschallpegel für Schienenlärm nur eine Linienlänge von etwa 72mm erreicht wird. Trotz Überlappung der Wahrscheinlichen Schwankungen kann dies als ein Hinweis darauf gewertet werden, daß auch im Labor bei gleichem A-bewerteten Schallpegel Schienenlärm eine niedrigere Beurteilung erfährt als Straßenverkehrslärm. Werden die globalen Lautheitsbeurteilungen für Schienenlärm mit  $L_{eq} = 55\text{dB(A)}$  und Straßenverkehrslärm mit  $L_{eq} = 50\text{dB(A)}$  verglichen, so zeigt sich die gleiche Linienlänge und damit die gleiche subjektive Immissionsbeurteilung. Dies bedeutet, daß ein "Schienenbonus" offensichtlich nicht nur bei Feldstudien auftritt, sondern auch im Labor sogar für die Lautheit nachgewiesen werden kann.

### Ausblick

Die hier dargestellten Daten einer Pilotstudie deuten an, daß auch in Laborstudien ein "Schienenbonus" auftritt. Dieses Ergebnis muß noch durch zahlreiche weitere psychoakustische Experimente abgesichert werden. Bisher konnte bereits mit japanischen Versuchspersonen in Laborstudien ebenfalls ein Schienenbonus nachgewiesen werden [7]. Allerdings müssen in zukünftigen Versuchsreihen noch wesentliche Parameter wie Geräuschtyp, Anzahl der Ereignisse, Hintergrundlärm usw. variiert werden.

Dennoch kommt den hier dargestellten Ergebnissen aus zwei Gründen große Bedeutung zu: Zum einen deutet sich an, daß trotz extremer methodischer Unterschiede Feldstudien und Laborstudien bezüglich des "Schienenbonus" zu ähnlichen Ergebnissen führen können. Zum anderen ist von Bedeutung, daß in den Feldstudien nach der Lästigkeit, in den Laborstudien jedoch nach der Lautheit der Schalle gefragt wurde. Die weitgehend übereinstimmenden Ergebnisse sind als ein weiterer Hinweis darauf zu werten, daß wesentliche Anteile der Lästigkeit von Geräuschen bereits durch deren Lautheit beschrieben werden können. Für Geräusche gleichen Typs wie Industriegeräusche [8] oder Flugzeuggeräusche [9] war dies bereits bekannt. Die hier dargelegten Ergebnisse deuten darüberhinaus an, daß sogar bei unterschiedlichen Geräuscharten wie Straßenverkehrslärm einerseits und Schienenlärm andererseits wesentliche Anteile der Lästigkeitsbeurteilung bereits durch die Lautheit abgedeckt werden können.

Als Ursache für den "Schienenbonus" werden in der Literatur (z.B. [10]) unter anderem Klangfarbenunterschiede zwischen Schienenlärm und Straßenlärm vermutet, die durch ein einkanalisches Meßverfahren wie den A-bewerteten Schallpegel nicht erfaßt werden können. Die Anwendung mehrkanaliger Meßverfahren wie DIN 45631 ermöglicht die Berücksichtigung von Unterschieden im Klangbild verschiedener Geräuschquellen und führt daher bereits zu einer Reduktion der Unterschiede.

Darüberhinaus kann die unterschiedliche Zeitstruktur von Straßenverkehrslärm und Schienenlärm eine entscheidende Rolle spielen. Sowohl für Straßenverkehrslärm [4] als auch für Fluglärm [5] konnte bereits nachgewiesen werden, daß eine einfache energetische Mittelung die Eigenschaften des menschlichen Gehörs bezüglich der Geräuschbeurteilung nicht nachbilden kann und teilweise zu absurden Ergebnissen führt. Es wird zu prüfen sein, ob für die Immissionsbeurteilung von Schienenlärm ähnliche gehörbezogene Verfahren angewandt werden können, die sich bereits bei Straßenlärm und Fluglärm bewährt haben.

Diese Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft im Rahmen des SFB 204 Gehör, München gefördert.

### Literatur

- [1] Schuemer, R. und Schuemer-Kohrs, A., (1991), *Lästigkeit von Schienenverkehrslärm im Vergleich zu anderen Lärmquellen - Überblick über Forschungsergebnisse*. In: *Z. f. Lärmbekämpfung* 38, 1-9.
- [2] Zwicker, E., Fastl, H., (1990), *Psychoacoustics - Facts and Models*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Tokyo, Hong Kong, Barcelona 1990.
- [3] Fastl, H., Zwicker, E., Kuwano, S., Namba, S., (1989), *Beschreibung von Lärmimmissionen anhand der Lautheit*. In: *Fortschritte der Akustik, DAGA'89*, Verl.: DPG-GmbH, Bad Honnef, 751-754.
- [4] Fastl, H., (1991), *Beurteilung und Messung der wahrgenommenen äquivalenten Dauerlautheit*. In: *Z. f. Lärmbekämpfung* 38, 98-103.
- [5] Fastl, H., (1990), *Trading number of operations versus loudness of aircraft*. In: *Proc. inter-noise '90*, Vol. II, 1133-1136.
- [6] Kuwano, S., Fastl, H., Namba, S., (1994), *A study of 5dB bonus to train noise (in Japanese)*. *Proc. Spring Meeting ASJ, Tokyo*.
- [7] Fastl, H., Kuwano, S., Namba, S., (1994), *Psychoacoustics and rail bonus*. *Proc. inter-noise '94*, Yokohama.
- [8] Brennecke, W., Remmers, H., (1983), *Physikalische Parameter bei der Bewertung der Lästigkeit von Industriegeräuschen*. In: *Acustica* 52, 279-289.
- [9] Fastl, H., *Psychoacoustics and noise evaluation*. In: *Contributions to Psychological Acoustics*, (A. Schick, ed.), BIS Oldenburg, 505-520.
- [10] Hauck, G., (1991), *Lästigkeitsunterschied zwischen den Geräuschen des Straßenverkehrs und des Schienenverkehrs*. In: *Z. f. Lärmbekämpfung* 38, 162-166.