

Psychoakustische Untersuchung von Güterverkehrszügen im Mittelrheintal

Martin Heroldt¹, André Fiebig²

¹ Uppenkamp und Partner GmbH, Köpenicker Straße 145, 10997 Berlin, E-Mail: Martin.Heroldt@web.de

² Technische Universität Berlin, Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, Fachgebiet Technische Akustik, Einsteinufer 25, 10587 Berlin, E-Mail: Andre.Fiebig@tu-berlin.de

Einleitung

Geräuschbelastung durch Schienengüterverkehr im Mittelrheintal

Das umweltfreundliche Verkehrs- und Transportmittel „Bahn“ ist in einigen Regionen bedingt durch ein hohes Schienenverkehrsaufkommen die maßgebliche Lärmquelle. Eine durch Schienengüterverkehrslärm besonders belastete Region ist das Mittelrheintal, durch die die europäische Nord-Süd-Magistrale führt [1]. Im Mittelrheintal verlaufen links- und rechtsseitig des Rheins viel befahrene Schienentrassen, die zum Transport von Gütern zwischen den beiden bedeutenden Umschlagplätzen Rotterdam und Genua dienen. Aufgrund des insgesamt steigenden Güterzugverkehrs durch den neuen Gotthard-Basistunnel und die Erweiterung der Neuen Eisenbahn-Alpentransversale (NEAT) durch den Ceneri-Basistunnel, der die Strecke noch effizienter macht, wird auch im Mittelrheintal zukünftig mit verstärktem Zugaufkommen und somit einer ansteigenden Belastung der AnwohnerInnen gerechnet [2].

Geräuschquellen bei Güterwaggons

Bei vorbeifahrenden Güterzügen überwiegen bis zu einer Geschwindigkeit von 50 km/h die Geräusche des Antriebes, zwischen 50 km/h und 300 km/h die Geräusche des Rad-Schiene-Systems (Rollgeräusche) und ab 300 km/h die aerodynamischen Geräusche [3, 4]. Die Art der Bremse bestimmt maßgeblich über die Rollgeräusche von Güterwaggons: So verursacht der Einsatz von Graugussbremsen eine Rillenbildung am Rad, was die Rauigkeit am Rad-Schiene-System und damit die Geräuschentwicklung verstärkt. Verbundstoff- oder Scheibenbremssysteme hingegen verursachen weniger Geräusche.

Einzelne, besonders laute Waggons (beispielsweise älteren Baujahres, mit Graugussbremsen, Flachstellen auf den Rädern oder veralteter Federung im Fahrgestell) können bei der Schalldruckpegelmessung von Güterzugvorbeifahrten als „Peaks“, also Schalldruckpegelspitzen, erfasst werden. Diese besonders lauten Waggons dürfen ab dem 13.12.2020 nicht mehr über deutsche Schienen rollen (SchlärmschG [5]). Des Weiteren dürfen ab 2020 nur noch „leise“ (umgerüstete) Züge den Gotthard-Basistunnel passieren. Das Umrüstprogramm der Deutschen Bahn sieht vor, bis Ende 2020 alle rund 100.000 unternehmenszugehörigen Güterzugwaggons auf Verbundstoffbremssohlen umzurüsten, damit diese nach SchlärmschG als leise Waggons gelistet sind [6].

Ziel der Studie

Da die Umrüstung auf leisere Bremssysteme noch nicht vollständig erfolgt ist, werden weiterhin laute Güterwaggons in Deutschland eingesetzt. Das Güterzugaufkommen wird

außerdem weiter ansteigen. Deshalb soll die hier vorgestellte Studie den Einfluss lauter Güterzugwaggons auf die Lärm-belästigung anhand eines Hörversuches untersuchen. Als Untersuchungsgebiet wurde das Mittelrheintal gewählt, da dort die Belastung der AnwohnerInnen besonders hoch ist. Im Rahmen der Studie wurde die Auswirkung des Zeitpunktes des Auftretens eines lauten Güterzugwaggons innerhalb einer Zugvorbeifahrt auf die Gesamtbewertung betrachtet. Vermutet wurde, dass der *Recency-Effekt* für die Beurteilung einer Zugvorbeifahrt relevant ist. Dieser aus der Psychoakustik bekannte kognitive Effekt „beschreibt, dass Menschen oft vor allem das Ende eines (Hör)ereignisses intensiver wahrnehmen und im Gedächtnis behalten als den vorhergehenden Verlauf“ [7]. Das Auftreten eines *Recency-Effektes* konnte in einigen Untersuchungen bei der Bewertung von synthetischen Geräuschen beobachtet werden (siehe z.B. [7], [8], [9]), ist aber für Güterzuggeräusche bislang nicht systematisch untersucht worden.

Neben der messbaren Geräuschbelastung durch Schienenverkehr spielen auch nicht-akustische Faktoren, wie persönliche Einstellung zur Lärmquelle, Alter oder individuelle Lärmempfindlichkeit eine wesentliche Rolle bei der Ausprägung individueller Geräuschbelastigung [10], [11]. Bis zu einem Drittel der Varianz der in Studien ermittelten Belästigungsdaten können durch nicht-akustische Faktoren erklärt werden [12].

Vor diesem Hintergrund sollen folgende Fragestellungen untersucht werden:

- (1) Wird eine Güterzugdurchfahrt mit lautem Waggon am Ende des Zuges als lästiger wahrgenommen als eine Vorbeifahrt mit einem lauten Waggon am Anfang des Zuges?
- (2) Welche Bedeutung haben die nicht-akustischen Faktoren „selbsteingeschätzte Lärmempfindlichkeit“, „Entfernung des Wohnortes zum nächsten Bahngleis“ und „Häufigkeit der Nutzung des öffentlichen Schienenverkehrs“ bezüglich der Bewertung der Lästigkeit von Güterzugvorbeifahrten?

Methodik

Messung der Güterzugvorbeifahrten

Die Schalldruckpegelmessungen der Güterzugvorbeifahrten wurden in zwei aufeinanderfolgenden Nächten (30.10.-01.11.2018) in Rüdeshem (Rhein) durchgeführt. Am Messort verläuft sowohl rechts- als auch linksseitig des Rheins eine zweigleisige Bahnstrecke, die von Personen- und Güterzügen tagsüber und nachts stark frequentiert wird. In unmittelbarer Umgebung der Gleise befinden sich Häuser von AnwohnerInnen, die nicht durch eine Lärmschutzwand geschützt sind.

In Anlehnung an die DIN EN ISO 3095 (Messung der Geräuschemissionen von spurgebundenen Fahrzeugen) wurde die Messkette mit einem Kunstkopfmesssystem (HSU III.2, HEAD acoustics GmbH) zur binauralen Aufzeichnung der Geräusche so platziert, dass der darin vorgeschriebene Abstand und die Höhe der Messmikrofone der Norm entsprachen (Abbildung 1).

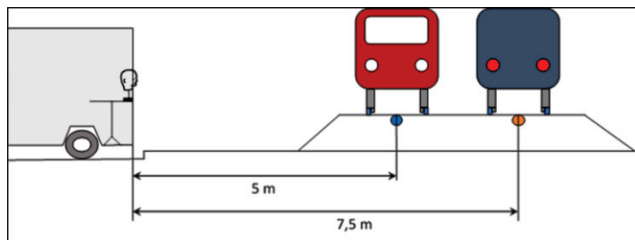


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Messaufbaus. Das Kunstkopfmesssystem wurde 5 m von dem rahnabwärts verlaufenden Gleis und 7,5 m von dem gegenüberliegenden Gleis platziert.

Gemessen wurden u.a. die Dauer der Zugdurchfahrt [s], die Lautheit N_5 nach DIN 45631/A1 [sone], der A-bewertete energieäquivalente Dauerschalldruckpegel $L_{A,eq}$ [dB(A)], die Schärfe S nach Aures [acum] und die Rauigkeit R [asper]. Zusätzlich wurden mit einem Handschallpegelmessgerät (Audio- und Akustik-Analysator XL2, NTi Audio GmbH) die aufzeichneten Schalldruckpegel überprüft.

Hörversuchsstimuli

Der $L_{A,eq}$ aller Zugdurchfahrten wurde zunächst um 6 dB(A) reduziert, um einen realistischeren Immissionspunkt von ca. 10 bzw. 15 m (statt 5 bzw. 7,5 m in der Messung) zu simulieren und um ProbandInnen nicht sehr lauten Schallereignissen auszusetzen.

Fünf von insgesamt 164 gemessenen Güterzugvorbeifahrten dienten als Grundlage zur Erstellung der Stimuli. Aus ihnen wurden insgesamt fünf Darbietungen HV1_1 bis HV1_5 in drei bis sechs Varianten erstellt (Tabelle 1). Für die Varianten A bis C (A = lauter Waggon am Anfang, B = in der Mitte, C = am Ende, Abbildung 2) wurde jeweils der laute Waggon (Schalldruckpegelmaximum) aus der Ausgangsaudiodatei geschnitten und an den Anfang, in die Mitte oder an das Ende des Zuges virtuell gesetzt. Ziel war es, die Spitzenschalldruckpegel, welche durch lautere Waggonen verursacht werden, an verschiedenen zeitlichen Positionen der Zugdurchfahrt zu platzieren, trotzdem aber Güterzugdurchfahrten mit gleichem energetischen Mittel ($L_{A,eq}$) und gleicher Dauer zu erhalten. Für die Varianten D bis F wurde der laute Waggon entfernt und der $L_{A,eq}$ verändert (Abbildung 2, Tabelle 1). Diese Varianten wurden nur für die Darbietungen HV1_4 und HV1_5 erstellt. Dabei war Variante E pegelgleich zu A bis C, D dagegen war leiser und F lauter.

Versuchsteilnehmende

Insgesamt nahmen 78 ProbandInnen (49w, 29m), vor allem Studierende des Studienganges Umweltschutz (B.Sc.) der TH Bingen, am Hörversuch teil. Das Durchschnittsalter betrug 24 Jahre (min. = 19, max. = 59). Ihr Hörvermögen schätzten 71 Personen als normal und 7 als eingeschränkt ein. Insgesamt 51 der TeilnehmerInnen wohnen im Mittelrheingebiet, davon 21 weniger als 500 m von einem Bahngleis entfernt.

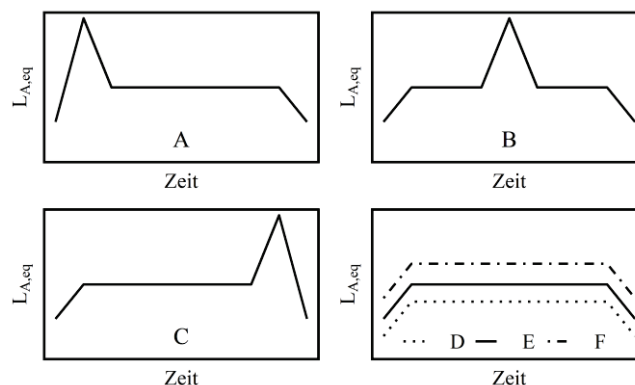


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Pegel-Zeit-Verlaufes der Stimuli-Varianten A bis F. Variante A mit einem lauten Waggon am Anfang, B mit lautem Waggon in der Mitte, C mit lautem Waggon am Ende und D bis F ohne lauten Waggon, aber unterschiedlichen $L_{A,eq}$ -Werten.

Hörversuch

Der Hörversuch wurde mit dem Programm SQala (HEAD acoustics GmbH) erstellt. Bis zu 5 ProbandInnen konnten parallel den Hörversuch durchführen. Die ProbandInnen hörten insgesamt 21 Geräuschdarbietungen und bewerteten deren Lästigkeit auf einer 9-stufigen Kategorienskala, die von 1 (*nicht lästig*) bis 9 (*sehr lästig*) reichte. Die Darbietungen wurden an jedem Hörerplatz in individuell unterschiedlich randomisierter Reihenfolge dargeboten, um die Auswirkung potentieller Reihenfolgeeffekte zu reduzieren. Zum Abschluss des Hörversuches wurden anhand eines Fragebogens diverse Daten, z.B. zur „selbsteingeschätzten Lärmempfindlichkeit“, zur „Entfernung des Wohnortes zum nächsten Bahngleis“ oder zur „Häufigkeit der Nutzung des ÖPV auf der Schiene“, erhoben. Der Hörversuch wurde im Schalllabor der TH Bingen durchgeführt.

Ergebnisse

Bewertung der Lästigkeit

Die Mittelwerte der bewerteten Lästigkeit sind in Tabelle 1 dargestellt. Bei allen Darbietungen, außer HV1_2, ist tendenziell ein leichter Recency-Effekt zu erkennen, da Variante C (lauter Waggon am Ende) trotz gleichen $L_{A,eq}$ -Wertes als lästiger wahrgenommen wurde als Variante A (lauter Waggon am Anfang). Die Variante B (lauter Waggon in der Mitte) wurde als etwas lästiger bewertet als die Variante A (außer bei Darbietung HV1_1). Alle Unterschiede in der bewerteten Lästigkeit zwischen den Varianten mit lautem Waggon an unterschiedlichen Positionen waren allerdings im Mittel eher gering und verfehlten statistische Signifikanz (Abbildung 3).

In Abbildung 3 ist ebenfalls die deutliche Verschiebung der Bewertungen zu geringeren Lästigkeitsurteilen für Variante D im Vergleich zur Variante E zu erkennen. Für Variante F sind erwartungsgemäß entsprechend höhere Lästigkeitsbewertungen zu beobachten. Dies wird besonders deutlich bei Darbietung HV1_4_F. Insgesamt 21 ProbandInnen bewerteten diese Darbietung mit „9“ (sehr lästig), was auf den hohen $L_{A,eq}$ von 82 dB(A) zurückzuführen ist.

Tabelle 1: $L_{A,eq}$ und Lästigkeitsbewertung (von 1 = nicht lästig bis 9 = sehr lästig; Mittelwert aus $n=78$). Varianten: A = lauter Waggon am Anfang, B = lauter Waggon in der Mitte, C = **lauter Waggon am Ende**, D = ohne auffälligen Waggon, reduzierter $L_{A,eq}$, E = ohne auffälligen Waggon, $L_{A,eq}$ wie Variante A bis C, F = ohne auffälligen Waggon erhöhter $L_{A,eq}$.

Darbietung	Parameter		
	Varianten	$L_{A,eq}$ [dB(A)]	Lästigkeit (Mittelwert)
HV1_1	A; B; C	76	5,8; 5,7; 6,1
HV1_2	A; B; C	78	6,4; 6,6; 6,3
HV1_3	A; B; C	75	5,0; 5,4; 5,3
HV1_4	A; B; C	76	5,1; 5,3; 5,2
	D; E; F	71; 76; 82	4,0; 5,6; 7,6
HV1_5	A; B; C	70	3,9; 4,2; 4,2
	D; E; F	68; 70; 72	6; 4,1; 4,6

Die Ergebnisse weisen an dieser Stelle bereits auf einen starken Einfluss des $L_{A,eq}$ auf die Lästigkeitsurteile der ProbandInnen hin, was in Abbildung 4 noch deutlicher zu erkennen ist. Der Mittelwert der bewerteten Lästigkeit der verschiedenen Güterzugvorbeifahrten steigt linear mit steigendem $L_{A,eq}$ an ($R^2 = 0,93$); eine Pegelerhöhung von 4 dB(A) entspricht etwa einer mittleren Erhöhung des Lästigkeitsurteils um eine Kategorie auf der 9-stufigen Skala. Zu sehen ist ebenfalls, dass bei vier von fünf Darbietungen Variante C (graue Dreiecke) als etwas lästiger als Variante A (blaue Dreiecke, Abbildung 4A) bewertet wurde. Die mittlere Lästigkeit stieg ebenfalls mit steigender Lautheit N_5 an ($R^2 = 0,78$, siehe Abbildung 4B), wobei der in der DIN 45631/A1 vorgeschlagene repräsentative Einzahlwert N_5 zur Bewertung der Geräusche ungeeignet erscheint und hier die Betrachtung alternativer Einzahlwerte zur Repräsentation der Lautheitsfunktion über Zeit notwendig wäre.

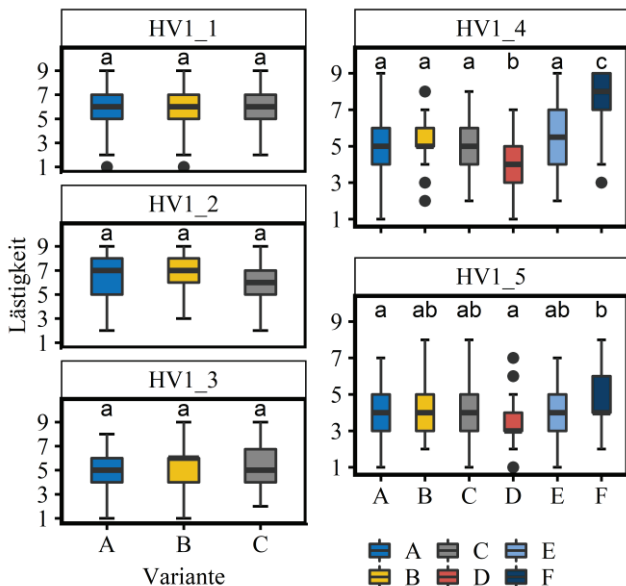


Abbildung 3: Boxplots der Bewertung der Lästigkeit der Darbietungen HV1_1 bis HV1_5. Die mittlere Bewertung der Geräuscharbietungen mit gleichen Kleinbuchstaben a bis c unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (Kruskal-Wallis-Test und Dunns Test, $p < 0,05$).

Einfluss nicht-akustischer Faktoren auf das Lästigkeitsurteil

Zur Analyse der Auswirkung der individuellen Lärmempfindlichkeit auf die Lästigkeitsbewertungen wurden die Bewertungen in drei Gruppen aufgeteilt. Nur 20 % der ProbandInnen bezeichneten sich als „nicht“ bzw. „wenig lärmempfindlich“. Die 28 TeilnehmerInnen, die sich selbst als „ziemlich“ oder „sehr lärmempfindlich“ einschätzten, bewerteten die gehörten Darbietungen als teils signifikant lästiger als die Vergleichsgruppen „mittelmäßig lärmempfindlich“ und „nicht/wenig lärmempfindlich“ (Abbildung 5). Die beiden letztgenannten Gruppen bewerteten die Güterzugvorbeifahrten als ähnlich lästig, bei HV1_4 und HV1_5 in den Varianten A bis C fast gleich.

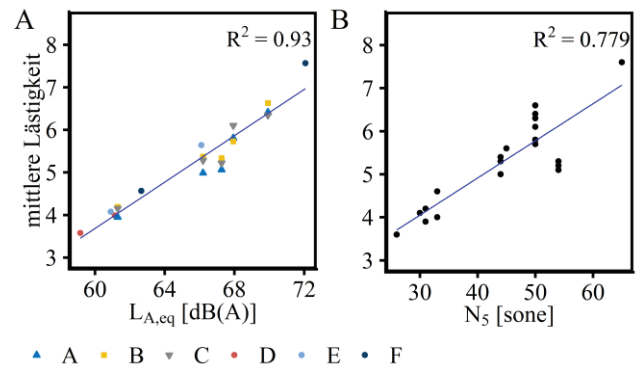


Abbildung 4: A: Mittlere Lästigkeitsurteile im Verhältnis zum $L_{A,eq}$. B: Mittlere Lästigkeitsurteile über der Lautheit (N_5) nach DIN 45631/A1.

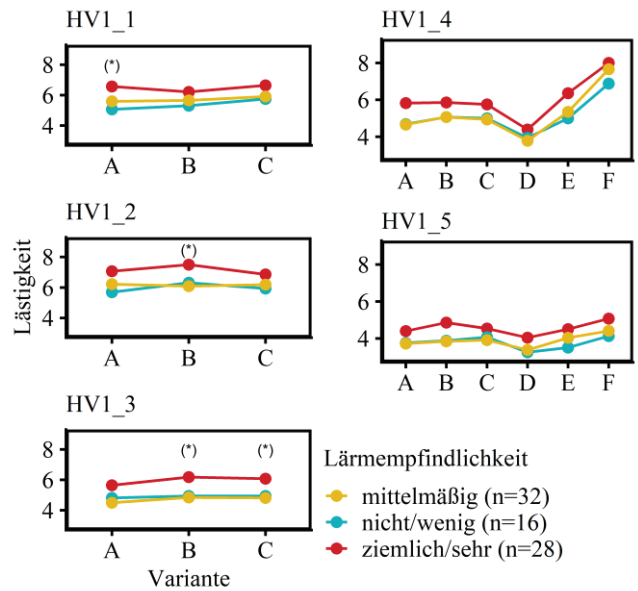


Abbildung 5: Bewertung der Lästigkeit gruppiert nach der selbsteingeschätzten Lärmempfindlichkeit der ProbandInnen. Mittelwert aus $n=76$ Antworten (zwei Mehrfachantworten wurden eliminiert). (*) = signifikanter Unterschied der Gruppe „ziemlich/sehr lärmempfindlich“ (Kruskal-Wallis-Test und Dunns Test, $p < 0,05$)

Der Wohnort von 6 ProbandInnen befand sich in unmittelbarer Gleisnähe (< 30 m). Mit weiteren 5 Personen, die 30 bis 100 m von einer Bahnstrecke entfernt wohnen, bewertete

diese Personengruppe die Lästigkeit der Darbietungen HV1_1, HV1_2A, HV1_2B (signifikant), HV1_3B, HV1_4D, 4E und 4F sowie HV1_5 A, E und F am geringsten. Die ProbandInnen, die 100 - 500 m von einem Gleis entfernt wohnen, bewerteten die Lästigkeit aller gehörten Darbietungen und Varianten am höchsten, gefolgt von den in mehr als 500 m bzw. nicht in Gleisnähe wohnenden Befragten. Die Entfernung des Wohnortes zum nächsten Gleis konnte somit keinen klaren Trend erkennen lassen.

ProbandInnen, die täglich oder mehrmals wöchentlich mit der Bahn fahren, bewerteten alle gehörten Darbietungen als weniger lästig als die Vergleichsgruppe, die angab, nur selten oder nie die Bahn zu nutzen (signifikant für HV1_3C, HV1_4C und HV1_5F). Die Häufigkeit und Regelmäßigkeit der Nutzung des öffentlichen Schienenverkehrs könnte einen Hinweis auf den Zusammenhang zwischen bewerteter Lästigkeit und der persönlichen Einstellung zur Geräuschquelle geben.

Zusammenfassung

Die Belästigung durch Güterzugverkehrsgeräusche ist besonders an stark frequentierten Trassen wie der Strecke Rotterdam-Genua ein Problem, das sich zukünftig noch verstärken wird. Besonders betroffen sind die AnwohnerInnen des Mittelrheintals, da hier mit verstärktem Zugaufkommen aufgrund des Ausbaus des Gotthardt-Basistunnels gerechnet wird. Aufgrund des steigenden Güterzugaufkommens sowie der Tatsache, dass viele Güterwaggons mit alten Bremssystemen sehr hohe Schalldruckpegelspitzen verursachen können, wurde in der vorliegenden Studie die Lästigkeit von Güterzuggeräuschen in einem Hörversuch untersucht. Als Grundlage für die Stimuli wurden Güterzugdurchfahrten verwendet, die in zwei Nächten in Rüdeshelm (Rhein) aufgenommen wurden. Insgesamt 78 ProbandInnen bewerteten die Lästigkeit von Güterzugvorbeifahrten, bei denen die Position eines lauten Waggons innerhalb einer Zugdurchfahrt variierte, anhand einer Kategorienskala von 1 (nicht lästig) bis 9 (sehr lästig) und beantworteten einen Fragebogen zur Erfassung nicht-akustischer Faktoren.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse des Hörversuches, dass die Bewertung der Lästigkeit der Güterzugdurchfahrten hauptsächlich durch die Lautstärke (A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschalldruckpegel $L_{A,eq}$) bestimmt wird. Das Auftreten und die Position des auffälligen Waggons innerhalb einer Zugdurchfahrt hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Bewertung. Jedoch lag bei vier von fünf Darbietungen zumindest tendenziell ein Recency-Effekt vor, da die Güterzugdurchfahrten mit lautem Waggon am Ende im Mittel als lästiger bewertet wurden. Als signifikant lästiger wurden Stimuli mit erhöhtem $L_{A,eq}$ bewertet: Eine Pegelerhöhung um 4 dB(A) führte zu einer mittleren Erhöhung des Lästigkeitsurteils um eine Kategorie auf der 9-stufigen Skala. Außerdem zeigten nicht-akustische Faktoren, wie „Lärmempfindlichkeit“ und „Häufigkeit der Nutzung des öffentlichen Schienenverkehrs“ einen Zusammenhang mit den Bewertungen der Lästigkeit.

Die vorliegende Studie zeigt erwartungsgemäß, dass die Schalldruckpegel von Güterzugdurchfahrten gesenkt werden müssen, um eine Entlastung der AnwohnerInnen zu erzielen.

Durch eine bestimmte Waggonreihung ist kaum eine relevante Reduktion der Lästigkeit zu erwarten. Vielmehr sollten alle Waggons auf leisere Bremssysteme umgerüstet werden. Um weitere Auswirkungen von Güterzuggeräuschen, z.B. bezüglich einer erhöhten Anzahl an Einzelzügen mit kürzeren zeitlichen Abständen näher zu untersuchen, müssen weitere Studien mit erhöhter externer Validität erfolgen.

Literaturverzeichnis

- [1] Europäische Kommission: Transeuropäisches Verkehrsnetz. TEN-V ; vorrangige Achsen und Projekte 2005. Ms. abgeschl. am 28. Juli 2005. Luxemburg: Amt für Amtliche Veröff. der Europ. Gemeinschaften, 2005
- [2] Bundesamt für Verkehr BAV: Die Neue Eisenbahn-Alpentransversale (NEAT), 2019
- [3] Hecht, M., Sohr, S.: Oberbausimulationstool Ost, Simulationsrechnung zur Gleislärminderung. In: Lutzenberger, S., Müller, G., Eichenlaub, C., Tielkes, T. (Hg.): Bahnakustik. Infrastruktur, Fahrzeuge, Betrieb. Bahnakustik. Planegg München, Müller-BBM Rail Technologies GmbH, 37–46, 2018
- [4] Mitusch, K., Gipp, C.: Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms. Berlin (Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, UBA-FB-002409), 2016
- [5] Bundesamt für Justiz: Gesetz zum Verbot des Betriebs lauter Güterwagen. Schienenlärmschutzgesetz – SchlärmschG, 07/2017, 2017
- [6] Otte, K., Jaecker-Cüppers, M.: Pilot- und Innovationsprogramm "Leiser Güterverkehr". Abschlussbericht der Vorsitzenden der Arbeitsgruppe 3 – Wagenverfolgung und Trassenpreisgestaltung, 2011
- [7] Höger, R., Matthies, E.: Physikalische versus psychologische Reizintegration; Der Mittelungspegel aus wahrnehmungspsychologischer Sicht. In: Zeitschrift für Lärmbekämpfung (35), 163–167, 1988
- [8] Susini, P., McAdams, S., Smith, B. K.: Global and Continuous Loudness Estimation of Time-Varying Levels. Acta Acustica united with Acustica (88), 536–548, 2002
- [9] Susini, P., McAdams, S., Smith, B. K. (Hg.): Loudness asymmetries for tones with increasing and decreasing levels. Proceedings of ICAD 05-Eleventh Meeting of the International Conference on Auditory Display. Limerick, Juli 06-09, 2005
- [10] Umweltbundesamt: Lärmbelästigung in Deutschland. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/laermwirkung/laermbelaestigung>, zuletzt aktualisiert am 18.06.2019, 2019
- [11] WHO: Environmental noise guidelines for the European Region. Copenhagen, Denmark: World Health Organization, Regional Office for Europe, 2018
- [12] Guski, R.: Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. In: Noise & Health 1 (3), 45–56, 1999