



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Verkehr BAV  
Office fédéral des transports OFT  
Ufficio federale dei trasporti UFT  
Uffizi federali da traffic UFT

# Monitoring Eisenbahnlärm



**Jahresbericht 2023**

1. Januar – 31. Dezember 2023

## **Impressum**

### **Herausgeber**

Bundesamt für Verkehr (BAV)  
CH-3003 Bern

Gemäss Artikel 12 und 13 der Verordnung über die Lärmsanierung der Eisenbahnen vom 4. Dezember 2015 führt das BAV Erhebungen über die Entwicklung des Eisenbahnlärms durch und informiert periodisch über die Ergebnisse.

**Projektverantwortung/-koordination**  
BAV Infrastruktur, Sektion Grossprojekte

### **Text**

BAV Sicherheit, Sektion Umwelt

### **Titelbild:**

Viadukt Ceneri-Basistunnel, Dario Häusermann

# **Inhalt**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Inhalt</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1      Zusammenfassung</b>                                    | <b>4</b>  |
| <b>2      Einleitung</b>   | <b>5</b>  |
| 2.1    Projekt Monitoring Eisenbahnlärm                          | 5         |
| 2.2    Zweck des Berichts  | 5         |
| <b>3      Grundlagen</b>   | <b>6</b>  |
| <b>4      Messresultate</b>                                      | <b>8</b>  |
| 4.1    Beurteilungs-Emissionspegel L <sub>r,e</sub>              | 8         |
| 4.2    Akustische Eigenschaften von Fahrbahn und Rollmaterial    | 11        |
| 4.2.1 Schienenrauheit  | 11        |
| 4.2.2 Abklingrate der Schiene (Track Decay Rate TDR)             | 12        |
| 4.2.3 Entwicklung Vorbeifahrtspegel (Transit Exposure Level TEL) | 13        |
| 4.2.4 Häufigkeitsverteilung Vorbeifahrtspegel                    | 15        |
| 4.2.5 Emissionswerte von Güterwagen                              | 21        |
| 4.3    Anteil Güterverkehr                                       | 23        |
| 4.4    Verkehr   | 24        |
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b>                                     | <b>26</b> |
| <b>Verzeichnis der Anhänge</b>                                   | <b>27</b> |

# 1 Zusammenfassung

Die im Jahr 2023 gemessenen Lärmpegel sind mehrheitlich vergleichbar mit denen des Vorjahres. Nach den deutlichen Pegelreduktionen ab 2020 (faktisches Verbot von Güterwagen mit Grauguss-Bremsen) ist eine Konsolidierung der Messwerte festzustellen. Eine generelle Reduktion durch verbessertes Rollmaterial ist in den nächsten Jahren nicht mehr zu erwarten. Sollten die Zugzahlen zukünftig wie erwartet steigen, ist mittelfristig mit einer leichten Zunahme der Lärmpegel zu rechnen.

Bei der Station Lindau kam es 2023 zu deutlichen Pegelzunahmen (+1.6 dB am Tag, +1.3 dB in der Nacht). Ab März / April stiegen die Beurteilungspegel nach Schleifarbeiten an den Geleisen sprunghaft an. Die Höhe der Pegelzunahme und die Dauer des Abklingens nach den Arbeiten liegen oberhalb bisheriger Erfahrungswerte. Im September / Oktober stiegen die Lärmpegel nochmals in geringerem Ausmass an. Gemäss Auskunft der Infrastrukturbetreiberin erfolgten im Herbst aber keine weiteren Schleifarbeiten. Das Verkehrsaufkommen und die Verkehrszusammensetzung haben sich im Vergleich zum Vorjahr nicht relevant verändert. Dies deutet darauf hin, dass der Grund für die Lärmzunahme eher beim Oberbau zu suchen ist.

Aus den Messdaten ergeben sich die folgenden längerfristigen Kernaussagen:

- Bei allen Messstationen liegen die Emissionswerte 2023 deutlich unter den Emissionen, die im Rahmen der Lärmsanierung als Referenz und Ziel festgelegt wurden.
- Güterzüge sind heute rund 10 dB(A) leiser als zu Messbeginn 2003.
- Personenzüge sind heute rund 6 dB(A) leiser als zu Messbeginn 2003.
- Bei den Personenzügen liegen die Vorbeifahrtspegel im täglichen Betrieb in der Regel unter den Grenzwerten für neu zugelassenes Rollmaterial. Dies trifft seit dem Jahr 2020 auch für einen überwiegenden Teil der Güterwagen zu. Ungünstige Oberbauverhältnisse (z. B. nach Schienenschleifen) können zu erhöhten Vorbeifahrtspegeln führen.
- Der Anteil des Güterverkehrs an den Gesamtemissionen liegt auf den Transitachsen nachts bei 80-91 %. Auf diesen Transitstrecken sind weitere wahrnehmbare Lärmreduktionen nur durch eine Lärminderung beim Güterverkehr möglich.

Auf der BAV-Website ([www.bav.admin.ch](http://www.bav.admin.ch) > A-Z > Lärmsanierung > Monitoring > Auswertungen) steht ein monatlich aktualisiertes, erweitertes Datenangebot zum Monitoring Eisenbahnlärm zur Verfügung.

## 2 Einleitung

### 2.1 Projekt Monitoring Eisenbahnlärm

Das Monitoring Eisenbahnlärm ist ein Bestandteil des Programms Lärmsanierung der Eisenbahnen gemäss dem Bundesgesetz [1]. Artikel 12 und 13 der Verordnung [2] verpflichten das Bundesamt für Verkehr (BAV), Erhebungen über die Entwicklung des Eisenbahnlärms durchzuführen und periodisch über die Ergebnisse zu informieren. Im Rahmen des Monitorings Eisenbahnlärm werden die entsprechenden Messdaten bereitgestellt.

Die Messungen werden seit 2003 an sechs fixen Standorten durchgeführt. Als Ergänzung sind 2009-2013 und 2018 mit einer mobilen Messstation während mehreren Wochen an weiteren Standorten Messungen durchgeführt worden. Diese liefern Informationen zur Lärmentwicklung auf weiteren Strecken.

### 2.2 Zweck des Berichts

Die wesentlichen Daten der kontinuierlichen Messstationen werden vom BAV in den Jahresberichten zusammengestellt und kommentiert. Die Messergebnisse sind damit der interessierten Öffentlichkeit zugänglich. Die aktuellen Messwerte sind auch auf der Website des BAV abrufbar ([www.bav.admin.ch](http://www.bav.admin.ch) > A-Z > Lärmsanierung > Monitoring > Auswertungen).

### 3 Grundlagen

Für das Bahnnetz in der Schweiz ist der Rad-Schiene-Kontakt die massgebende Lärmquelle. Die Lärmemissionen werden durch das Ausmass der Rauheiten von Schienen- und Radoberfläche und die Abstrahlleigenschaften von Rad und Oberbau bestimmt. Die Gesamtrauheit des Systems führt zu Anregung und Schallabstrahlung von Rad und Schiene. Bei Geschwindigkeiten über 200 km/h und bei Zügen mit Dieseltraktion können auch andere Lärmquellen von Bedeutung sein, dies ist in der Schweiz aber von untergeordneter Bedeutung.

Mit den Messungen aus dem Monitoring können Modellrechnungen überprüft werden. Entsprechende Auswertungen wurden 2023 von der EMPA publiziert [23]. Die Messdaten erlauben es auch, die Lärmwicklung im zeitlichen Verlauf zu verfolgen. Mit den Messungen werden die Lärmemissionen des Gesamtsystems Fahrzeug-Fahrbahn an sechs Standorten erfasst (Abbildung 1). Sowohl Fahrzeug wie Fahrbahn können durch eine grosse Anzahl lärmrelevanter Parameter charakterisiert werden (vgl. Abbildung 2).

Technische Einzelheiten zu Messkonzept, Messnetz und Messgrössen sind in den Anhängen 1-3 zusammengestellt.

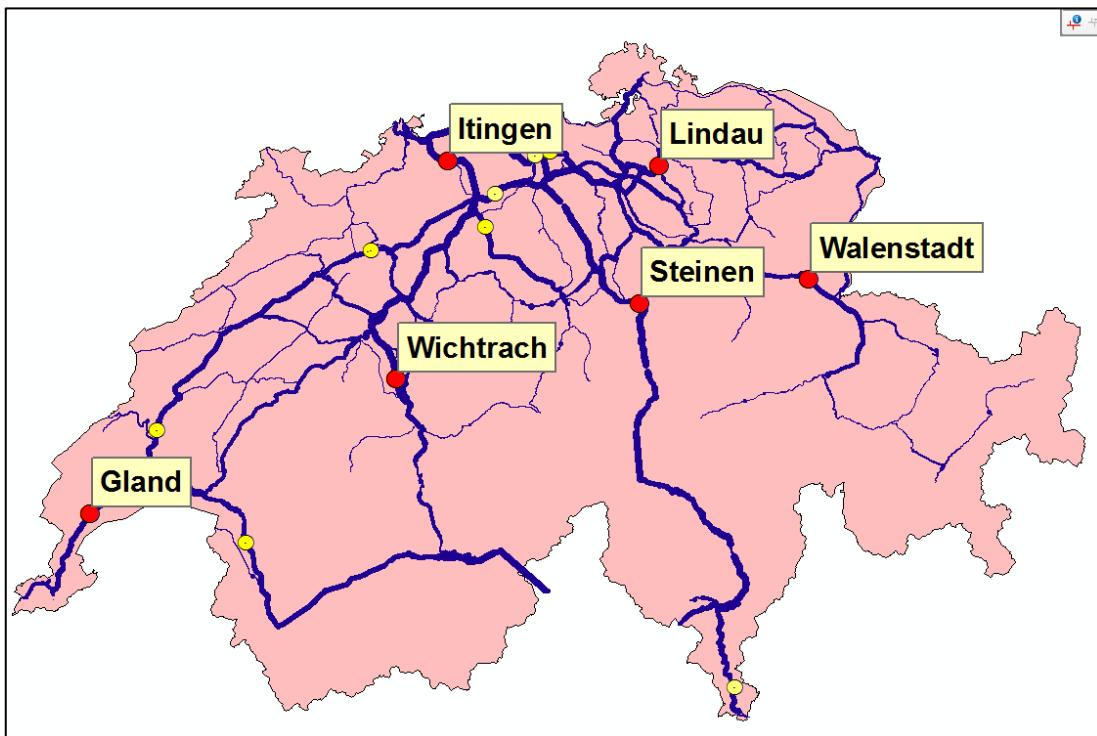


Abb. 1: Messstandorte (Details Anhang 2)

- fixe Standorte seit 2003
- mobile Standorte 2009-2018

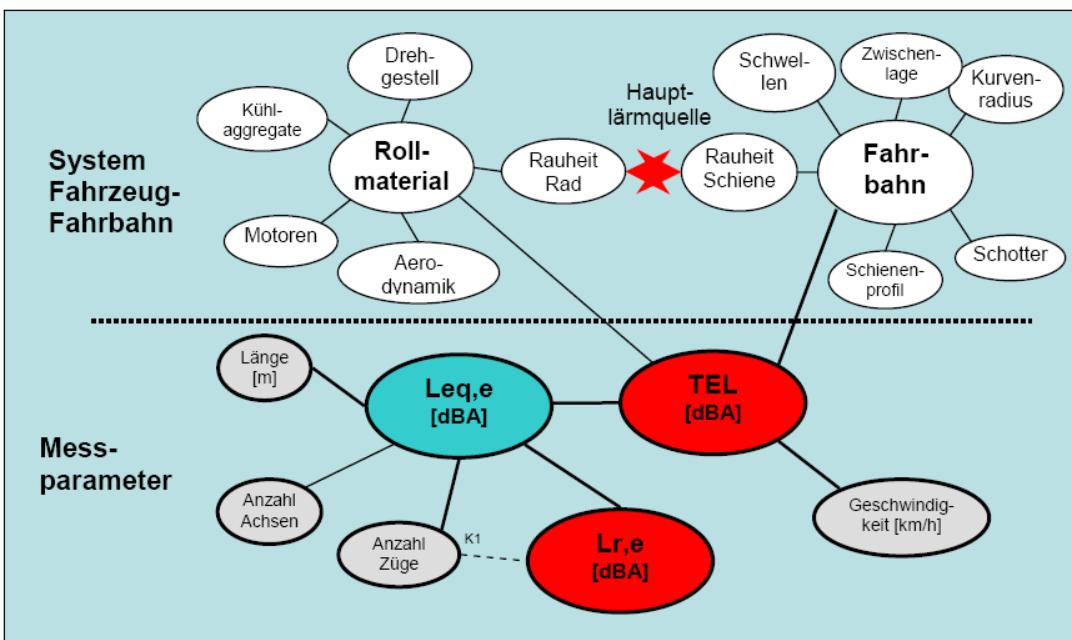


Abb. 2: System Fahrzeug – Fahrbahn und Messparameter des Monitorings Eisenbahnlärm

TEL: Transit Exposure Level, Vorbeifahrtspegel eines Einzelzugs

Leq,e: Energieäquivalenter Dauerschallpegel der Emissionen

K1: Korrekturfaktor K1 nach Anhang 4 LSV (abhängig von der Anzahl Züge)

Lr,e: Beurteilungsemissionspegel im Sinne von Anhang 4 LSV ( $Leq,e + K1$ )  
weitere Informationen: Anhang 3

Der Vorbeifahrtspegel (TEL) jeder Zugsvorbeifahrt wird durch die Eigenschaften des jeweiligen Rollmaterials und durch den Zustand der Fahrbahn am Messstandort bestimmt. Bei gleichem Rollmaterial und gleicher Fahrbahn nimmt der Pegel mit der Geschwindigkeit zu. Aus der Summe der Zugsvorbeifahrten und gemittelt über die Beurteilungszeit lässt sich der energieäquivalente Dauerschallpegel  $Leq,e$  ermitteln. Unter Berücksichtigung der Pegelkorrektur K1 gemäss Anhang 4 der Lärmschutzverordnung LSV [3] bestimmt sich der Beurteilungs-Emissionspegel  $Lr,e$ .

# 4 Messresultate

## 4.1 Beurteilungs-Emissionspegel L<sub>r,e</sub>

Der Beurteilungs-Emissionspegel L<sub>r,e</sub> ist nach der LSV [3] die massgebende Grösse für die Beschreibung der Lärmemissionen. Im Rahmen der Lärmsanierung oder im Zusammenhang mit Ausbauprojekten werden zwar rechtlich verbindlich nur die zulässigen Immissionen (LSV Art. 37a) an den Gebäuden festgehalten. Implizit werden damit aber auch die zugrundeliegenden Emissionswerte festgelegt. Der vom Bundesrat erlassene Emissionsplan 2015 bildete die Grundlage für die Lärmsanierung der Eisenbahnen. Wo Ausbauprojekte der Infrastruktur realisiert wurden, entsprechen die festgelegten Emissionswerte dem im Projekt geplanten Endzustand. Diese rechtlich relevanten festgelegten Emissionen aus dem Emissionsplan und den Projekten sind [publiziert](http://www.map.geo.admin.ch) (www.map.geo.admin.ch > Eisenbahnlärm).

Es ist ein wesentliches Ziel des Monitorings, die Entwicklung der Lärmemissionen bezogen auf die erwähnten festgelegten Emissionen über die Zeit zu verfolgen. In Abbildung 3 sind die Messwerte 2003 bis 2023 den festgelegten Emissionen gegenübergestellt. Heute liegen die Messwerte der Emissionen bei allen Stationen klar unter den festgelegten Emissionen.

Bei allen Stationen ist der Pegel gegenüber dem Jahr 2003 deutlich gesunken. Auffällig sind insbesondere die tieferen Werte ab 2020. Sie sind insbesondere auf die tieferen Vorbeifahrtspegel bei Güterzügen aufgrund des Verbotes lauter Güterwagen zurückzuführen. In Gland und Lindau fehlt dieser Pegelrückgang aufgrund des geringen Anteils des Güterverkehrs.

Im Folgenden sind die Entwicklungen und deren Hintergründe für die einzelnen Stationen kurz kommentiert. Die Grafiken mit den Monatswerten sind im Anhang 5 zusammengestellt.

### Gland

In Gland liegen die Beurteilungs-Emissionspegel L<sub>r,e</sub> heute 6-7 dB tiefer als 2003. Ursache ist das leisere Rollmaterial der Züge. Ein Anstieg war im Winter 2008/2009 festzustellen. Es wurde vorübergehend wieder altes Rollmaterial bei Personenzügen eingesetzt. Der Anstieg in der Nachtperiode vom Juli 2013 bis Ende 2015 wurde durch wenige laute Güterzüge verursacht. Die Emissionswerte sind seit 2016 deutlich tiefer. Im Februar 2019 durchgeführte Schleifarbeiten (vgl. Bericht 2019) führten zu einer vorübergehenden Pegelerhöhung. Von Juni 2019 bis Juli 2020 war die Messstation wegen einer Oberbauerneuerung ausser Betrieb.

### Itingen

In Itingen sind die Emissionswerte trotz steigender Zugzahl seit 2003 bis 2022 um 10-11 dB gesunken. Dies ist insbesondere auf das verbesserte Rollmaterial von Personen- und Güterzügen und die Einführung der Emissionsgrenzwerte für alle Güterwagen zurückzuführen. Zudem hat die Gleiserneuerung 2019 zu rund 2 dB tieferen Emissionswerten bei allen Zügen geführt. Der markante Rückgang im Jahr 2020 ist auf die leiseren Güterzüge zurückzuführen. Das Schleifen der Schienen Anfang Oktober 2022 führte zu einem Pegelanstieg für die Monate Oktober und November. Aufgrund des Ausfalls des Messrechners fehlen im Jahr 2023 die Messdaten bis zum 22. Februar.

### Lindau

In Lindau gehen die Pegel dank dem leiseren Rollmaterial trotz starker Verkehrszunahme zurück. Von Mitte 2014 bis Ende 2015 stiegen die Pegel wegen einem relativ hohen Anteil von lauten Personenzügen leicht an. Dieser Anteil war 2016 wieder rückläufig. Die lauten S-Bahn-Züge mit der Lok Re450 (Doppelstock-Pendelzüge DPZ; vgl. Bericht 2016) fielen aber immer noch auf. Wegen umfangreichen Bauarbeiten wurde die Station Ende August 2017 ausser Betrieb genommen. Die Messungen wurden im Mai 2019 wieder aufgenommen.

In den Nächten vom 24. März (Gleis 120) respektive 24. April 2023 (Gleis 220) wurden die Gleise in Lindau geschliffen (siehe auch Abb. 4 und 5). Typischerweise stellt sich nach Schleifarbeiten mit der Zeit wieder das Ausgangsniveau der Emissionspegel ein. Bei der Station Lindau liegen sowohl der initiale

Pegelanstieg nach dem Schleifen (5-6 dB), als auch die Dauer des Abklingens oberhalb bisheriger Erfahrungswerte. Zusätzlich wurden im September und Oktober 2023 weitere leichte Pegelanstiege verzeichnet, deren Ursache nicht bekannt ist und die nicht auf erneute Schleifvorgänge zurückgeführt werden können. Die Anzahl der verkehrenden Züge war im Vergleich zu 2022 konstant. Erst ab Dezember 2023 sinken die Lärmpegel wieder auf das Niveau von vor dem Schleifen. Die Datenlücke von Mai bis Juli 2023 ist auf einen defekten Schienenschalter zurückzuführen, dieser musste ersetzt werden. Die Emissionswerte liegen trotz alledem weiterhin deutlich unter den Werten von 2003.

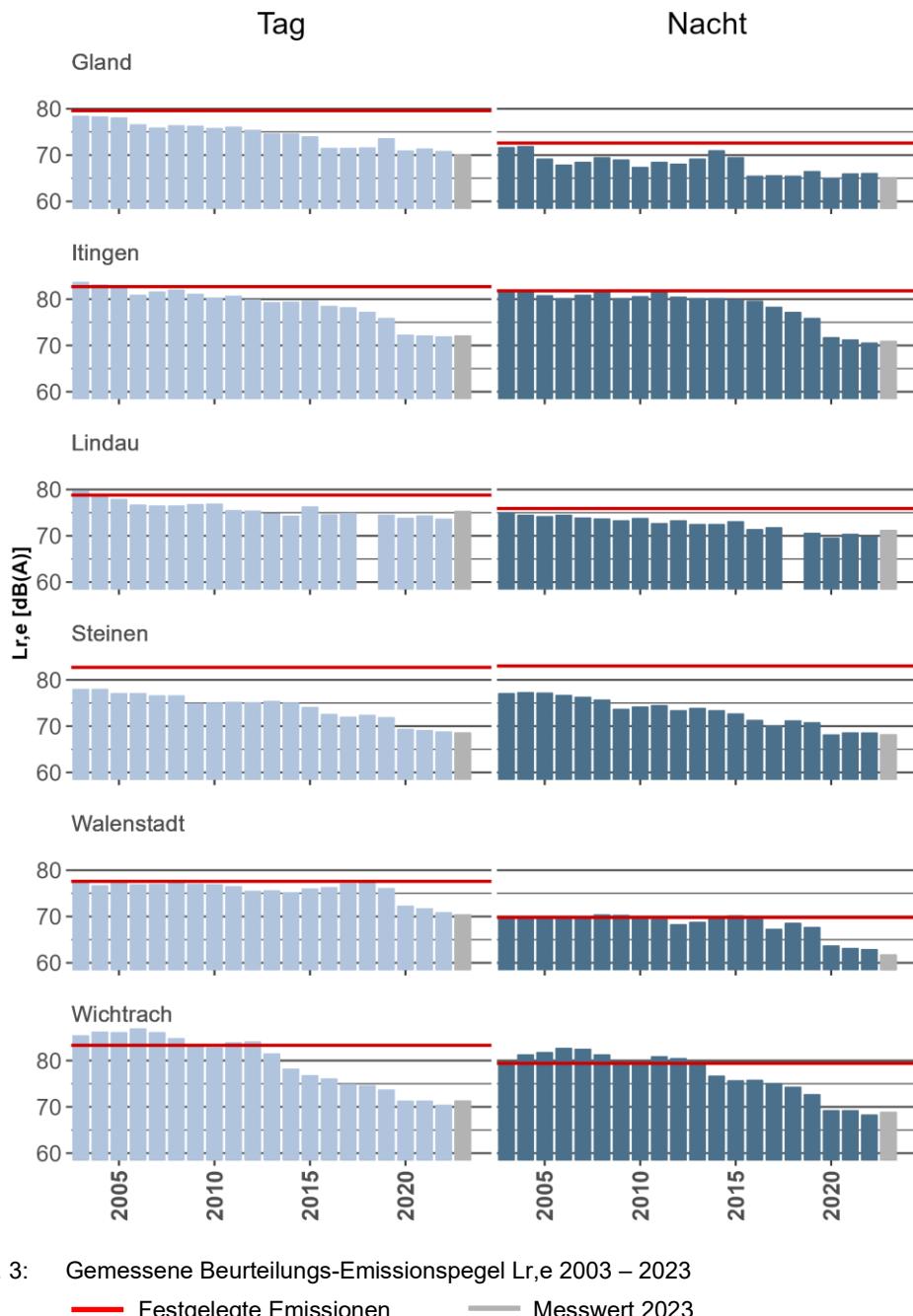


Abb. 3: Gemessene Beurteilungs-Emissionspegel  $L_{re}$  2003 – 2023

— Festgelegte Emissionen      — Messwert 2023

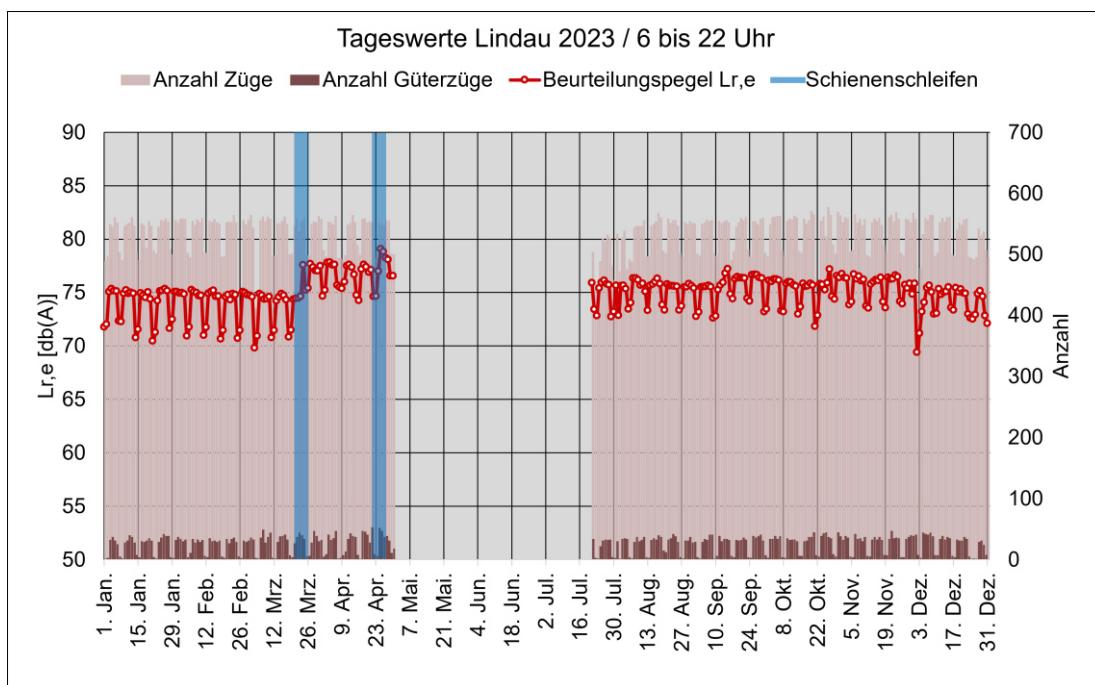


Abb. 4: Anzahl Züge und Tageswerte  $L_{r,e}$  bei der Station Lindau im Jahr 2023,  
Datenlücke von Mai bis Juli

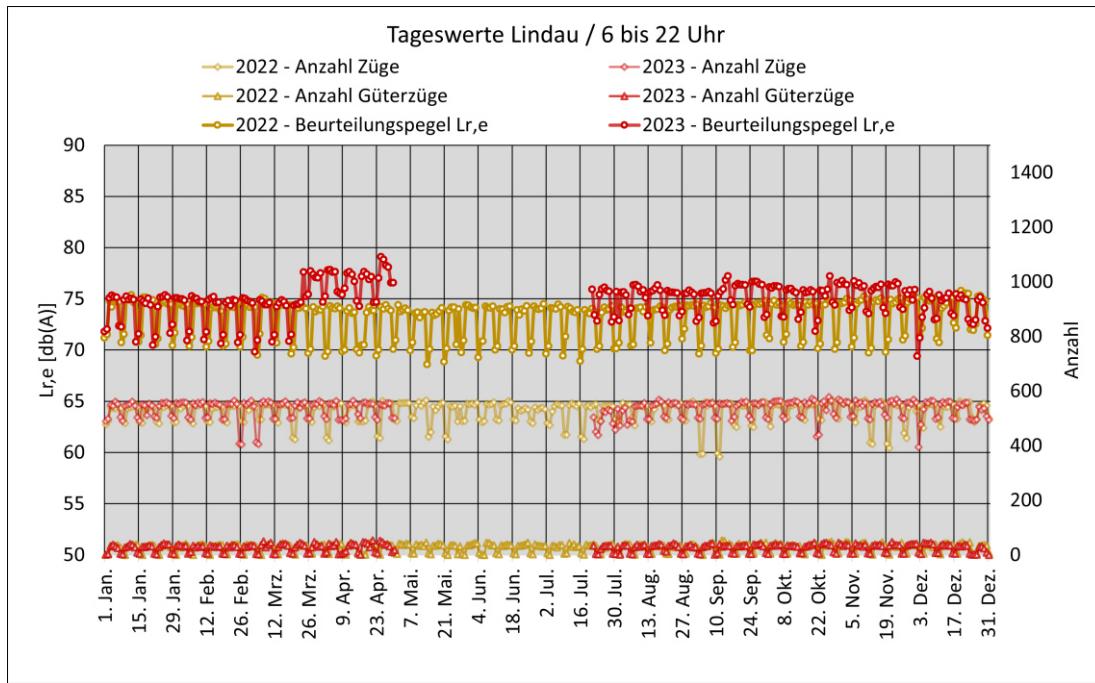


Abb. 5: Anzahl Züge und Tageswerte  $L_{r,e}$  bei der Station Lindau im Vergleich 2022 / 2023  
(keine Datenaufzeichnung zwischen Mai bis Juli 2023)

## Steinen

Die Messwerte sind seit 2003 deutlich gesunken. Charakteristisch ist der Jahresgang entsprechend dem Güterverkehrsaufkommen: Minima werden im August (Ferragosto in Italien) und über Weihnachten/Neujahr erreicht. Im Jahr 2012 führte die Sperrung der Gotthardlinie wegen Felsstürzen zu Unterbrüchen im Transitverkehr. Der längste Unterbruch von 32 Tagen ist in der Gotthardlinie klar erkennbar. Im Jahr 2017 fällt der Rückgang aufgrund einer längeren vollständigen Streckensperrung in Rastatt (D) auf. Nachher steigt die Zahl der Güterzüge wieder an. Am 10. August 2023 kam es im Gotthardtunnel zu einem Unfall

mit einem Güterzug. Der Tunnel war anschliessend bis zum 23. August gesperrt. Dies erklärt den geringeren Güterverkehr im zweiten Halbjahr 2023. Die generell markante Pegelreduktion seit 2020 ist auf das leisere Rollmaterial der Güterzüge zurückzuführen. Heute liegen die Emissionswerte rund 8-9 dB unter den Werten von 2003.

## Walenstadt

In Walenstadt waren die Messwerte über viele Jahre konstant. Die Verkehrszunahme konnte durch das leisere Rollmaterial kompensiert werden. Insbesondere das Gleis 212 war aber akustisch ungünstig und führte zu hohen Vorbeifahrtspegeln. Messungen mit der akustischen Kamera zeigten, dass der Neubau der Firma Flumroc auf dem Gleis Richtung Flums durch Reflexionen zu einer Pegelerhöhung um 0.8 dB(A) führt. Seit Januar 2018 werden die Messungen an einem leicht verschobenen Standort durchgeführt. Das Schienenschleifen am 24. September 2019 führte direkt zu einem deutlichen Pegelrückgang ohne zwischenzeitliche Pegelerhöhung. Seither liegen die Pegel spürbar tiefer, rund 5-6 dB unter den Werten von 2003. Im März 2023 kam es zu einem Messunterbruch wegen dem Ausfall des Messrechners. Im November und Dezember 2023 waren die Beurteilungspegel tiefer, da sich die Anzahl Güterzüge reduzierte.

## Wichtrach

Beim lauten, fehlerhaften Gleis 417 wurde im April 2013 eine Oberbauerneuerung durchgeführt. Im Mai 2014 erfolgte dann der Gleisersatz beim Gleis 317. In beiden Fällen wurden alte Betonschwellen durch aktuelle Standardschwellen B91 ersetzt. Die Pegelwerte liegen seit dem Umbau deutlich tiefer. Die Auswirkungen sind besonders in der Tagesperiode massiv, da die Auswirkungen des neuen Oberbaus bei modernen Reisezügen deutlich grösser sind. Wegen einer kompletten Fahrbahnerneuerung beim Gleis 317 war die Station vom 3.4 bis 27.5.2019 ausser Betrieb. Im Jahr 2020 führten die leiseren Güterzüge und der Rückgang des Güterverkehrs wegen Corona nochmals zu deutlich tieferen Pegeln. Sie liegen im Jahr 2021 11-14 dB tiefer als die Werte 2003. Ab Mitte Januar 2023 stiegen die Emissionspegel vermutlich wegen Arbeiten am Gleis um 2-3 dB(A), wobei die Pegel bald wieder auf den Ausgangspegel zurückgingen. Wegen Störungen an einem Mikrofon und Ausfällen bei der Zugerkennung (Schienenschalter) konnten die Messdaten vom Juni bis September 2023 nicht ausgewertet werden.

## 4.2 Akustische Eigenschaften von Fahrbahn und Rollmaterial

### 4.2.1 Schienenrauheit

Die Entstehung des Lärms bei Schienenfahrzeugen ist insbesondere auf die Abweichungen von Rad und Schiene von der idealen runden bzw. ebenen Form zurückzuführen. Die sogenannte Schienenrauheit ist am Standort direkt messbar. Im Herbst 2023 ist die Schienenrauheit an allen Standorten gemäss ISO-Norm 3095 [5] gemessen worden. Der Einzahlwert  $L_{\lambda,CA}$  der Schienenrauheit [6] erlaubt den Vergleich von Messungen an verschiedenen Standorten.

Die Entstehung der Rauheit ist ein komplexes Phänomen, das heute noch nicht umfassend erklärbar ist. Mit der aktuellen Unterhaltsstrategie der SBB werden Gleise in regelmässigen Abständen präventiv geschliffen. Damit können sich keine deutlichen Schienenschäden ausbilden. Verriffelte Schienen, die zu einer hohen Lärmabstrahlung führen, werden auf diese Weise verhindert. Akustisch ein Nachteil ist, dass direkt nach dem Schleifen die Lärmermissionen wegen der temporär erhöhten Rauheit höher sind. Abhängig von der Anzahl und dem Gewicht der verkehrenden Fahrzeuge wird die Schiene nach dem Schleifen innerhalb von Wochen wieder glattgefahrt.

Die im Jahr 2023 gemessenen Schienenrauheiten sind teilweise markant höher als in den vorhergehenden Jahren. Bei den Stationen Lindau, Walenstadt und Steinen wurden die höchsten Schienenrauheiten seit Messbeginn registriert. In Lindau korrelieren die höheren Rauheiten mit höheren Lärmpegeln. Bei den anderen Stationen ist diese Korrelation nicht vorhanden. Von der Infrastrukturbetreiberin SBB wurde mitgeteilt, dass an der Schleif- und Unterhaltsstrategie nichts geändert wurde. Die SBB können sich die

hohen Rauheitswerte nicht erklären. Auf Schienenfotos zu den Messungen ist keine übermässige Abnutzung oder Rauheit der Schienen ersichtlich (ausser bei der Station Lindau). Für das BAV ist zurzeit offen, ob die höheren Schienenrauheiten real sind, oder ob sie mit einem anderen Vorgehen bei der Messung zusammenhängen. Es ist von Seiten BAV deshalb vorgesehen, die Messungen der Schienenrauheit im 2024 enger zu begleiten.

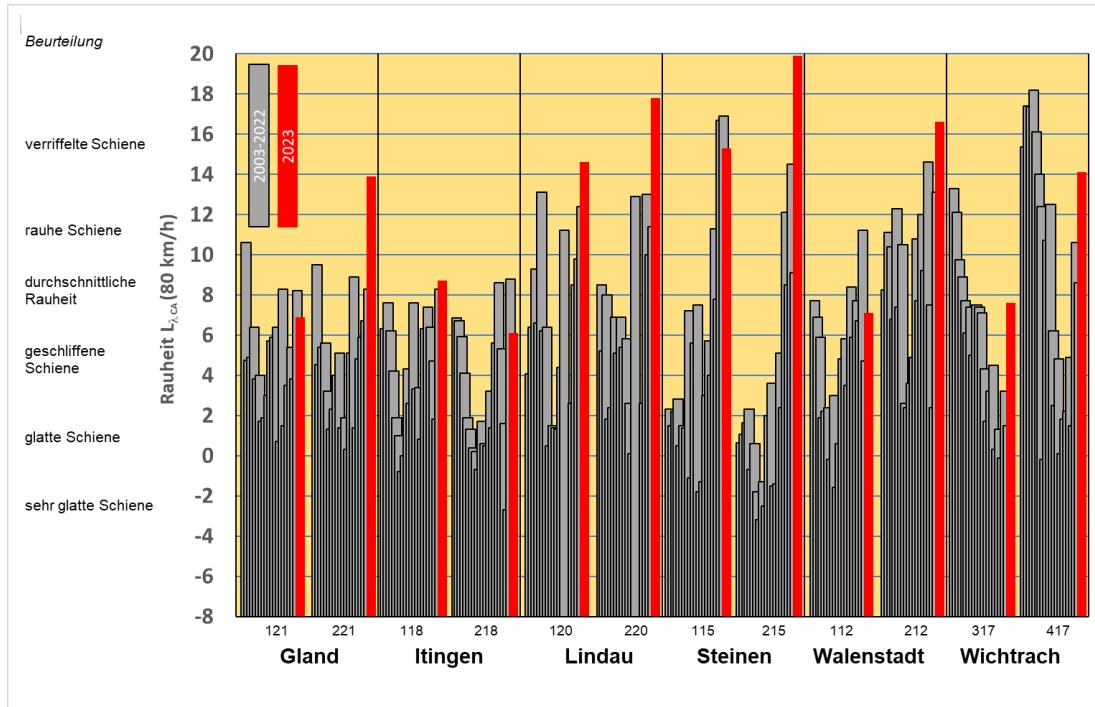


Abb. 6: Schienenrauheit an den Messstandorten  
beide Gleise, detaillierte Messergebnisse,  $L_{1,ca}$  vgl. Anhänge 3 und 6

#### 4.2.2 Abklingrate der Schiene (Track Decay Rate TDR)

Die Abstrahlung der Schiene trägt massgeblich zu den Lärmemissionen bei. Bei geringer Abklingrate der Schiene ist dieser Beitrag höher. Im Herbst 2023 wurde die Abklingrate bei allen Standorten gemessen. In Abbildung 7 sind die entsprechenden Einzahlwerte Track Noise Ratio TNR [13] dargestellt. Je negativer der Wert, desto geringer ist die Abstrahlung der Schiene.

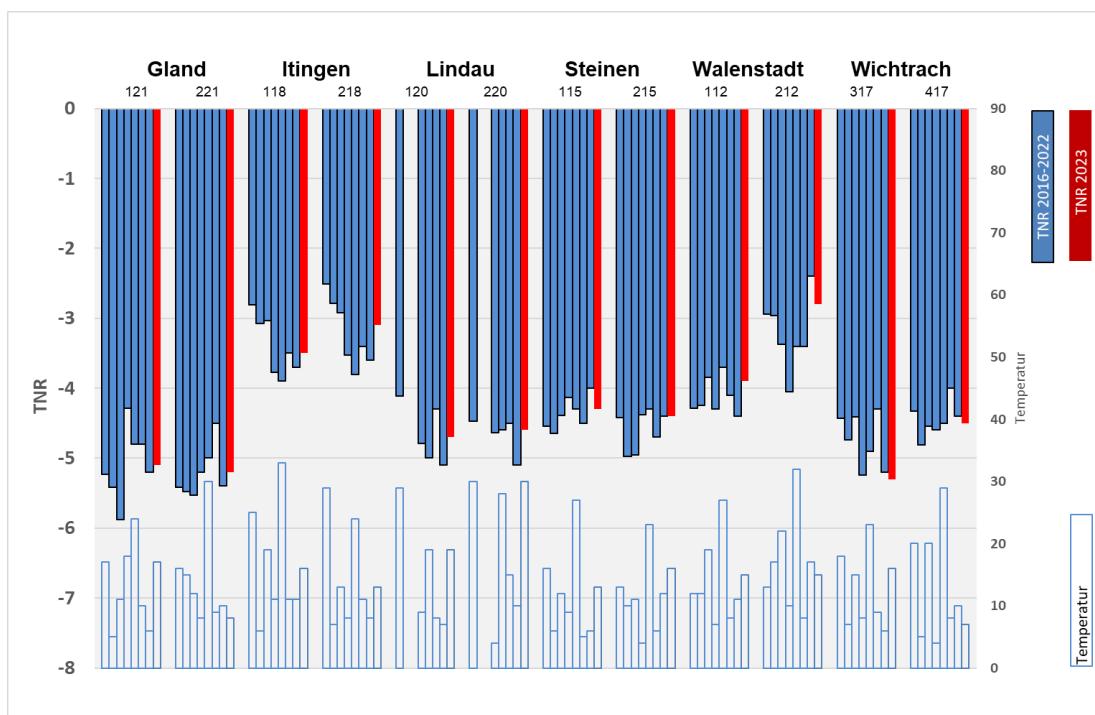


Abb. 7: Schienenabklingrate als Einzahlwert (TNR [13]) und Gleistemperatur

#### 4.2.3 Entwicklung Vorbeifahrtspegel (Transit Exposure Level TEL)

Ein gutes Mass für die Beurteilung der akustischen Eigenschaften des Gesamtsystems Fahrzeug-Fahrbahn ist der Vorbeifahrtspegel, normiert auf eine Geschwindigkeit von 80 km/h (TEL 80, Definition vgl. Anhang 3). Diese Messgrösse erlaubt den Vergleich der Messwerte zwischen den Stationen unabhängig von Geschwindigkeit und Verkehrsmenge. Diese Messgrösse ist gewissermassen der akustische Fingerabdruck des Systems Fahrzeug-Fahrbahn.

##### Personenzüge

In der Abbildung 8 sind die Medianwerte der Personenzüge pro Gleis für die Jahre 2003-2023 dargestellt. Bei den Personenzügen führt das Verschwinden der Wagen mit Graugussklotzbremsen und neues Rollmaterial in diesem Zeitraum zu einer Abnahme von rund 6 dB(A). Bei den beiden Gleisen in Wichtrach führten die Gleiserneuerungen 2013 und 2014 zu einem markanten Rückgang der Pegel. Dasselbe gilt für den Standort Walenstadt, dort wurden die Gleise im Jahr 2020 erneuert.

In Lindau führte der Einbau einer steifen Schwellenbesohlung vorerst nicht zu einer Pegelerhöhung. Im Jahr 2023 stiegen die Messwerte in Lindau nun aber markant an, vermutlich in erster Linie wegen Schleifarbeiten an den Schienen.

Ohne weitere Massnahmen dürften die heute erreichten Vorbeifahrtspegel nicht mehr weiter sinken. Akustisch ungünstige Eingriffe in den Oberbau (z. B. Schienenschleifen) führen zu erhöhten Vorbeifahrtspegeln.

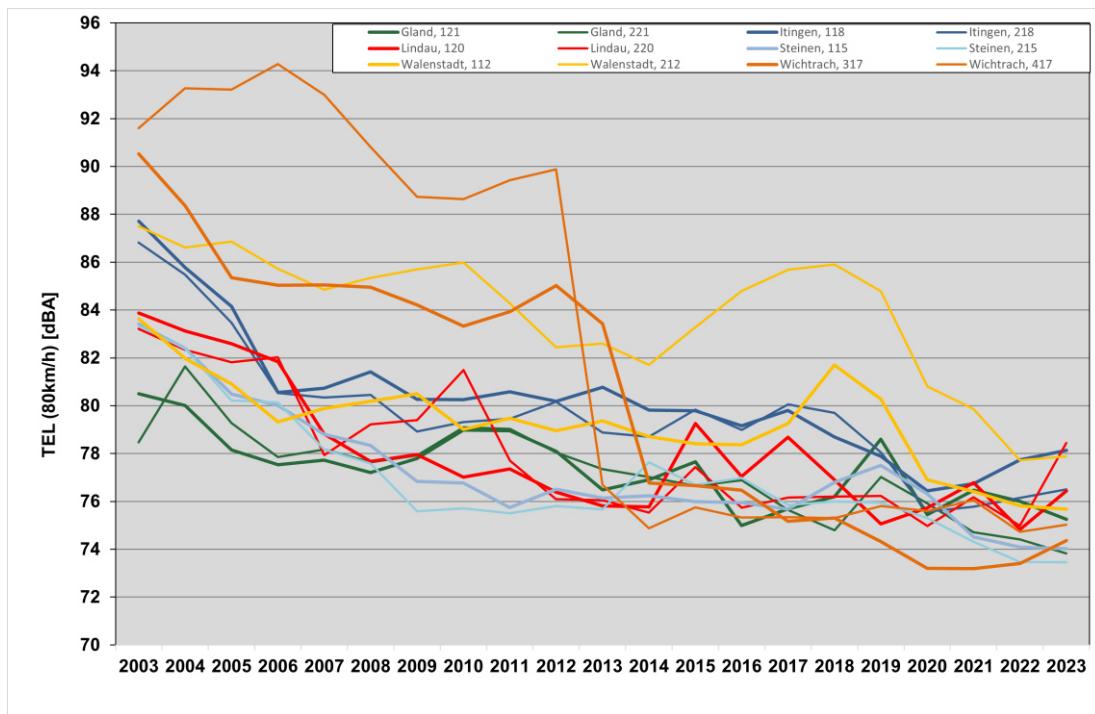


Abb. 8: Vorbeifahrtspegel Personenzüge (TEL, normiert auf  $V=80$  km/h)  
Medianwert pro Gleis

### Güterzüge

Bei den Güterzügen beträgt die Reduktion der gemessenen Vorbeifahrtspegel seit 2003 rund 10 dB (Abb. 9). Allerdings sind die Absolutwerte bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h weiterhin markant höher (6-8 dB) als im Personenverkehr.

Das Reduktionspotenzial beim Güterverkehr ist nun mindestens vorläufig ausgeschöpft. Der Anteil von lauten Wagen mit Grauguss-Sohlen (GG-Sohlen) liegt heute deutlich unter einem Prozent [12]. Die gemessenen Pegel im 2023 sind an mehreren Stationen, bedingt eventuell durch höhere Schienenrauheit, leicht ansteigend.

Für eine weitere Reduktion der Vorbeifahrtspegel von Güterwagen müssten die bestehenden Klotzbremsen durch Scheibenbremsen ersetzt werden. Damit könnten die Pegel um weitere ca. 4 dB reduziert werden. Eine Lärmreduktion bis auf das Niveau des Personenverkehrs wäre technologisch machbar, würde aber weitere Massnahmen beim Drehgestell und der Federung bedingen.

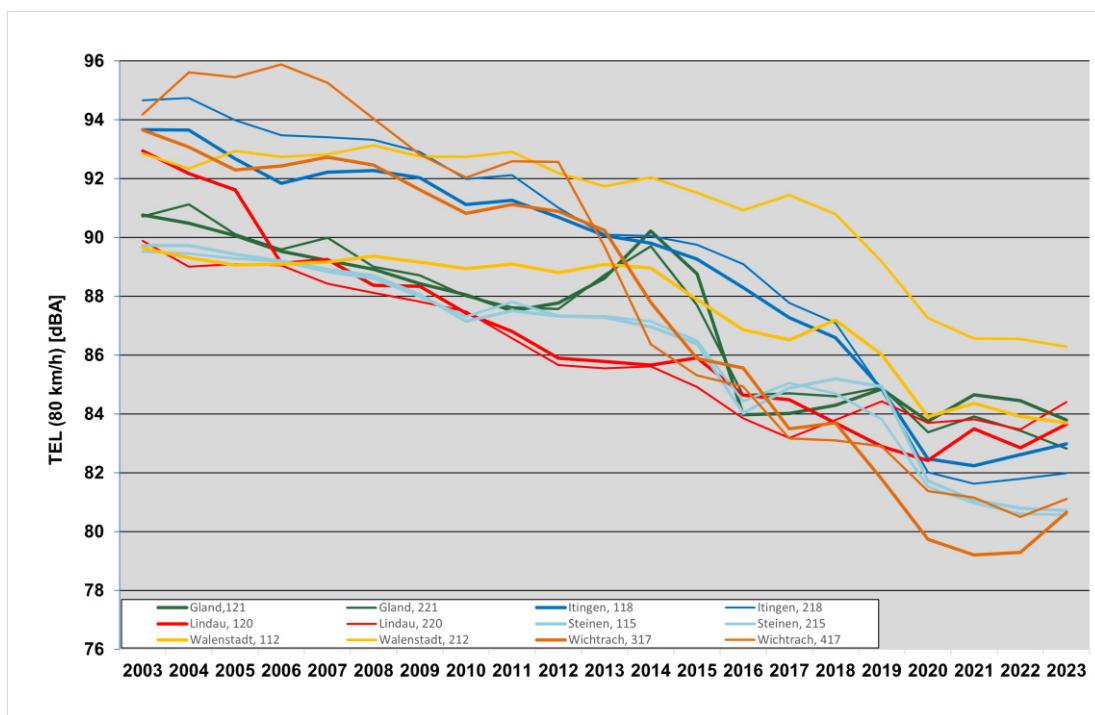


Abb. 9: Vorbeifahrtspegel Güterzüge (TEL, normiert auf  $V=80$  km/h)  
Medianwert pro Gleis

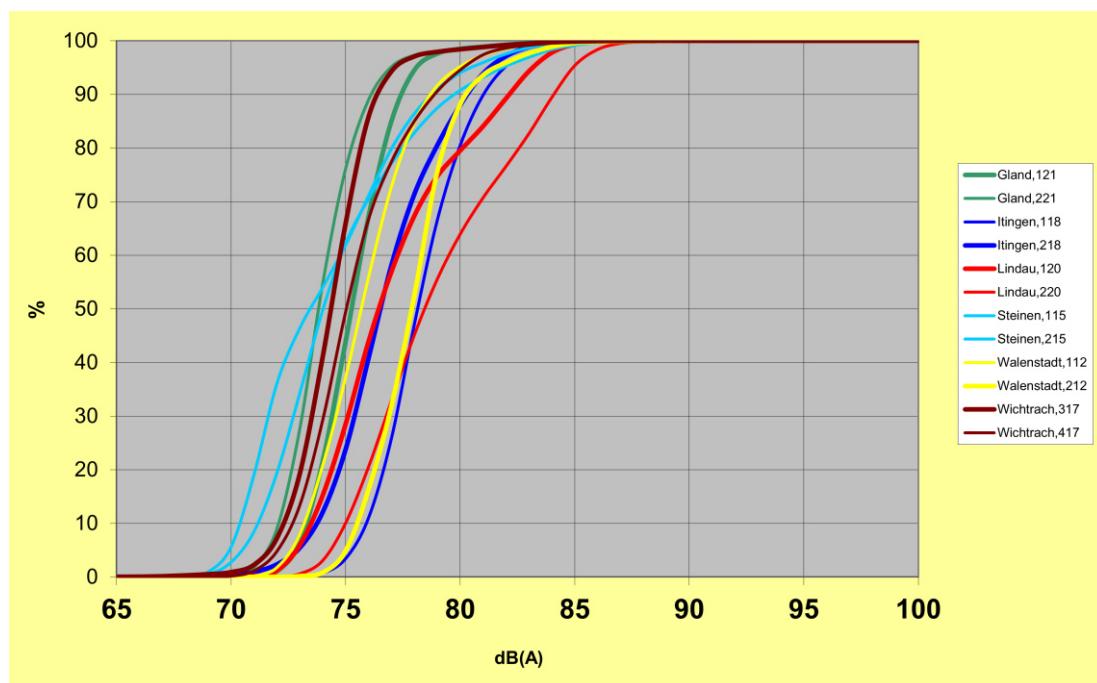
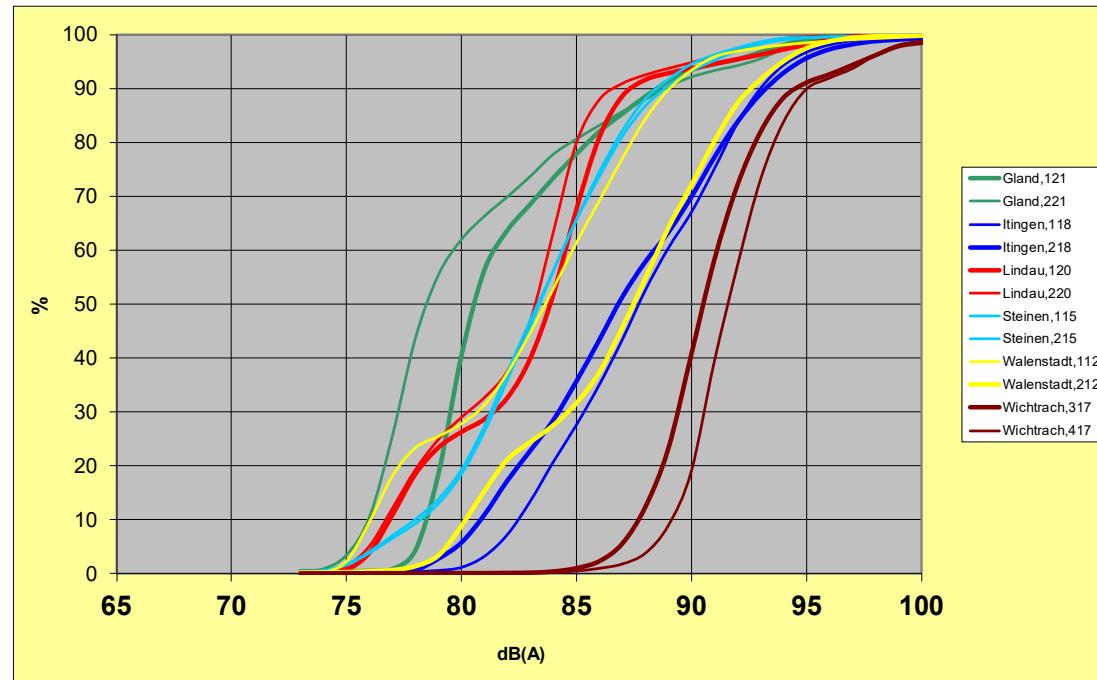
#### 4.2.4 Häufigkeitsverteilung Vorbeifahrtspegel

##### Personenzüge

In Abbildung 10 ist ersichtlich, welcher Anteil der Personenzüge im 2023 je Standort einen bestimmten Vorbeifahrtspegel erreicht. Der Vergleich mit den Summenkurven des Jahres 2003 (Abb. 11) zeigt die zeitliche Veränderung. Die Vorbeifahrtspegel sind in dieser Zeit markant gesunken, gleichzeitig ist die Streuung der Vorbeifahrtspegel zwischen den Messstandorten kleiner geworden, die Kurven sind näher zusammengerückt.

Die tieferen Vorbeifahrtspegel sind hauptsächlich auf neu beschafftes leiseres Rollmaterial zurückzuführen. Die näher zusammengerückten Summenkurven deuten darauf hin, dass die Oberbauten homogener geworden sind. Oberbausanierungen und der regelmässige Unterhalt (Schienenschleifen) haben den akustischen Zustand der Oberbauten verbessert. Die verbleibende Differenz zwischen den Standorten deutet darauf hin, dass bei Vorbeifahrten von Personenzügen das akustische Potential eines optimalen Oberbaus ca. 4-5 dB(A) beträgt.

Der prozentuale Anteil von Zügen unter 80 dB(A) liegt bei den meisten Gleisen bei 90%. Ein hoher Anteil von Zügen liegt damit unterhalb des Grenzwertes der TSI [8] für das Vorbeifahrgeräusch bei der Zulassung elektrischer Triebzüge.

Abb. 10: Summenkurve der TEL 80-Werte für Personenzüge **2023**, beide GleiseAbb. 11: Summenkurve der TEL 80-Werte für Personenzüge **2003**, beide Gleise

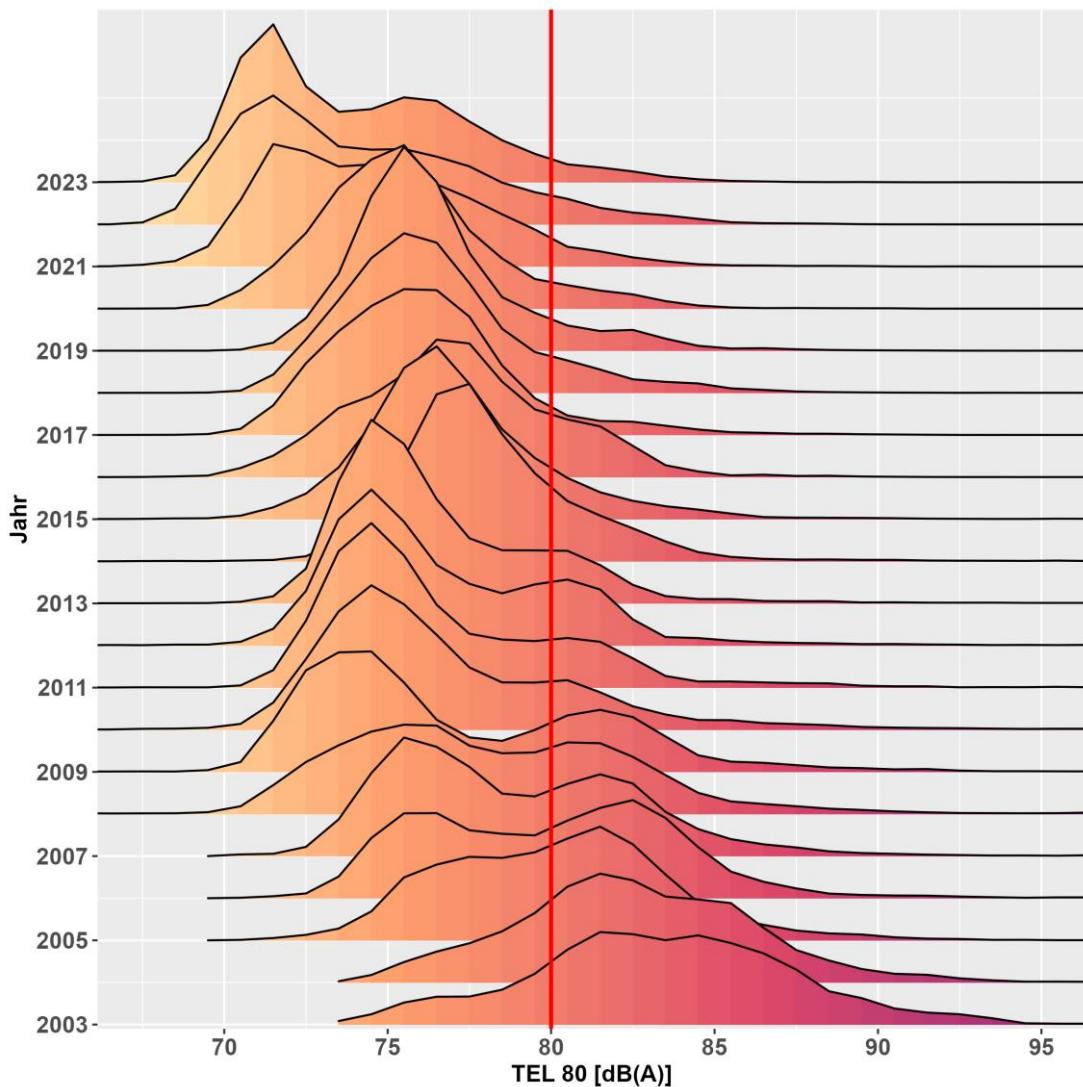
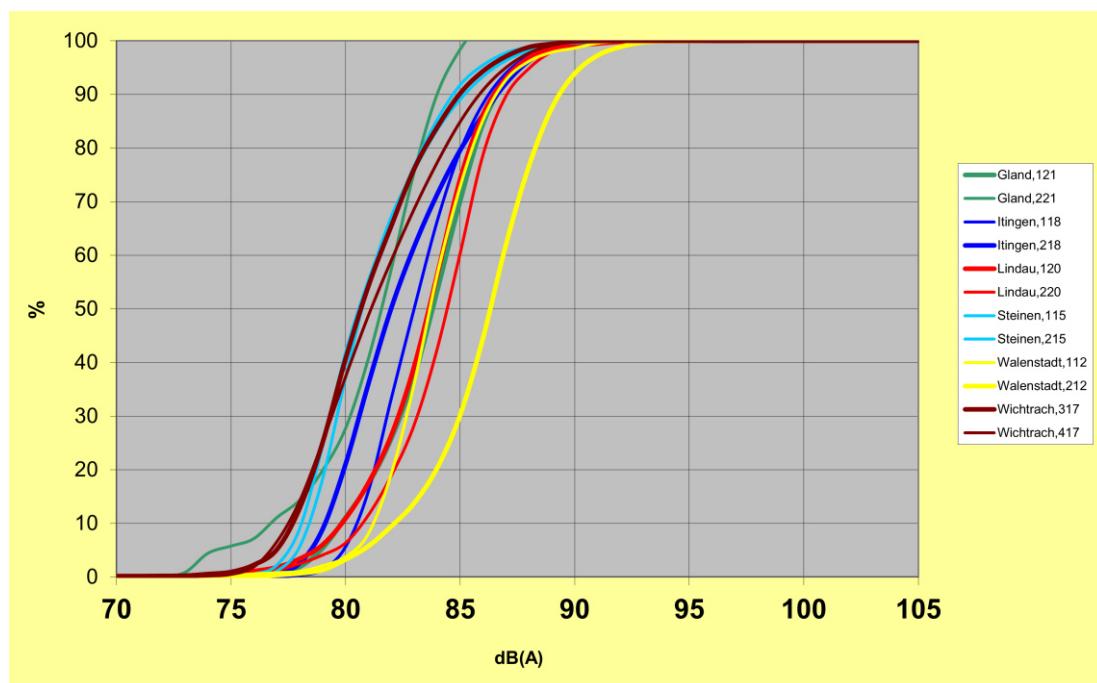
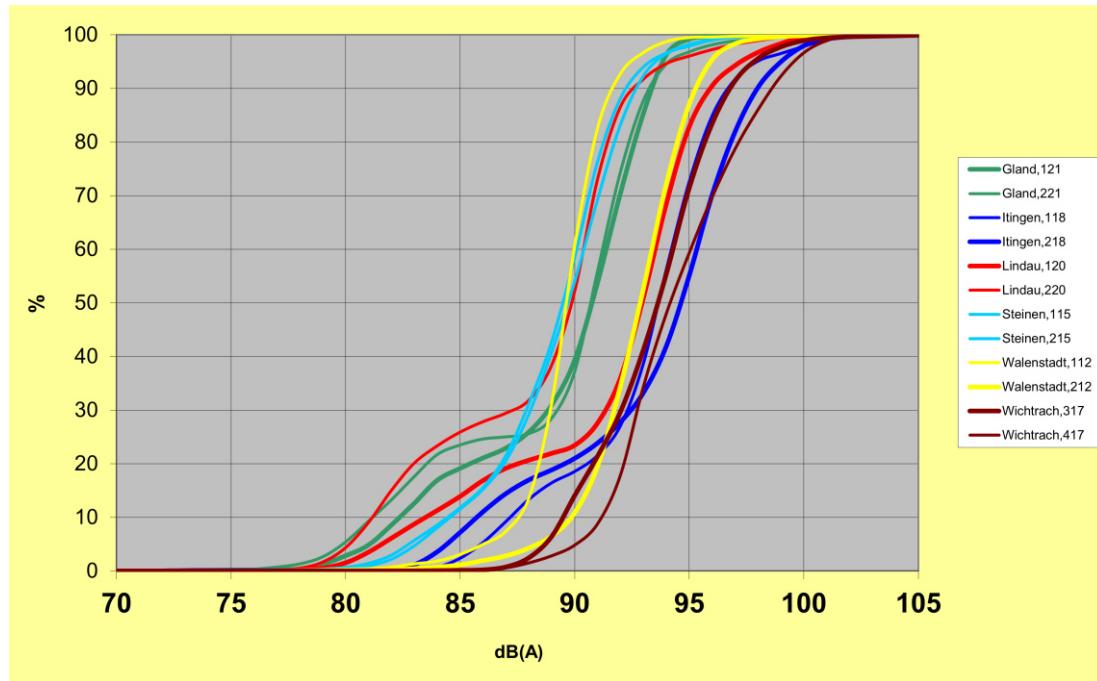


Abb. 12: Steinen (Gleis 215), Häufigkeitsverteilungen TEL 80 der Personenzüge 2003-2023

Die Darstellung zur Messstelle in Steinen (Abb. 12) zeigt exemplarisch die Lärmentwicklung des Rollmaterials der Personenzüge. Der Anteil lauter Züge hat stark abgenommen und es werden zunehmend Züge mit tiefen Emissionen eingesetzt. In Steinen ist dies aufgrund der über den ganzen Zeitraum günstigen Fahrbahneigenschaften besonders gut zu beobachten. Die Messwerte zeigen, dass die Grenzwerte der TSI [8] für neues Rollmaterial bei der Zulassung auch im fahrplanmässigen Betrieb zum überwiegenden Teil eingehalten werden. Die verbleibenden hohen Durchfahrtspegel dürften auf schlecht gewartete Züge zurückzuführen sein (z. B. Flachstellen).

### Güterzüge

Bei den Güterzügen (Abb. 13 bis 15) ist eine markante Abnahme der Vorbeifahrtspegel erkennbar. Das Verschwinden der lauten Güterwagen mit Grauguss-Sohlen hat zu einer Reduktion von rund 10 dB(A) geführt. Mit Ausnahme eines Gleises in Walenstadt liegt der Medianwert der Vorbeifahrtspegel (TEL 80) unter 85 dB(A). Durch das Verbot lauter Güterwagen seit 1.1.2020 ist die Streuung der Werte gegenüber den Vorjahren deutlich zurückgegangen.

Abb. 13: Summenkurve der TEL 80-Werte für Güterzüge **2023** beide GleiseAbb. 14: Summenkurve der TEL 80-Werte für Güterzüge **2003**, beide Gleise

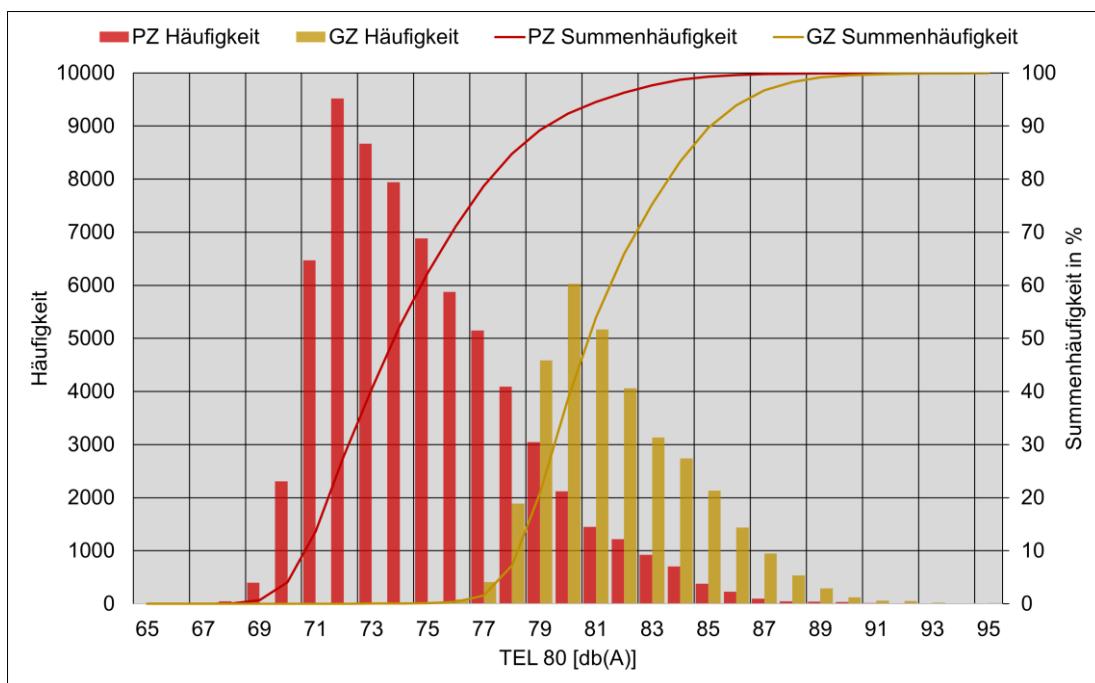


Abb. 15: Station Steinen 2023: Pegelhäufigkeitsverteilung für Güterzüge und Personenzüge

In Abbildung 15 ist die Pegelhäufigkeiten der beiden Zugskategorien für 2023 in Steinen aufgeführt. Die 5 %- und 95 % -Perzentile machen die Spreizung der Pegel für beide Kategorien deutlich. Personenzüge bewegen sich zwischen 70.1 und 81.3 dB, Güterzüge zwischen 77.7 und 86.3 dB. Die Dynamik für Personenzüge beträgt ca. 11 dB, für Güterzüge ca. 9 dB. Der Median liegt für Personenzüge bei 73.8 dB und für Güterzüge bei 80.7 dB. Der Median für Güterzüge liegt damit 7 dB über dem Median für Personenzüge.

Während Personenzüge vereinzelt ähnlich hohe Pegel wie Güterzüge erreichen können, liegen die niedrigsten Pegel der Güterzüge, rollmaterialbedingt, deutlich oberhalb der geringsten Pegel von Personenzügen.

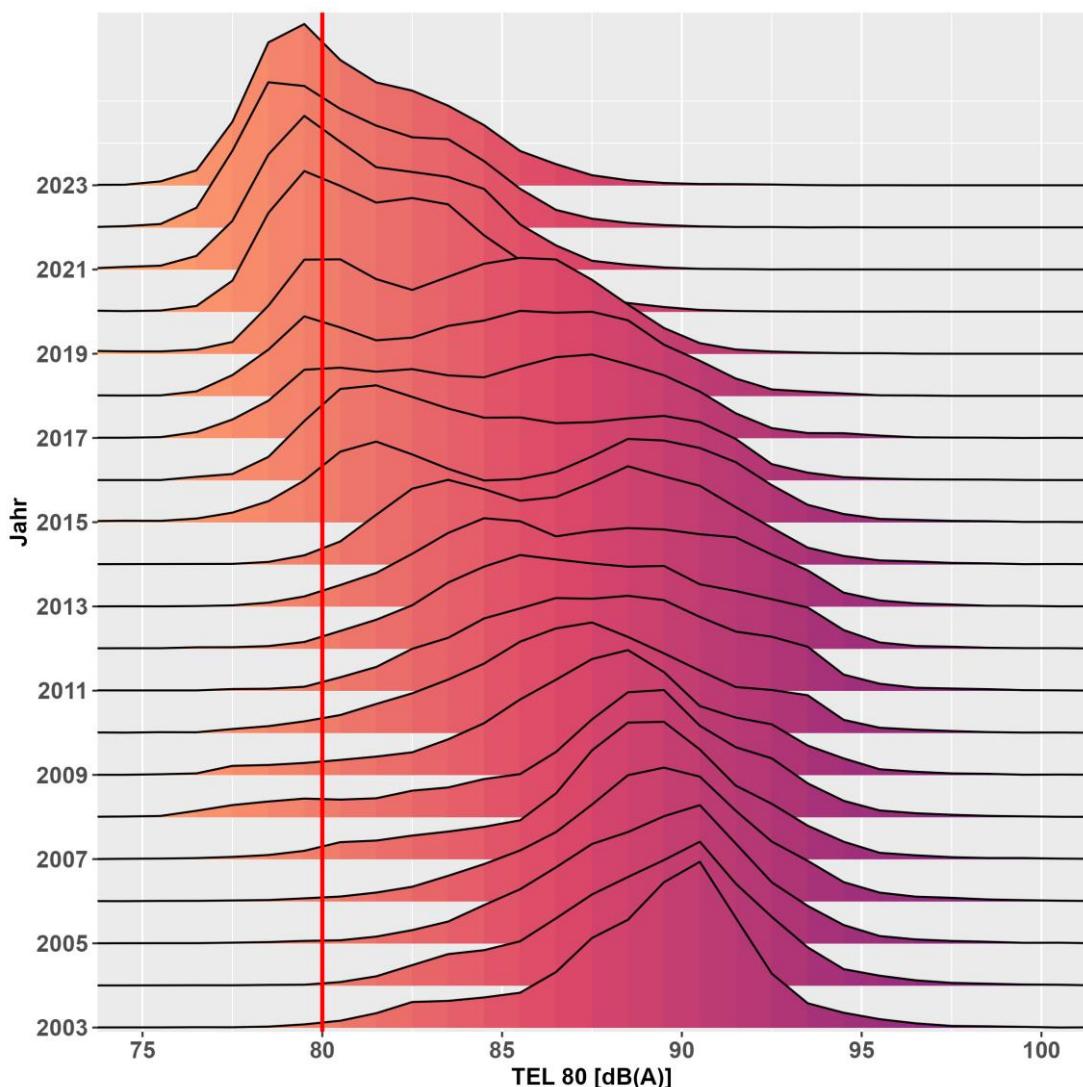


Abb. 16: Steinen (Gleis 215), Häufigkeitsverteilungen TEL 80 der Güterzüge 2003-2023

Die Abbildung 16 zeigt beispielhaft die Entwicklung der Vorbeifahrtspegel von Güterzügen in Steinen auf der Gotthardachse. Im Jahr 2003 dominierten noch laute Güterzüge mit GG-Sohlen. Mit der Sanierung der Güterwagen in der Schweiz bildete sich eine zweigipflige Verteilung aus. Mit dem Verbot der lauten Güterwagen mit GG-Sohlen ab dem Jahr 2020 sind die lauten Güterzüge weitgehend verschwunden.

## 4.2.5 Emissionswerte von Güterwagen

Im Hinblick auf die Einführung von Emissionsgrenzwerten für alle Güterwagen wurde ein Algorithmus entwickelt, um die Vorbeifahrtspegel von Güterwagen in den regulär verkehrenden Güterzügen zu ermitteln. Die Summenhäufigkeiten in den Abbildungen 17 und 18 beruhen auf den Werten von mehreren tausend Güterwagen. Die ermittelten Messwerte können direkt mit dem Emissionsgrenzwert der TSI Noise von 83 dB(A) verglichen werden. Die in den Grafiken eingetragene violette Linie bei 86 dB(A) ist ein Schwellenwert für leise Güterwagen. Er liegt 3 dB(A) über dem Grenzwert der TSI Noise [8]. Diesen gegenüber dem ursprünglichen Abnahmewert höheren Emissionswert können Wagen mit Kompositbremsen (K-Sohlen oder LL-Sohlen) im regulären Betrieb aufweisen. Wagen mit GG-Sohlen werden hingegen kaum Werte unter 86 dB(A) aufweisen. Die Linie bei 88 dB(A) repräsentiert den Emissionswert für Wagen mit GG-Bremssohlen oder für Wagen, die aus einem anderen Grund ausserordentlich laut sind (z. B. ausgeprägte Flachstellen).

Die Abbildung 17 zeigt, dass sich die Vorbeifahrtspegel von 4-achsigen Containertragwagen in Wichtrach im Gleis 1 zwischen Januar und Oktober 2024 deutlich reduziert haben. Im Gleis 2 tritt der gegenteilige Effekt auf, die Vorbeifahrtspegel steigen zwischen Januar und Oktober an. Der Grund für diese gegenläufigen Trends ist nicht bekannt. Es sind keine Arbeiten an der Infrastruktur bekannt, ausser Schleifarbeiten am 5. und 7. März 2023. Diese hatten sicher keinen Einfluss auf die Messungen im Januar, aber voraussichtlich auch nicht auf die Messungen im Oktober. Die Schleifriefen in der Schiene sind nach 6 Monaten intensivem Verkehr wieder glattgefahren. Das BAV beabsichtigt, in Zusammenarbeit mit der Infrastrukturbetreiberin solche Phänomene genauer abzuklären.

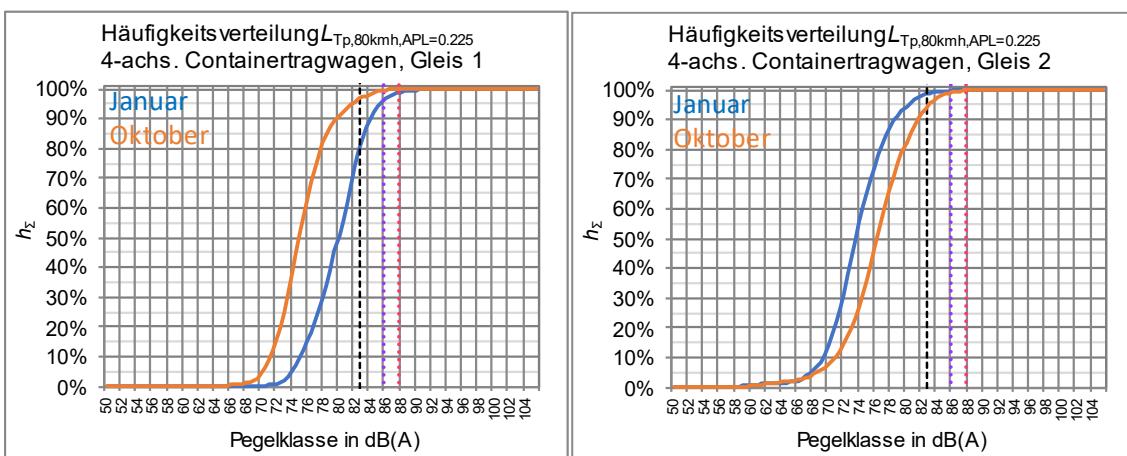


Abb. 17: Summenhäufigkeit der normierten Schalldruckpegel für 4-achsige Containertragwagen im Januar (6457 Wagen), respektive Oktober 2024 (9728 Wagen) an der Messstation Wichtrach auf den Gleisen 417 (Gleis 1) und 317 (Gleis 2).

In Abbildung 18 ist ersichtlich, dass die Vorbeifahrtspegel von zumeist älteren zweiachsigen Güterwagen in der Regel deutlich höher sind als diejenigen von 4- oder 6-achsigen Containertragwagen. Die Güterwagen der rollenden Landstrasse sind wegen der kleinen Räder und den Scheibenbremsen deutlich leiser.

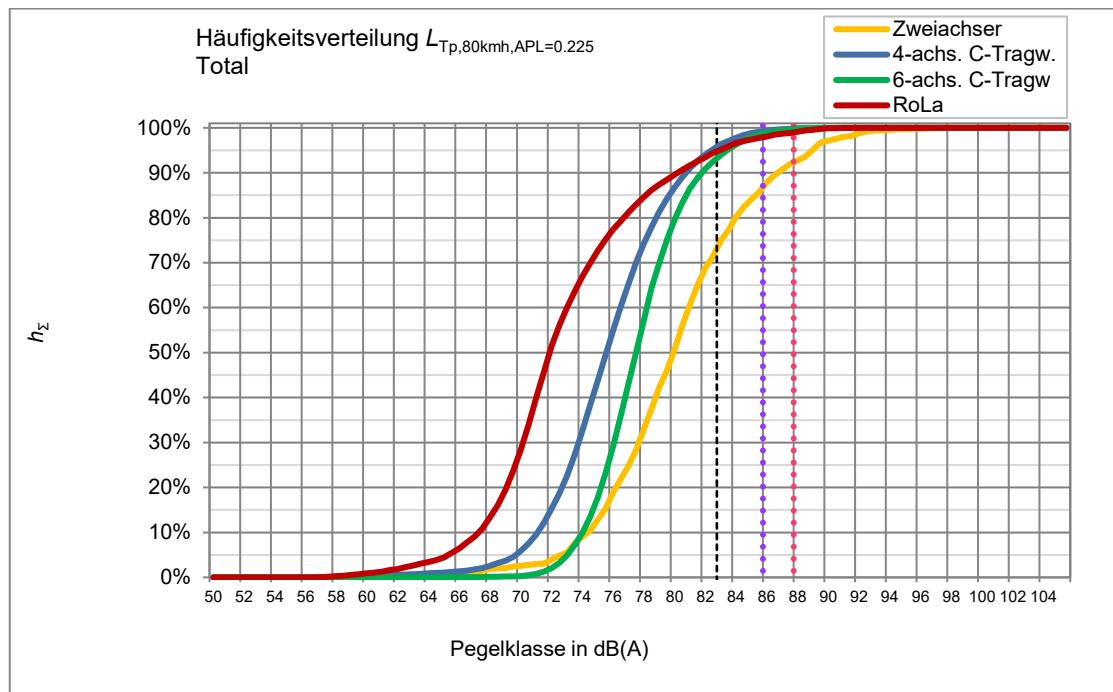


Abb. 18: Summenhäufigkeit der normierten Schalldruckpegel für verschiedene Güterwagenarten im Oktober 2024 an der Station Wichtrach (907 Zweiachs, 9728 4-achsige Containertragwagen, 8085 6-achsige Containertragwagen, 5234 Güterwagen der rollenden Landstrasse).

## 4.3 Anteil Güterverkehr

Der Güterverkehr ist mit langen Zügen und verhältnismässig lautem Rollmaterial unterwegs. Dies führt dazu, dass die Lärmemissionen insbesondere in der Nachtperiode vom Güterverkehr dominiert werden. Abbildung 19 zeigt den Anteil der Güterzüge am gesamten Emissionspegel  $Leq,e$  an allen Messstationen, am Tag und in der Nacht.

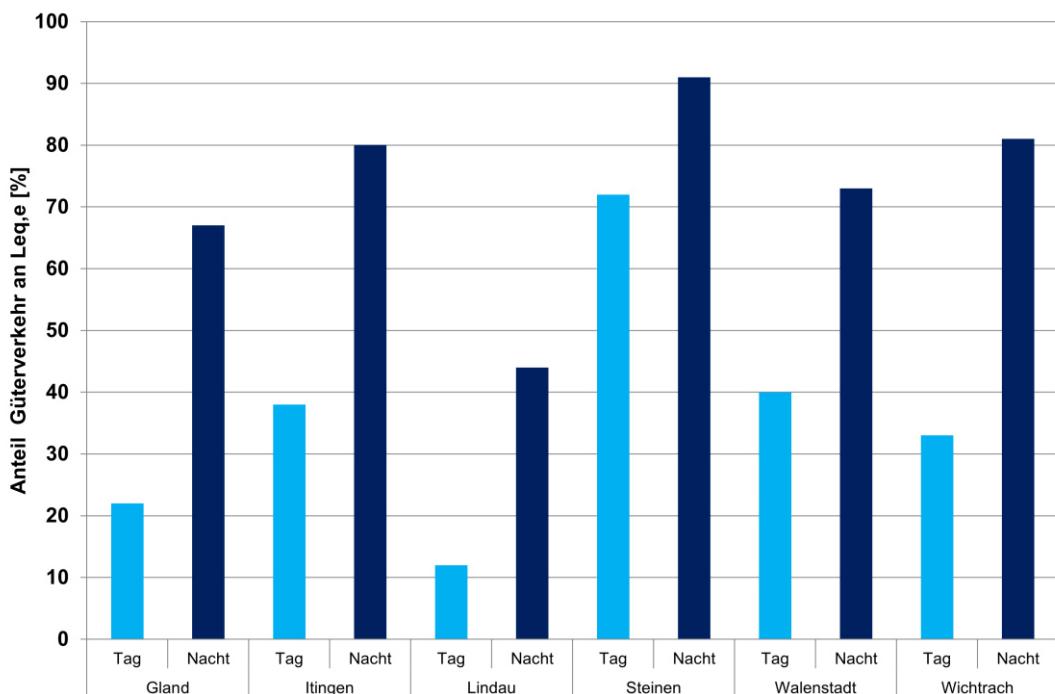


Abb. 19: Anteil des Güterverkehrs an den Gesamtemissionen 2023

Aufgrund der logarithmischen Dezibelskala ist eine wahrnehmbare Reduktion der Gesamtemissionen bei Anteilen von mehr als 75% nur durch eine Reduktion bei den Emissionen des Güterverkehrs möglich. Reduktionen beim Güterverkehr führen in diesen Fällen zu gleich grossen Reduktionen des Gesamtpegels.

In Abbildung 20 ist für die Station Steinen im Jahr 2023 ersichtlich, wie der Lärmpegel des Gesamtzugsaufkommens nur leicht oberhalb des Lärmpegels der Güterwagen liegt. Obwohl das Güterzugsaufkommen nur 25% des Gesamtzugaufkommens ausmacht, dominiert der Güterverkehr den Lärmpegel. Nach dem Unfall eines Güterzuges am Gotthard verkehren zwischen dem 10.-23. August 2023 kaum mehr Güterzüge, der Gesamtlärmpegel fällt in diesem Zeitraum um ca. 4 dB(A).

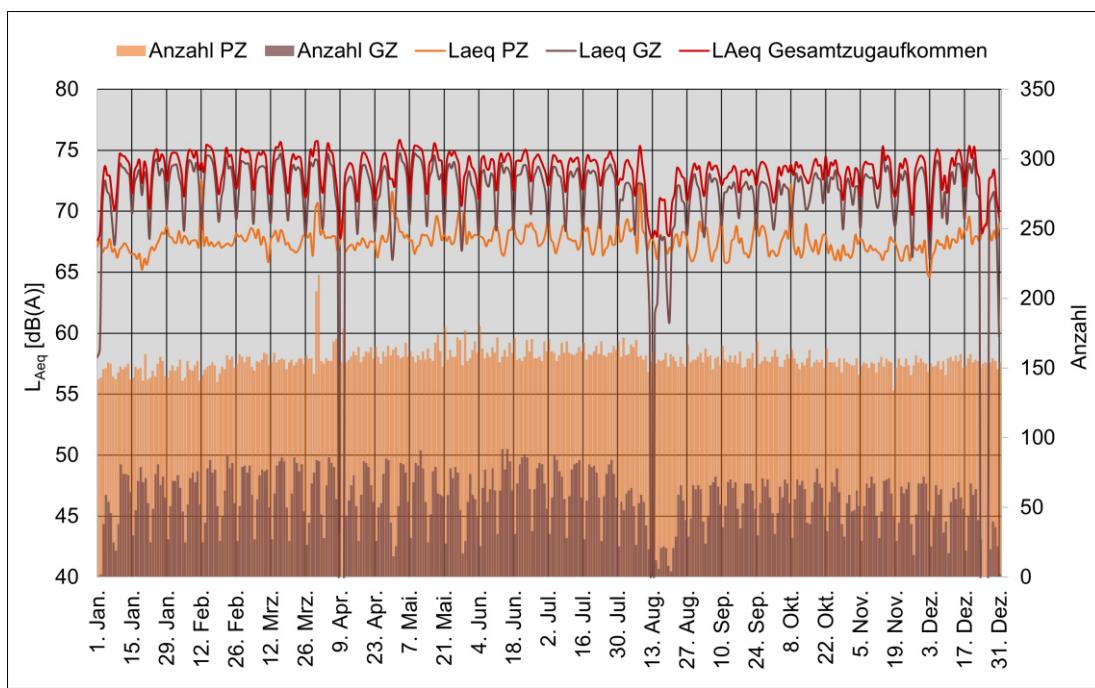


Abb. 20: Station Steinen 2023, Anzahl Personenzüge (PZ) und Güterzüge (GZ), Lärmpegel je Zugskategorie (L<sub>Aeq</sub>) und Lärmpegel Gesamtzugsaufkommen (L<sub>Aeq</sub>)

## 4.4 Verkehr

In den Abbildungen 21 und 22 ist die Entwicklung der Zugzahlen seit Messbeginn dargestellt.

Der Gesamtverkehr hat seit 2003 bei allen Monitoringstationen zugenommen, allerdings nicht bei allen Stationen im selben Ausmass. Aufgrund der Corona-Pandemie erfolgte im Jahr 2020 generell ein leichter Rückgang.

Beim Güterverkehr ist die Situation uneinheitlich. Je nach Messstation gibt es unterschiedliche Trends. Seit 2017 und der Eröffnung des Basistunnels ist der Güterverkehr am Gotthard (Station Steinen) wieder zunehmend, am Lötschberg (Station Wichtrach) abnehmend, ebenso abnehmend sind die Frequenzen in Itingen. Die Summe der Güterzüge auf den Transitachsen Lötschberg (Wichtrach) und Gotthard (Steinen) ist seit 2003 fast unverändert.

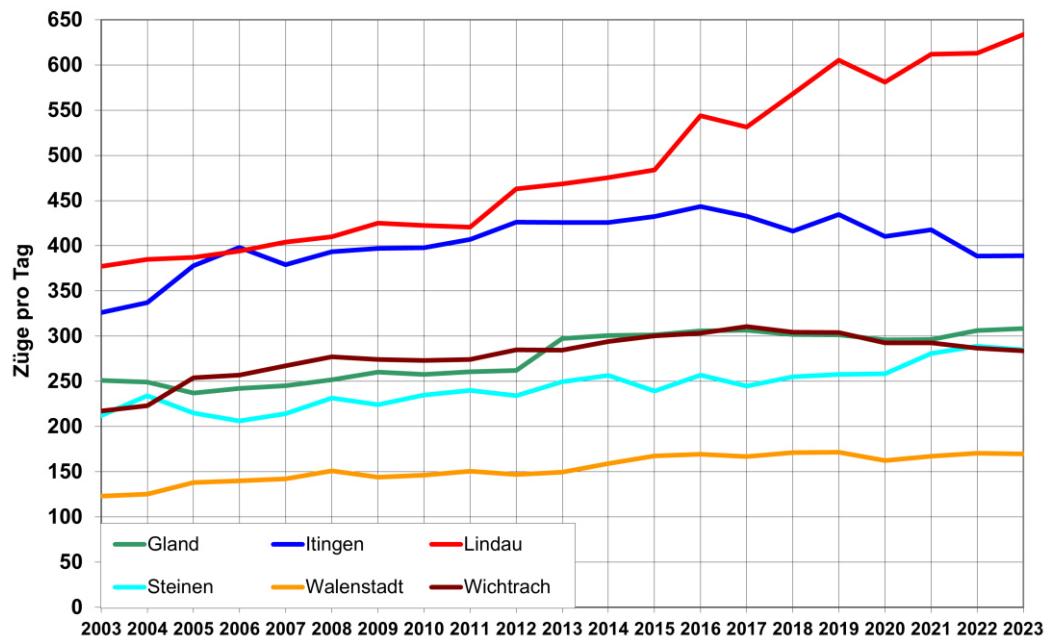


Abb. 21: Entwicklung Gesamtverkehr, mittlere Anzahl Züge pro Tag 2003-2023

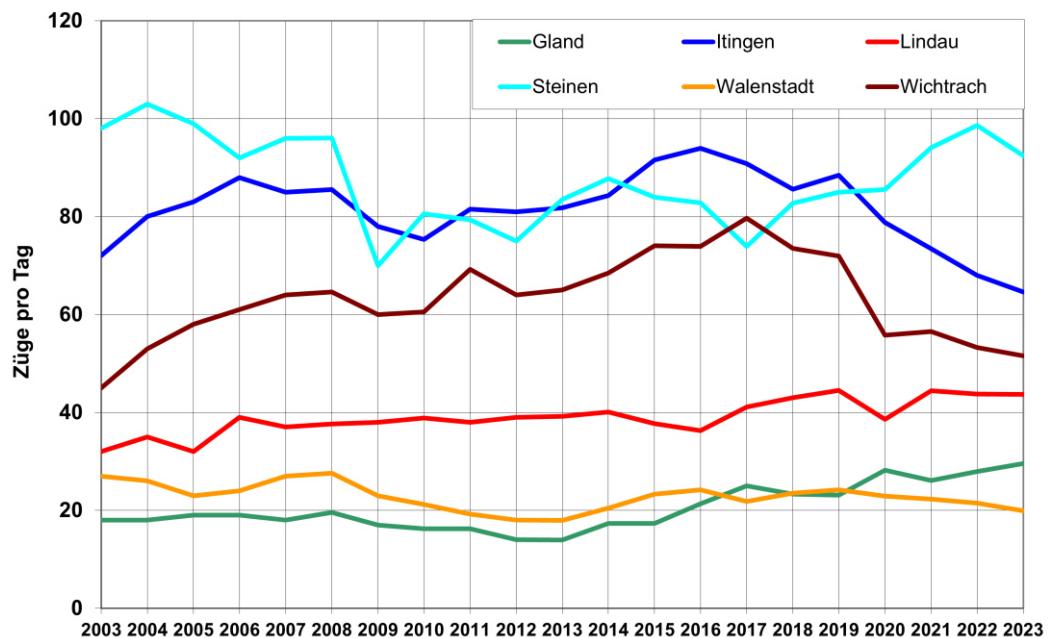


Abb. 22: Entwicklung Güterverkehr, mittlere Anzahl Züge pro Tag 2003-2023

## Abkürzungsverzeichnis

|                            |   |                 |   |
|----------------------------|---|-----------------|---|
| <b>A</b>                   |   | <b>M</b>        |   |
| <b>B</b>                   |   | <b>N</b>        |   |
| <b>BAV</b>                 | Bundesamt für Verkehr   | <b>O</b>        |   |
| <b>BGLE</b>                | Bundesgesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen vom 24.3.2000 [1]   | <b>P</b>        |   |
| <b>C</b>                   |   | <b>Q</b>        |   |
| <b>D</b>                   |   | <b>R</b>        |   |
| <b>dB(A)</b>               | A-bewerteter Schallpegel  | <b>S</b>        |   |
| <b>DPZ</b>                 | Doppelstock-Pendelzug mit Re450; S-Bahn Zürich)   | <b>SEL</b>      | Sound Exposure Level (Schallexpositionspegel)   |
| <b>E</b>                   |   | <b>SEMI-BEL</b> | Schweizerisches Emissions- und Immissionsmodell für die Berechnung von Eisenbahnlärm [4]  |
| <b>F</b>                   |   | <b>sonRAIL</b>  | Neues Referenzmodell Eisenbahnlärm in der Schweiz [11]  |
| <b>G</b>                   |   | <b>T</b>        |   |
| <b>H</b>                   |   | <b>TDR</b>      | Track Decay Rate, Schienenabklingrate   |
| <b>I</b>                   |   | <b>TEL</b>      | Transit Exposure Level, A-bewerteter Schallpegel einer ganzen Zugsdurchfahrt normalisiert auf die Vorbeifahrtsdauer (vgl. Anhang 3) |
| <b>J</b>                   |   | <b>TEL 80</b>   | TEL normiert auf eine Geschwindigkeit von 80 km/h   |
| <b>K</b>                   |   | <b>TNR</b>      | Track Noise Ratio [13]  |
| <b>L</b>                   |   | <b>TSI</b>      | Technische Spezifikation für die Interoperabilität [9]  |
| <b>Leq,e</b>               | Energieäquivalenter Dauerschallpegel der Lärmemission im fiktiven Abstand von 1m zur Schienennachse                                 | <b>U</b>        |   |
| <b>L<sub>pAeq,Tp</sub></b> | A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschalldruckpegel während einer Zugsvorbeifahrt dB(A), vgl. Anhang 3                           | <b>V</b>        |   |
| <b>L<sub>r,e</sub></b>     | Emissionsbeurteilungspegel der Lärmemission gemäss Lärmschutzverordnung (LSV), entspricht der Summe von Leq,e und Pegelkorrektur K1 | <b>VLE</b>      | Verordnung über die Lärmsanierung der Eisenbahnen vom 4. Dezember 2015 [2]  |
| <b>LSV</b>                 | Lärmschutzverordnung vom 15. Dezember 1986 [3]  | <b>W</b>        |   |
| <b>L<sub>λCA</sub></b>     | Einzahlwert der Schienenrauheit (vgl. [6])  | <b>X</b>        |   |
|                            |   | <b>Y</b>        |   |
|                            |   | <b>Z</b>        |   |
|                            |   | <b>ZKE</b>      | Zugkontrolleinrichtung  |

## Verzeichnis der Anhänge

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>ANHANG 1</b> | <b>Messkonzept</b>                                     |
| <b>ANHANG 2</b> | <b>Messnetz</b>  |
| <b>ANHANG 3</b> | <b>Spezielle Messgrößen</b>                            |
| <b>ANHANG 4</b> | <b>Kennzahlen 2023</b>                                 |
| <b>ANHANG 5</b> | <b>Monatsmittelwerte L<sub>r,e</sub><br/>2003-2023</b> |
| <b>ANHANG 6</b> | <b>Schienenrauheit und<br/>Track-Decay-Rate 2023</b>   |
| <b>ANHANG 7</b> | <b>Literatur</b>                                       |

## ANHANG 1: MESSKONZEPT

### Messauftrag

Das Bundesamt für Verkehr hat die Durchführung und Auswertung der Messungen zum zweiten Mal öffentlich ausgeschrieben und einer von den Bahnen unabhängigen Firma vergeben. Seit 2016 werden die Messungen von Müller-BBM Schweiz AG, respektive Müller-BBM Industry Solutions GmbH durchgeführt.

### Referenzwerte

#### *Festgelegte Emissionen*

Der vorliegende Bericht enthält die Messdaten und setzt sie in Bezug zu den festgelegten Emissionen. Die Festlegung der Emissionen erfolgte im Rahmen der Lärmsanierung der Eisenbahnen durch den Emissionsplan 2015. Im Rahmen von Plangenehmigungsverfahren erfolgten streckenweise davon abweichende Festlegungen. Im Bereich der Messstationen des Monitorings ist dies nicht der Fall. Die Werte entsprechen weiterhin dem Emissionsplan 2015.

#### *Emissionskataster*

Der Vergleich mit dem Emissionskataster eines Bezugsjahres erlaubt eine Beurteilung der Entwicklung und gibt Hinweise auf Bereiche, wo die zulässigen Immissionen (gemäss Art. 37a LSV) überschritten werden.

### Weitere Messungen

Das Monitoring Eisenbahnlärm zur messtechnischen Überwachung der Lärmentwicklung der Eisenbahnen wird durch weitere Messungen ergänzt:

- *Stichprobenmessungen*

Für die Klärung von spezifischen Fragestellungen sind als Ergänzung zu den fixen Messstationen des Monitorings kurzzeitige Stichprobenmessungen auch an anderen Standorten vorgesehen.

- *Kontrollmessungen Rollmaterial*

Die Wirkung der Sanierung des Rollmaterials wird durch Kontrollmessungen überprüft.

- *Messungen an mobilen Stationen*

Durch Messungen während einigen Wochen werden die tatsächlichen Lärmemissionen an weiteren Standorten erfasst werden. In den Jahren 2009-2013 und 2018 wurden Messungen an neun Standorten durchgeführt.

## ANHANG 2: MESSNETZ

### Messstandorte

Die Messdaten des Monitorings Eisenbahnlärm erfassen die Gesamtemissionen, die durch das Gesamtsystem Rollmaterial – Fahrbahnoberbau an typischen Standorten verursacht werden. Die Standorte wurden so gewählt, dass die Lärmemissionen an verschiedenen Strecken mit unterschiedlicher Verkehrszusammensetzung erfasst werden. Die Wahl der Messstandorte soll eine Übertragung der wesentlichen Ergebnisse auf das gesamte Streckennetz erlauben. Die Messungen laufen an den permanenten Stationen seit 2003.

| Ort               | Code | DfA -Nr. | Bahn-km | Gleis-Nr.  |                 | Hauptfahrrichtung   | Schiene- nentyp | Zwischen- lagen | Schwellen  |
|-------------------|------|----------|---------|------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|--|
|                   |      |          |         | Monitoring | MBBM /<br>Accon |                     |                 |                 |  |
| <b>Wichtrach</b>  | I01  | 290      | 127.4   | 317        | 2/317           | Bern-Thun           | UIC 60          | EVA hart, 7mm   | Beton (bis 4.14)   |
|                   |      |          |         | 417        | 1/417           | Thun-Bern           | UIC 60          | EVA hart, 6mm   | B-91 (ab 4.14)<br>Beton (bis 4.13)                             |
| <b>Gland</b>      | I02  | 150      | 32.6    | 121        | 2/421           | Genf-Lausanne       | UIC 60          | EVA hart, 6mm   | B-91   |
|                   |      |          |         | 221        | 1/321           | Lausanne-Genf       | UIC 60          | EVA hart, 6mm   | B-91   |
| <b>Itingen</b>    | I03  | 500      | 19.8    | 218        | 2/220           | Olten-Basel         | UIC 60          | EVA hart, 6mm   | B-70   |
|                   |      |          |         | 118        | 1/120           | Basel-Olten         | UIC 60          | EVA hart, 6mm   | B-70   |
| <b>Steinen</b>    | I04  | 600      | 14.7    | 115        | 1/215           | Flüelen-Arth-Goldau | UIC 60          | EVA hart, 6mm   | B-91   |
|                   |      |          |         | 215        | 2/115           | Arth-Goldau-Flüelen | UIC 60          | EVA hart, 6mm   | B-91   |
| <b>Walenstadt</b> | I05  | 890      | 10.6    | 112        | 2/112           | Sargans-Zürich      | UIC 54          | EVA hart, 6mm   | Zweiblock SL (bis 11.06)                                       |
|                   |      |          |         | 212        | 1/212           | Zürich-Sargans      | UIC 60          | EVA hart, 6mm   | B-91 (ab 11.06)<br>B-70  |
| <b>Lindau</b>     | I06  | 751      | 19.6    | 120        | 2/220           | Winterthur-Zürich   | UIC 60          | EVA hart, 7mm   | B-70 (bis 8.17)  |
|                   |      |          |         | 220        | 1/120           | Zürich-Winterthur   | UIC 60          | EVA hart, 7mm   | B-91, steif besohlt (ab 2018)<br>B-91, steif besohlt (ab 2018) |

Tabelle A2.1: Messstandorte festes Messnetz

| Ort                  | Code | DfA -Nr. | Bahn- km | Gleis- Nr. (Moni- toring) | Hauptfahrrichtung                                  | Schie- nentyp      | Schwellen- typ         | Messperiode                        |
|----------------------|------|----------|----------|---------------------------|--|--------------------|------------------------|------------------------------------|
| <b>Metten- dorf</b>  | I07  | 840      | 47.5     | 150<br>250                | Frauenfeld-Romans- horn<br>Romanshorn-Frau- enfeld | UIC 54E<br>UIC 54E | Stahl<br>Stahl         | 9.11.-29.11.2009                   |
| <b>Wikon</b>         | I08  | 500      | 49.5     | 149<br>249                | Luzern-Olten<br>Olten Luzern                       | UIC54E<br>UIC54E   | Stahl<br>Stahl         | 24.4.-27.5.2010                    |
| <b>Windisch</b>      | I09  | 710      | 29       | 128<br>228                | Brugg-Baden<br>Baden-Brugg                         | UIC60<br>UIC60     | Beton B70<br>Beton B91 | 12.8.-8.9.2010                     |
| <b>Bavois</b>        | I10  | 210      | 23.2     | 513<br>613                | Lausanne-Olten<br>Olten-Lausanne                   | UIC60<br>UIC60     | Beton B70<br>Beton B70 | 17.9.-7.10.2010                    |
| <b>Versvey</b>       | I11  | 100      | 35.2     | 123<br>223                | Lausanne-Sion<br>Sion-Lausanne                     | UIC54<br>UIC54     | Holz<br>Holz           | 8.10.-9.11.2010                    |
| <b>Melano</b>        | I12  | 600      | 193.1    | 100<br>200                | Chiasso-Lugano<br>Lugano-Chiasso                   | UIC54<br>UIC54     | Holz<br>Holz           | 10.9.-23.9.2011                    |
| <b>Schönen- werd</b> | I13  | 540      | 47.7     | 300<br>400                | Aarau-Olten<br>Olten-Aarau                         | UIC60<br>UIC60     | Holz<br>Holz           | 17.8.-2.9.2011                     |
| <b>Villna- chern</b> | I14  | 700      | 34.6     | 134<br>234                | Brugg-Pratteln<br>Pratteln-Brugg                   | UIC60<br>UIC60     | Beton<br>Beton         | 27.6.-8.8.2011                     |
| <b>Selzach</b>       | I15  | 410      | 80.01    |                           | Biel-Solothurn<br>Solothurn-Biel                   | UIC60<br>UIC60     | Beton<br>Beton         | 5.11.-17.12.2013<br>1.4.-30.4.2018 |

Tabelle A2.2: Messstandorte Stichprobenmessungen

## Ausrüstung der Messstandorte

Alle sechs Messstandorte sind identisch ausgerüstet. Die Messdistanzen (vgl. Abb. A2.1 u. 2) entsprechen den Anforderungen der massgebenden ISO 3095 [5].

Für jede Zugvorbeifahrt wird ein Datensatz mit den gemessenen und berechneten Größen abgelegt. In einer separaten Datei werden das Achsmuster und der Pegel-Zeit-Verlauf gespeichert.

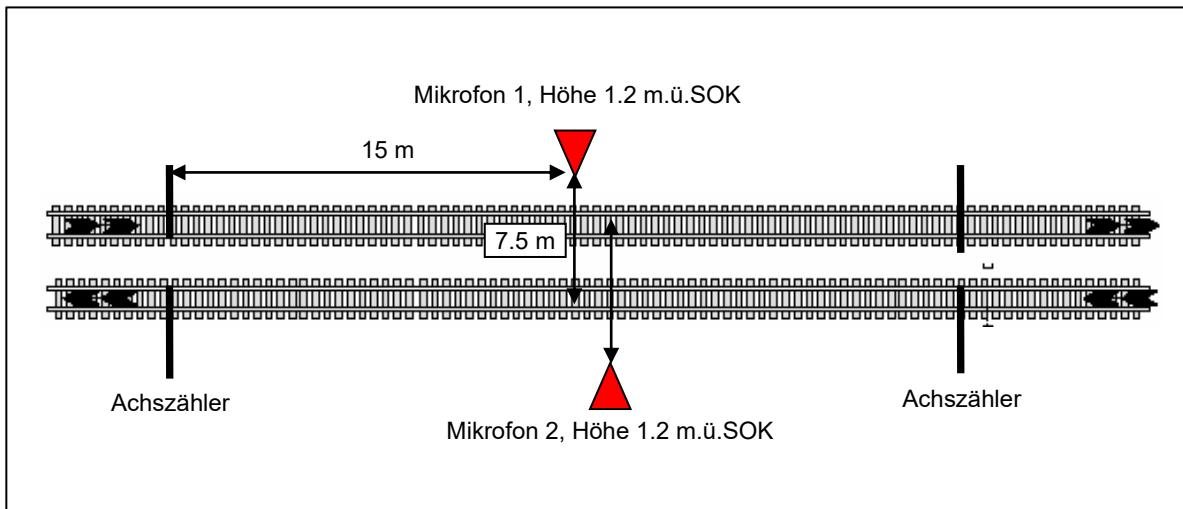


Abb. A2.1: Situation Messstandort

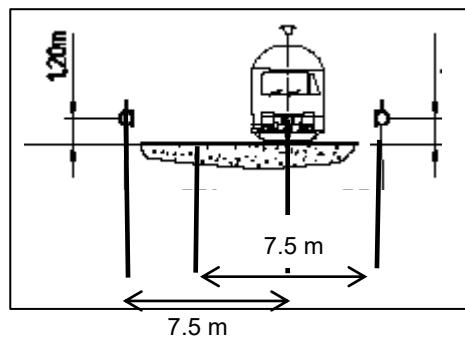


Abb. A2.2: Querschnitt Messstandort



Abb. A2.3: Messstation

## ANHANG 3: MESSGRÖSSEN

### Allgemeines

Nachfolgend sind die Größen beschrieben, die physikalisch gemessen werden und jene, die anhand der gemessenen Größen berechnet werden. Ausgangspunkt der Beschreibungen ist der in Abbildung A3.1 dargestellte schematische Schalldruckpegel-Zeitverlauf einer Zugvorbeifahrt.

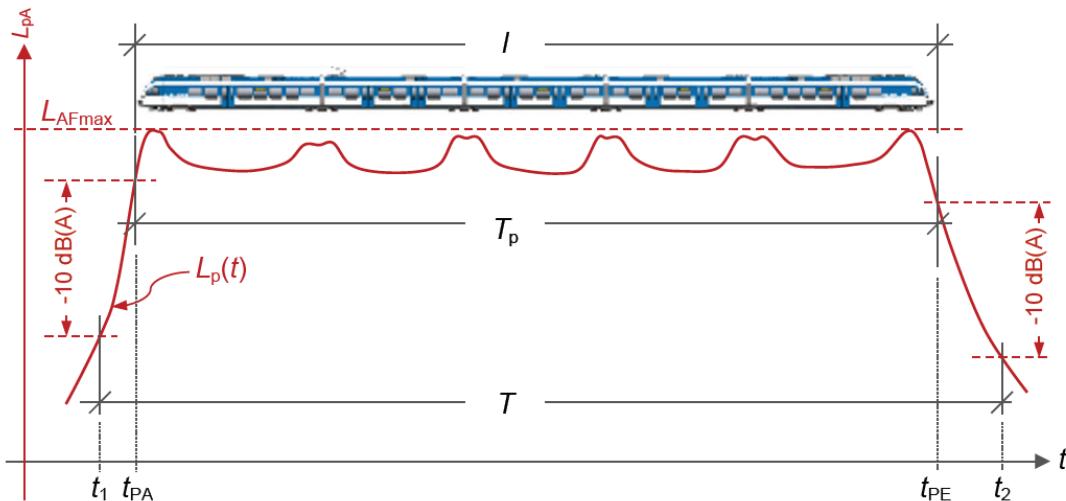


Abb. A3.1: Schematische Darstellung des Zeitverlaufs des Schalldruckpegels  $L_pA(t)$  einer Zugvorbeifahrt mit Einzeichnung wichtiger Größen.

### Gemessene Größen

$L_p(t)$  Schalldruckpegel  $L_p$  in Abhängigkeit der Zeit  $t$  in dB  
 (Schalldruckpegel-Zeitverlauf)  
 $L_pA(t)$  A-bewerteter Schalldruckpegel  $L_pA$  in Abhängigkeit der Zeit  $t$  in dB(A)  
 $L_{Aeq, T_p}$  A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschalldruckpegel einer  
 Zugvorbeifahrt in dB(A)

$$L_{Aeq, T_p} = 10 \lg \left( \frac{1}{T_p} \int_{t_{PA}}^{t_{PE}} 10^{\frac{L_pA(t)}{10dB}} dt \right) dB(A) \quad (1)$$

$L_{AFmax}$  maximaler A-bewerteter, mit Zeitkonstante FAST gemessener Schalldruckpegel der Zugvorbeifahrt in dB(A)  
 $l$  Länge des Zuges über Puffer in m  
 entspricht der Länge zwischen der ersten und letzten registrierten Achse + 4 m  
 $T_p$  Vorbeifahrtszeit (Durchfahrtszeit, Messdauer gemäss DIN EN ISO 3095:2014) des gesamten Zuges über Puffer in s  
 $T$  Auswertezeit (Aufzeichnungsdauer gem. DIN EN ISO 3095:2014) in s  
 $t_1$  Einfahrtszeit in s (Messbeginn)  
 $t_2$  Ausfahrtszeit in s (Messende)  
 $t_{PA}$  Zeit der Pufferpassage des Messquerschnitts am Zuganfang in s  
 $t_{PE}$  Zeit der Pufferpassage des Messquerschnitts am Zugende in s

$V_z$  effektive Geschwindigkeit des Zuges während der Messung in m/s

## Berechnete Größen

Nachfolgend sind die berechneten Größen und deren Berechnung anhand der gemessenen oder anderer berechneter Größen beschrieben. Die Größen werden auch in den Berichten so verwendet.

$SEL$  Schallereignispegel in dB(A)  
der auf 1 Sekunde bezogene energieäquivalente Dauerschalldruck-  
pegel einer Zugsvorbeifahrt über die Messzeit  $T$

$$SEL = 10 \lg \left( \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L_{PA}(t)}{10dB}} dt \right) dB(A) + 10 \lg \left( \frac{T}{1s} \right) dB(A) \quad (2)$$

$TEL80$  geschwindigkeitsnormierter Transit Exposure Level in dB(A)  
der auf die Geschwindigkeit von 80 km/h normierte Transit Exposure  
Level einer Zugsvorbeifahrt  
die Berechnung des  $TEL80$  wird auf Zugsvorbeifahrten beschränkt,

$TEL$  Transit Exposure Level in dB(A)  
der auf die Vorbeifahrtszeit  $T_p$  bezogene Schallereignispegel  $SEL$   
einer Zugsvorbeifahrt

$$TEL = SEL - 10 \lg \left( \frac{T_p}{1s} \right) dB(A) \quad (3)$$

die mit mehr als 60 km/h ( $V_z > 16.67$  m/s) und ohne Beschleunigung  
(positiv oder negativ) stattgefunden haben

$$TEL80 = TEL - 30 \lg \left( \frac{V_z}{\frac{80}{3.6} m/s} \right) dB(A) \quad (4)$$

$TEL_m$  energieäquivalenter Mittelwert des Transit Exposure Level in dB(A)  
pro Beurteilungszeitintervall,  
pro Gleis  
pro Zugkategorie,  
pro Messstelle

$$TEL_m = 10 \lg \left( \sum_N 10^{\frac{SEL}{10dB}} \right) - 10 \lg \left( \frac{\sum T_p}{N} \right) \quad (5)$$

$TEL80_{gew}$  längengewichteter und geschwindigkeitsnormierter Transit Exposure  
Level in dB(A)  
pro Beurteilungszeitintervall,  
pro Gleis  
pro Zugkategorie,  
pro Messstelle

$$TEL80_{gew} = 10 \lg \left( \frac{\left( \sum_N \left( 10^{\frac{TEL80_{gew}}{10dB}} \cdot l \right) \right)}{\left( \sum l \right)} \right) dB(A) \quad (6)$$

$L_{eq,e}$  äquivalenter Emissions-Dauerschallpegel in dB(A)  
 A-bewerteter energieäquivalenter Summenschalldruckpegel aller Zugvorbeifahrten im Beurteilungszeitintervall (Tag oder Nacht), bezogen auf 1 m Abstand von der Gleisachse,  
 pro Beurteilungszeitintervall,  
 pro Gleis  
 pro Zugkategorie,  
 pro Messstelle

$$L_{eq,e} = 8.75 dB(A) + 10 \lg \left( \sum_N 10^{\frac{SEL}{10dB}} \right) dB(A) - A1$$

mit

$A1 = 10 \lg(16 \text{ h} \cdot 3'600 \text{ s/h} \cdot 1/\text{s})$  dB(A) für den Tag,  $06:00:00 \leq t_1 < 22:00:00$

$A1 = 10 \lg(16 \text{ h} \cdot 3'600 \text{ s/h} \cdot 1/\text{s})$  dB(A) für die Nacht,  $t_1 < 06:00:00 \parallel t_1 \geq 22:00:00$

$N$  Anzahl der Züge

Die Monats- und Jahresmittelwerte berechnen sich aus den energetischen Mittelwerten der entsprechenden Tageswerte:

$$L_{eq,e,Monat/Jahr} = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \cdot \sum_N 10^{\frac{L_{eq,e}}{10}} \right) dB(A) \quad (7)$$

mit

$n$  Anzahl der Tage im Monat bzw. im Jahr

$N$  Anzahl der Züge  
 pro Beurteilungszeitintervall (Tag oder Nacht),  
 pro Gleis  
 pro Zugkategorie,  
 pro Messstelle  
 pro Bezugzeitintervall (Stunde, Tag, Monat, Jahr)

$Z_m$  mittlere Anzahl der Achsen pro Zug  
 pro Beurteilungszeitintervall (Tag oder Nacht),  
 pro Gleis  
 pro Zugkategorie,  
 pro Messstelle  
 pro Bezugzeitintervall (Stunde, Tag, Monat, Jahr)

$$Z_m = \frac{n_{Axles}}{N} \quad (8)$$

mit

$n_{Axles}$  Summe der Achsen aller Züge

$V_{eff}$  mittlere effektive Geschwindigkeit pro Zug in m/s  
 pro Beurteilungszeitintervall (Tag oder Nacht),  
 pro Gleis

pro Zugkategorie,  
pro Messstelle  
pro Bezugszeitintervall (Stunde, Tag, Monat, Jahr)

$$V_{eff} = \frac{\left( \sum_N V_z \right)}{N} \quad (9)$$

$l_m$  mittlere Zuglänge über Puffer eines Zuges in m  
pro Beurteilungszeitintervall (Tag oder Nacht),  
pro Gleis  
pro Zugkategorie,  
pro Messstelle  
pro Bezugszeitintervall (Stunde, Tag, Monat, Jahr)

$$l_m = \frac{\left( \sum_N l \right)}{N} \quad (10)$$

$V_{gew}$  mittlere mit den Zuglängen gewichtete Geschwindigkeit eines Zuges in m/s  
pro Beurteilungszeitintervall (Tag oder Nacht),  
pro Gleis  
pro Zugkategorie,  
pro Messstelle  
pro Bezugszeitintervall (Stunde, Tag, Monat, Jahr)

$$V_{gew} = \frac{\left( \sum_N (V_z \cdot l) \right)}{\left( \sum_N l \right)} \quad (11)$$

$K1$  Pegelkorrektur nach Lärmschutzverordnung (LSV) in Abhängigkeit  
der Verkehrsmenge

$$K1 = \begin{cases} -15 dB(A) & \text{für } N < 7.9 \\ 10 \lg \left( \frac{N}{250} \right) dB(A) & \text{für } 7.9 \leq N \leq 79 \\ -5 dB(A) & \text{für } N > 79 \end{cases} \quad (12)$$

mit

$N$  mittlere Anzahl aller Züge pro Tag oder pro Nacht im betrachteten  
Zeitintervall (Monat, Jahr)

$L_{r,e}$  Emissions-Beurteilungspegel in dB(A) für den Tag oder die Nacht

$$L_{r,e} = L_{eq,e} + K1 \quad (13)$$

## Vergleich mit Messungen in Deutschland

Bei vergleichbaren Messungen in Deutschland wird der Mittelungspegel LAeq in einer Distanz von 25 m ausgewiesen:

$$L_{Aeq, 25m} = L_{eq, 7.5m} - 5.4$$

Der in der Schweiz gebräuchliche Wert Leq,e [4] könnte auch als  $L_{Aeq,1m}$  bezeichnet werden. Die Werte lassen sich somit direkt vergleichen:

$$Leq,e = L_{Aeq,1m} = L_{Aeq, 25m} + 14.15$$

## Einzahlwert für Rauheit $L_{\lambda CA}$

$L_{\lambda CA}$  ist ein Einzahlwert für die Rauheit von Schiene oder Rad. Die Grösse berücksichtigt die Bedeutung der verschiedenen Wellenlänge für die Geräuschentstehung. Die Werte sind proportional zur Lärmentwicklung. Die Grösse wird wie folgt berechnet [6]:

$$L_{\lambda CA} = 10 \log \sum_{\lambda=20 \text{ cm}}^{0.4 \text{ cm}} 10^{\frac{1}{10} \{R(\lambda) + \Lambda(\lambda) + C(\lambda) + A(f(\lambda, V))\}} \quad \text{in [dB]}$$

wobei

$R(\lambda)$  gemessenes Rauheitsspektrum als Funktion der Wellenlänge  $\lambda$  in [cm]

$\Lambda(\lambda) = -a \cdot \text{LOG}(\lambda/\lambda_0)$  Lambda-Filter in [dB], mit  $\lambda_0 = 5 \text{ cm}$ ,  $a=25 \text{ cm}$

$C(\lambda)$  Kontaktfilter:

$C(\lambda) = 0$  für  $\lambda \geq 10^{(8.5/10)}$

$C(\lambda) = 10 \cdot \text{LOG}(\lambda) - 8.5$  für  $10^{(3.5/10)} < \lambda < 10^{(8.5/10)}$

$C(\lambda) = 20 \cdot \text{LOG}(\lambda) - 12$  für  $\lambda \leq 10^{(3.5/10)}$

$A(f)$  A-Filterbewertung, Frequenz  $f$  berechnet aus:

$$f(\lambda, V) = \frac{V/3.6}{\lambda/100}$$

$V$  Zugsgeschwindigkeit [km/h]

Die untenstehende Tabelle zeigt Vergleichswerte aus holländischen Messungen für den Wert  $L_{\lambda CA}$  ( $V=120 \text{ km/h}$ ).

| Beschreibung                          | $L_{\lambda CA}$ |
|---------------------------------------|------------------|
| Glatte Schiene                        | 0 – 4 dB         |
| Geschliffene Schiene                  | 5 – 7 dB         |
| Durchschnittliche Rauheit (NL)        | 7 – 9 dB         |
| Grenzkurve TSI (80 km/h-200 km/h)     | 7.8 - 8.9        |
| Glattes Rad (Scheibenbremse, K-Sohle) | 10 – 11 dB       |
| Schienenrauheit Berechnungsmodell NL  | 12 dB            |
| Verriffeltes Gleis                    | 14 – 17 dB       |
| Rauhe Räder (Gussklotzbremsen)        | 18 – 20 dB       |
| Stark verriffeltes Gleis              | 25 – 28 dB       |

## ANHANG 4: KENNZAHLEN 2023

| Station |            | L <sub>r,e</sub><br>[dBA]<br>alle<br>Züge | K1   |    | L <sub>eq,e</sub><br>[dBA]<br>alle<br>Züge | N    |      |
|---------|------------|---|------|----|--|------|------|
|         |            |   | T    | N  |  | T    |      |
| I02     | Gland      | 70.0                                      | 65.1 | -5 | -7.4                                       | 75   | 72.5 |
| I03     | Itingen    | 72.0                                      | 70.8 | -5 | -5.4                                       | 77   | 76.2 |
| I06     | Lindau     | 75.2                                      | 71.1 | -5 | -5   | 80.2 | 76.1 |
| I04     | Steinen    | 68.5                                      | 68.1 | -5 | -5.7                                       | 73.5 | 73.8 |
| I05     | Walenstadt | 70.3                                      | 61.6 | -5 | -10.2                                      | 75.3 | 71.9 |
| I01     | Wichtrach  | 71.2                                      | 68.8 | -5 | -6.8                                       | 76.2 | 75.5 |

Tabelle A4.1: Jahresmittelwerte 2023, Akustik

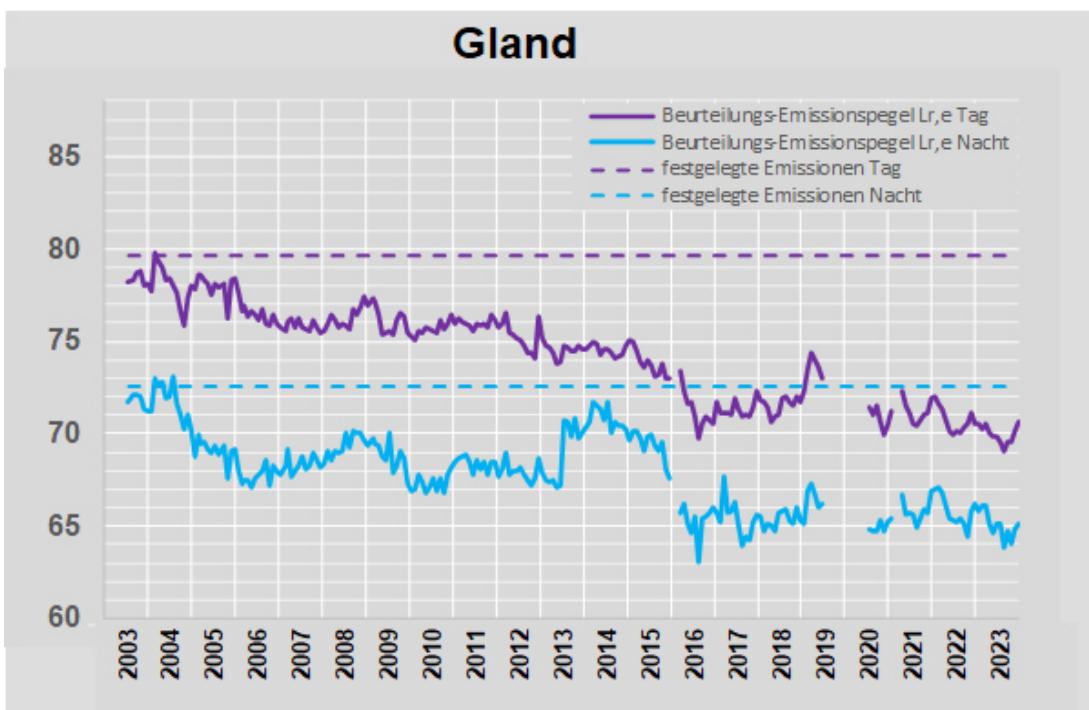
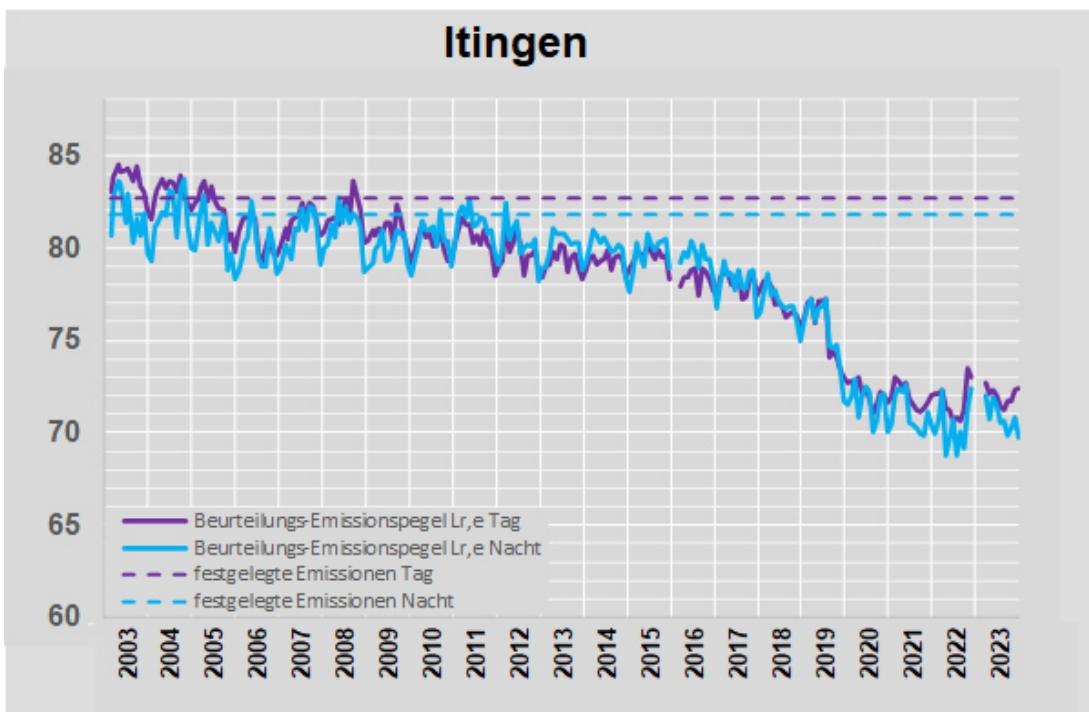
T=Tag 6-22 Uhr, N= Nacht 22-6 Uhr

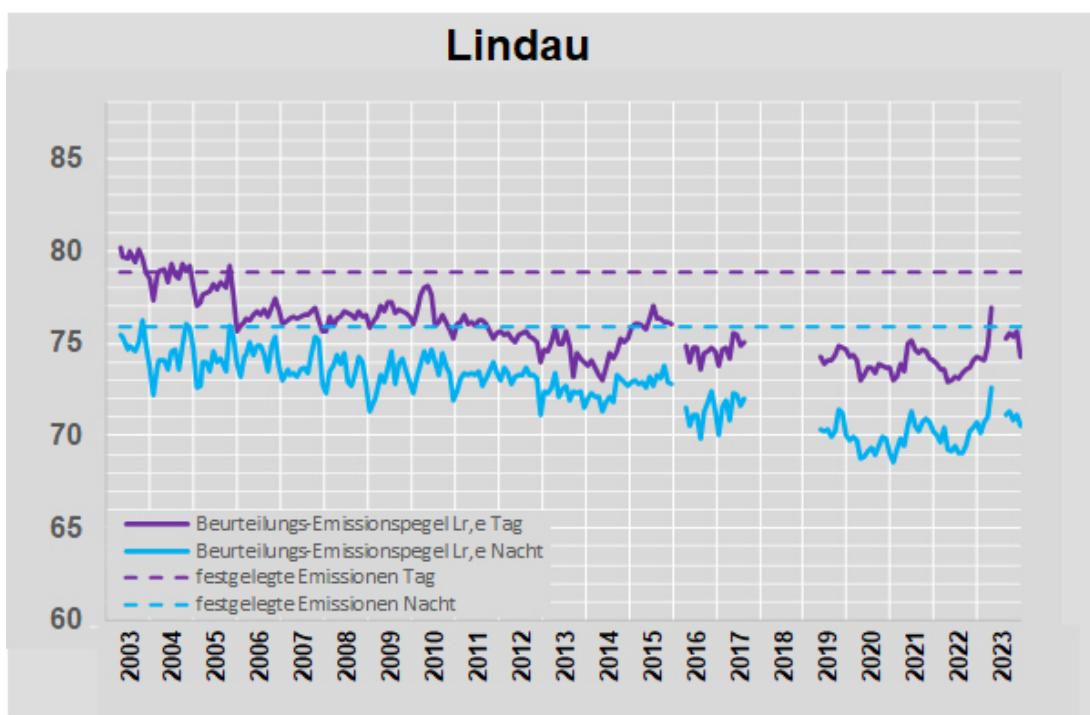
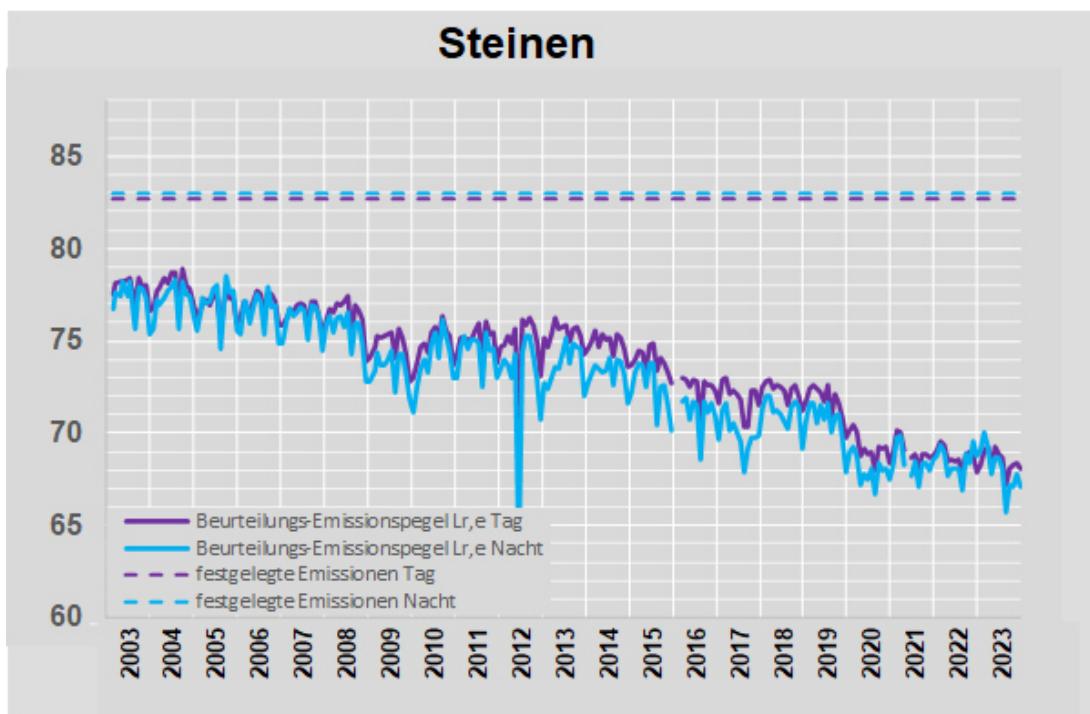
|     |            | Anzahl Züge pro Tag |     |     |    |    |    | Anzahl Achsen pro Zug |    |    |    |     |     | gemittelte Gesamtlänge [m] |     |     |     |     |     |
|-----|------------|---------------------|-----|-----|----|----|----|-----------------------|----|----|----|-----|-----|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|     |            | Alle                |     | PZ  |    | GZ |    | Alle                  |    | PZ |    | GZ  |     | Alle                       |     | PZ  |     | GZ  |     |
|     |            | T                   | N   | T   | N  | T  | N  | T                     | N  | T  | N  | T   | N   | T                          | N   | T   | N   | T   | N   |
| I02 | Gland      | 254                 | 46  | 231 | 31 | 17 | 12 | 38                    | 30 | 38 | 27 | 46  | 44  | 231                        | 177 | 237 | 165 | 223 | 245 |
| I03 | Itingen    | 317                 | 72  | 272 | 43 | 38 | 27 | 40                    | 55 | 32 | 25 | 101 | 107 | 233                        | 258 | 212 | 164 | 432 | 430 |
| I06 | Lindau     | 533                 | 100 | 501 | 80 | 26 | 18 | 32                    | 28 | 32 | 25 | 42  | 43  | 197                        | 163 | 198 | 152 | 227 | 237 |
| I04 | Steinen    | 217                 | 68  | 157 | 29 | 55 | 37 | 41                    | 57 | 23 | 18 | 93  | 90  | 240                        | 306 | 169 | 126 | 458 | 461 |
| I05 | Walenstadt | 146                 | 24  | 128 | 17 | 15 | 5  | 31                    | 28 | 28 | 21 | 61  | 55  | 189                        | 169 | 178 | 140 | 318 | 295 |
| I01 | Wichtrach  | 231                 | 53  | 200 | 27 | 28 | 24 | 40                    | 60 | 32 | 26 | 101 | 104 | 238                        | 277 | 209 | 161 | 472 | 433 |

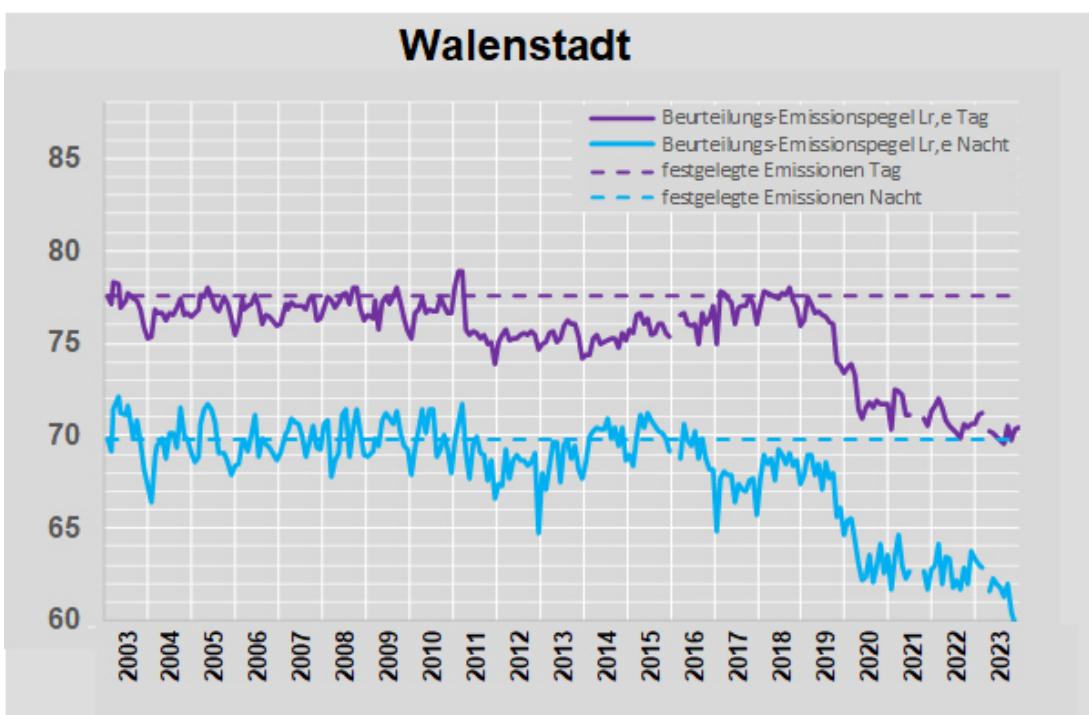
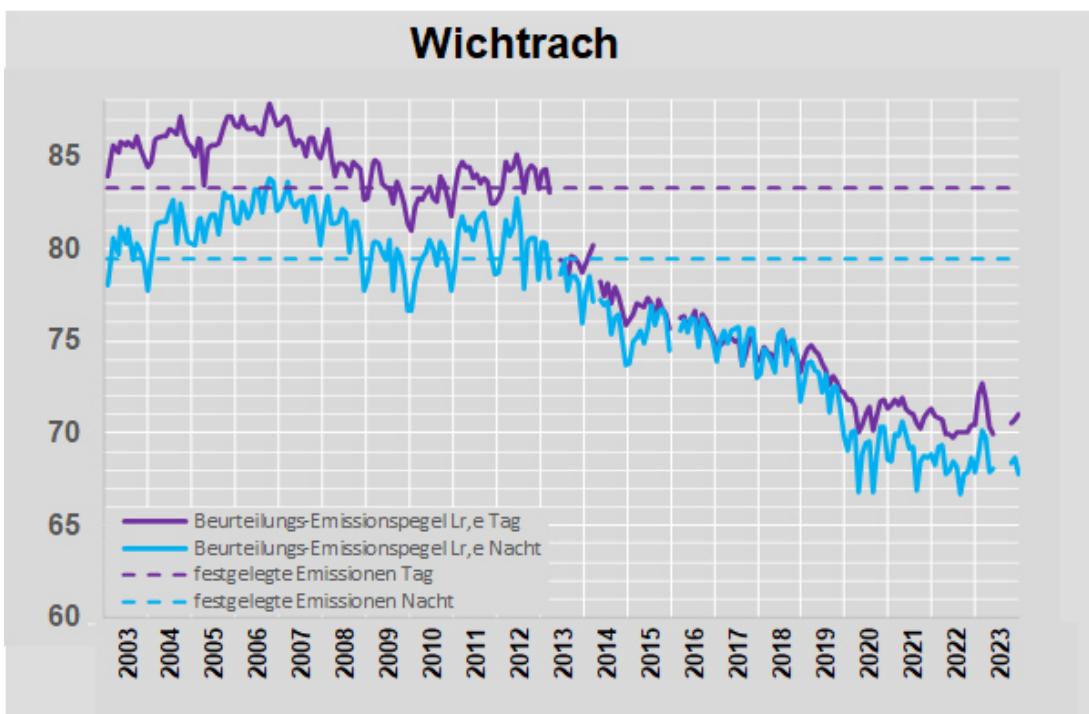
Tabelle A4.2: Jahresmittelwerte 2023, Verkehr

Alle Züge = Personenzüge (PZ) + Güterzüge (GZ) + Dienstzüge +nichtbestimmbare Züge

## ANHANG 5: MONATSMITTELWERTE L<sub>r,e</sub> 2003-2023

Abb. A5.1: Messstation Gland, Messwerte L<sub>r,e</sub> (Monatsmittel)Abb. A5.2: Messstation Itingen, Messwerte L<sub>r,e</sub> (Monatsmittel)

Abb.A5.3: Messstation Lindau, Messwerte  $L_{r,e}$  (Monatsmittel)Abb. A5.4: Messstation Steinen, Messwerte  $L_{r,e}$  (Monatsmittel)

Abb. A5.5: Messstation Walenstadt, Messwerte  $L_{r,e}$  (Monatsmittel)Abb. A5.6: Messstation Wichtrach, Messwerte  $L_{r,e}$  (Monatsmittel)

## ANHANG 6: SCHIENENRAUHEIT UND TRACK-DECAY-RATE 2023

| Station |            | Gleis | Rauheit $L_{A,CA}$ [dB] |          | Abklingrate TNR [dB] |            | Messung |            |
|---------|------------|-------|-------------------------|----------|----------------------|------------|---------|------------|
|         |            |       | 80 km/h                 | 120 km/h | PZ 140 km/h          | GZ 90 km/h | [°C]    | Datum      |
| I02     | Gland      | 121   | 6.9                     | 7.0      | -5.10                | -4.60      | 17      | 17.10.2023 |
|         |            | 221   | 13.9                    | 14.0     | -5.20                | -4.80      | 8       | 17.10.2023 |
| I03     | Itingen    | 118   | 8.7                     | 8.9      | -3.50                | -3.40      | 16      | 15.10.2023 |
|         |            | 218   | 6.1                     | 6.5      | -3.10                | -2.80      | 13      | 15.10.2023 |
| I06     | Lindau     | 120   | 14.6                    | 15.3     | -4.70                | -4.50      | 19      | 13.10.2023 |
|         |            | 220   | 17.8                    | 18.3     | -4.60                | -4.30      | 30      | 13.10.2023 |
| I04     | Steinen    | 115   | 15.3                    | 15.8     | -4.30                | -4.30      | 13      | 18.10.2023 |
|         |            | 215   | 19.9                    | 20.5     | -4.40                | -4.30      | 16      | 18.10.2023 |
| I05     | Walenstadt | 112   | 7.1                     | 7.4      | -3.90                | -4.00      | 15      | 14.10.2023 |
|         |            | 212   | 16.6                    | 17.3     | -2.80                | -2.60      | 15      | 14.10.2023 |
| I01     | Wichtrach  | 317   | 7.6                     | 7.8      | -5.30                | -4.70      | 16      | 16.10.2023 |
|         |            | 417   | 14.1                    | 14.2     | -4.50                | -4.50      | 7       | 16.10.2023 |

Tabelle A6.1: Rauheitswerte und Track-Decay-Rate 2023 pro Gleis

## ANHANG 7: LITERATUR

- [1] Bundesgesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen (BGLE) vom 24. März 2000, SR 742.144.
- [2] Verordnung über die Lärmsanierung der Eisenbahnen (VLE) vom 4. Dezember 2015, SR 742.144.1.
- [3] Lärmschutz-Verordnung(LSV) vom 15. Dezember 1986, SR 814.41.
- [4] SEMIBEL, Schweizerisches Emissions- und Immissionsmodell für die Berechnung von Eisenbahnlärm, Schriftenreihe Umweltschutz Nr.116,1990.
- [5] ISO 3095: Railway applications – Acoustics – Measurement of noise emitted by railbound vehicles, 2013.
- [6] Harmonoise: Definition of Track Influence: Roughness in Rolling Noise, 17. Juli 2003.
- [7] BAV: Eisenbahn-Ausbauprogramme, Standbericht 2017, 1. Januar - 31. Dezember 2017.
- [8] Verordnung (EU) Nr. 1304/2014 vom 26. November 2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems «Fahrzeuge-Lärm».
- [9] Änderung der Verordnung (EU) Nr.1304/2014 in Bezug auf die Anwendung der technischen Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems «Fahrzeuge-Lärm» auf Bestandsgüterwagen, Amtsblatt der Europäischen Union L139I/89ff vom 27.5.2019.
- [10] DIN EN 15610: Bahnanwendungen – Geräuschemission – Messung der Schienenrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräusch, 8/2009.
- [11] BAFU: sonRAIL, Projektdokumentation, 2010.
- [12] BAV: Monitoring lärmarme Güterwagen, 4. Quartal 2020 und 1. Quartal 2021.
- [13] Thompson David: Single Number Descriptor of Track Decay Rates, A Proposal for SBB, 2012.
- [14] Hafner M., Scossa-Romano E.: Angleichung der SEMIBEL Emissionsparameter an die sonRAIL Emissionsmessungen durch "curvefitting", Bern, 2013.
- [15] DIN EN 15461: Bahnanwendungen – Schallemission - Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften von Gleisabschnitten für Vorbeifahrtsgeräuschmessungen, 1/2011.
- [16] MBBM: Monitoring Eisenbahnlärm 2015-2025, Sondermessungen Standort I15 – Selzach, 2018.
- [17] MBBM: Monitoring Eisenbahnlärm 2015-2025, Umbau Messstation Walenstadt Dokumentation der Messdifferenzen, 2018.
- [18] MBBM: Monitoring Eisenbahnlärm 2015-2025, Jahresbericht 2022.
- [19] ERA: Full Impact Assessment, Revision of the Noise TSI: Application of NOI TSI requirements to existing freight wagons, 2018.
- [20] Umweltbundesamt: Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, 2017.
- [21] Beckenbauer Thomas, Attinger Robert: Bahnlärmmonitoring in der Schweiz – Erkennung lauter Güterwagen, Eisenbahntechnische Rundschau ETR 11/2020.
- [22] Eisenbahn-Bundesamt: Lärm-Monitoring, Schallmessungen im Schienenverkehr, Jahresbericht 2021.
- [23] EMPA: Schlussbericht zum Forschungsprojekt MineTrack (Data Mining on Railway Track Noise Measurements), 2023.