

Analyse-Tool zur Quantifizierung der Schallminderung durch die Anwendung verschiedener Maßnahmen im Schienenverkehr

Sören Franz Thilo Hanisch, Luca Pablo Thomma, Markus Hecht

TU Berlin, Fachgebiet Schienenfahrzeuge, Salzufer 17-19, 10587 Berlin, E-Mail: hanisch@tu-berlin.de

Einleitung

Niedrige Schallimmissionen sind ein wichtiges Kriterium in Hinblick auf die Akzeptanz des Schienenverkehrs. In den vergangenen Jahren wurde mit der Umrüstung der Bremssysteme der Güterwagen sowie der fortschreitenden Lärmsanierung der Bestandsstrecken ein wichtiger Beitrag für die Minderung der Schallimmissionen geleistet. Dennoch sind, insbesondere in Erwartung der Verkehrswende, weitere Minderungsmaßnahmen an Fahrzeugen und Fahrwegen erforderlich, um die Akzeptanz des Schienenverkehrs zu steigern. Aufgrund der gesunkenen Schallemissionen des Güterverkehrs rückt zunehmend auch der Personenverkehr in den Fokus, sodass sich für zukünftige Lärminderungsmaßnahmen drei wesentliche Anwendungspunkte ergeben: (1) Schieneninfrastruktur, (2) Güter- und Personenwagen sowie (3) Lokomotiven/Triebwagen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens des Umweltbundesamts (UBA) „Verkehrswende und Konzept für einen leisen Schienenverkehr bis 2030“ (Forschungs-kennziffer 3721 54 102 0) wird gemeinsam mit dem IGES Institut GmbH und Herrn Prof. Pache von der Universität Würzburg ein Konzept entwickelt, wie in Anbetracht der geplanten Verkehrswende ein leiser Schienenverkehr möglich ist. Unter anderem sollen folgende Fragestellungen bearbeitet werden:

- Ermittlung des Status-quo der vom Schienenverkehr ausgehenden Lärmbelastung mit dem Bezugsjahr 2021,
- Aufstellung von Prognosen der zu erwartenden Lärmbelastung für das Jahr 2030 für verschiedene Szenarien (z. B. in Hinblick auf Verkehrsentwicklung, Verbreitung von Lärminderungsmaßnahmen),
- Bewertung von technischen und betrieblichen Lärminderungsmaßnahmen hinsichtlich Lärminderungspotential und Wirtschaftlichkeit.

Diese Untersuchungen werden auf Basis der Lärmkartierung und der dazugehörigen Berechnungsvorschrift durchgeführt.

Zu diesem Zweck ist ein Analyse-Tool im Aufbau, mit dem die Schallminderung durch die Anwendung unterschiedlicher Maßnahmen(-pakete) quantifiziert werden kann. Die Berechnungen basieren auf den Verfahren der CNOSSOS-EU [1] und der nationalen Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (BUB) [2]. Hierbei wird auf jene Maßnahmen eingegangen, die in diesen Verfahren berücksichtigt sind, aber auch auf solche, die derzeit noch nicht Teil dieser Verfahren sind. Anhand dessen lassen sich erste Erkenntnisse ableiten, welche Maßnahmen besonders wirksam in Hinblick auf eine Lärminderung für die Anwohnenden sein können.

Einführung in die Lärmkartierung

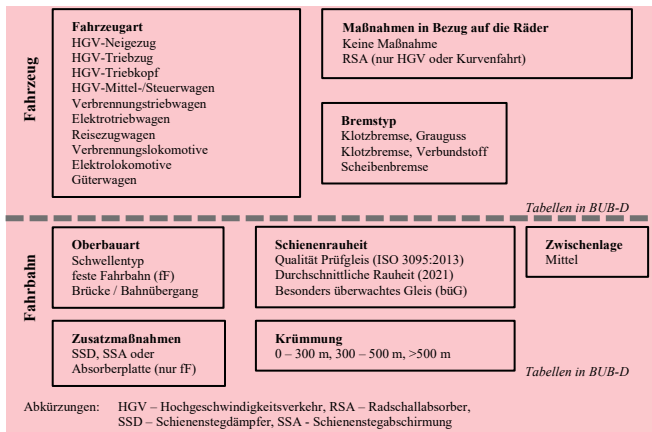
Die europäische Umgebungslärmrichtlinie (Richtlinie 2002/49/EG) [3] regelt u. a. die Durchführung der Lärmkartierung. Diese wurde 2005 mit dem § 47 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) [4] und der 34. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) [5] in nationales Recht überführt. Für die Schienenwege von Eisenbahnen des Bundes ist das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) zuständig. Die nächste Runde der Lärmkartierung wird voraussichtlich im Juni 2022 veröffentlicht und erfolgt mit einer neuen Berechnungsmethode [6].

Diese Berechnungsmethode ist seitens der Europäischen Union (EU) mit der Richtlinie (EU) 2015/996 [7] festgeschrieben, welche auf der Methode CNOSSOS-EU [1] beruht. Im vergangenen Jahr erfolgte eine Aktualisierung durch die Delegierte Richtlinie (EU) 2021/1226 [8]. In nationales Recht wurde diese mit der BUB, auch CNOSSOS-DE bezeichnet, umgesetzt (vgl. [9]). In dieser werden nationale Eingangsdaten der Berechnungsmethode definiert. Neben der BUB existiert in Deutschland mit der Schall 03 [10] eine weitere Berechnungsmethode, anhand derer Schallimmissionen, die vom Schienenverkehr ausgehen, bestimmt werden können. Während die BUB für die Lärmaktionsplanung maßgeblich ist, wird die Schall 03 für die Lärmsanierung und -vorsorge angewendet. Ein Harmonisierungsprojekt von Lärmsanierungsprogramm und Lärmaktionsplanung, geführt durch das EBA, kommt hierbei zu dem Ergebnis, dass „die gefundenen Emissionsunterschiede zwischen Schall 03 und CNOSSOS-DE [...] gering [sind]“ [11, S. 13].

Vorstellung der Berechnungsmethode

Es gibt verschiedene Parameter, die in die Berechnungsmethode gemäß der BUB Eingang finden. Eine Übersicht liefert die Abbildung 1. Neben Fahrzeugart und Bremssystem gehen auch in begrenztem Umfang Lärminderungsmaßnahmen am Fahrzeug in die Rechnung mit ein. Eine Unterscheidung zwischen LL- und K-Bremssohlen wird nicht getroffen. Auf Seiten der Fahrbahn spielen die Oberbauart, die Schienenrauheit, der Krümmungsradius und verschiedene Lärminderungsmaßnahmen eine tragende Rolle. Die Zwischenlage ist mit einer mittleren Zwischenlagensteifigkeit festgelegt. Hinzu kommen betriebliche Eingangsparameter wie Fahrgeschwindigkeit und Anzahl der Fahrzeuge je Fahrzeugart.

Das Ergebnis der Emissionsrechnung ist ein längenbezogener Schallleistungspegel der Ersatzschallquellen je Fahrzeugart für einen Referenzzeitraum. Die Ersatzschallquellen sind in 0,5 m (Quelle A) und 4 m (Quelle B) über Schienenoberkante (SOK) jeweils in Gleismitte definiert.



Abkürzungen: HG – Hochgeschwindigkeitsverkehr, RSA – Radschallabsorber, SSD – Schienenstegdämpfer, SSA – Schienenstegabschirmung

Abbildung 1: Fahrzeug- und fahrwegeitige Eingangsdaten in die BUB.

Die Quelle A bildet hierbei das Rollgeräusch, das Brückengeräusch, das Antriebsgeräusch und das aerodynamische Geräusch (ab 200 km/h) ab. Die Quelle B weist nur Anteile der beiden letztgenannten Geräuscharten auf. Das Ergebnis der Emissionsrechnung ist Eingang in die Ausbreitungsrechnung an deren Ende der A-bewertete Langzeit-Dauerschalldruckpegel ermittelt wird.

An dieser Stelle sei noch auf das Rollgeräuschmodell eingegangen: Das Prinzip ist in der Abbildung 2 dargestellt. Es gibt verschiedene Eingangsparameter, die durch die Eigenschaften der Fahrzeuge (grau) und der Fahrbahn (blau) bestimmt werden und jeweils als Tabellen in der BUB definiert sind.



Abbildung 2: Rollgeräuschmodell der BUB.

Vorstellung des Analyse-Tools

Die Berechnungsmethode wurde in ein Analyse-Tool eingebettet, welches aus einer Benutzeroberfläche besteht und in der Abbildung 3 gezeigt ist. Hier können alle wesentlichen Eingangsparameter festgelegt werden. Die Fahrzeugarten können mit den jeweiligen Charakteristiken unten rechts der Tabelle oben links hinzugefügt werden. Des Weiteren können die Eigenschaften der Fahrbahn sowie der Immissionsort definiert werden. Derzeitig ist ein eingleisiger Streckenabschnitt ohne Hindernisse auf dem Ausbreitungsweg realisiert. Das Tool ist erweiterbar um Konfigurationen, die nicht Bestandteil der Eingangsdaten sind (siehe folgenden Abschnitt). Eine Validierung des Schallleistungspegel wurde anhand von Testaufgaben des UBA [12] durchgeführt.

Wesentlicher Vorteil der hauseigenen Lösung gegenüber kommerziell verfügbaren Produkten liegt darin, dass alle

Berechnungen und Darstellungen mit demselben Tool durchgeführt werden können und zudem der Einfluss einzelner Parameter für jeden Berechnungsschritt untersucht werden kann. Des Weiteren ist im Rahmen des Forschungsvorhabens keine großflächige Ausbreitungsrechnung vorgesehen.

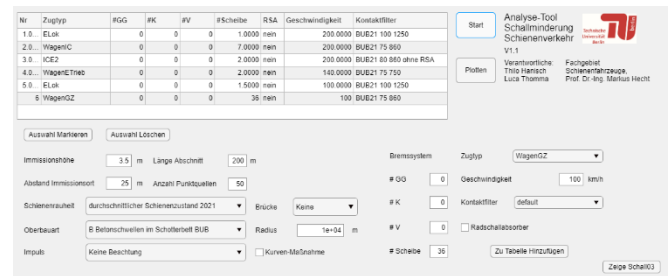


Abbildung 3: Benutzeroberfläche des Analyse-Tools.

Auswertung an einem beispielhaften Streckenabschnitt

Der beispielhafte Streckenabschnitt wurde mit dem zweigleisigen Streckenabschnitt (Hannover –) Wunstorf – Minden (Deutsche Bahn Streckennummer 1700) so gewählt, dass dort Mischverkehr (Nah- und Fernpersonenverkehr sowie Güterverkehr) und ein hohes Verkehrsaufkommen vorzufinden sind. Anhand von Fahrplandaten und den Daten der Lärm-Monitoring-Station des EBA [13] in Stadthagen konnte das Verkehrsaufkommen und die Art des Verkehrs abgeschätzt werden. Es wurden folgende durchschnittliche Zugzahlen pro Stunde am Tag abgeschätzt:

- 1 Intercity (IC): Elektrolok (E-Lok) und 7 Reisezugwagen mit 200 km/h,
- 1 Intercity-Express (ICE) Typ 2 in Doppeltraktion mit 200 km/h (mit RSA),
- 2 Elektro(E-)Triebwagen mit 140 km/h,
- 1,5 Güterzüge (GZ) jeweils bestehend aus einer Elektrolok und 24 Güterwagen mit Verbundstoff-Bremssohlen mit 100 km/h.

Als Immissionsort wurde 25 m von Gleismitte und 3,5 m über SOK gewählt. Der Oberbau besteht aus einem Schottergleis mit Betonschwellen und einer durchschnittlichen Schienenrauheit.

In der Abbildung 4 sind die Terzbänder des A-bewerteten Langzeit-Dauerschallpegels als Ergebnis der Ausbreitungsrechnung dargestellt, jeweils aufgeschlüsselt nach Fahrzeugart und Geschwindigkeit sowie Quellhöhe. Die Beiträge der Quellhöhe A bestimmen aufgrund des dominanten Rollgeräuschs den Gesamtpegel. Die Anteile der Dachquellen (Quelle B) sind im Vergleich klein und haben keinen nennenswerten Einfluss auf den Gesamtpegel. Des Weiteren wird deutlich, dass die Güterwagen und der ICE 2 (auch aufgrund der hohen Achszahl) die größten Beiträge zum Gesamtpegel liefern. Dies zeigt sich ebenfalls bei Betrachtung der Summenpegel über alle Terzbänder (siehe Abbildung 5). Anhand dessen würde sich ableiten, dass Maßnahmen, die direkt bei den Güterwagen und/oder den ICE 2 ansetzen, zu einer Reduktion des Gesamtpegels führen würden.

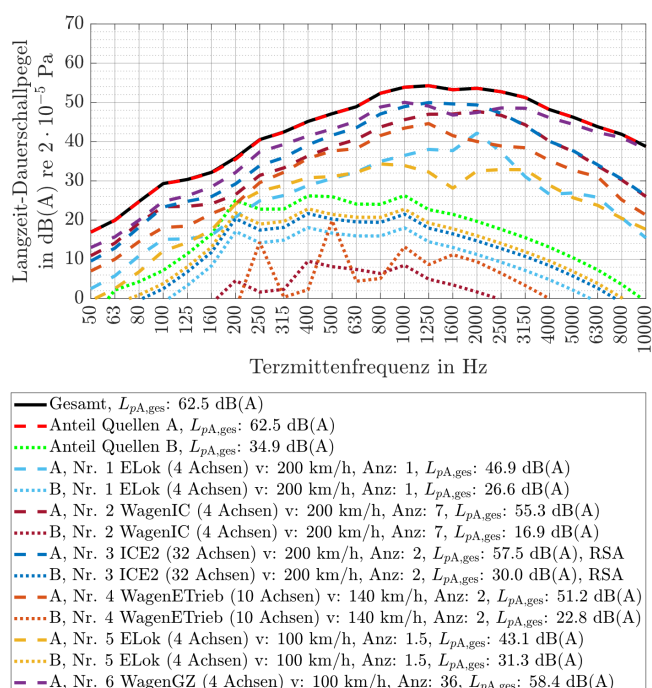


Abbildung 4: A-bewerteter Langzeit-Dauerschallpegel für das gewählte Szenario. Angabe des Summenpegels $L_{pA,ges}$ im jeweiligen Legendeneintrag.

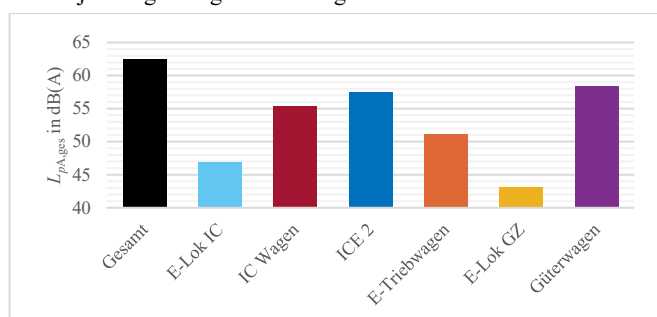


Abbildung 5: A-bewerteter Langzeit-Summendauerschallpegel $L_{pA,ges}$ für das gewählte Szenario. Summe über Anteile beider Quellhöhen A und B.

Mithilfe dieses beispielhaften Basisszenarios wurden nun verschiedene Lärminderungsmaßnahmen untersucht:

1. Das besonders überwachte Gleis (büG),
2. Schienenstegdämpfer (SSD),
3. Harte Zwischenlagen,
4. Güterwagen mit Scheibenbremsen,
5. Güterwagen mit Scheibenbremsen und kleineren Rädern (\varnothing 750 mm),
6. Güterwagen mit Scheibenbremsen und Radschallabsorber (RSA).

Während die Maßnahmen 1, 2 und 4 direkt mit den Eingangsdaten der BUB implementierbar waren, musste für die restlichen Maßnahmen von der BUB abgewichen werden. Die harten Zwischenlagen (Maßnahme 3) wurden mit einem Datensatz für die Fahrbahntransferfunktion aus der Delegierten Richtlinie (EU) 2021/1226 [8] umgesetzt. Für die Güterwagen mit kleineren Rädern (Maßnahme 5) wurde der Kontaktfilter und die Fahrzeugübertragungsfunktion von Elektrotriebwagen (gleiche Radlast (75 kN), Raddurchmesser 750 mm) gewählt. Die Güterwagen mit RSA (Maßnahme 6)

wurden durch die Fahrzeugtransferfunktion für HGV-Fahrzeuge mit RSA abgebildet (gleiche Radlast und Raddurchmesser), welche über alle Terzbänder 5 dB-niedrige Werte als die gemeinsame Fahrzeugtransferfunktion der Güterwagen und der HGV-Fahrzeuge ohne RSA aufweist.

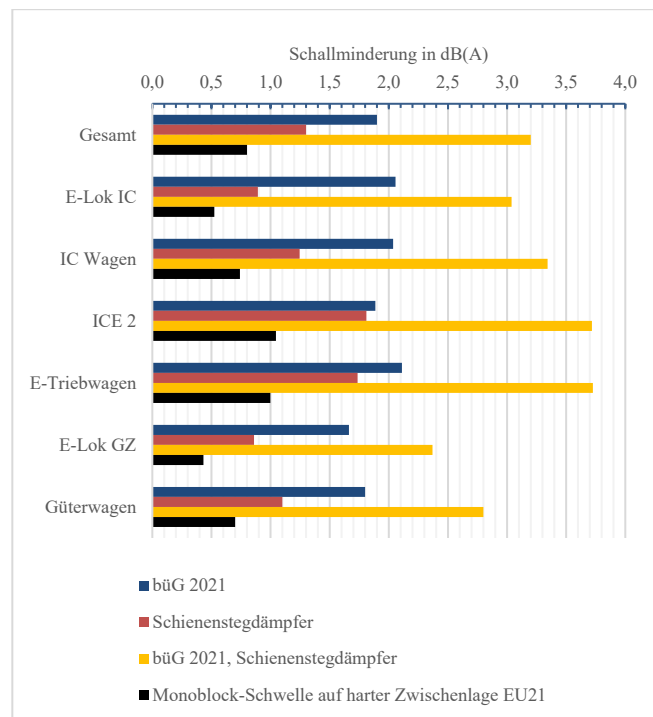


Abbildung 6: Schallminderung gegenüber dem Basisszenario für verschiedene infrastrukturseitige Lärminderungsmaßnahmen.

In der Abbildung 6 sind die Schallminderungen der Maßnahmen 1 bis 3 sowie die Kombination von BüG und SSD gegenüber dem Summenpegel des Basisszenarios aufgezeigt. Das büG führt über fast alle Fahrzeugarten und damit auch beim Gesamtpegel zu einer Reduktion um circa 2 dB(A). Der SSD wirkt je nach Fahrzeugart unterschiedlich stark zwischen 0,9 dB(A) bei den E-Loks und 1,8 dB(A) beim ICE 2. Bezogen auf den Gesamtpegel ergibt sich eine Reduktion von 1,3 dB(A). Werden büG und SSD kombiniert, so wird die größte Reduktion mit circa 3 dB(A) erhalten. Die harte Zwischenlage mindert den Schall um 0,8 dB(A) und weist ebenfalls eine stärkere Fahrzeugart-Abhängigkeit auf. Gemäß [11] sind die Schallminderungen der Maßnahmen 1 und 2 und deren Kombination auf Basis der BUB geringer als in der Schall 03. Eine Begründung wurde nicht genannt.

Die Schallminderung gegenüber dem Gesamtpegel sowie dem Schallpegel der Güterwagen durch die Maßnahmen an den Güterwagen sind in der Abbildung 7 gezeigt. Scheibenbremsen führen zu einer Reduktion um 0,8 dB(A) gegenüber den Verbundstoff-Bremssohlen. In der Konsequenz reduziert sich der Gesamtpegel des Streckenabschnitts um 0,3 dB(A). Werden zusätzlich kleinere Räder modelliert, so ergibt sich eine Minderung um 1,0 dB(A) für den Güterwagen-Anteil. Den größten Minderungseffekt bringt die Anwendung von Scheibenbremsen und RSA mit 3,3 dB(A) für den Anteil der Güterwagen. Hieraus ergibt sich allerdings nur ein um 1,0 dB(A) geringerer Gesamtpegel. Dies ist

bedingt durch die Existenz weiterer Fahrzeugarten mit einem wesentlichen Beitrag zum Gesamtpegel.

Die Schallminderung um nur 0,8 dB(A) beim Vergleich von Verbundstoff-Bremssohlen zu Scheibenbremsen erscheint in dem Modell zu gering abgebildet zu sein. Zumindest steht diese im Kontrast zu messtechnischen Untersuchungen an Lärm-Monitoring-Stationen in der Schweiz [14] und in Deutschland [15]. Hier wurden bei Güterwagen mit K-Sohle circa 1,5 dB(A) und bei Güterwagen mit LL-Sohle circa 4,5 dB(A) höhere Schalldruckpegel gegenüber Güterwagen mit Scheibenbremse ermittelt. Ursächlich könnten die vorgegebenen Radrauheiten sein, die für die Scheibenbremse höhere Werte zwischen 40 mm und 250 mm Wellenlänge als die Verbundstoff-Bremssohle aufweisen (vgl. auch [16, 17]).

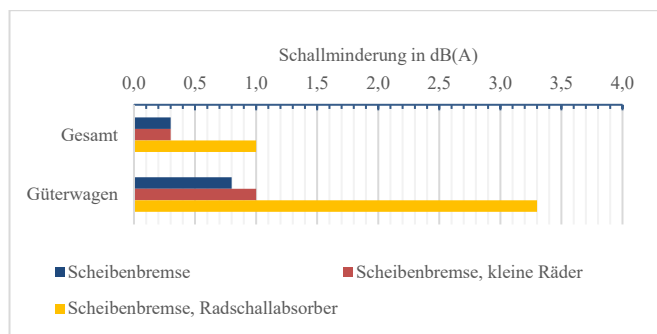


Abbildung 7: Schallminderung gegenüber dem Basisszenario für verschiedene Güterwagen-seitige Lärminderungsmaßnahmen.

Fazit

Das Analyse-Tool ist geeignet für die Quantifizierung der Lärminderung verschiedener Maßnahmen. Dies wurde an einem beispielhaften Streckenabschnitt demonstriert. Hier hat sich infrastrukturseitig die Kombination von besonders überwachtem Gleis und Schienenstegdämpfer hervorgetan. Auch die Anwendung von Scheibenbremsen und Radschallabsorber scheint lohnenswert. Allerdings hat sich gezeigt, dass die Eingangsdaten auf deren Plausibilität geprüft werden sollten, insbesondere in Hinblick auf die messtechnischen Untersuchungen, um eine realitätsnahe Modellierung zuzulassen. Dies gilt sowohl für infrastrukturseitige als auch fahrzeugseitige Maßnahmen.

Als nächste Schritte werden weitere bevorzugte technische Maßnahmen, die sich bei der Bearbeitung des Projekts ergeben, implementiert. Hier ist auch die Erweiterung des Tools auf Schallschutzwände vorgesehen. Es ist geplant, diese Maßnahmen für weitere beispielhafte Streckenabschnitte anzuwenden und in Hinblick auf deren Wirtschaftlichkeit zu bewerten.

Das Team der Projekt-Bearbeitenden bedankt sich beim Umweltbundesamt für die Förderung. Der Inhalt dieses Dokuments spiegelt nur die Ansicht der Autoren wider.

Literatur

- [1] Kephapoulos, S.; Paviotti, M.; Anfosso-Lédée, F.: Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU), EUR 25379 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012.
- [2] Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe) (BUB), Banz AT 05.10.2021 B4, 2021.
- [3] Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm: EU-Umgebungslärmrichtlinie, 2002.
- [4] Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG).
- [5] Verordnung über die Lärmkartierung (34. BImSchV).
- [6] EBA: Lärmkartierung, URL: https://www.eba.bund.de/DE/Themen/Laerm_a_n_Schienenwegen/Laermkartierung/laermkartierung_node.html.
- [7] Richtlinie (EU) 2015/996 der Kommission vom 19. Mai 2015 zur Festlegung gemeinsamer Lärmbewertungsmethoden gemäß der Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, 2015.
- [8] Delegierte Richtlinie (EU) 2021/1226 der Kommission vom 21. Dezember 2020 zur Änderung des Anhangs II der Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates hinsichtlich gemeinsamer Methoden zur Lärmbewertung zwecks Anpassung an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt, 2020.
- [9] Müller, J.: Nationale Umsetzung der harmonisierten Bewertungsmethode für die EU-Umgebungslärmrichtlinie, DAGA 2015, S. 684-687, 2015.
- [10] Schall 03: Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege, Anlage 2 der 16. BImSchV in Bundesgesetzblatt Jahrgang 2014 Teil I Nr. 61 (2014): Schall 03, 2014.
- [11] EBA (Hrsg.): Harmonisierung des Lärmsanierungsprogramms mit der Lärmaktionsplanung, 2021.
- [12] UBA (Hrsg.): Testaufgaben zur Ermittlung der Schall-Emissionen von Straße, Schiene, Industrie und der Berechnung der Schall-Ausbreitung (BUB), der Berechnung des Fluglärms (BUF) und der Belastetermittlung (BEB) gemäß Richtlinie (EU) 2015/996, Texte 73/2019, 2019.
- [13] EBA: Lärm-Monitoring, Schallmessungen im Schienenverkehr, URL: <https://www.laerm-monitoring.de/>
- [14] Beckenbauer, T.; Attinger, R.: Erfolg und Perspektive der Lärminderung bei Güterzügen in der Schweiz, Müller-BBM Fachtagung 2021, S. 10-20.
- [15] Brammer, H.: Lärm-Monitoring des Eisenbahn-Bundesamts, Vortrag, DAGA 2022.
- [16] Maly, T.; Kirisits, C.: Modellierung der Rauheiten in CNOSSOS-EU – Theorie und Praxis, Müller-BBM Fachtagung 2021, S. 41-53.
- [17] Kirisits, C.; Maly, T.; Lechner, C.: Österreichische Umsetzung der Änderungen zum Anhang II der europäischen Umgebungslärmrichtlinie für Schienenverkehrslärmemissionen, DAGA 2021, S. 267-270, 2021.