

Akustische Simulation von 6-Sektionen-Fahrzeugen des Transrapid

G. Gottschling, H. Fastl

Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation, TU München

1. Einführung

In früheren Arbeiten (Fastl und Gottschling 1996a, 1996b) wurden Geräuschmessungen von 2-Sektionen-Fahrzeugen der Magnetschwebebahn Transrapid TR07/2 untersucht. Auf der geplanten Anwendungstrecke Hamburg-Berlin sollen jedoch Mehr-Sektionen-Fahrzeuge verkehren, welche noch nicht existent sind.

In dieser Arbeit wird daher auf die Vorgehensweise zur Simulation von Vorbeifahrtsgeräuschen von 6-Sektionen-Fahrzeugen des Transrapid eingegangen. Darüber hinaus werden die Geräuschmessungen dieser Fahrzeuge bei Geschwindigkeiten von 200 km/h (Ballungsräume) und 405 km/h (freie Strecke) denen von Fahrzeugen des konventionellen Schienenverkehrs gegenübergestellt.

2. Erzeugen der Simulationen

Als Ausgangsmaterial lagen Schallaufzeichnungen des Transrapid TR07/2 als 2-Sektionen-Fahrzeug bei 200 km/h in 25 m Aufnahmeabstand und bei 405 km/h in 100 m Distanz vor.

Die Vorbeifahrt mit 200 km/h erzeugt einen A-bewerteten Maximalschallpegel L_{AFmax} von 75,5 dB(A). Das 2-Sektionen-Fahrzeug hat eine Länge von ca. 50 m. Da ein 6-Sektionen-Fahrzeug die 3-fache Länge hat, mußte das Geräuschmaterial um 1800 ms verlängert werden. Die zeitliche Hüllkurve des Pegels verläuft relativ flach. Daher entschied man sich für folgende Vorgehensweise: Ein Bereich von 900 ms um das Pegelmaximum herum wurde auf einem digitalen System kopiert und mit leichten Überblendungen zweimal an das erste Pegelmaximum angehängt. Die so entstandene Simulation des Vorbeifahrtsgeräusches eines 6-Sektionen-Fahrzeuges wurde von Experten als mögliches Klangbild eines noch nicht existierenden Fahrzeuges akzeptiert (siehe Abb 1).

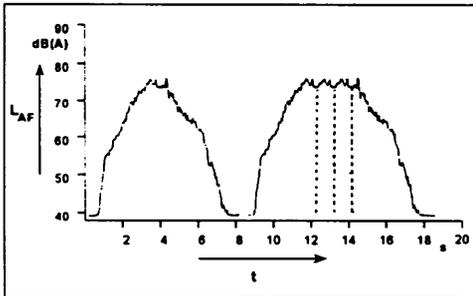


Abb. 1: Pegel-Zeitfunktionen der Vorbeifahrt eines 2-Sektionen-Fahrzeuges des Transrapid TR07/2 (links) und eines simulierten 6-Sektionen-Fahrzeuges (rechts) bei 200 km/h in 25 m Entfernung.

Für die Schallaufzeichnung bei 405 km/h konnten mit dieser Methode keine befriedigenden Ergebnisse erzielt werden. Aufgrund des steileren Pegelanstiegs und -abfalls sowie des recht kurzen Pegelmaximums ($L_{AFmax} = 83$ dB(A)) ergab sich bei dieser Simulationsart ein sehr synthetisch wirkendes Klangbild. Es mußte also eine andere Vorgehensweise herangezogen werden. Da die Vorbeifahrt sehr geräuschhaften Charakter besitzt, wurde ein Weg über spektrale Annäherung von Breitbandrauschen an das Terzpegelspektrum der Transrapid-Vorbeifahrt in der Nähe des Gesamtpegelmaximums gewählt. Mit Hilfe eines Terzpegelqualizers wurden durch Filterung die Terzpegel von Rosa Rauschen denen des Geräusches des Transrapid angeglichen (siehe Abb. 2).

Ein Ausschnitt des erzeugten gefilterten Rauschens von ca. 900 ms wurde mit einem digitalen Schnittsystem kurz hinter das Pegelmaximum der Vorbeifahrt eingefügt und zur Vermeidung eines hörbaren Übergangs ineinander überblendet. Der Gesamtpegel des Rauschens wurde so gewählt, daß das Pegelmaximum L_{AFmax} der Vorbeifahrt nicht verändert wurde und sich ein gleichmäßiger Übergang von Originalgeräusch und gefiltertem Rauschen ergab (Abb. 3). Auch dieses Geräusch repräsentiert nach Expertenmeinung eine brauchbare Simulation.

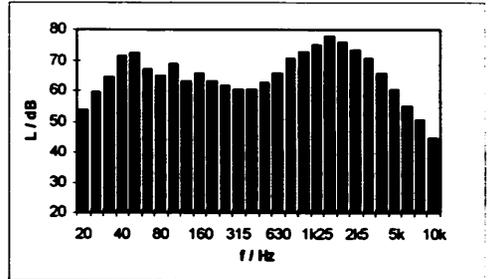


Abb. 2: Terzpegelspektrum des gefilterten Rauschens zur Verlängerung des Geräusches des 2-Sektionen-Fahrzeuges des Transrapid TR07/2 bei 405 km/h in 100 m Entfernung.

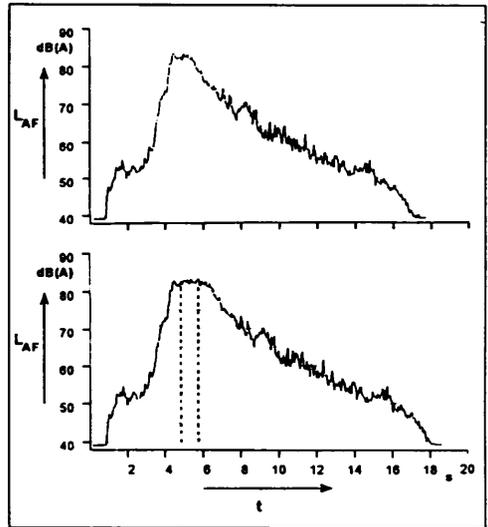


Abb. 3: Pegel-Zeitfunktionen der Vorbeifahrt eines 2-Sektionen-Fahrzeuges des Transrapid TR07/2 (oben) und eines simulierten 6-Sektionen-Fahrzeuges (unten) bei 405 km/h in 100 m Entfernung.

Die beiden simulierten 6-Sektionen-Fahrzeuge bei 200 km/h und bei 405 km/h stellen nun den Ausgang für psychoakustische Experimente zur Geräuschimmissionsbeurteilung dar.

3. Psychoakustische Messungen

Die psychoakustischen Messungen wurden an 15 normalhörenden Versuchspersonen im Alter von 23 bis 52 Jahren (Median 27 Jahre) durchgeführt. Die verwendeten Meßmethoden und Datenauswertungen wurden bereits in einer früheren Arbeit (Fastl und Gottschling 1996b) ausführlich beschrieben, so daß hier lediglich angemerkt wird, daß die Versuchspersonen die Globale Lautheit der 15-minütigen Darbietungen mittels Kategorienskizierung, Größenschätzung und Linienlänge beurteilten.

Untersuchung bei 200 km/h:

Für diese Untersuchung wurden drei Vorbeifahrten der akustischen Simulation eines 6-Sektionen-Fahrzeuges des Transrapid in 25 m Entfernung ($L_{AFmax} = 75,5$ dB(A)) mit Straßenverkehrsgeräuschen mit einem L_{eq} von ca. 47 dB(A) überlagert. Meßtechnisch ergibt sich somit

ein Mittelungspegel L_{eq} von 56,9 dB(A). Dieses Immissionszenario soll stellvertretend für die Situation innerhalb bewohnter Gebiete bzw. bei Stadteinfahrten stehen. Als Vergleichsexperiment für den konventionellen Schienenverkehr wurden ein ICE ($v = 248$ km/h, $L_{AFmax} = 89$ dB(A)), ein Güterzug ($v = 93$ km/h, $L_{AFmax} = 86$ dB(A)) und ein EC ($v = 134$ km/h, $L_{AFmax} = 86$ dB(A)) in gleicher Entfernung ebenfalls mit denselben Straßenverkehrsgläuschen überlagert. Zum Vergleich beider Situationen wurde als Bedingung festgelegt, daß die Immissionen von Bahn und Transrapid meistechnisch den gleichen L_{eq} erzeugen, wobei der Pegel des Transrapid nicht verändert werden sollte. Da der energieäquivalente Dauerschallpegel des Experimentes mit den Vorbeifahrten von Fahrzeugen der Bahn deutlich höher liegt, mußten die Vorbeifahrten des ICE, des Güterzuges und des EC um jeweils 13,7 dB abgesenkt werden. Dies hat eine Klangbildverfälschung der Vorbeifahrten zur Folge, die bei der späteren Auswertung Berücksichtigung finden sollte. Bei der Auswertung der Antwortbögen ergaben sich für die Beurteilung beider Darbietungen durch 15 Versuchspersonen folgende Resultate: Alle Probanden bezeichnen die ihnen unbekanntes Geräusche des Transrapid als Zugergeräusche. Das Ereignis „Zug“ wird in der Darbietung mit den Vorbeifahrten „konventioneller“ Züge von 13 Personen als dominantes Geräuschergebnis genannt, beim Transrapid sind es 14 Personen. Die Beurteilung der Globalen Lautheit anhand von sieben Kategorien führt für das Rad/Schiene-System zu der Einstufung „neither loud nor soft“, der mittleren von insgesamt sieben Kategorien. Beim Transrapid kam es zu der Einstufung „slightly loud“, eine Kategorie höher. Die absolute Größenschätzung führt zu einer 14% lautereren Beurteilung des Transrapid.

Für die Abfragemethode der Liniennlänge sind Zentralwerte und Wahrscheinliche Schwankungen in Abb. 4 im linken Teilbild dargestellt. Bei einer Gesamtlänge der zu markierenden Linie von 147 mm liegt der Zentralwert für das um 13,7 dB im Pegel abgesenkte Geräusch des Rad/Schiene-Systems bei 60 mm, der für den Transrapid bei 76 mm. Es ist zu erkennen, daß die Geräuschimmissionen des Transrapid als lauter beurteilt werden. Dieser Unterschied ist jedoch geringeren Ausmaßes als der Bereich der Wahrscheinlichen Schwankungen. Diese erstrecken sich beim Rad/Schiene-System über 30 mm und beim Transrapid über 43 mm.

Insgesamt betrachtet bedeutet dies, daß die Geräuschimmissionen von Transrapid und von Zügen des Rad/Schiene-Systems hinsichtlich ihrer Globalen Lautheit ähnlich beurteilt werden.

Untersuchung bei 405 km/h:

Drei Vorbeifahrten des 6-Sektionen-Fahrzeuges des Transrapid in 100 m Entfernung ($L_{AFmax} = 83$ dB(A)) erzeugen mit überlagerten Straßenverkehrsgläuschen einen L_{eq} von 62,3 dB(A). Das Vergleichsexperiment setzt sich aus einer Vorbeifahrt eines IC ($v = 139$ km/h, $L_{AFmax} = 80,5$ dB(A)), eines ICE ($v = 248$ km/h, $L_{AFmax} = 79,5$ dB(A)) und eines Güterzuges ($v = 93$ km/h, $L_{AFmax} = 79$ dB(A)) in gleicher Entfernung mit überlagerten Straßenverkehrsgläuschen zusammen. Diese Konstellation erzeugt einen sehr ähnlichen energieäquivalenten Dauerschallpegel wie das Transrapidexperiment. Die Vorbeifahrten der Züge des Rad/Schiene-Systems mußten hier lediglich um 1,2 dB abgesenkt werden, um den gleichen L_{eq} , der vom Transrapid vorgegeben wurde, zu erzeugen. Eine Absenkung in dieser Größenordnung stellt praktisch keine Beeinflussung des Klangbildes dar.

Die Auswertung der Fragebögen zur Globalen Lautheit führte zu folgenden Ergebnissen: Auch hier beschreiben alle Versuchspersonen das simulierte Vorbeifahrtsgeräusch des Transrapid als „Zugergeräusch“. 12 Personen empfinden die Vorbeifahrten „konventioneller“ Züge als dominantes Geräuschergebnis, 13 Personen empfinden die Vorbeifahrten des Transrapid als dominante Geräuschquelle. Die Beurteilung der Globalen Lautheit beider Experimente durch 15 Versuchspersonen mittels der drei Abfragemethoden führte zu folgendem Resultat: Für die Globale Lautheit des Experimentes mit dem Rad/Schiene-System als auch für das Experiment mit den Vorbeifahrten des Transrapid wird im Mittel die Kategorie „neither loud nor soft“, die mittlere Kategorie von sieben möglichen, vergeben. Durch die absolute Größenschätzung werden die Geräuschimmissionen des Transrapid als 11% lauter beurteilt. Hier ist anzumerken, daß bei der Meßmethode Größenschätzung intra- und interindividuelle Streuungen allgemein um 10% liegen (vgl. Zwicker und Fastl 1990), d.h. der festgestellte Unterschied von 11% liegt nahe der Unterschiedsschwelle.

Die Ergebnisse für die Liniennlänge sind anhand der Zentralwerte und der Wahrscheinlichen Schwankungen im rechten Teilbild von Abb. 4 dargestellt. Der Zentralwert liegt beim Rad/Schiene-System bei 76 mm und beim Transrapid bei 77 mm. Dieser Unterschied liegt im Bereich des „Meßfehlers“ bzw. der Reproduzierbarkeit von Werten einer Versuchsperson. Zudem erstrecken sich die Wahrscheinlichen Schwankun-

gen in beiden Fällen im ähnlichen Wertebereich, der sehr schmal ausfällt.

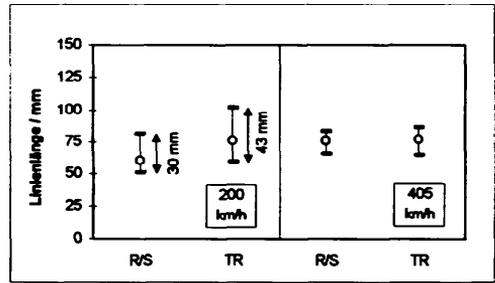


Abb. 4: Beurteilung der Globalen Lautheit von Zügen des Rad/Schiene-Systems (RS) im Vergleich zum Transrapid (TR) von 15 Versuchspersonen.

links: ICE mit 248 km/h, Güterzug mit 93 km/h und EC mit 134 km/h im Vergleich zu 3 Vorbeifahrten des Transrapid (simulierte 6 Sektionen) mit 200 km/h bei einem L_{eq} von 56,9 dB(A); Aufnahmestanz: 25 m.

rechts: IC mit 139 km/h, ICE mit 248 km/h und Güterzug mit 93 km/h im Vergleich zu 3 Vorbeifahrten des Transrapid (simulierte 6 Sektionen) mit 405 km/h bei einem L_{eq} von 62,3 dB(A); Aufnahmestanz: 100 m.

Beide Verkehrsmittel erzeugen also trotz des großen Unterschiedes in den Geschwindigkeiten (Rad/Schiene-System: 93 km/h bis 248 km/h; Transrapid: 405 km/h) in 100 m Entfernung praktisch die gleiche Globale Lautheit.

4. Zusammenfassung

Aus Geräuschen von 2-Sektionen-Fahrzeugen wurden synthetisch simulierte Geräusche von 6-Sektionen-Fahrzeugen des Transrapid TR07/2 bei zwei verschiedenen Geschwindigkeiten, 200 km/h und 405 km/h, erstellt. Die Geräuschimmissionen wurden für beide Geschwindigkeiten mit denen des herkömmlichen Rad/Schiene-Systems verglichen.

Bei der Geschwindigkeit von 200 km/h in 25 m Entfernung ergibt sich eine etwas größere Beurteilung für die Globale Lautheit des Transrapid als für das Rad/Schiene-System. Allerdings mußten, um den gleichen energieäquivalenten Dauerschallpegel für beide Geräuschimmissionen zu erreichen, die Pegel der „konventionellen“ Züge um immerhin 13,7 dB abgesenkt werden.

Bei der hohen Geschwindigkeit des Transrapid von 405 km/h sind die Geräuschimmissionen von Bahn und Transrapid hinsichtlich ihrer Globalen Lautheit in 100 m Entfernung praktisch identisch.

In dieser Studie zeigt sich ein Vorteil von Laborstudien, daß mit dieser Methode Geräuschszenarien simuliert werden können, die in der Realität noch nicht existent sind. Somit erlaubt diese Arbeit eine brauchbare Abschätzung künftig zu erwartender Geräuschimmissionen des Transrapid im Einsatz.

Die Autoren danken der DB, der MVP sowie der IABG für die Überlassung von DAT-Aufnahmen der verwendeten Zug- und Transrapidgeräusche.

Literatur

- Fastl, H., Gottschling, G., (1996a), Beurteilung von Geräuschimmissionen beim Transrapid. In: Fortschritte der Akustik, DAGA 96, Verl.: Dt. Gesell. für Akustik e.V., Oldenburg, 216-217.
- Fastl, H., Gottschling, G., (1996b), Subjective evaluation of noise immissions from transrapid. In: Proc. inter-noise 96, Vol. 4, 2109-2114.
- Zwicker, E. and Fastl, H., (1990), Psychoacoustics. Facts and models. Springer-Verlag, Heidelberg, New York.

Literatur im Internet:

<http://www.mnk.e-technik.tu-muenchen.de/admin/noise.html>