

Tonhaltigkeiten von Fahrgeräuschen moderner Schienenfahrzeuge des Nahverkehrs im Vergleich

Dorothea Salz¹, Christian Czolbe², Markus Hecht²

¹ Umweltbundesamt Fachgebiet Lärminderung im Verkehr, 06844 Dessau, Deutschland, Email: dorothea.salz@uba.de

² Technische Universität Berlin, Fachgebiet Schienenfahrzeuge, Deutschland, Email: Christian.Czolbe@TU-Berlin.de

Einleitung

Die Tonhaltigkeit von Fahrgeräuschen bei Schienenfahrzeugen - insbesondere Anfahrten oder Bremsungen - lassen sich mittels vorhandener Verfahren nicht immer zufrieden stellend bestimmen. Insbesondere im Nahverkehr führen tonale Geräuschkomponenten oftmals zu erhöhten Belästigungen. Um die Tonhaltigkeit dieser Geräusche wahrnehmungsspezifisch zu erfassen, entwickelte die Autorin ein Verfahren zur Bewertung tonaler zeitvarianter Komponenten auf der Basis von Terzspektren. Dieses Verfahren hatte in Hörversuchen zu hervorragenden Ergebnissen geführt [1].

Das Terzspektren-basierte Verfahren wurde nun zur Bewertung der Tonhaltigkeit von Geräuschbeispielen moderner Schienenfahrzeuge des Nahverkehrs eingesetzt. Die Tonhaltigkeiten dieser Geräusche werden auch nach DIN 45681 [2] bestimmt. Die Tonhaltigkeiten weisen eine große Bandbreite auf. Nach DIN 45681 [2] lassen sich Tonzuschläge von 0 bis 6 dB bestimmen.

Terzspektren-basierte Verfahren zur Bestimmung der Tonhaltigkeit

Die subjektiven Tonhaltigkeitsurteile zweier Laborstudien korrelieren sehr signifikant mit 0.890** zu der mittels des Terzspektren-Verfahrens bestimmten Tonhaltigkeit [1]. In den durchgeführten Laborversuchen konnte festgestellt werden, dass mit erhöhter Tonhaltigkeit der Geräusche die Fahrgeräusche von Schienenfahrzeugen von den Versuchspersonen im Allgemeinen als unangenehmer bewertet wurden (siehe Abbildung 1).

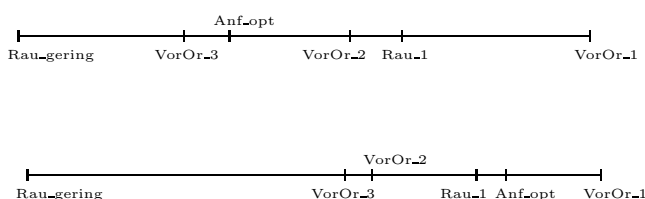


Abbildung 1: Graphische Veranschaulichung der Faktorenwerte eines Versuchsgeräusche-Sets. Oben: Faktor 2 des Paarvergleichs zur Unangenehmheit. Unten: Faktor 1 des Paarvergleichs zur Tonhaltigkeit. Die Unangenehmheit bzw. Tonhaltigkeit nimmt von links nach rechts zu.

Analysierte Fahrgeräusche

In der vorgestellten Analyse wurden Außengeräusche von modernen Schienenfahrzeugen des Nahverkehrs untersucht. Exemplarisch werden hier die Ergebnisse der S-Bahn BR481, der Niederflurstraßenbahn GT6 (Zweirichtungsfahrzeug) und der U-Bahn HK06 vorgestellt. Es wurden sowohl Anfahrten und Bremsungen als auch Vorbeifahrten mit Geschwindigkeiten bis 60 km/h analysiert.

Ergebnisse

Für alle Fahrzustände und Fahrzeuge werden Ergebnisse vergleichend gegenübergestellt. Abbildung 2 sind die nach dem Terzspektren-Verfahren berechneten Tonhaltigkeitswerte für die Straßenbahn GT6 ZR für alle Fahrzustände auf Straßen- und Schottergleis zu entnehmen. Die Tonhaltigkeitswerte liegen zwischen 2 und 7 dB. Für die Fahrten der Straßenbahn auf Schottergleis lassen sich im Vergleich zum Straßengleis um etwa 1 bis 2 dB geringere Tonhaltigkeitswerte nach dem Terzspektren-Verfahren festhalten.

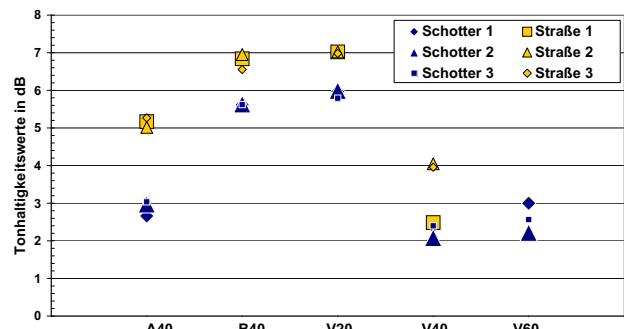


Abbildung 2: Vergleich der Tonhaltigkeitswerte nach dem Terzspektren-Verfahren des Fahrzeugs GT6 ZR auf Straßen- und Schottergleis für verschiedene Fahrzustände. Bezeichnung der Fahrzustände: A=Anfahrt, B=Bremsung, V=Vorbeifahrt mit konstanter Geschwindigkeit; die Zahlen stehen für die jeweilige Geschwindigkeit in km/h.

Nach dem verwendeten Terzspektren-Verfahren werden die Tonhaltigkeiten für die Sekunden-Abschnitte des Geräusches berechnet. Daher kann der zeitliche Verlauf der Tonhaltigkeit sehr gut analysiert werden. In Abbildung 3 sind exemplarisch für das Fahrzeug GT6 die Tonhaltigkeiten von 6 Bremsungen – je 3 auf Straßen- bzw. Schottergleis – dargestellt.

Der zeitliche Verlauf der berechneten Tonhaltigkeiten spiegelt den Höreindruck der Tonhaltigkeit der Geräusche sehr gut wider. Die Ergebnisse der berech-

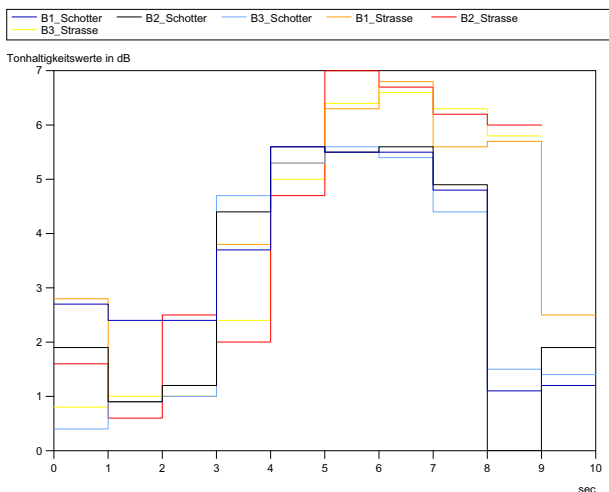


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der Tonhaltigkeiten nach Terzspektren-Verfahren der 1-Sekunden-Abschnitte von Bremsungen aus 40 km/h für das Fahrzeug GT6 ZR auf Schotter- und auf Straßengleis

neten Tonhaltigkeiten nach dem Terzspektren-Verfahren weisen sich durch eine sehr hohe Zuverlässigkeit der berechneten Werte für identische Versuchsbedingungen aus (siehe Abbildungen 2 und 3).

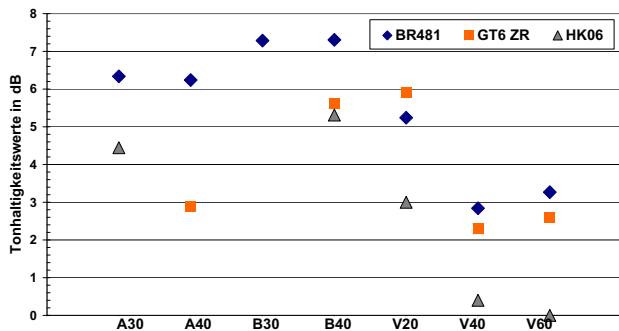


Abbildung 4: Vergleich der Tonhaltigkeitswerte nach dem Terzspektren-Verfahren (arithmetisches Mittel) der Fahrzeuge für verschiedene Fahrzustände. Bezeichnung der Fahrzustände: A=Anfahrt, B=Bremsung, V=Vorbeifahrt mit konstanter Geschwindigkeit; die Zahlen stehen für die jeweilige Geschwindigkeit in km/h.

Ein Vergleich der arithmetischen Mittel der Tonhaltigkeitswerte nach dem Terzspektren-Verfahren für die drei Fahrzeuge und verschiedene Fahrzustände ist Abbildung 4 zu entnehmen. Die höchsten Tonhaltigkeitswerte zeigen sich für Anfahrten und Bremsungen des Fahrzeugs BR 481. Für die Vorbeifahrten mit konstanter Geschwindigkeit weist das Fahrzeug HK06 die niedrigsten Tonhaltigkeitswerte zwischen 3 und 0 dB auf.

Bei zeitlich nur gering in der Frequenz variierenden tonalen Geräuschanteilen führen die beiden Verfahren – Terzspektren-Verfahren und DIN 45681 – zu ähnlichen Ergebnissen. Dies ist exemplarisch in Abbildung 5 für das Fahrzeug GT6 ZR auf Schottergleis dargestellt. Die berechneten Tonzuschläge nach DIN 45681 basieren zum einen auf dem Gesamtgeräusch und des weiteren auf 3-

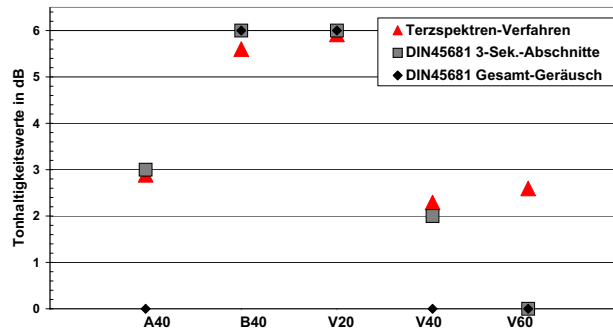


Abbildung 5: Vergleich der Tonhaltigkeitswerte (arithmetisches Mittel) nach dem Terzspektren-Verfahren und nach DIN 45681 des Fahrzeugs GT6 ZR auf Schottergleis für verschiedene Fahrzustände. Bezeichnung der Fahrzustände: A=Anfahrt, B=Bremsung, V=Vorbeifahrt mit konstanter Geschwindigkeit; die Zahlen stehen für die jeweilige Geschwindigkeit in km/h.

Sekunden-Geräuschabschnitten. Als Tonzuschlag für das Gesamtgeräusch ist für die 3-Sekunden-Abschnitte das Maximum bestimmt worden. Für das Zweirichtungsfahrzeug GT6 wurden sogar für Anfahrten und Bremsungen ähnliche Tonhaltigkeitswerte mit den beiden Verfahren berechnet (Abb. 5). Dies ist dadurch erklärbar, dass sowohl bei den Anfahrten als auch den Bremsungen die dominierende tonale Komponente über die Zeit in der Frequenz nur leicht schwankt. Bei Anfahrten und Bremsungen wird ansonsten durch die DIN 45681 der Höreindruck der Tonhaltigkeit oftmals unterbewertet (siehe [1]).

Zusammenfassung

- Die Tonhaltigkeit der Fahrgeräusche von Schienenfahrzeugen des Nahverkehrs ist bedeutsam, oft treten Zuschläge nach DIN 45681 von 3 bis 6 dB auf.
- Das Terzspektren-basierte Verfahren und die DIN 45681 (3-Sekunden-Abschnitte) führen oftmals zu ähnlichen Ergebnissen.
- Das Terzspektren-basierte Verfahren ist auch für zeitlich variante Signale – auch wenn sich die Frequenz über die Zeit ändert – anwendbar.
- Der zeitliche Verlauf der Tonhaltigkeitswerte ist ein gutes Instrument, um ein Geräusch zu analysieren.
- Ein Vergleich der Tonhaltigkeit wird mittels des Terzspektren-basierten Verfahrens mit relativ geringem Aufwand ermöglicht.

Literatur

[1] Salz, D.: Terzspektrenbasierte Bewertung der Tonhaltigkeit von Schienenfahrzeuggeräuschen - Verfahrensentwicklung und -validierung aus Laborstudien. Shaker Verlag, Aachen, 2006

[2] DIN 45681, Entwurf: Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschmissionen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2002