Erhöhte Schallemission im Gleisbogen

Ursachen und Berücksichtigung in Normen

DI **Michael Ostermann**, Technische Universität Wien – Institut für Verkehrswissenschaften – Forschungsbereich für Eisenbahnwesen, Seilbahnen und Verkehrswirtschaft

Kurzfassung

Die Eisenbahn gilt als fester Bestandteil in einem zukünftigen CO_2-neutralen Transport von Menschen und Gütern. Dem Ausbau des Schienennetzes steht eine erhöhte Lärmsensibilität der Bevölkerung gegenüber. Vor allem in Gleisbögen können hochfrequente Emissionsanteile mit hohen Schalldrücken und tonaler Charakteristik zu einem erhöhten Belästigungsempfinden führen. Ursachen für diese sind Spurkranzanlauf und Eigenfrequenzschwingungen der Radscheibe – ausgelöst durch laterale Haft-Gleit-Vorgänge der Radlauffläche am Schienenkopf. In normativen Berechnungsmodellen werden diese, wenn überhaupt, mit einem radienabhängigen Zuschlag zur Emission berücksichtigt. Dieser liegt auf Basis der aktuellen Forschung zwar auf der sicheren Seite, verursacht jedoch bei Zugskategorien mit hoher Grundschallemission eine Überschätzung der berechneten Schallemissionswerte. Es ist eine Abstufung nach verschiedenen Zugskategorien zu empfehlen.

Abstract

Railways are an integral part of a future CO_2-neutral transport of both people and goods. The extension of the railway network and the increase in noise awareness stand in contrast to each other. Especially high frequency noise emissions in railway curves could lead to a raised annoyance level due to severe sound pressure values in combination with tonality. Excitation mechanisms for those are flange contact and wheel vibrations in natural frequencies caused by lateral stick-slip motions of the wheel tread on the rail head. Elevated noise emission in curves are either considered with a heuristic approach or not included at all in standardized calculation models. Recent research showed that the heuristic approach is on the safe side, however, leads to an overestimation of calculated sound emission in curves for trains with a high basic noise level. Thus, an adjusted approach for different train categories is recommended.

Vortrag OSTERMANN

2. Wiener Dynamik Tage 2021

1. Einleitung

In Zeiten des Klimawandels und des generellen Ziels der Reduktion von Treibhausgasemissionen gilt die Eisenbahn sowohl im Güter- als auch im Personenverkehr als zukunftsträchtiges Verkehrsmittel. Deshalb werden in den Ausbau des Schienennetzes in ganz Europa Milliarden an Euros investiert, um eine leistungsfähige Infrastruktur zur Erfüllung des zukünftigen Verkehrsbedarfs zu schaffen. Demgegenüber werden Menschen immer sensibler auf Lärm und die Grenzwerte für zulässige Lärmimmissionen werden tendenziell strenger. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) beschäftigt sich seit Jahrzehnten mit den Auswirkungen von Lärm auf die Gesundheit des Menschen. Im letzten Bericht wird Eisenbahnlärm vor allem mit Schlafstörungen und Lästigkeit in Verbindung gebracht [1]. Mit den darin vorgeschlagenen Grenzwerten und allgemein den immer strengeren Richtlinien kann Lärm ein limitierender Faktor im Eisenbahnbetrieb sein beziehungsweise werden. Um dies zu verhindern, fallen speziell bei Neubaustrecken hohe Errichtungs- und Erhaltungskosten für Lärmschutzmaßnahmen an. Speziell in engen Gleisbögen treten regelmäßig zusätzliche Geräuschanteile auf, welche aufgrund ihres teilweise tonalen Charakters eine erhöhte Belästigung verursachen und meist die abgestrahlte Schallemission signifikant erhöhen [2]. Die gegenständliche Publikation steht vor allem im Fokus der letztgenannten Thematik und beinhaltet neben einer genaueren Beschreibung auch Ergebnisse von zwei abgeschlossenen Forschungsprojekten. Zusätzlich wird auf aktuelle Gesetze und Normen Bezug genommen. Die gesamte Beschreibung bezieht sich ausschließlich auf Luftschallemissionen.

2. Anteile der Schallemission

Grundsätzlich können drei Hauptkategorien der Schallemissionsanteile unterschieden werden [3]:

- Antriebsgeräusche
- Rollgeräusche
- Aerodynamische Geräusche

Welcher Anteil den emittierten Schalldruck dominiert, ist geschwindigkeitsabhängig. Die erste Kategorie stellt bei geringen Geschwindigkeiten den Hauptanteil dar, während das Rollgeräusch über einen großen Bereich der im heutigen Betrieb üblichen Geschwindigkeiten – von etwa 40 km/h bis 200 km/h [3] – dominiert. Aerodynamische Geräusche sind im Hochgeschwindigkeitsbereich bestimmend. Deshalb kommt der Reduktion des Rollgeräuschs

üblicherweise die größte Bedeutung hinzu. Die Erzeugung begründet sich in Oszillationen der Vertikalkraft des Rades auf der Schiene durch die Interaktion der Rauheit der Lauffläche des Rades und der Rauheit des Fahrspiegels der Schiene. Dieser Mechanismus regt das Rad, die Schiene und alle damit verbundenen Komponenten zu Schwingungen an, welche die Schallabstrahlung verursachen. [4]

Zusätzlich zu den genannten Geräuschen, treten zusätzliche Anteile wie zum Beispiel von Warnsignalen, Schlaggeräusche (z.B. bei Weichen und Schienenstößen) und Kurvengeräusche auf. Für letztere sind drei grundsätzliche Mechanismen unterscheidbar [5]:

- Möglichkeit von mehreren Kontaktpunkten zwischen Rad und Schiene
- Erhöhte Schienenrauheit in Gleisbögen
- Hochfrequente Geräuschanteile

Während die ersten beiden für ein erhöhtes Basisrollgeräusch im Bogen verantwortlich sind, stellt das letztere ein Phänomen dar, welches zu extrem hohen Spitzenpegeln und in Kombination mit der teilweise tonalen Charakteristik für Menschen zu hoher Belästigung führen kann. [2]

3. Hochfrequente Schallemissionen in Gleisbögen

Hochfrequente Emissionsanteile können in Kurvenkreischen und Kurvenquietschen unterkategorisiert werden [6]. Kurvenkreischen bezeichnet ein hochfrequentes Geräusch mit breitbandigem, intermittierendem Charakter, welches mit Spurkranzanlauf in Verbindung gebracht wird. Zusätzlich treten im Gegensatz zu Kurvenquietschen tendenziell höhere Fundamentalfrequenzen und niedrigere Schalldruckwerte auf. Bei Kurvenquietschen handelt es sich um ein Geräusch im mittleren bis hohen Frequenzbereich mit tonaler Charakteristik und sehr hohen Schalldruckwerten (im Bereich von 130 dB Schalldruckpegel bei 0,9 m Entfernung [7]). Die Ursache sind kontinuierliche Haft-Gleit-Vorgänge der Radlauffläche am Fahrspiegel der Schiene in lateraler Richtung, welche das Rad zu Schwingungen in dessen Eigenfrequenzen anregen. [2]

Grundsätzlich kann ein Radsatz mit konischem Profil einen Bogen mit einer reinen Rollbewegung durchlaufen, sofern eine Radialstellung vorherrscht und über die Rollradiendifferenz die Unterschiede im zurückgelegten Weg zwischen bogeninnerem und bogenäußerem Rad ausgeglichen werden. Im Falle eines Drehgestells oder eines zweiachsigen Wagens werden zwei oder mehr Radsätze mit einem steifen Rahmen verbunden, sodass die radiale Einstellbarkeit im Bogen limitiert ist [8]. Dies führt vor allem beim führenden Radsatz zu einem hohen Angriffswinkel (Winkel zwischen Radialstellung und

aktueller Stellung des Radsatzes), welcher einerseits verursacht, dass der Spurkranz des vorderen bogenäußeren Rades in Kontakt mit der Schienenflanke kommt und andererseits, dass das bogeninnere Rad eine hohe laterale Reibungskraftkomponente aufweist. Somit tritt in Folge des Spurkranzkontakts Kurvenkreischen eher am vorlaufenden bogenäußeren Rad auf, während von Kurvenquietschen am ehesten das vordere bogeninnere Rad betroffen ist. Bei Kombination von hohen Geschwindigkeiten und großen Radien kann auch das nachlaufende bogenäußere Rad in Spurkranzkontakt kommen oder in engen Bögen bei geringen Geschwindigkeiten das nachlaufende bogeninnere Rad. [2]

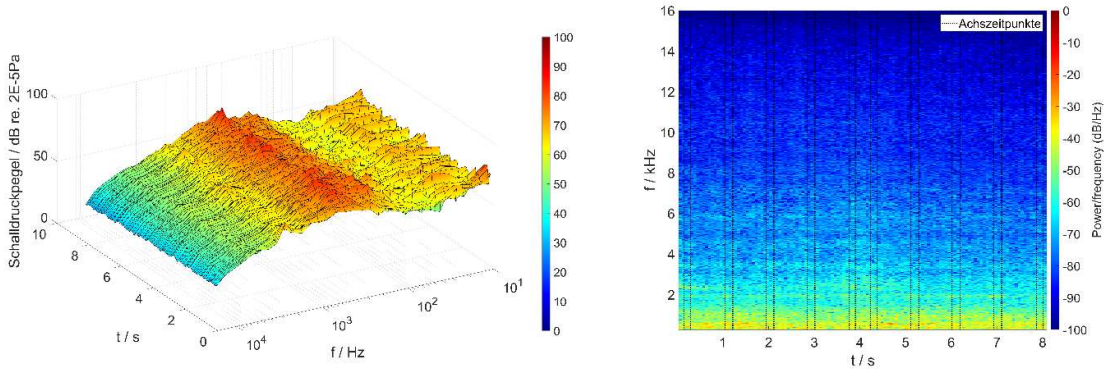

Abbildung 3-1: Terzpegelzeitverlauf (links) und Spektrogramm (rechts) einer Zugsvorbeifahrt ohne hochfrequente Emissionsanteile

In zwei vom ehemaligen Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie und von der ÖBB Infrastruktur AG im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft geförderten Forschungsprojekten (Ergebnisberichte [6] und [9]) wurde mittels stationärer Schallmessungen an fünf verschiedenen Bögen die Charakteristik von Kurvenquietschen und Kurvenkreischen untersucht. Dabei wurde aufgrund der hohen Messdatenanzahl ein Erkennungsalgorithmus empirisch formuliert, mit dem es möglich ist in Schallmessungen von Zugsvorbeifahrten hochfrequente Anteile anhand von kurzzeitgemittelten Terzpegeln zu detektieren und zusätzlich in Kurvenquietschen und Kurvenkreischen zu unterscheiden. Eine Zugsvorbeifahrt ohne erhöhte hochfrequente Anteile weist einen starken Abfall der Terzpegel im oberen Frequenzbereich auf (siehe Abbildung 3-1). Kurvenkreischen ist charakterisiert durch das Fehlen dieses Abfalls und eine konstante breitbandige Erhöhung in den oberen Terzbereichen (Abbildung 3-2 oben), während sich Kurvenquietschen durch die Erhöhung von einem oder zwei benachbarten Terzbändern

(sofern die angeregte Eigenfrequenz des Rades in der Nähe der Terzbandgrenze liegt) auszeichnet (dargestellt in Abbildung 3-2 unten). Zusätzlich sind der auftretende Doppler-Effekt einer sich bewegende Schallquelle (Rad) in Bezug auf den stationären Messpunkt und Oberwellen zu erkennen. Die Frequenzbereiche beider Mechanismen überschneiden sich – Thompson [2] gibt für Kurvenquietschen einen Bereich zwischen 250 Hz und 5000 Hz an, während Vincent et al. [10] mit 400 Hz bis 10000 Hz einen deutlich weiteren Bereich angeben. In den Forschungsprojekten wurde ein Auswertungsbereich für Kurvenquietschen zwischen 800 Hz und 6300 Hz für Kurvenquietschen und für Kurvenkreischen zwischen 8000 Hz und 12500 Hz gewählt. Die Auswertungen und empirisch festgelegten Grenzwerte beziehen sich auf den Standardmesspunkt nach EN ISO 3095 [11] – 7,5 m von der Gleisachse und 1,2 m über Schienenoberkante.

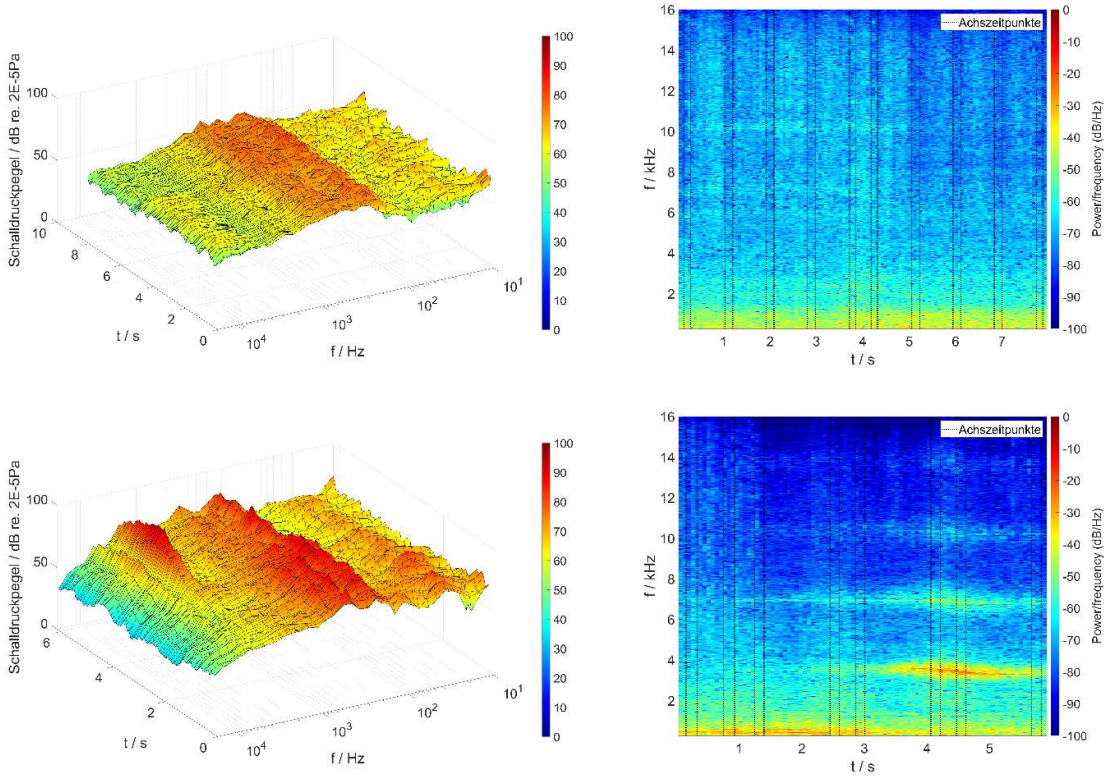

Abbildung 3-2: Terzpegelzeitverlauf (links) und Spektrogramm (rechts) einer Zugsvorbeifahrt mit Kurvenkreischen (oben) und Kurvenquietschen (unten)

4. Gesetzliche und normative Grundlagen

Die Richtlinie 2002/49/EG [12] stellt die Basis für die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm im europäischen Raum dar. Sie wurde in Österreich durch das Bundes-Umgebungslärmschutzgesetz (Bundes-LärmG [13]) und die Bundes-Umgebungslärmschutzverordnung (Bundes-LärmV [14]) umgesetzt. Ersteres schreibt unter anderem eine strategische Lärmkartierung von Haupteisenbahnstrecken und Eisenbahn- und Straßenbahnstrecken in Ballungsräumen im Intervall von fünf Jahren beginnend mit 2012 vor. Haupteisenbahnstrecken sind ab Zugzahlen von über 30000 pro Kalenderjahr als solche klassifiziert und Ballungsräume ab einer Bevölkerungsdichte von 1000 Einwohnern pro Quadratkilometer und insgesamt mindestens 100000 Einwohnern definiert. Um eine einheitliche europäische Basis für die Lärmkartierung zu erreichen, wurde in der Richtlinie (EU) 2015/996 [15] ein Berechnungsmodell für Schallemissions- und Ausbreitungsrechnung festgeschrieben. Dieses ist von den Mitgliedsstaaten für die Lärmkartierung ab 2022 verpflichtend anzuwenden.

Aufbauend auf dem Modell der Richtlinie (EU) 2015/996 [15] wurden in Österreich die RVE 04.01.02 [16] (Schallemissionsmodell) und die ÖAL-Richtlinie Nr. 28 [17] (Ausbreitungsrechnung) ausgearbeitet. Eine erhöhtes Rollgeräusch in Gleisbögen kann mit einer erhöhten Schienenrauheit berücksichtigt werden. In Bogenabschnitten ist zur Berücksichtigung von Kurvenquietschen und Kurvenkreischen ein radienabhängiger Einzahlwert in dB zur Emission zu addieren. Für Radien unter 300 m beträgt dieser 8 dB und für Radien unter 500 m 5 dB. Basierend auf den durchgeführten Forschungsprojekten ist dieser vereinfachte Ansatz verbesserbar. Es zeigte sich eine deutliche Abhängigkeit zu verschiedenen Zugtypen mit unterschiedlichen Rad- und Drehgestelltypen in Bezug auf die Auftrittshäufigkeit von hochfrequenten Emissionsanteilen. Deshalb ist eine Abstufung in dieser Hinsicht zu empfehlen. Extrembeispiele zeigen, dass selbst bei einer theoretischen Auftrittshäufigkeit von 100 % Quietschen oder Kreischen bestimmte Zugskategorien deutlich unter den angesetzten Zuschlagswerten liegen. Dies betrifft vor allem Güterzüge, die noch Wagen mit Grauguss-Klotzbremsen beinhalten, aber auch Personenzüge mit einer hohen Basisemission.

International wird in Berechnungsmodellen eine erhöhte Emission im Bogen selten berücksichtigt. Im Schweizer Modell SonRAIL [18] wird die Erhöhung der Schallemission durch eine äquivalente Schienenrauheit beschrieben. Ein genereller Zuschlagswert für Erhöhungen im hochfrequenten Bereich ist nicht inkludiert, aber bei Bögen mit häufig auftretendem Kurvenkreischen kann dies zusätzlich berücksichtigt werden. Im deutschen Schall 03-

Modell [19] werden Zuschlagsfaktoren von 8 dB (unter 300 m Radius) und 3 dB (unter 500 m Radius) definiert. Zusätzlich ist eine Verringerung des Faktors um 3 dB möglich, wenn dauerhafte, stationäre Maßnahmen gegen Kurvenquietschen bzw. Kurvenkreischen im Bogen situiert werden (z.B. Schienenkopfkonditionieranlagen).

5. Zusammenfassung

Die Schallemission von Eisenbahnfahrzeugen setzt sich grundsätzlich aus den Anteilen Antriebs-, Roll- und Aerodynamikgeräusch zusammen. Im niedrigen Geschwindigkeitsbereich dominieren Traktionsgeräusche (bis etwa 40 km/h) und im Hochgeschwindigkeitsbereich (> 200 km/h) stellen aerodynamische Geräusche den Hauptanteil dar. Bei der Bogenfahrt sorgt einerseits eine tendenziell erhöhte Schienenrauheit oder Mehrpunktkontakt zwischen Rad und Schiene für ein erhöhtes Rollgeräusch und andererseits können hochfrequente Quietsch- und Kreischgeräusche auftreten, welche hohe Schalldrücke verursachen und aufgrund des teilweise tonalen Charakters für eine erhöhte Belästigungswirkung sorgen können. Die Geräusche werden durch Spurkranzanlauf und Eigenfrequenzschwingungen der Radscheibe – ausgelöst durch laterale Haft-Gleitvorgänge – verursacht. Eine mögliche erhöhte Schallemission in Gleisbögen wird in internationalen Normen und Richtlinien selten berücksichtigt. Im Berechnungsmodell der Richtlinie (EU) 2015/996 [15] wird ein Einzahlwert, welcher 8 dB für Radien unter 300 m und 5 dB für Radien unter 500 m beträgt, zur berechneten Schallemission addiert. Da sich in Forschungsprojekten eine starke Abhängigkeit zu verschiedenen Rad- und Drehgestelltypen gezeigt hat und vor allem Zuggarnituren mit hohen Grundemissionswerten (z.B. Güterzüge mit Grauguss-Klotzbremsen) keine oder eine deutlich geringere Erhöhung der Gesamtemission durch das Auftreten von Kurvenquietschen oder Kurvenkreischen zeigen, ist eine Abstufung bezogen auf die jeweilige Zugskategorie zu empfehlen.

Literaturangaben:

[1] World Health Organization Regional Office for Europe, "Environmental Noise Guidelines for the European Region", Copenhagen, 2018.

[2] David Thompson, *Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control*, 1. Auflage, Oxford, Vereinigtes Königreich,Elsevier Ltd., 2009, ISBN 978-0-08-045147-3.

[3] Norbert Ostermann (Hrg.), *Anwenderhandbuch – Systemische Bahnlärmbekämpfung*, Hamburg, Deutschland, DVV Media Group GmbH I Eurailpress, 2013, ISBN 978-3-7771-0464-5

[4] Ivan Zenzerovic, "Engineering Model for Curve Squeal Formulated in the Time Domain", Doktorarbeit, Göteborg, Schweden, Chalmers University of Technology, 2014.

[5] B. Stallaert und P. Vanhonacker: "Rolling noise and corrugation in curves: modelling and solutions", in *Conference Proceedings of 12th International Workshop on Railway Noise (IWRN12)*, Terrigal, Australien, September 2016

[6] Thomas Maly, Norbert Ostermann, Florian Biebl, Heinz Hoislbauer, Manuel Gunacker, Vojislav Djurjev, "Bewertung des akustischen Einflusses von Gleisbögen für die Erstellung von Lärmkarten BEGEL", Ergebnisbericht zu dem im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung 2012 finanzierten Forschungsprojekts (FFG-Nr. 840495), 2015.

[7] M.J. Rudd, “Wheel/Rail Noise—Part II: Wheel Squeal”, in *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 46, 1976, S. 381-394, DOI 10.1016/0022-460X(76)90862-2

[8] A. H. Wickens, *Fundamentals of Rail Vehicle Dynamics: Guidance and Stability*, Lisse, Niederlande, Swets & Zeitlinger Publishers, 2003, ISBN 978-90-265-1946-8

[9] Thomas Maly, Michael Ostermann, Norbert Ostermann, Florian Biebl, Manuel Gunacker, "Einflüsse auf Schallemissionen in Bögen ESB", Ergebnisbericht zu dem im Rahmen der Verkehrsinfrastrukturforschung 2014 finanzierten Forschungsprojekts (FFG-Nr. 850558), 2019.

[10] N. Vincent, J. R. Koch, H. Chollet, J. Y. Guerder, "Curve Squeal of Urban Rolling Stock—Part 1: State of the Art and Field Measurements", in *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 293, 2006, S. 691-700, DOI 10.1016/j.jsv.2005.12.008

[11] EN ISO 3095: "Akustik – Bahnanwendungen – Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen", Deutsche Fassung EN ISO 3095:2013.

[12] Europäische Kommission, "Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm", in *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L189*, S. 12-25, 2002.

[13] "60. Bundesgesetz über die Erfassung von Umgebungslärm und über die Planung von Lärmminderungsmaßnahmen (Bundes-Umgebungslärmschutzgesetz – Bundes-LärmG)", in *Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich Teil 1*, S. 9, 2005.

[14] "144. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Methoden und technischen Spezifikationen für die Erhebung des Umgebungslärms (Bundes-Umgebungslärmschutzverordnung – Bundes-LärmV)", in *Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich Teil 2*, S. 7, 2006.

[15] "Richtlinie(EU) 2015/996 der Kommission zur Festlegung gemeinsamer Lärmbewertrungsmethoden gemäß der Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates", 19. Mai 2015.

[16] Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, RVE 04.01.02: "Berechnung von Schienenverkehrslärmemissionen", 2019.

[17] Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung, ÖAL-Richtline Nr. 28: "Berechnung der Schallausbreitung im Freien und Zuweisung von Lärmpegeln und Bewohnern zu Gebäuden", 2019.

[18] Drangu Sehu, Jean Marc Wunderli, Kurt Heutschi, Thomas Thron, Markus Hecht, Andre Rohrbeck, Thomas Ledermann, "sonRail – Projektdokumentation", 2010, Online: https://www.empa.ch/documents/56129/160826/sonRail-projektdokumentation.pdf/f036553f-80c8-4b87-bc74-ead535ea29ab (letzter Zugriff 10.08.2020).

[19] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, "Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, Verkehrslärmschutzverordnung, Anlage 2 (zu §4), Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03)", 2014.

Autorenkontakt: michael.ostermann@tuwien.ac.at