

Österreichische Umsetzung der Änderungen zum Anhang II der europäischen Umgebungslärmrichtlinie für Schienenverkehrslärmemissionen

Christian Kirisits^{1,2}, Thomas Maly³, Christoph Lechner⁴

¹ Zivilttechnikerbüro Dr. Kirisits, 7423 Pinkafeld, E-Mail: christian.kirisits@akustik-kiri.at

² Medizinische Universität Wien, 1090 Wien

³ Technische Universität Wien, 1040 Wien, E-Mail: thomas.maly@tuwien.at

⁴ Ingenieurbüro für Technische Physik, 6065 Thaur, E-Mail: christoph@lechnernet.at

Einleitung

Die Europäische Kommission etablierte mittels der Richtlinie (EU) 2015/996 [1] einheitliche Bewertungsverfahren für die europäische Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG [2]. Mitgliedsstaaten sollen damit europaweit harmonisiert Lärmindizes für die strategische Kartierung und Aktionsplanung durchführen. Damit soll eine bessere Vergleichbarkeit von Lärmindexwerten wie L_{den} und L_{night} sowie von Lärm-Betroffenenzahlen gelingen. In Österreich wird erwogen, dieses europäische Verfahren darüber hinaus auch für die Prognose im Genehmigungsverfahren und für die Bestandslärmsanierung zu verwenden.

Der gegenwärtige Stand der Technik zur Berechnung von Schienenverkehrslärmmissionen wird im Regelwerk ONR 305011 beschrieben [3]. Dieses enthält oktavbandweise Schalleistungspegel für die Schienenfahrzeuge im österreichischen Netz und für verschiedene Geschwindigkeiten. Die Schallausbreitung wird über die ÖNORM ISO 9613-2 [4] geregelt.

Entsprechend der Richtlinie (EU) 2015/996 sollten diese gegenwärtigen Grundlagen für die Emission in ein neues RVE 04.01.02 Regelwerk übergeführt werden. Nachdem sich die Definition von Ersatzschallquellen zwischen der österreichischen und der europäischen Richtlinie maßgeblich unterscheiden, ist ein direkter Vergleich und eine Anpassung der Schalleistungspegel nicht möglich. Den einzelnen Schalleistungspegeln für Rollgeräusch, Traktion und Aerodynamik in 2 verschiedenen Höhen über Schienenoberkante und mit ihren jeweiligen Abstrahlcharakteristiken steht in der ONR 305011 nur ein einzelner längenbezogener Schalleistungspegel gegenüber. Daher wurde als Referenzpunkt der Punkt A in 7,5 m Entfernung zur Schienenachse, wie er auch nach ÖNORM EN ISO 3095 definiert ist, verwendet [5]. Die Prämisse bestand darin, die in der europäischen Richtlinie tabellierten Eingangsparameter in solcher Art auszuwählen und zu kombinieren, um Emission, dargestellt im Referenzpunkt möglichst nahe zur ONR 305011 zu erhalten [6].

Mit der delegierten Richtlinie (EU) 2021/1226 der Kommission vom 21. Dezember 2020 [7] änderten sich maßgebliche Eingangsparameter sowie Teile des

Berechnungsverfahrens selbst. Somit war es notwendig, die Anpassung auf die österreichischen Schienenfahrzeuge und das österreichische durchschnittliche Netz neuerlich durchzuführen.

Methode

Eingangsparameter

Die Eingangsparameter zur Bildung der effektiven Gesamtrauheit (Schienenrauheit, Radrauheit, Kontaktfilter) werden aus der aktuellen Richtlinie übernommen. Die Schienenrauheit für ein durchschnittliches Schienennetz und die Kontaktfilter sind gegenüber der ursprünglichen Version der Richtlinie 2015/996 maßgeblich verändert worden. Abbildung 1 zeigt neben der Normkurve nach EN ISO 3095 die ursprüngliche Schienenrauheit aus der Richtlinie 2015 für ein durchschnittliches Netz und der 2020 aktualisierten Version. Bis auf den langwelligen Bereich $> \sim 300$ mm setzt die neue Version ein grundsätzlich glatteres Gleis gegenüber der ursprünglichen Version an.

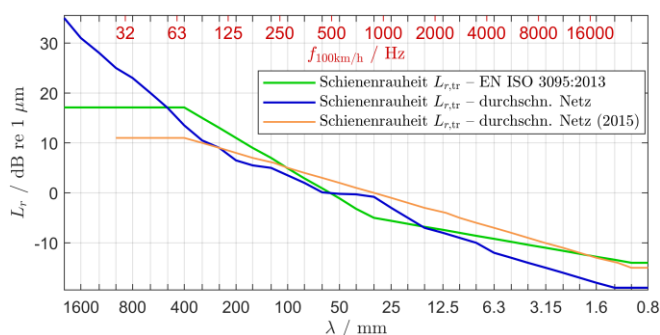


Abbildung 1: Vergleich der Schienenrauheiten im Wellenlängenspektrum. Zur Illustration findet sich auf der oberen x-Achse die Beschriftung im Frequenzbereich unter Annahme einer Fahrt mit 100 km/h.

Abbildung 2 vergleicht die Kontaktfilter zwischen den beiden Versionen der europäischen Richtlinie. Dabei erkennt man eine deutliche Verschiebung der Filterfunktion zu höheren Wellenlängen. Dies wirkt sich direkt auf die Berechnung der effektiven Gesamtrauheit durch niedrigere Rauheitspegel aus.

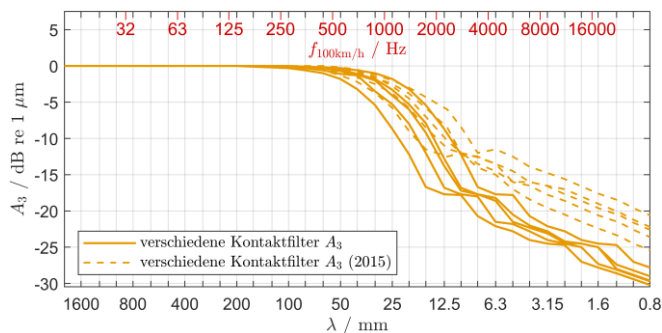


Abbildung 2: Vergleich der Kontaktfilter im Wellenlängenspektrum. Zur Illustration findet sich auf der oberen x-Achse eine Frequenzangabe auf den der jeweilige Kontaktfilter direkten Einfluss hat (Annahme einer Fahrt mit 100 km/h).

Die Radrauhigkeiten, welche für die Laufflächenbremsen aus Grauguss, Verbundstoffbremsen und Scheibenbremsen gegenüber der 2015er Version unverändert blieben, werden ebenfalls exakt übernommen, wobei der Wellenlängenbereich > 1000 mm auf -99 dB gesetzt wird und damit keinen Beitrag zur Gesamtrauhigkeit leistet. Dieser Wellenlängenbereich ist für Geschwindigkeiten von Fahrzeugen in Österreich ≤ 230 km/h ohne Bedeutung.

Alle weiteren Eingangsparameter werden aus der 2020 aktualisierten Richtlinie übernommen. Dabei werden insbesondere auch die Korrekturen an Werten für die einzelnen Transferfunktionen (Gleis, Fahrzeug, Aufbauten) berücksichtigt.

Das österreichische Regelwerk ONR 305011 beinhaltet längenbezogene Schalleistungspegel nach Fahrzeug bzw. Zuglänge, während die europäische Richtlinie die Schalleistung nach der Anzahl der Achsen bestimmt. Für die korrekte Überführung der Emissionswerte des längenbezogenen ins achsbezogene System mussten die entsprechenden tatsächlichen Fahrzeuglängen (nach ONR 305011) jenen in der Modellierung nach 2015/996 gegenübergestellt werden. Während dies für konkrete Reisezugwagen, Triebwagengarnituren und Lokomotiven aus den jeweiligen Baureihenbeschreibungen klar ersichtlich ist, müssen für Güterwagen Annahmen getroffen werden. Die große Variation an Achsen zu Längen Verhältnis wird durch einen einheitlichen Achsen-pro-Meter Wert (APL-Wert) von 0,21 beschrieben. Dies entspräche einem schalltechnisch definierten Wagen von 19 m Länge mit 4 Achsen.

Berechnungen

Die Berechnungen zur Ermittlung der Schalleistungspegel und des Schalldruckpegels für eine Fahrzeugvorbeifahrt pro Stunde im Referenzpunkt A erfolgten mittels eigener Matlab Scripts (The Mathworks Inc, MA, USA).

Dabei werden entsprechend des Rechenmodells in einem ersten Schritt Radrauhigkeiten $L_{r,veh}$ und Schienenrauhigkeiten $L_{r,tr}$ bandweise energetisch addiert. Zur Nachbildung der abschwächenden Wirkung kurzweiliger respektive höherfrequenter Anteile durch den Rad-Schiene Kontakt wird die Summenrauhigkeit mit einem radlast- und

raddurchmesserabhängiger Kontaktfilter A_3 beaufschlagt, wodurch man die effektive Gesamtrauhigkeit $L_{r,tot}(\lambda)$ im Wellenlängenbereich erhält. Im Anschluss erfolgt die Transformation in den Frequenzbereich, die im Wesentlichen aus der Multiplikation von Geschwindigkeit und dem Kehrwert der wellenlängenabhängigen, effektiven Gesamtrauhigkeit besteht. Die resultierende, frequenzabhängige, effektive Gesamtrauhigkeit $L_{r,tot}(f)$ ist von zentraler Bedeutung, da sie im Modell letztlich alleinig für die Schwingungsanregung des Rollgeräusches verantwortlich ist. Konkret ergeben sich die Schalleistungspegel für die verschiedenen Rollgeräuschquellen durch Addition der effektiven Gesamtrauhigkeit in den einzelnen Terzbändern mit den jeweiligen Transferfunktionen für Gleis, Fahrzeug und Aufbauten, sowie der Achszahl der Fahrzeuge. Für Triebfahrzeuge werden die tabellierten Schalleistungspegel für die Quellen, welche das Traktionsgeräusch beschreiben, verwendet. Ab 200 km/h erfolgt die Berücksichtigung von aerodynamischen Geräuschen.

Für die anschließende Transmissionsberechnung erfolgt die Zusammenfassung der Terzbandpegel zu Oktavbandpegel. Für jede einzelne Quelle wird entsprechend des Geräuschtyps und der Höhe der Ersatzschallquelle (0,5 m oder 4,0 m über Schienenoberkante) eine Transmissionsmatrix für die acht Oktavbänder von 63 Hz bis 8 kHz zum Referenzpunkt A nach ÖNORM EN ISO 3095 ermittelt. Diese Transmission beruht auf der Annahme von unendlich langen Ersatzschallquellen (konkret werden ± 5000 m zur angenommenen Messstelle betrachtet), welche in 1 m lange Segmente unterteilt werden. Für jeden Quelltypen wird die jeweils nach der Richtlinie 2015/996 vorgesehene und 2020 teils korrigierte Richtcharakteristik verwendet (ungerichtete Abstrahlung bzw. gerichtete Abstrahlung, wie zum Beispiel die Kombination aus Monopol und Dipolcharakteristik für das Rollgeräusch in horizontaler Richtung). Die Ausbreitungsbedingungen werden über einheitlich porösem Grund (Bodendämpfungsfaktor $G=1$), ausbreitungsgünstigen Bedingungen, 10°C Lufttemperatur und 70 % relativer Luftfeuchtigkeit bestimmt. Die Höhe der Schienenoberkante über Boden beträgt 0,2 m, wonach alle weiteren Ersatzschallquellen- und Referenzpunkthöhen ausgerichtet sind.

Über die Ersatzschallquellen, deren Schalleistungspegel und die jeweilige Transmission ergibt sich der Schalldruckpegel im Punkt A. Diesem kann der bzgl. Pegelzeitstruktur idente Pegel (eine Vorbeifahrt pro Stunde) nach ONR 305011 direkt gegenübergestellt werden. Die Berechnungen erfolgen für eine Auswahl verschiedener Eingangsparameter, wobei zur Beurteilung der Übereinstimmung mit den Prognosewerten der ON-Regel Oktavbandspektren und A-bewertete Gesamtpegel herangezogen werden.

Ergebnisse

Nach der ersten Variation der Eingangsparameter für verschiedene Fahrzeuge und Oberbauparameter werden letztere einheitlich wie folgt festgelegt:

- Gleis im Schotterbett

- Monoblock- Schwelle auf mittlerer Zwischenlage (250 to 800 MN/m dynamische Steifheit)
- Durchschnittliche Schienenrauheit
- keine Stoßgeräusche, keine Brückengeräusche, keine Kurvengeräusche

Die ursprünglich, nach der Richtlinie 2015/996 verwendete Wahl eines Kontaktfilter für 920 mm Raddurchmesser und 50 kN Last ergibt für graugussgebremste Güterwagen den in Abbildung 3 dargestellten Vergleich. Die berechneten Pegel würden gegenüber der ONR 305011 geringere Emissionen und damit Immissionen prognostizieren. Dies ist mit der laufenden Erfahrung über Messergebnisse an Güterstrecken mit noch hohem Graugussanteil nicht vereinbar. Weiters ist die Angabe der Last für den Kontaktfilter in der Richtlinie widersprüchlich. So findet sich, auch in der novellierten Version, weiterhin der Ausdruck Achslast, obwohl in den zugrundeliegenden Arbeitsdokumenten aus dem CNOSSO-EU Projekt so wie einem Bericht der RIVM die korrekte Bezeichnung Radlast für die Kontaktfilterdatensätze verwendet wird [8] und auch die international in einer Expertengruppe fachlich abgestimmte, englischsprachige Fassung der delegierten Richtlinie 2021/1226 auf „wheel load“ berichtigt wurde.

Die Datensätze für kombiniert gebremste Güterzüge aus der ONR 305011 bezogen sich auf einen alten technologischen Stand der gegenüber graugussgebremsten Wagen nur ~4 dB weniger an Emissionen prognostizierte. Tatsächlich zeigen Bahnlärmmonitoringberichte [9] weitaus höheres Lärmreduktionspotential, auch wenn man neben den K-Sohlen LL-Sohlen in ein einheitliches Fahrzeugkollektiv „leiser“ Güterwagen inkludiert. Daher wird für die Festlegung zu K- und LL-Sohlen gebremsten Wagen der Kontaktfilter ident zu Graugusswagen verwendet und nur die Radrauheit ausgetauscht. Damit ergeben sich gegenüber der ON-Regel zukünftig geringere Emissionen, aber im Hinblick auf den gegenwärtigen Stand der Technik plausible Differenzen zwischen den beiden Güterwagenkategorien.

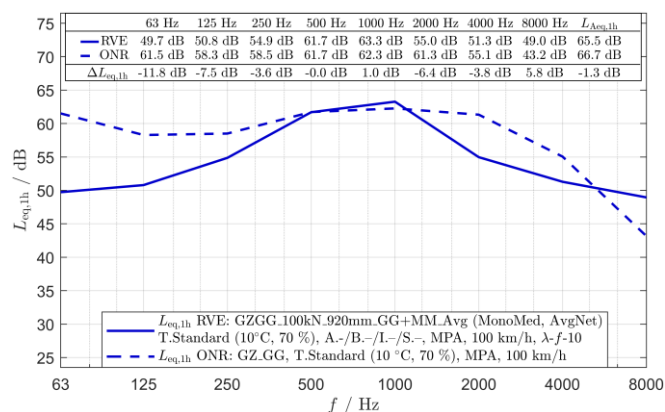


Abbildung 3: Frequenzspektrum in Oktavbändern und A-bewertete Gesamtpegel für Güterwagen mit Graugussbremsen und einem Kontaktfilter für 100 kN.

Korrigiert man demgegenüber die „Last“ für den Kontaktfilter auf 50 kN, so ergeben sich mit Abbildung 4 weit plausible Werte.

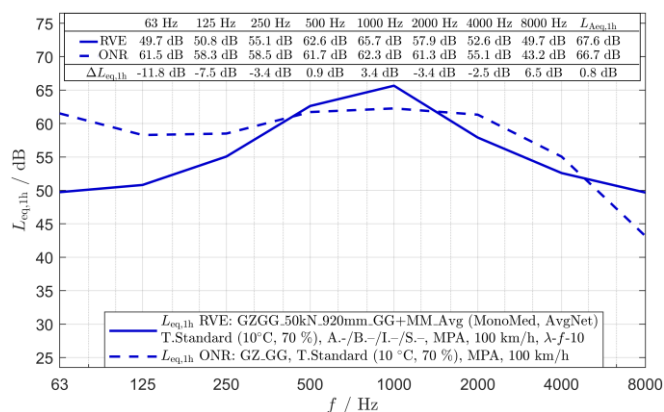


Abbildung 4: Frequenzspektrum in Oktavbändern und A-bewertete Gesamtpegel für Güterwagen mit Graugussbremsen und einem Kontaktfilter für 50 kN.

Tabelle 1: Differenzen der A-bewerteten Gesamtpegel im 7,5 m Punkt zwischen ONR 305011 und dem neuen Verfahren nach der europäischen Richtlinie für Güterwagen

| Differenzen | | |
|-----------------|----------|-------------|
| Geschwindigkeit | Grauguss | K-/LL-Sohle |
| 50 km/h | +1,2 dB | -2,7 dB |
| 100 km/h | +0,8 dB | -3,2 dB |

Einen bedeutenden Zugstyp im Fernreiseverkehr stellt der österreichische Railjet dar. Die Baureihe Taurus 1016/1116 (Siemens ES64U2) wird schalltechnisch als elektrische Lokomotive mit Scheibenbremsen, 1200 mm Raddurchmesser, 4 Achsen, 100 kN Kontaktfilter und entsprechender Traktion modelliert. Die daran hängenden 7 Wagen sind schalltechnisch Wagen mit Scheibenbremsen, 4 Achsen, 920 mm Raddurchmesser und zugehörigem 50 kN Kontaktfilter. Tabelle 2 zeigt mit steigender Geschwindigkeit eine schlechtere Übereinstimmung der neuen Werte mit jenen der ONR 305011. Dabei ist zu beachten, dass insbesondere die Werte über 200 km/h auf Extrapolationen beruhen, und daher dem europäischen Berechnungsmodell nicht auf gleicher Evidenzstufe gegenüberstehen.

Tabelle 2: Differenzen der A-bewerteten Gesamtpegel im 7,5 m Punkt zwischen ONR 305011 und dem neuen Verfahren nach der europäischen Richtlinie für Fernreisezüge.

| Geschwindigkeit | Grauguss |
|-----------------|----------|
| 60 km/h | -0,4 dB |
| 140 km/h | -1,6 dB |
| 230 km/h* | -3,6 dB |

*ONR Werte beruhen auf extrapolierten, nicht tatsächlich gemessenen Werten

Eine weitere beispielhafte Illustration erfolgt in Abbildung 5 für die Nahverkehrstriebwagengarnitur der Baureihe 4023 mit 8 Achsen und Achsmuster B'2'2'B'. Neben der Auswahl der tatsächlich eingebauten Scheibenbremsen erfolgt wieder die Wahl des Kontaktfilters von 50 kN (für 920 mm Raddurchmesser, da nicht für 840 mm verfügbar) aber mit kleinerem Raddurchmesser von 840 mm, um der tatsächlichen Bauart schalltechnisch näher zu kommen.

Damit ergeben sich ausgezeichnete Übereinstimmung für den A-bewerteten Gesamtpegel über einen weiten Geschwindigkeitsbereich.

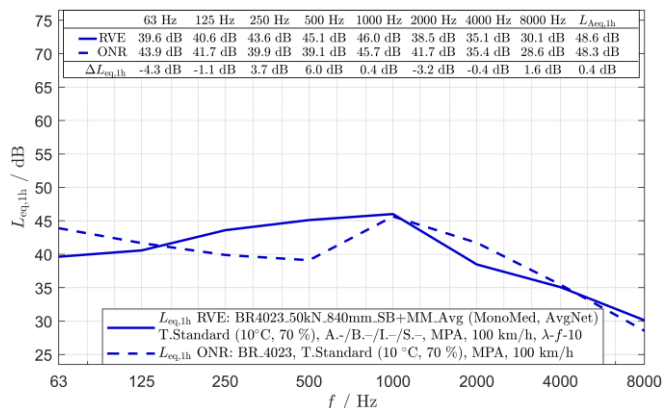


Abbildung 5: Frequenzspektrum in Oktavbändern und A-bewertete Gesamtpegel für Nahverkehrstriebwagen-garnituren der Baureihe 4023 mit Scheibenbremsen, 840 mm Raddurchmesser und einem Kontaktfilter für 50 kN.

Für die weiteren Fahrzeugkategorien

- RoLa (Rollende Landstraße)
- E-Lokomotiven BR1016 & BR1044
- Diesel-Lokomotiven BR2016 & BR2143

liegt bei 100 km/h lediglich eine Abweichung von < 1 dB zur Prognose nach ONR 305011 vor.

Größere Abweichungen ergeben sich für die Baureihe 4020 Triebwagengarnitur. Nachdem nach Publikation der Datensätze der ONR 305011 Veränderungen am Bremssystem erfolgten, ist für dieses Auslaufmodell keine gute Übereinstimmung mit bisherigen Daten möglich. Ebenfalls ergeben Fahrzeuge der Kategorie Diesel-Triebwagengarnituren um bis zu -2 dB zu geringe Pegel. Umgekehrt, führt die Annahme der Dieseltraktion, wie in der Richtlinie aus 2020 enthalten, bei der Diesel-Lokomotive BR 2016 bei 50 km/h zu einer Pegelerhöhung von nunmehr +4 dB. In Ermangelung an Messdaten für diese Baureihe bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h (gute Übereinstimmung bei höheren Geschwindigkeiten) muss entweder die sich rechentechnisch ergebende Erhöhung akzeptiert werden oder auf andere, der Bedeutung nach weniger naheliegende Standardparameter ausgewichen werden. Eine endgültige Entscheidung darüber steht zum Zeitpunkt der Manuskripterstellung allerdings noch aus.

Diskussion und Schlussfolgerung

Die europäische Richtlinie 2015/996 mit ihren Korrekturen durch die delegierte Richtlinie 2021/1226 kann durch Auswahl der in ihr enthaltenen Eingangsparameter verwendet werden, um die bisher bekannten, messtechnisch ermittelten Emissionen nach der österreichischen ONR 305011 zu replizieren. Für graugussgebremste Güterwagen wird dabei eine Pegelerhöhung, für kombiniert gebremste Güterwagen

eine Pegelreduktion akzeptiert, um den gegenwärtigen gegenüber den Datengrundlagen der ONR Regel weiterentwickelten Stand der Technik abzubilden. Die in der Richtlinie verwendete Bezeichnung von Achslast für den Kontaktfilter ist unplausibel und sollte entsprechend der Grundlegendaten als Radlast bezeichnet werden.

Für die weiteren relevanten Fahrzeugkategorien für Fernreisezüge und Nahverkehrstriebwagengarnituren ist eine gute Übereinstimmung gegeben. Für spezielle Typen von Lokomotiven oder in ihrer Bauart veränderte Fahrzeuge war eine Überführung der österreichischen Werte mit den Standarddatensätzen der europäischen Richtlinie nicht genau möglich. Hierzu wären zukünftig auch Messreihen notwendig, um die einzelnen Geräuschquellen, insbesondere Rollgeräusch und Antriebsgeräusch getrennt zu ermitteln.

Diese Arbeit wurde durch das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie finanziell unterstützt.

Literatur

- [1] 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; Amtsblatt der Europäischen Union L 168/1.
- [2] Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften. Richtlinie 2002/49/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. 2002.
- [3] ONR 305011: Berechnung der Schallimmission durch Schienenverkehr — Zugverkehr, Verschub- und Umschlagbetrieb. 2009.
- [4] ÖNORM. ISO 9613-2: Akustik — Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren. 2008.
- [5] ÖNORM EN ISO 3095: Akustik - Bahnanwendungen - Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen. 2014.
- [6] Kirisits C, Dinobl G, Lechner C. The implementation of EC directive 2015/996 for the Austrian railway network. INTER-NOISE 2018 -, Chicago: INCE; 2018.
- [7] 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
- [8] Kok A, van Beek A. Amendments for CNOSSO-EU, Descriptions of issues and proposed solutions. Bilthoven, The Netherlands: 2019. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2019-0023>.
- [9] Bundesamt für Verkehr (BAV). Monitoring Eisenbahnlärm - Jahresbericht. Bern: 2018.