



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Monitoring Eisenbahnlärm



Jahresbericht 2021

1. Januar – 31. Dezember 2021

Impressum

Herausgeber

Bundesamt für Verkehr (BAV)
CH-3003 Bern

Projektverantwortung/-koordination

BAV Infrastruktur, Sektion Grossprojekte

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.

Text

BAV Sicherheit, Sektion Umwelt

Titelbild:

Güterzug in Wichtrach

Inhalt

1	Zusammenfassung	4
2	Einleitung	5
2.1	Projekt Monitoring Eisenbahnlärm	5
2.2	Zweck des Berichts	5
3	Grundlagen	6
4	Messresultate	8
4.1	Beurteilungs-Emissionspegel $L_{r,e}$	8
4.2	Akustische Eigenschaften von Fahrbahn und Rollmaterial	10
4.2.1	Schienenrauheit	10
4.2.2	Abklingrate der Schiene (Track Decay Rate, TDR)	11
4.2.3	Entwicklung Vorbeifahrtspegel (TEL 80)	12
4.2.4	Häufigkeitsverteilung Vorbeifahrtspegel	13
4.2.5	Emissionswerte von Güterwagen	17
4.3	Anteil Güterverkehr	19
4.4	Verkehr	19
	Abkürzungsverzeichnis	21
	Verzeichnis der Anhänge	22

1 Zusammenfassung

Die Gesamtpegel sind gegenüber dem Vorjahr praktisch unverändert. Die absehbaren Lärminderungen beim Rollmaterial sind nun weitgehend abgeschlossen. Eine generelle Pegelreduktion durch das Rollmaterial ist in den nächsten Jahren nicht mehr zu erwarten. Die weitere Entwicklung wird vermehrt durch die Verkehrsentwicklung geprägt sein.

Aus den Messdaten ergeben sich die folgenden Kernaussagen:

- Bei allen Messstationen liegen die Emissionswerte 2021 deutlich unter den Emissionen, die im Rahmen der Lärmsanierung festgelegt wurden.
- 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 können zu erhöhten Pegelwerten führen.
- Der Anteil des Güterverkehrs an den Gesamtemissionen liegt auf den Transitachsen nachts bei 75-92 %. Bei einem so hohen Anteil sind weitere wahrnehmbare Lärmreduktionen nur durch eine Lärminderung beim Güterverkehr möglich.
- Güterzüge sind heute rund 10 dB(A) leiser als zu Messbeginn 2003.
-

Auf der BAV-Website (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]. Die Verordnung [2] (Art. 12 und 13) verpflichtet 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 > A-Z > Lärmsanierung > Monitoring > Auswertungen).

3 Grundlagen

Für unser Bahnnetz ist die massgebende Lärmquelle der Rad-Schiene-Kontakt. Die Lärmemissionen werden durch das Ausmass der Rauheiten von Schienen- und Radoberfläche und die Abstrahleigenschaften 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 Dieselszügen können auch andere Lärmquellen von Bedeutung sein.

Durch die Messungen können die Modellrechnungen überprüft werden. Die Messdaten erlauben es auch, die Lärmentwicklung 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.

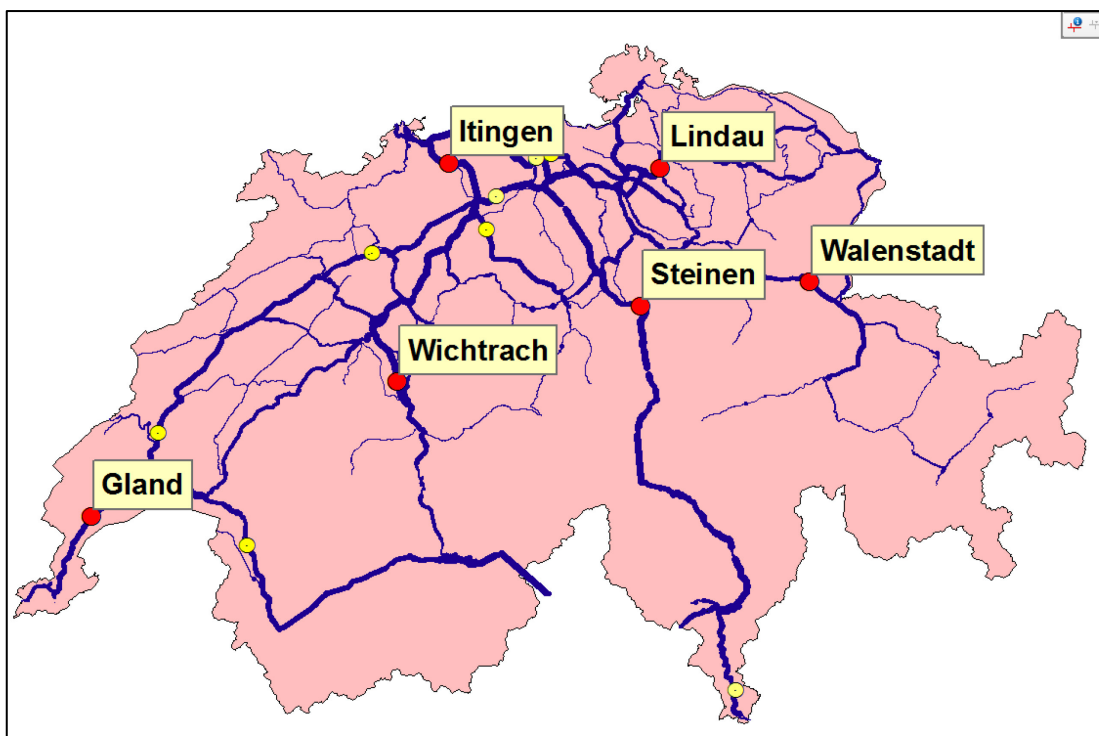


Abb. 1: Messstandorte (Details Anhang 2)

- fixe Standorte seit 2003
- mobile Standorte 2009-2018

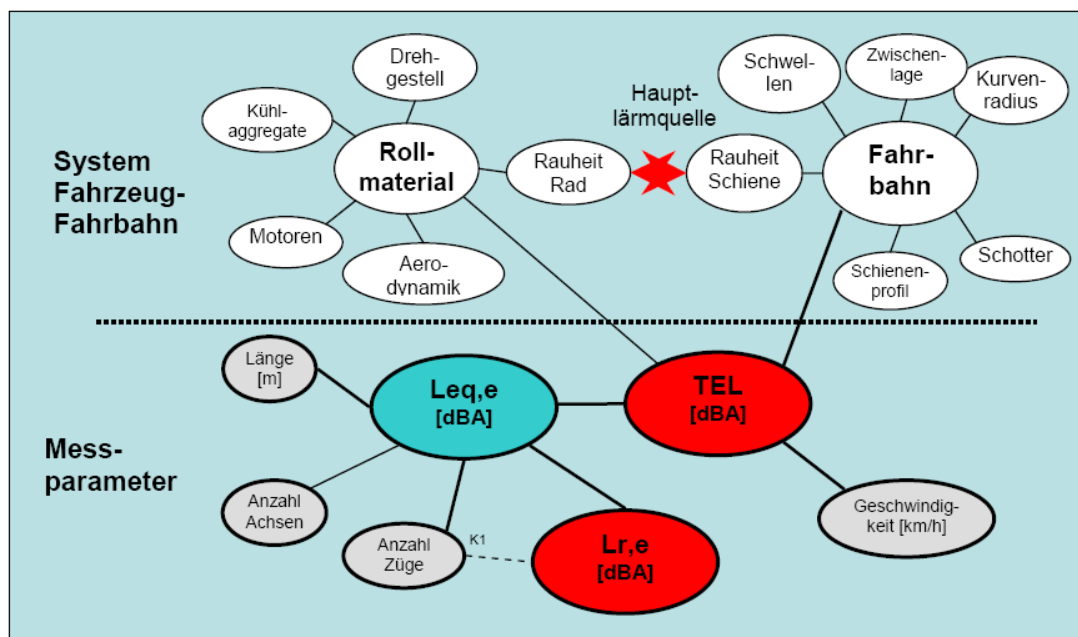


Abb. 2: System Fahrzeug – Fahrbahn und Messparameter des Monitorings Eisenbahnlärm

- TEL: Transit Exposure Level, Vorbeifahrtspegel eines Einzelzugs
 Leq,e: Energiäquivalenter 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 lässt sich der energieäquivalente Dauerschallpegel Leq,e ermitteln. Unter Berücksichtigung der Pegelkorrektur K1 gemäss Anhang 4 der Lärmschutzverordnung [3] lässt sich der Beurteilungs-Emissionspegel Lr,e bestimmen.

4 Messresultate

4.1 Beurteilungs-Emissionspegel $L_{r,e}$

Der Beurteilungs-Emissionspegel $L_{r,e}$ ist nach der Lärmschutz-Verordnung (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. Auf grossen Teilen des Netzes entsprechen diese Werte dem Emissionsplan 2015, der vom Bundesrat erlassen wurde. Er bildete die Grundlage für die Lärmsanierung der Eisenbahnen. Wo Ausbauprojekte der Infrastruktur realisiert wurden, entsprechen die festgelegten Emissionswerte dem im Projekt geplanten Endzustand. Diese Daten sind als Bestandteil des [Lärmbelastungskatasters](https://www.geo.admin.ch) ([map.geo.admin.ch](https://www.geo.admin.ch) > Eisenbahnlärm) publiziert.

Es ist ein wesentliches Ziel des Monitorings, die Entwicklung der Lärmemissionen mit Hilfe dieser Bezugsgrösse zu verfolgen. Der festgelegte Emissionswert kann sowohl durch eine kleine Zahl lauter Züge als auch eine grössere Zahl leiser Züge verursacht werden. In Abbildung 3 sind die Messwerte 2003 bis 2021 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 gesunken. Auffällig sind insbesondere die deutlich tieferen Werte in den Jahren 2020 und 2021. Sie sind insbesondere auf die tieferen Pegel bei Güterzügen aufgrund des Verbotes lauter Güterwagen zurückzuführen. In Gland und Lindau fehlt dieser Pegelrückgang aufgrund des geringeren 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_{r,e} heute 6-7 dB tiefer als 2003. Ursache ist das leisere Rollmaterial der Züge. Ein Anstieg ist im Winter 2008/2009 festzustellen. Er ist auf den erneuten, vorübergehenden Einsatz von altem Rollmaterial bei Personenzügen zurückzuführen. 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. Seit der Wiederinbetriebnahme liegen die Pegel rund ein Dezibel tiefer.

Itingen

In Itingen sind die Emissionswerte trotz steigender Zugzahl seit 2003 bis 2021 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.

Lindau

In Lindau gehen die Pegel dank dem leiseren Rollmaterial trotz starker Verkehrszunahme zurück. Von Mitte 2014 bis Ende 2015 sind die Pegel wegen einem relativ hohen Anteil von lauten Personenzügen leicht gestiegen. Dieser Anteil war 2016 wieder rückläufig. Die lauten S-Bahn-Züge mit der Lok Re450 (Doppelstock-Pendelzüge DPZ; vgl. Bericht 2016) fallen aber immer noch auf. Wegen umfangreichen Bauarbeiten wurde die Station Ende August 2017 ausser Betrieb genommen. Die Messungen wurden im Mai 2019 wiederaufgenommen. Die Emissionswerte liegen trotz starker Verkehrszunahme rund fast 5 dB tiefer als 2003.

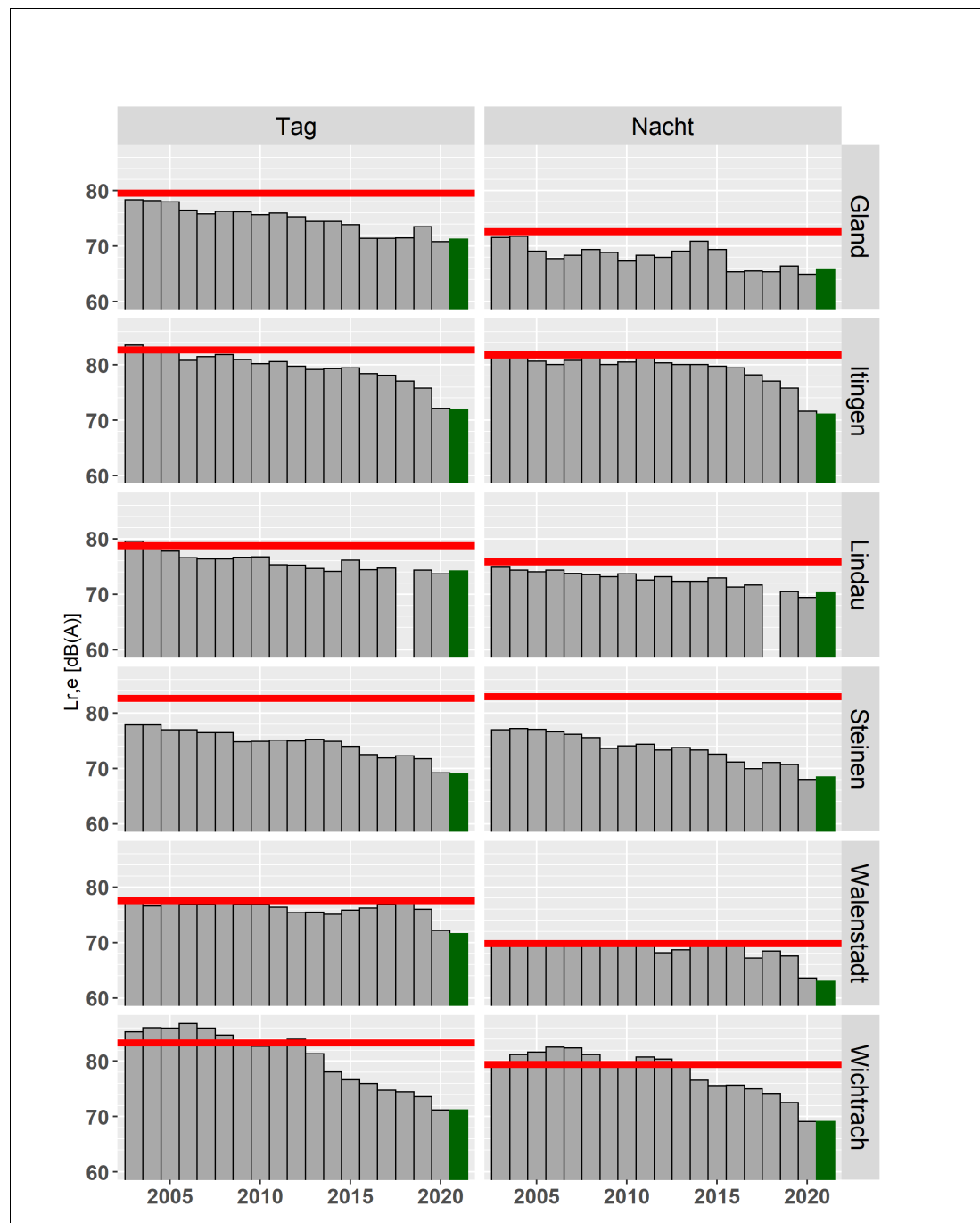


Abb. 3: Gemessene Beurteilungs-Emissionspegel $L_{r,e}$ 2003 – 2021
 — Festgelegte Emissionen — Messwert 2021

Steinen

Die Werte 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 Ganglinie klar erkennbar. Im Jahr 2017 fällt der Rückgang aufgrund einer längeren vollständigen Streckensperrung in Rastatt (D) auf. Seither steigt die Zahl der Güterzüge wieder an. Auch 2020 ging der Verkehr kaum zurück. Die 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 relativ konstant. Die Verkehrszunahme konnte durch das leisere Rollmaterial kompensiert werden. Insbesondere das Gleis 212 ist aber akustisch ungünstig und führt zu relativ 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.

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 Pegel. Sie liegen im Jahr 2021 11-14 dB tiefer als die Werte 2003.

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 2021 ist die Schienenrauheit wieder an allen Standorten gemäss ISO-Norm 3095 [5] gemessen worden. Der Einzahlwert $L_{A,CA}$ der Schienenrauheit [6] erlaubt den Vergleich von Messungen an verschiedenen Standorten. Die Daten zeigen, dass die Schienenrauheiten zwar unterschiedlich sind. Aktuell finden wir an den Standorten aber mindestens eine durchschnittliche Schienenrauheit, wenn nicht sogar eine glatte Schiene.

Die Entstehung der Rauheit ist ein komplexes Phänomen, das heute noch nicht umfassend erklärbar ist. Aufgrund einer neuen Unterhaltsstrategie werden heute Gleise häufiger geschliffen, um auch Schienenschäden zu vermeiden. Verriffelte Schienen, die zu einer hohen Lärmabstrahlung führen, werden auf diese Weise ebenfalls verhindert.

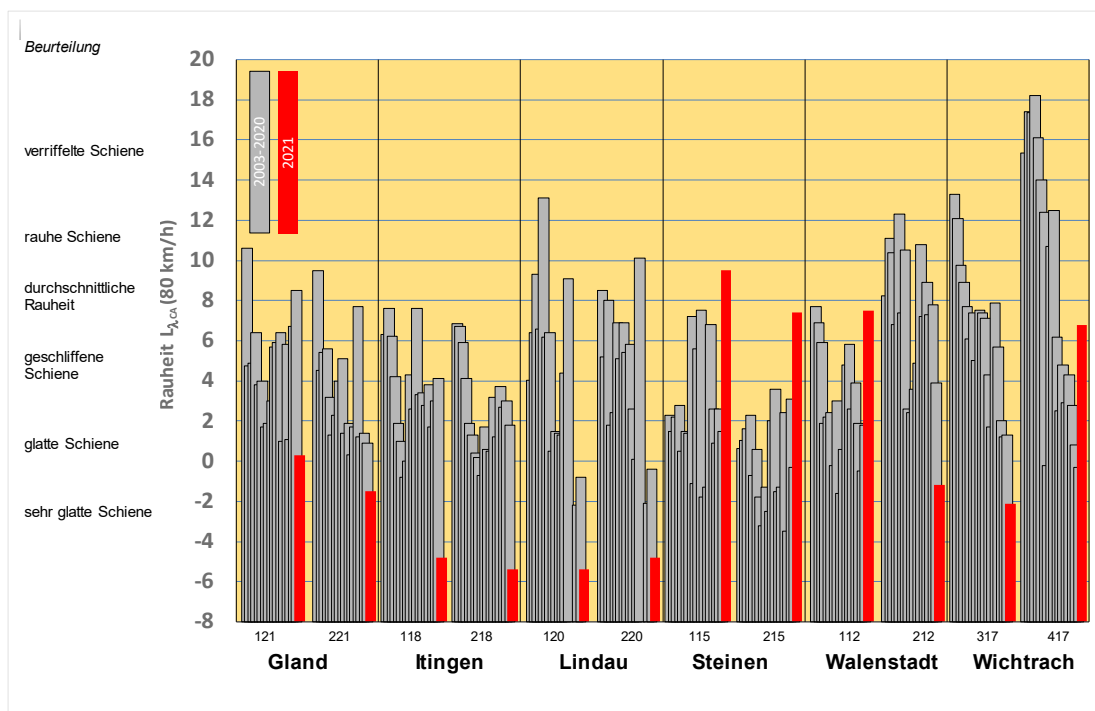


Abb. 4: Schienenrauheit an den Messstandorten
beide Gleise, detaillierte Messergebnisse, $L_{A,CA}$ vgl. Anhänge 3 und 6

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 2020 wurde die Abklingrate bei allen Standorten gemessen. In Abbildung 5 sind die entsprechenden Einzahlwerte TNR [13] dargestellt. Die Unterhaltsarbeiten 2019 Jahr führten zu einer Verbesserung an beiden Gleisen in Itingen.

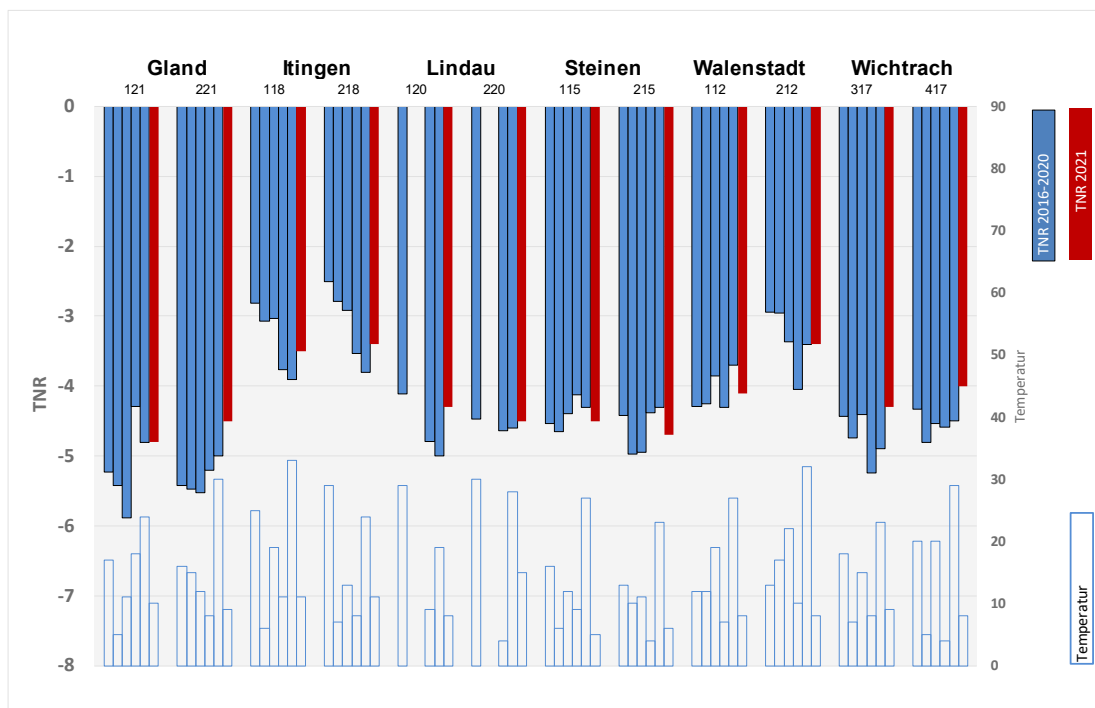


Abb. 5: Schienenabklingrate als Einzahlwert (Track Noise Ratio, TNR[13]) und Gleistemperatur

4.2.3 Entwicklung Vorbeifahrtspegel (TEL 80)

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 6 sind die Medianwerte der Personenzüge pro Gleis für die Jahre 2003-2021 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. Die Ursache für die erhöhten Werte insbesondere bei einem Gleis in Walenstadt sind unklar. In Itingen sind im Rahmen einer Oberbauerneuerung die Werte seit August 2019 rund 2 dB tiefer (vgl. auch Grafik im Anhang 5). Voraussichtlich werden sich diese Werte in Zukunft im Rahmen der übrigen Gleise bewegen.

In Lindau führte der Einbau einer steifen Schwellenbesohlung nicht zu einer Pegelerhöhung. Bei vergleichbaren Werten für Abklingrate und Schienenrauheit resultieren bei diesem Gleis sogar rund 1 dB tiefere Werte.

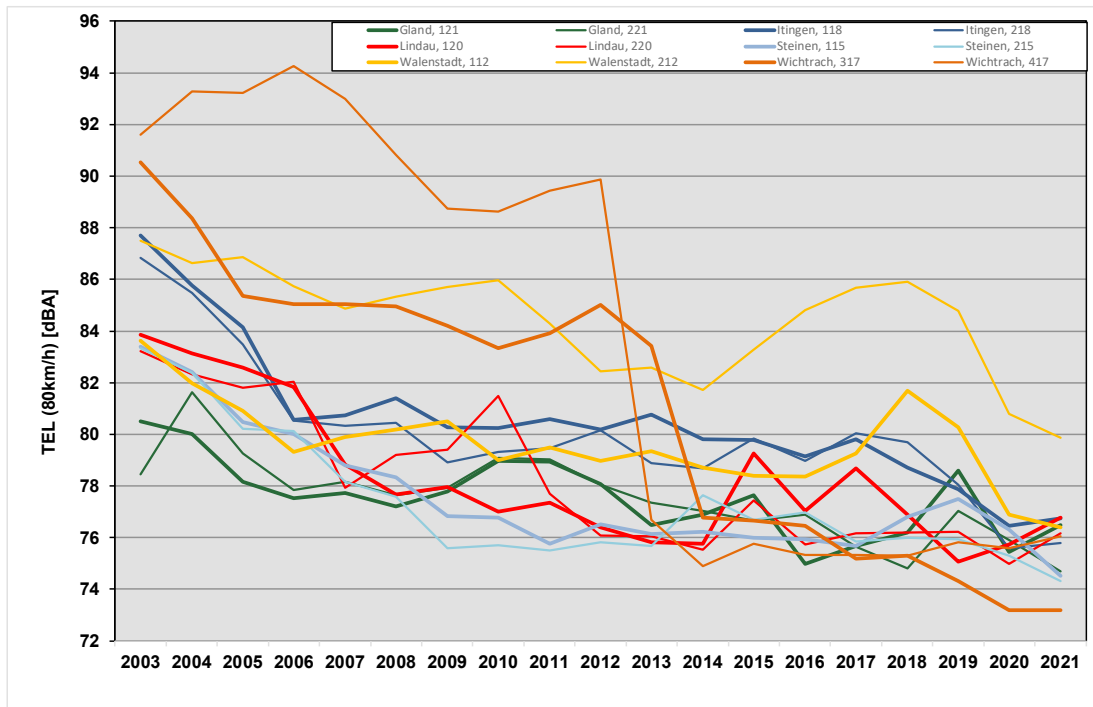


Abb. 6: Vorbeifahrtspegel Personenzüge (TEL, normiert auf $V=80$ km/h)
Medianwert pro Gleis

Güterzüge

Bei den Güterzügen beträgt die Reduktion der gemessenen Vorbeifahrtspegel seit 2003 rund 10 dB. 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 GG-Sohlen lag 2021 im Jahresmittel unter einem Prozent [12].

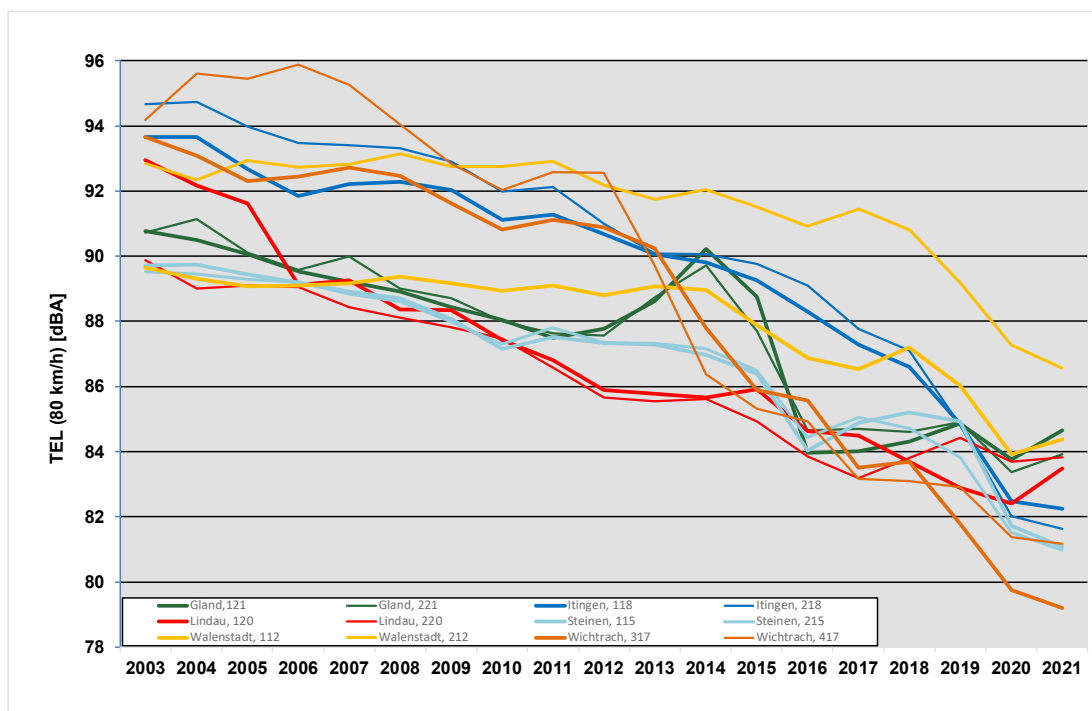


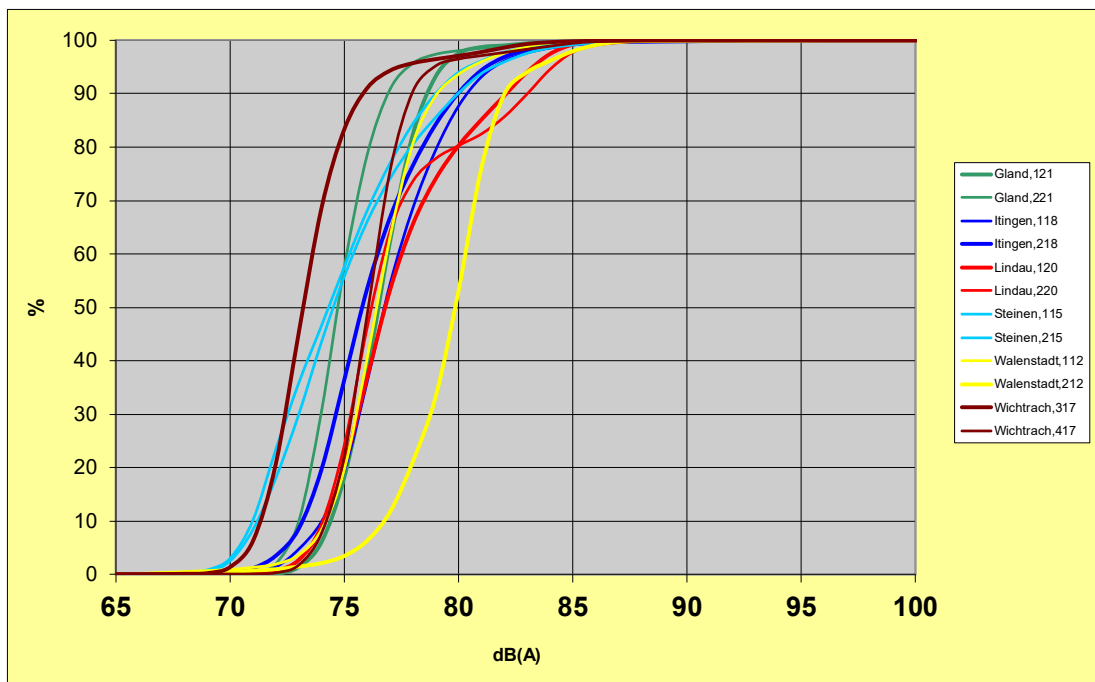
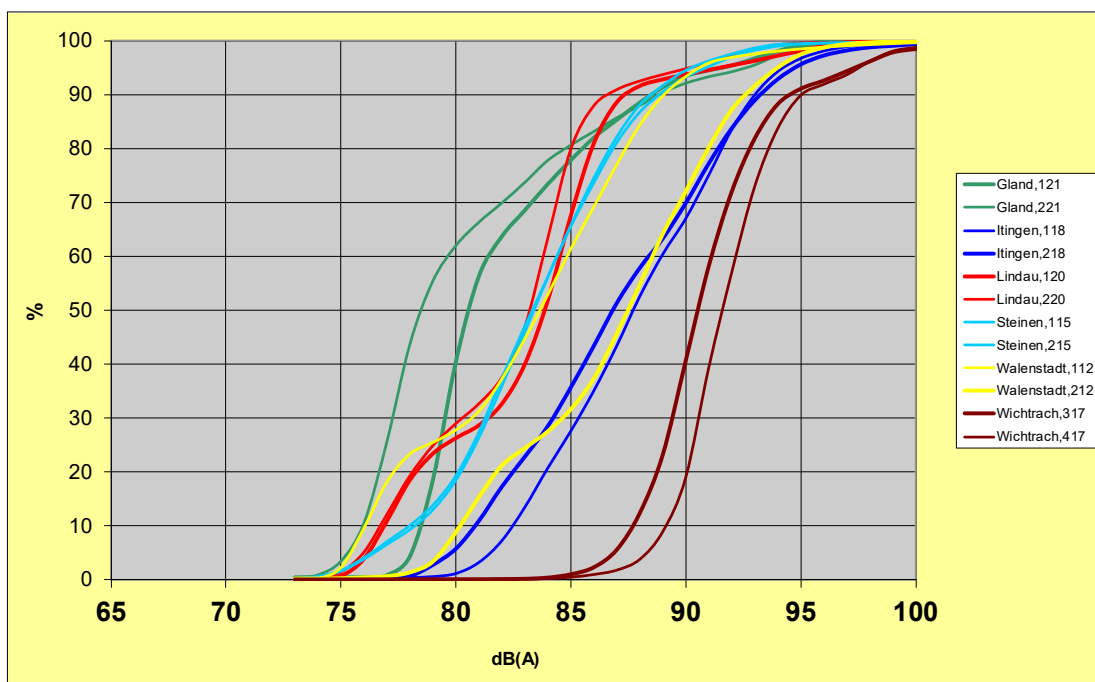
Abb. 7: Vorbeifahrtspegel Güterzüge (TEL, normiert auf V=80 km/h)
Medianwert pro Gleis

4.2.4 Häufigkeitsverteilung Vorbeifahrtspegel

Personenzüge

Der Anteil leiser Personenzüge im Jahr 2021 lässt sich aus den Summenkurven in der Abbildung 8 ablesen. Der Vergleich mit den Summenkurven des Jahres 2003 (Abb. 9) zeigt die zeitliche Veränderung. Bei den Personenzügen sind durch die Rollmaterialsanierung und die Beschaffung von neuem Rollmaterial die lauten Züge praktisch verschwunden. Dies zeigt sich im frühen Anstieg der Summenkurve 2021. 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 entsprechenden Grenzwertes der TSI [8] bei der Zulassung. Die Streuung der Werte ist in der Regel gering und deutlich geringer als früher (vgl. Abb.11). Die Standardabweichung liegt zwischen 1.9 und 3.4.

Die Ursache der relativ hohen Werte auf einem Gleis in Walenstadt ist wie bereits erwähnt unklar.

Abb. 8: Summenkurve der TEL 80-Werte für Personenzüge **2021**, beide GleiseAbb. 9: Summenkurve der TEL 80-Werte für Personenzüge **2003**, beide Gleise

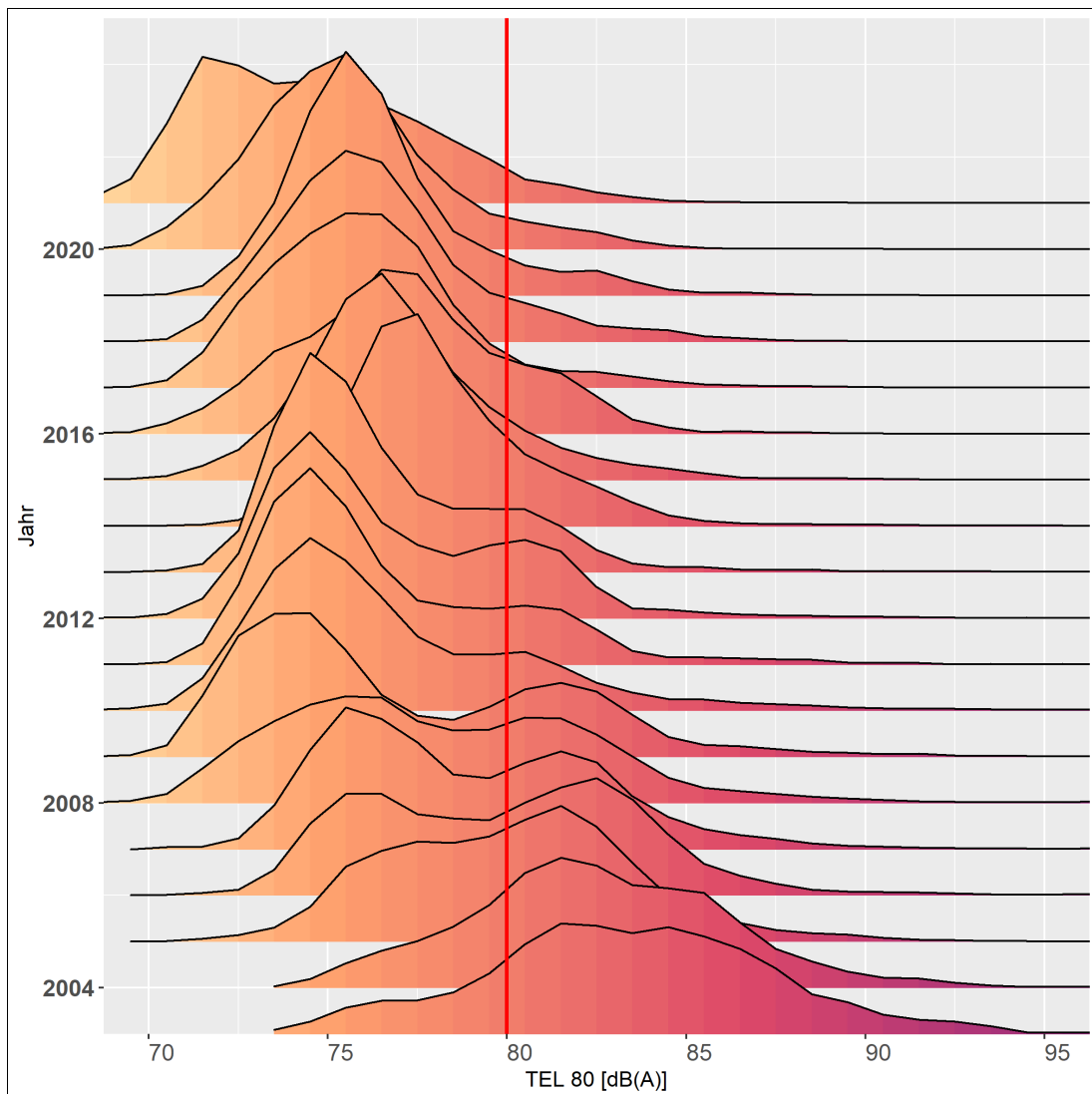


Abb. 10: Steinen (Gleis 215), Häufigkeitsverteilungen TEL 80 der Personenzüge 2003-2021

Die Darstellung zur Messstelle in Steinen (Abb. 10) 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.

Güterzüge

Bei den Güterzügen (Abb. 11 bis 12) 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 (TEL80) unter 85 dB(A). Durch das Verbot lauter Güterwagen seit 1.1.2020 ist die Streuung der Werte gegenüber den Vorjahren deutlich zurückgegangen. Die Standardabweichung liegt nun zwischen 2.4 und 3.1 und ist damit vergleichbar mit den Personenzügen.

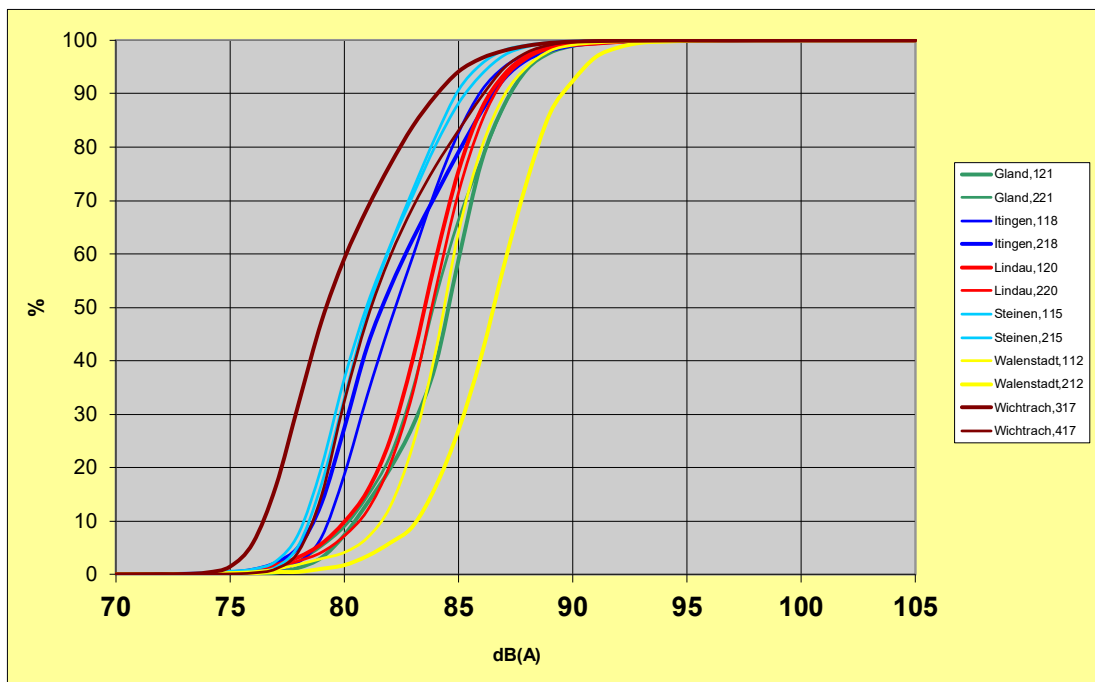
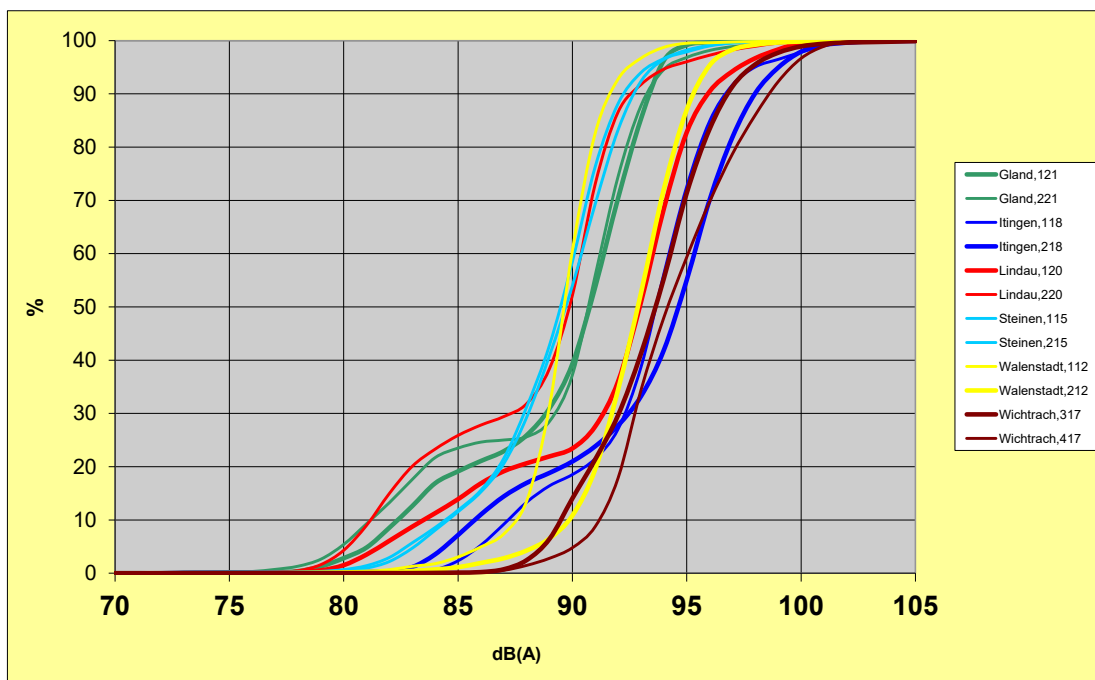


Abb. 11: Summenkurve der TEL 80-Werte für Güterzüge 2021, beide Gleise

Abb. 12: Summenkurve der TEL 80-Werte für Güterzüge 2003, beide Gleise



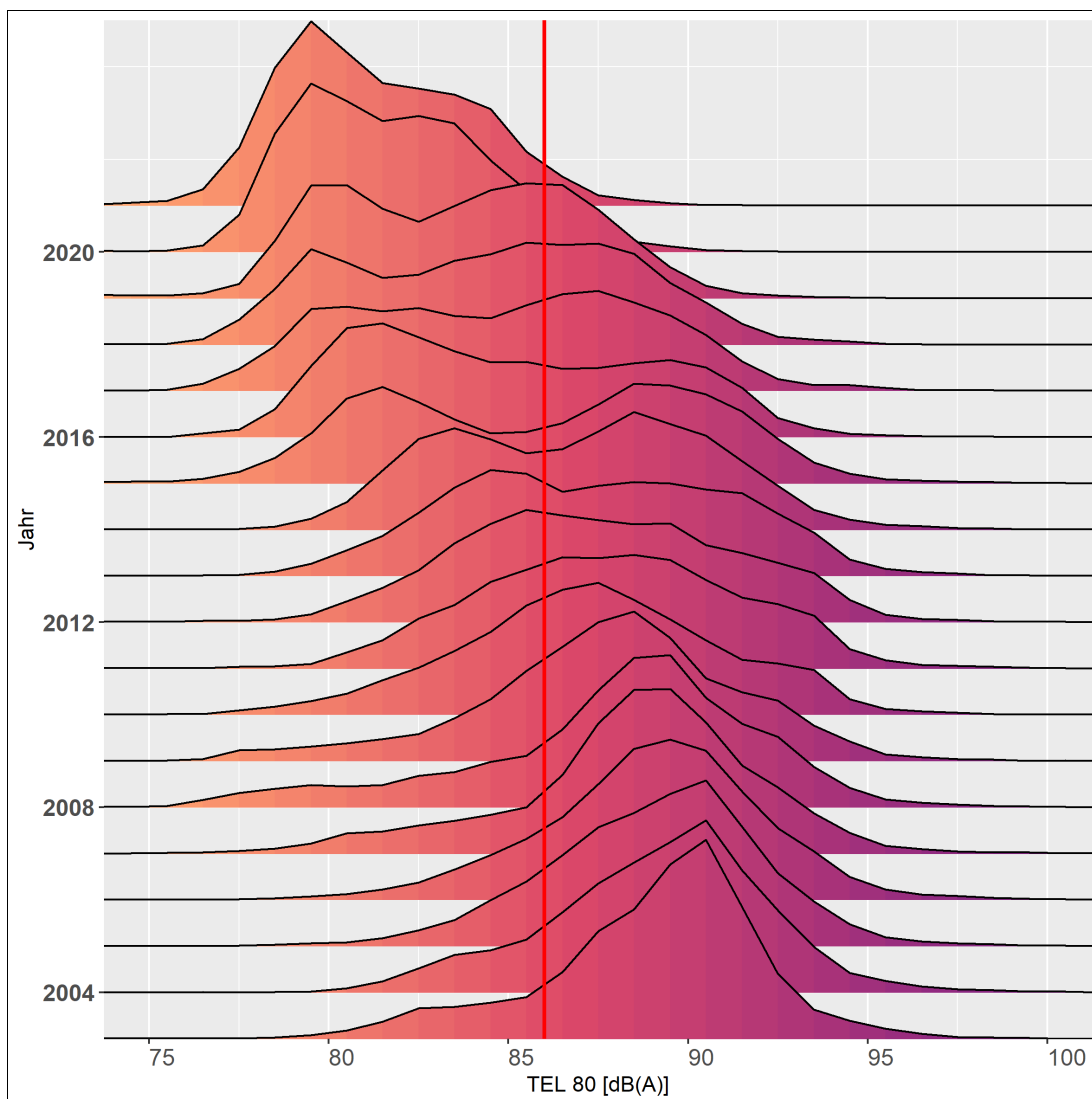


Abb. 13: Steinen (Gleis 215), Häufigkeitsverteilungen TEL 80 der Güterzüge 2003-2021

Die Abbildung 13 zeigt exemplarisch die Entwicklung in Steinen auf der Gotthardachse über die ganze Messperiode. Im Jahr 2003 dominierten noch klar 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 sind die lauten Güterzüge seit dem Jahr 2020 weitgehend verschwunden.

4.2.5 Emissionswerte von Güterwagen

Im Hinblick auf die Einführung von Emissionsgrenzwerten für alle Güterwagen wurde ein neuer Algorithmus entwickelt, um die Vorbeifahrtspegel von Güterwagen in den regulär verkehrenden Güterzügen zu ermitteln. Die Häufigkeitsverteilungen in den Abbildungen 14 und 15 beruhen auf den Werten von mehr als zehntausend Güterwagen. Die Messwerte können direkt mit dem Emissionsgrenzwert der TSI Noise von 83 dB(A) verglichen werden.

In den Klassenwerten und Summenkurven von April 2016 ist eine deutliche zweigipflige Verteilung erkennbar. Der linke Peak mit den tieferen Werten ist auf die Wagen mit Verbundstoffsohlen zurückzuführen. Die hohen Werte der Wagen mit GG-Sohlen lassen sich klar davon abgrenzen. Auf diese Weise wurde empirisch am Tiefpunkt zwischen den beiden Peaks ein Schwellenwert für leise Güterwagen von 86 dB(A) festgelegt. Er liegt 3 dB(A) über dem Grenzwert der TSI Noise [8]. Wagen im regulären Betrieb können höhere Emissionswerte aufweisen als bei Abnahmemessungen. Wagen mit GG-Sohlen werden aber kaum Werte unter 86 dB(A) aufweisen. Der Anteil von Wagen mit Verbundstoffsohlen oder Scheibenbremsen wird auf diese Weise etwas unterschätzt.

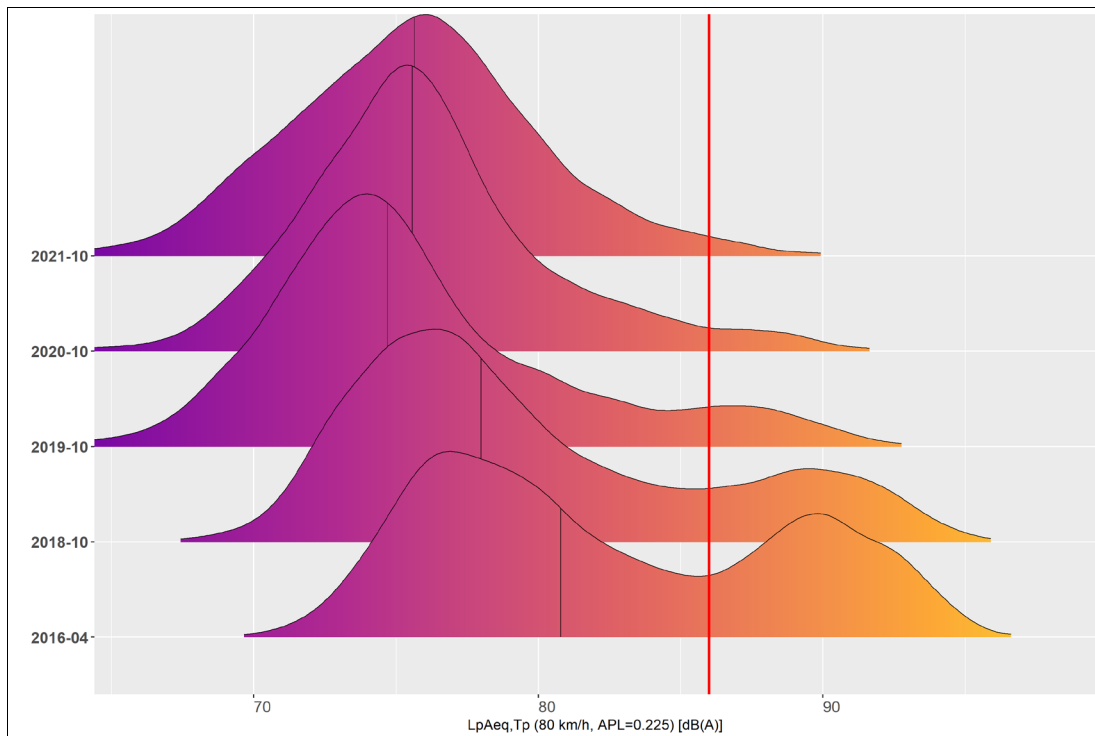


Abb. 14: Emissionswerte Güterwagen in Wichtrach (Lötschberg) 2016-2021, Gleis 317, Häufigkeitsverteilung der Vorbeifahrten eines Monats

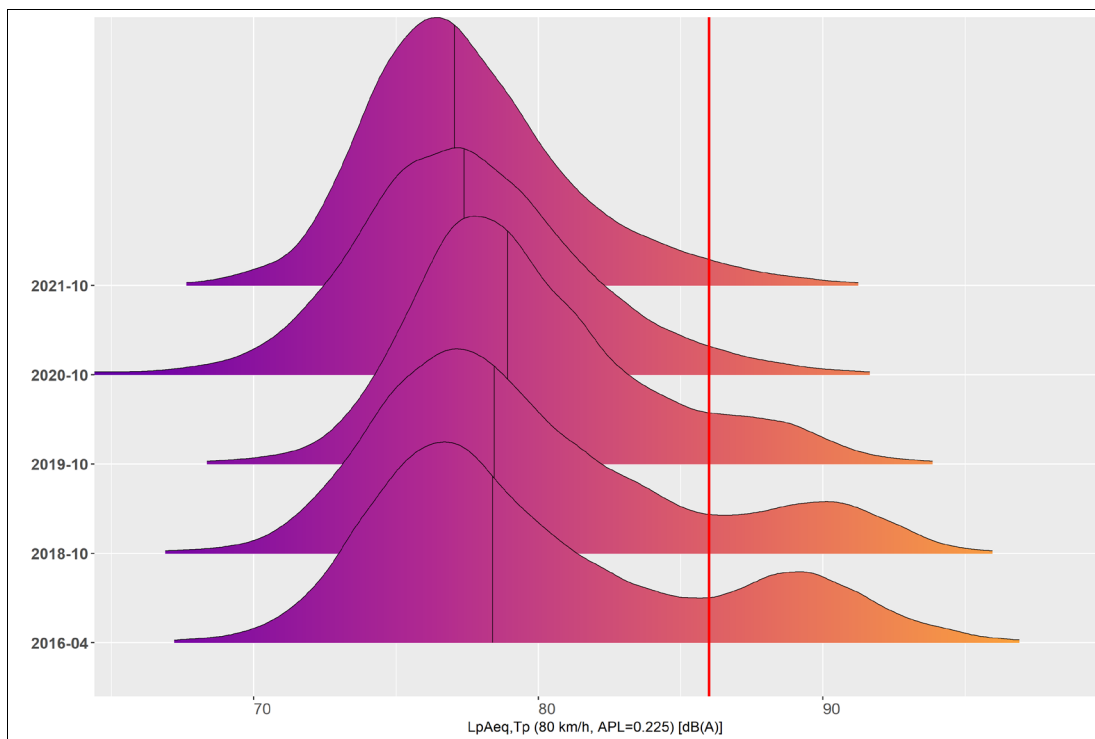


Abb. 15: Emissionswerte Güterwagen in Steinen (Gotthard) 2016-2021, Gleis 215, Häufigkeitsverteilung der Vorbeifahrten eines Monats

4.3 Anteil Güterverkehr

Die Bedeutung des Güterverkehrs ist aufgrund des lauten Rollmaterials und der langen Züge für die Lärmemissionen entscheidend. Abbildung 16 zeigt den Anteil der Güterzüge am gesamten Emissionspegel Leq,e . Klar ersichtlich ist die hohe Bedeutung des Güterverkehrs insbesondere in der Nacht.

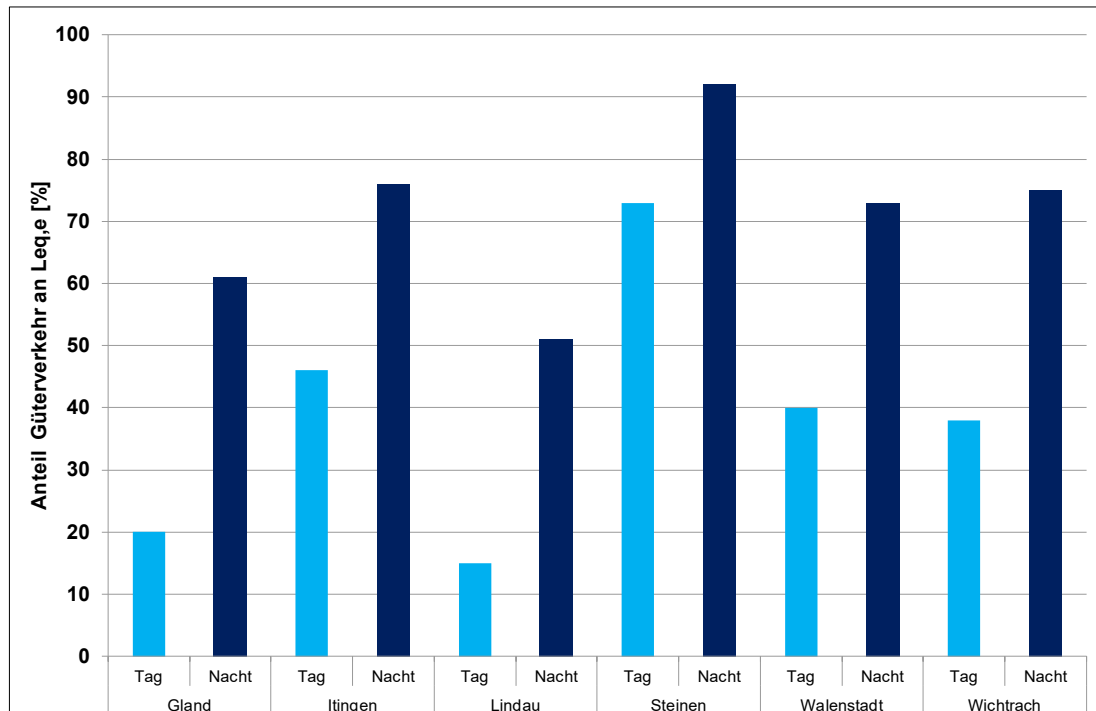


Abb. 16: Anteil des Güterverkehrs an den Gesamtemissionen 2021

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 zu fast gleichgrossen Reduktionen des Gesamtpegels.

4.4 Verkehr

In den Abbildungen 17 und 18 ist die Entwicklung der Zugzahlen seit Messbeginn dargestellt. Der gesamte Verkehr hat in dieser Zeitperiode zugenommen, allerdings in unterschiedlichem Ausmass. Aufgrund der Corona-Pandemie erfolgte im Jahr 2020 generell ein leichter Rückgang. Beim Güterverkehr allein ist die Situation uneinheitlich. Je nach Messstation gibt es einen stabilen, oder abnehmenden Trend. Auffällig ist die doch markant rückläufige Entwicklung am Gotthard (Steinen) bis 2009. Das Jahr 2020 brachte insbesondere am Lötschberg einen deutlichen Einbruch bei den Güterzügen. Die Summe der Güterzüge auf den Transitachsen Lötschberg (Wichtrach) und Gotthard (Steinen) ist seit 2003 praktisch unverändert. Bis 2017 fand eine Verschiebung hin zum Lötschberg statt. Seit nun auch der Gotthard-Basistunnel eröffnet ist, ist eine gewisse Rückverlagerung zum Gotthard erkennbar.

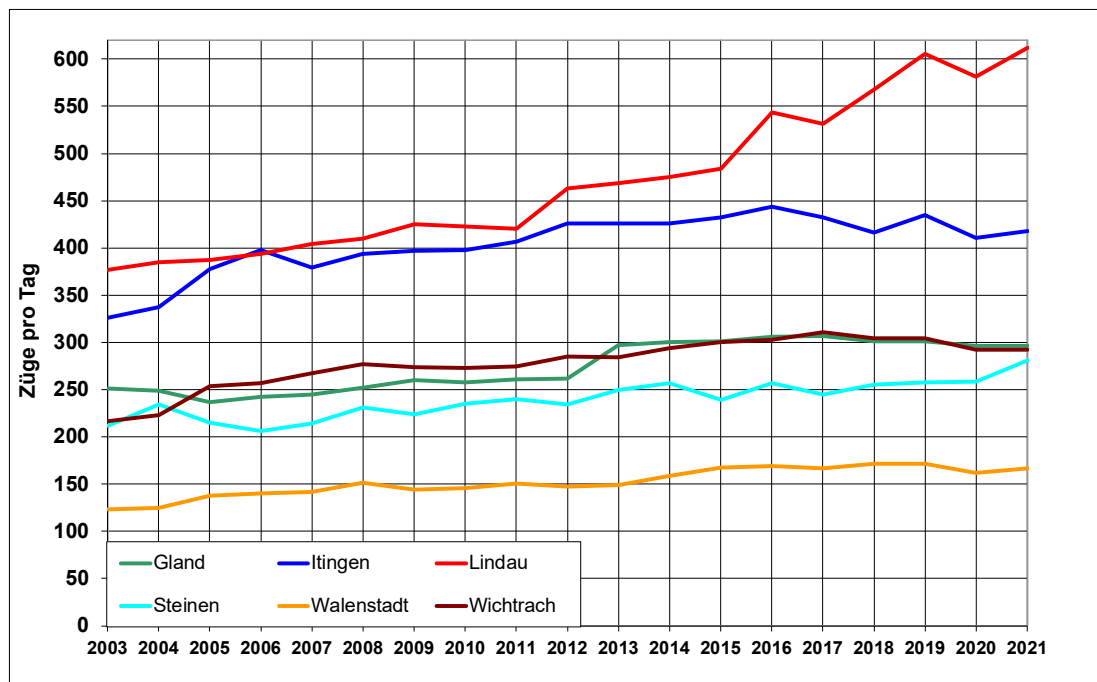


Abb. 17: Entwicklung Gesamtverkehr, mittlere Anzahl Züge pro Tag 2003-2021

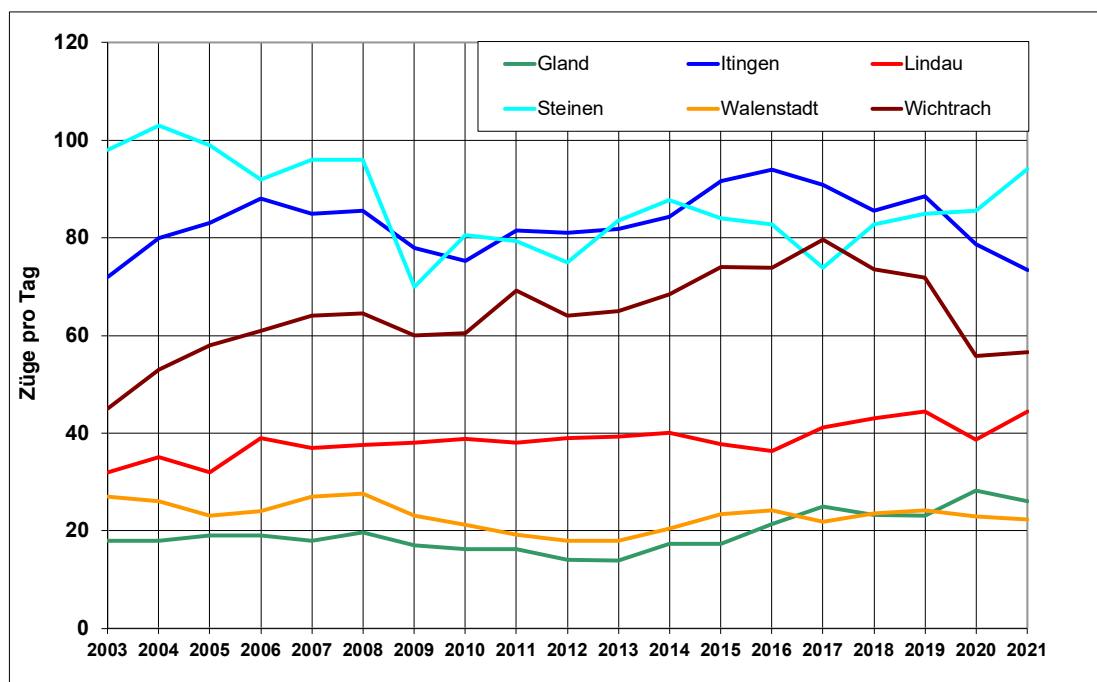


Abb. 18: Entwicklung Güterverkehr, mittlere Anzahl Züge pro Tag 2003-2021

Abkürzungsverzeichnis

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

Verzeichnis der Anhänge

ANHANG 1	Messkonzept
ANHANG 2	Messnetz
ANHANG 3	Spezielle Messgrößen
ANHANG 4	Kennzahlen 2021
ANHANG 5	Monatsmittelwerte L_{r,e} 2003-2021
ANHANG 6	Schienenrauheit und Track-Decay-Rate 2021
ANHANG 7	Literatur

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 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 – Fahrhoboberbau 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.

Ort	Co de	DfA -Nr.	Bahn- km	Gleis-Nr.		Hauptfahrrichtung	Schie- nentyp	Schwellen	Mess- periode
				Monitoring	MBBM				
Wichtrach	I01	290	127.4	317	2	Bern-Thun	UIC 60	Beton (bis 4.14) B-91 (ab 4.14)	1.1.2003-
				417	1	Thun-Bern	UIC 60	Beton (bis 4.13) B-91 (ab 4.13)	
Gland	I02	150	32.6	121	2	Genf-Lausanne	UIC 60	B-91	1.7.2003-
				221	1	Lausanne-Genf	UIC 60	B-91	
Itingen	I03	500	19.8	218	2	Olten-Basel	UIC 60	B-70	1.2.2003-
				118	1	Basel-Olten	UIC 60	B-70	
Steinen	I04	600	14.7	115	1	Flüelen-Arth-Goldau	UIC 60	B-91	1.2.2003-
				215	2	Arth-Goldau-Flüelen	UIC 60	B-91	
Walen- stadt	I05	890	10.6	112	2	Sargans-Zürich	UIC 54	Zweiblock SL (bis 11.06)	1.1.2003-
				212	1	Zürich-Sargans	UIC 60 UIC 60	B-91 (ab 11.06) B-70	
Lindau	I06	751	19.6	120	2	Winterthur-Zürich	UIC 60	B-70 (bis 8.17) B-91, steif be- sohlt (ab 2018)	1.4.2003-
				220	1	Zürich-Winterthur	UIC 60	B-91	

Tabelle A2.1: Messstandorte festes Messnetz

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

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.

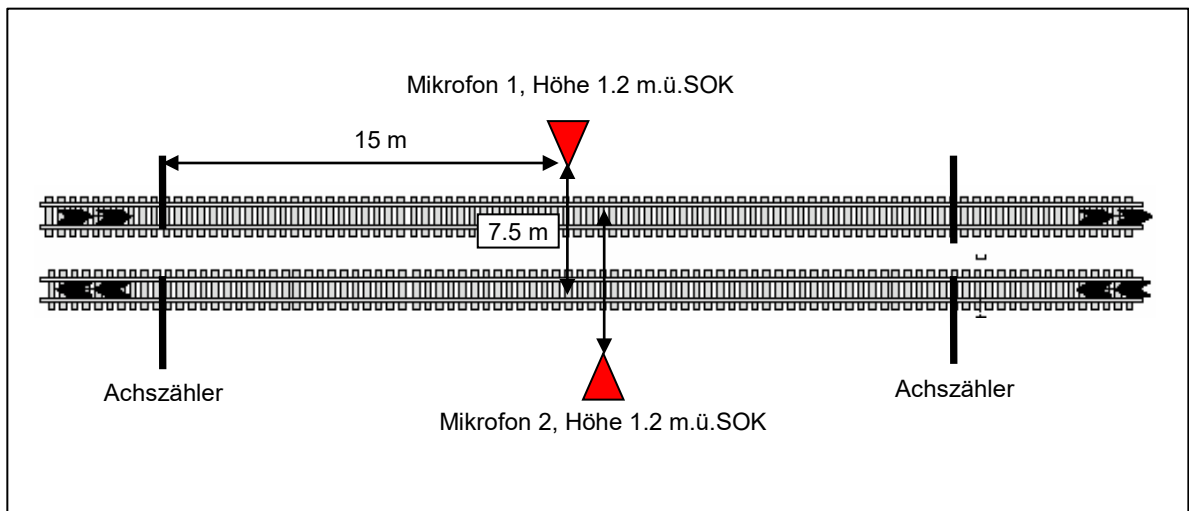


Abb. A2.1:

Situation Messstandort

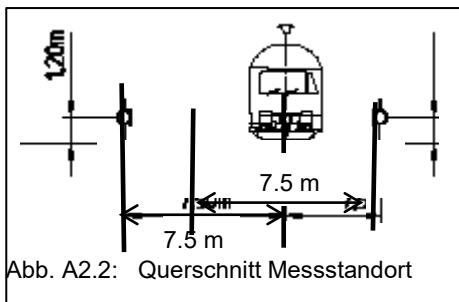


Abb. A2.2: Querschnitt Messstandort

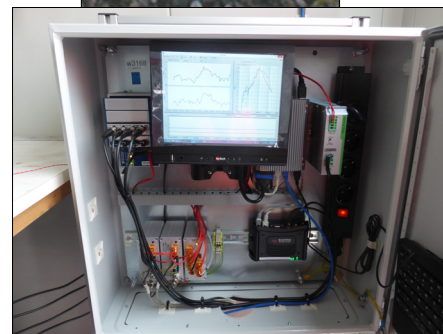
Mikrofon



Achszähler



Messcontainer



Messausrüstung

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 Zugs vorbeifahrt.

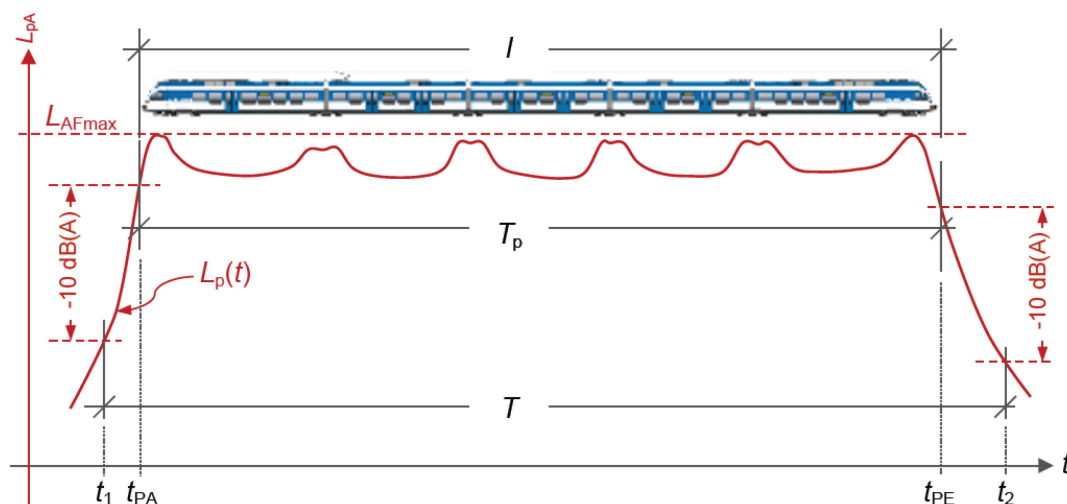


Abb. A3.1: Schematische Darstellung des Zeitverlaufs des Schalldruckpegels $L_{pA}(t)$ einer Zugs vorbeifahrt mit Einzeichnung wichtiger Grössen.

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)
- $L_{Aeq,Tp}$ A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschalldruckpegel einer Zugs vorbeifahrt in dB(A)

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

- L_{AFmax} maximaler A-bewerteter, mit Zeitkonstante FAST gemessener Schalldruckpegel der Zugs vorbeifahrt 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 Auswertzeit (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

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

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

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

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

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

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

$$TEL_m = 10 \lg \left(\sum_N 10^{\frac{SEL}{10 \text{ dB}}} \right) - 10 \lg \left(\frac{\sum_N T_p}{1s} \right) \quad (5)$$

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

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

$L_{eq,e}$ 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

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

mit

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

$A1 = 10 \lg(16 \text{ h} \cdot 3'600 \text{ s/h} \cdot 1/\text{s}) \text{ dB(A)}$ 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:

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

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 Bezugszeitintervall (Stunde, Tag, Monat, Jahr)

Z_m mittlere Anzahl der Achsen pro Zug
 pro Beurteilungszeitintervall (Tag oder Nacht),
 pro Gleis
 pro Zugkategorie,
 pro Messstelle
 pro Bezugszeitintervall (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

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

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 L_{Aeq} in einer Distanz von 25 m ausgewiesen:

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

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

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

Einzahlwert für Rauheit $L_{\lambda CA}$

$L_{\lambda CA}$ ist ein Einzahlwert für die Rauheit von Schiene und Rad. Die Grösse berücksichtigt die Bedeutung der verschiedenen Wellenlänge für die Geräuscentstehung. Die Werte sollten proportional zur Lärmentwicklung sein. 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 λ in [cm]

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

$C(\lambda)$ Kontaktfiter:

$$\begin{aligned} C(\lambda) &= 0 & \text{für} & \lambda \geq 10^{(8.5/10)} \\ C(\lambda) &= 10 \cdot \text{LOG}(\lambda) - 8.5 & \text{für} & 10^{(3.5/10)} < \lambda < 10^{(8.5/10)} \\ C(\lambda) &= 20 \cdot \text{LOG}(\lambda) - 12 & \text{für} & \lambda \leq 10^{(3.5/10)} \end{aligned}$$

$A(f)$ 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
Glatte Räder (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

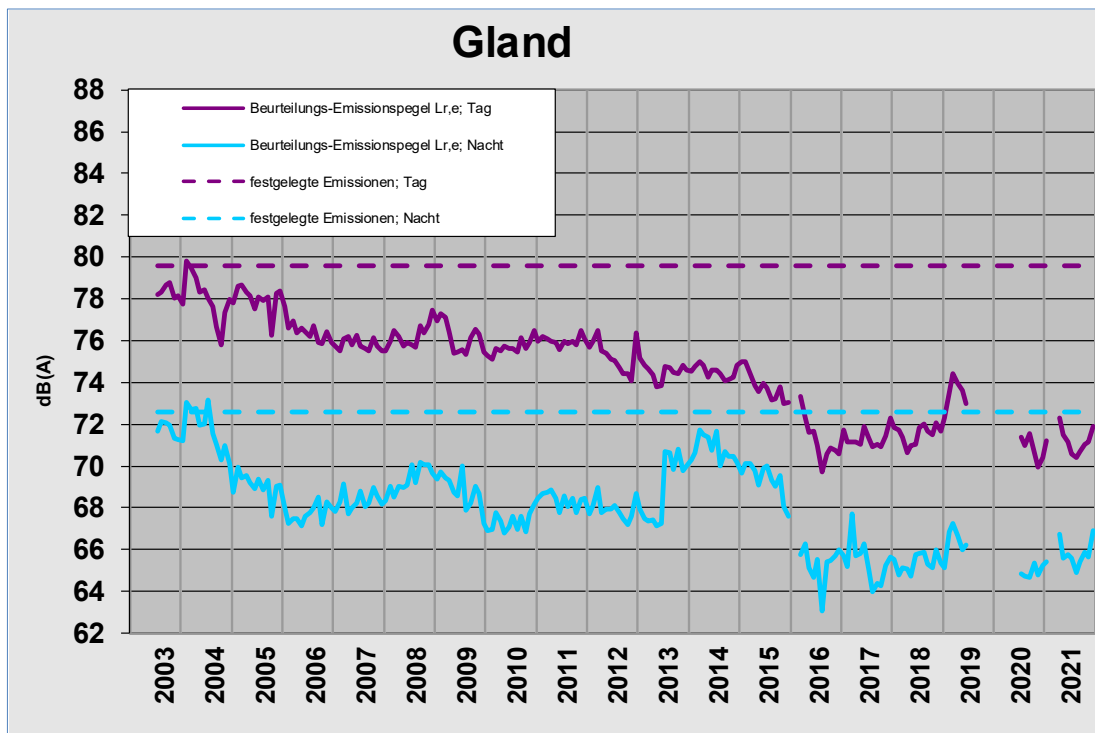
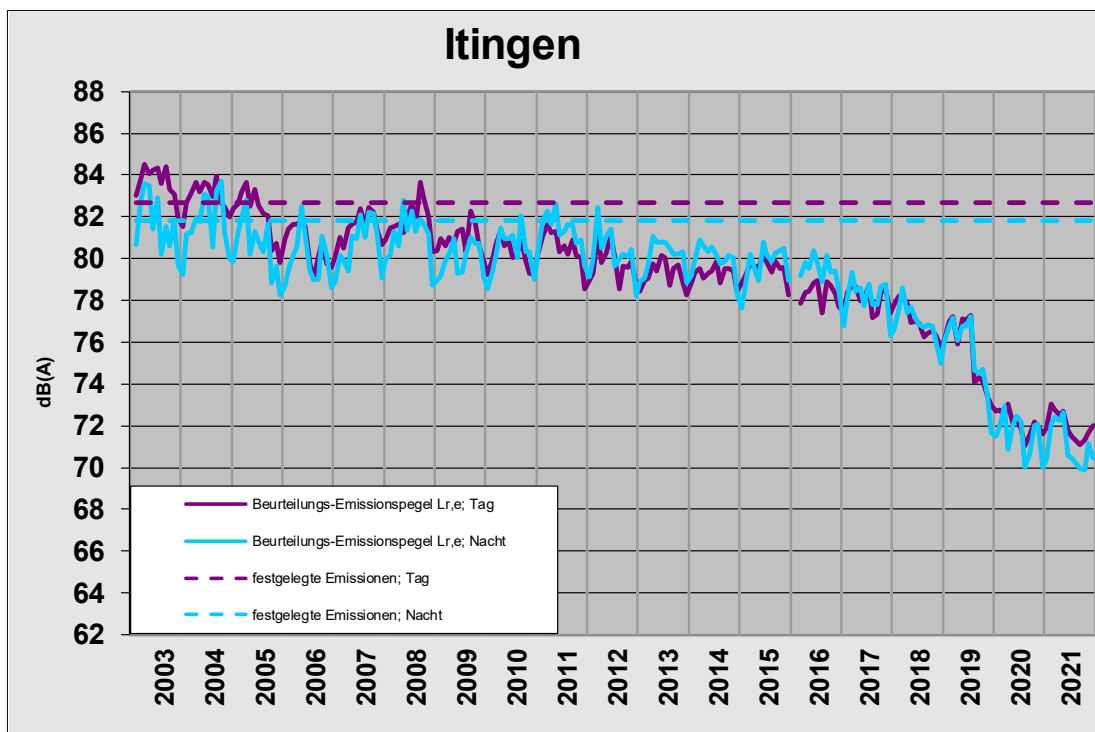
ANHANG 4: KENNZAHLEN 2021

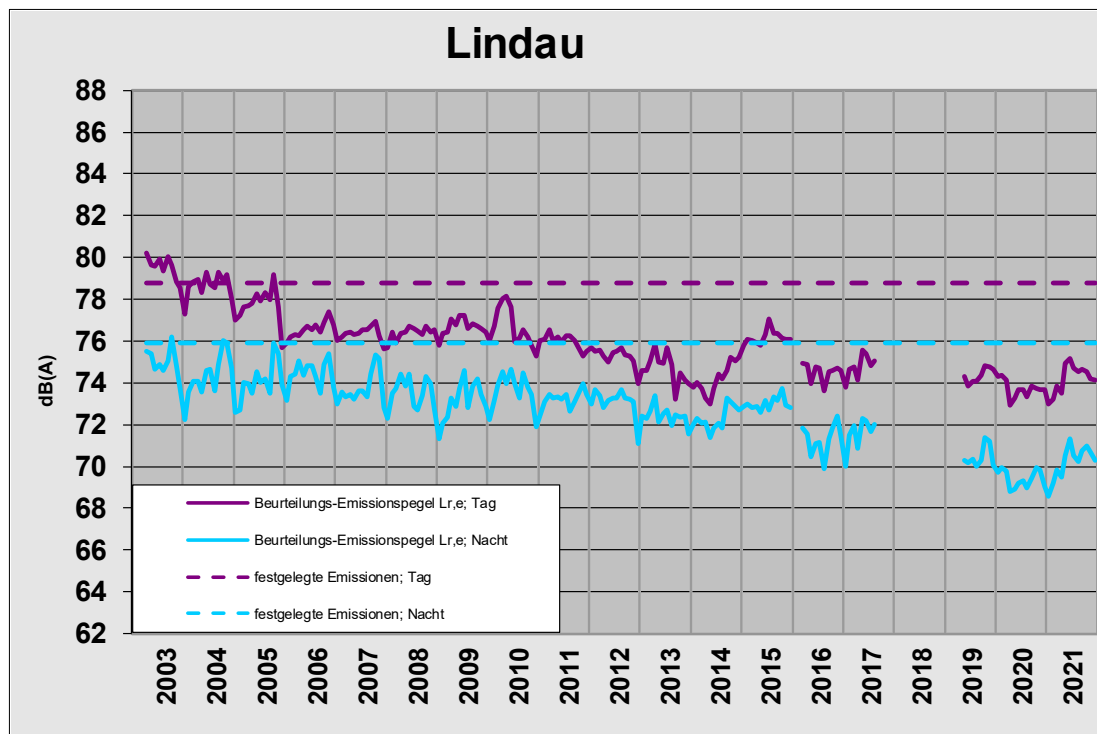
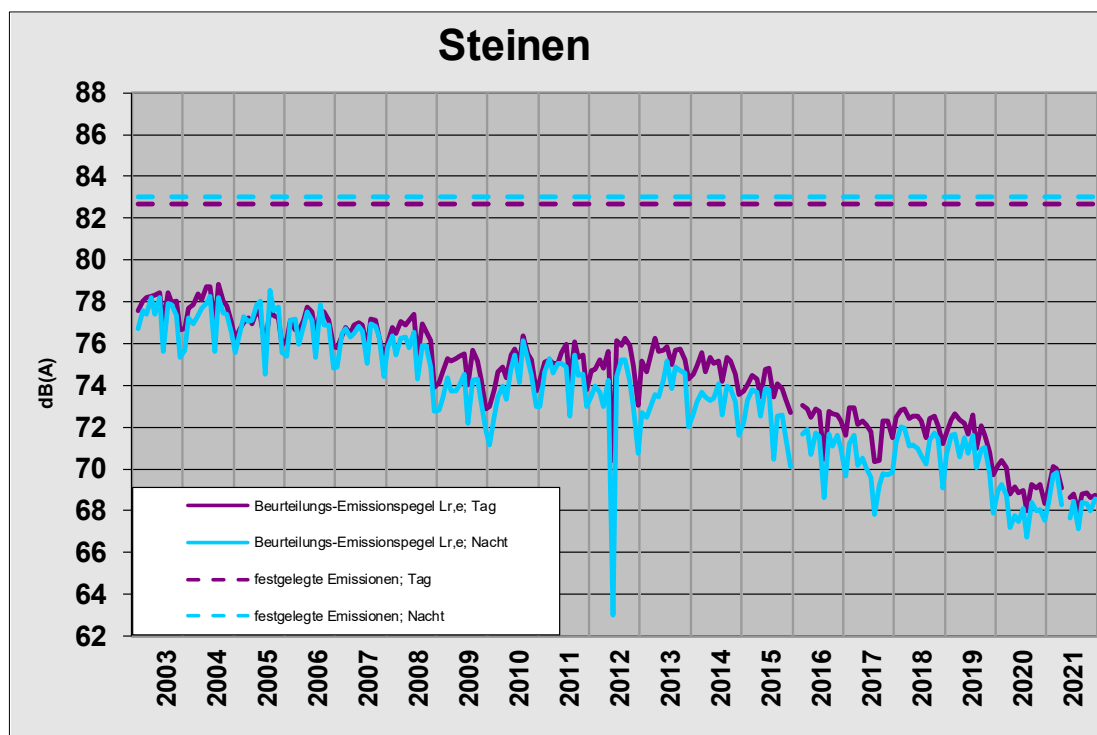
Station		Lr,e [dBA] alle Züge	N	K1		Leq,e [dBA] alle Züge	N
		T		T	N	T	
I02	Gland	71.3	65.9	-5	-7.4	76.3	73.3
I03	Itingen	72.0	71.2	-5	-5.2	77	76.3
I06	Lindau	74.2	70.3	-5	-5	79.2	75.3
I04	Steinen	69.0	68.5	-5	-5.7	74	74.2
I05	Walenstadt	71.6	63.1	-5	-9.9	76.6	72.9
I01	Wichtrach	71.2	69.1	-5	-6.6	76.2	75.7

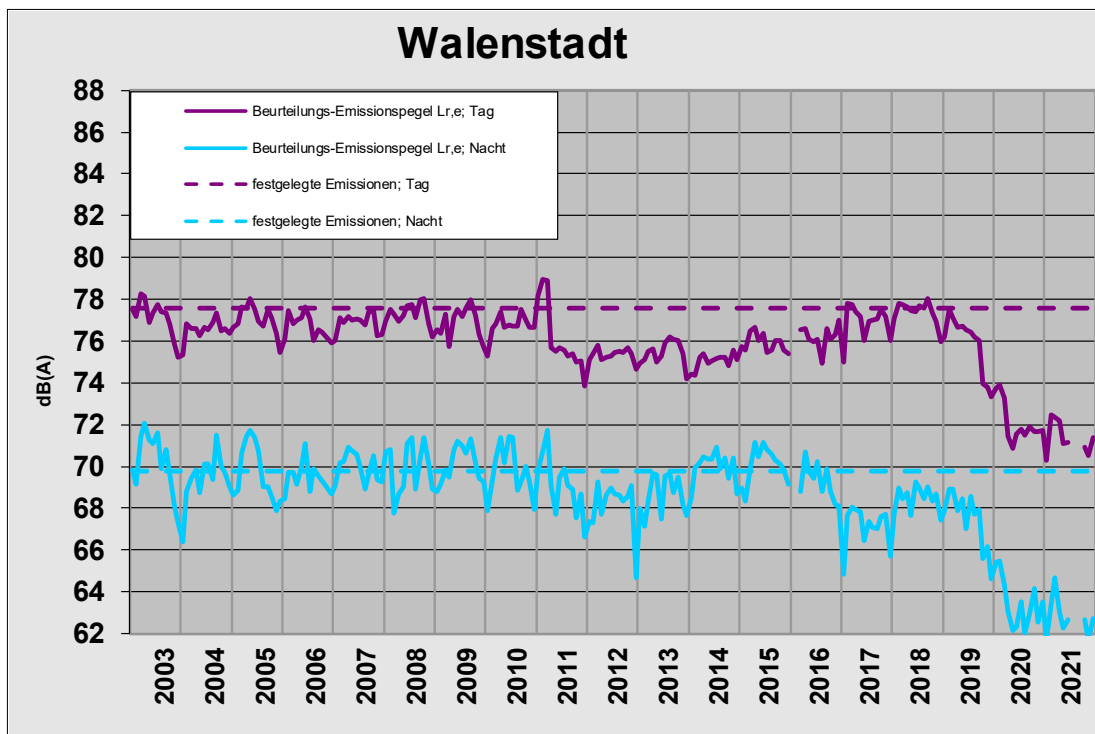
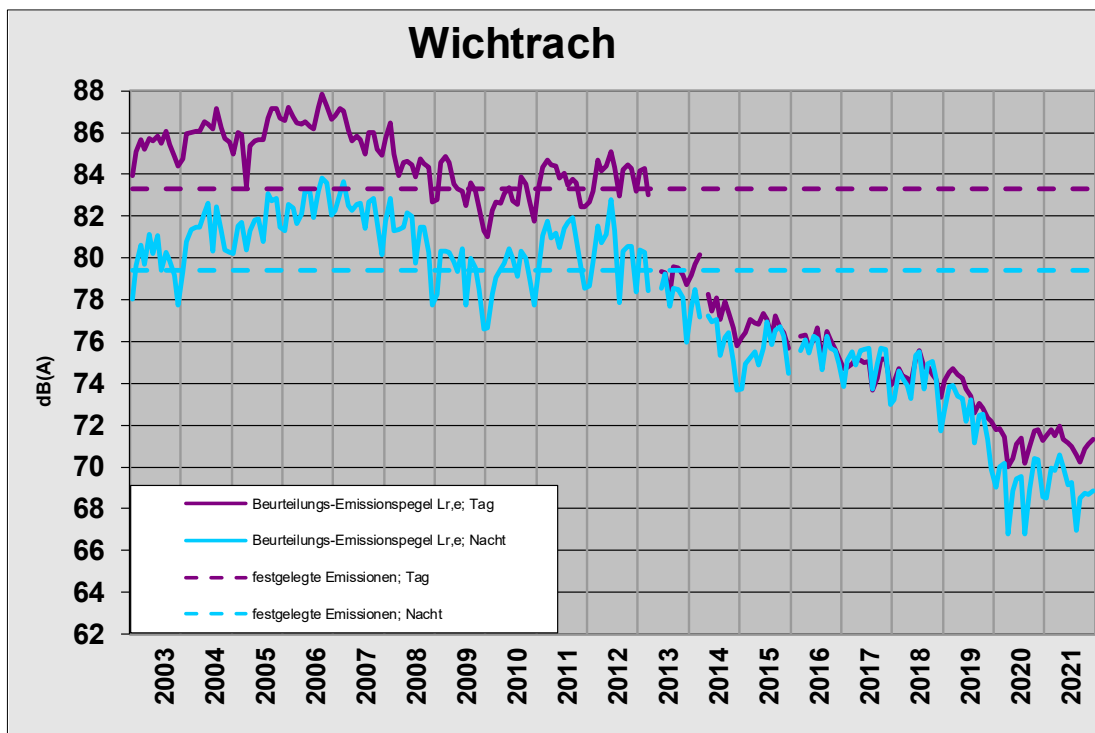
Tabelle A4.1: Jahresmittelwerte 2021, Akustik
T=Tag 6-22 Uhr, N= Nacht 22-6 Uhr

		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	252	45	232	31	16	11	37	30	37	28	50	44	226	180	230	173	223	247
I03	Itingen	342	76	288	46	47	26	41	57	32	35	100	102	237	269	208	187	446	444
I06	Lindau	530	82	498	62	27	18	32	30	32	27	43	41	197	175	197	167	236	224
I04	Steinen	214	67	152	27	56	38	41	59	23	17	93	90	236	309	164	116	454	457
I05	Walenstadt	142	25	122	18	16	7	31	30	27	22	63	56	188	180	174	137	345	317
I01	Wichtrach	237	55	200	31	34	22	42	63	32	38	102	101	237	284	199	178	479	450

Tabelle A4.2: Jahresmittelwerte 2021, Verkehr
AlleZüge=Personenzüge(PZ)+Güterzüge(GZ)+Dienstzüge+nichtbestimmbareZüge

ANHANG 5: MONATSMITTELWERTE L_{r,e} 2003-2021Abb. A5.1: Messstation Gland, Messwerte L_{r,e} (Monatsmittel)Abb. A5.2: Messstation Itingen, Messwerte L_{r,e} (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 2021

Station		Gleis	Rauheit L _{ACA} [dB]		Abklingrate TNR [dB]		Messung	
			80 km/h	120 km/h	PZ 140 km/h	GZ 90 km/h	[°C]	Datum
I02	Gland	121	0.3	1.8	-4.80	-4.10	10	16.11.2021
		221	-1.5	-0.8	-4.50	-3.90	9	16.11.2021
I03	Itingen	118	-4.8	-3.4	-3.50	-3.30	11	14.11.2021
		218	-5.4	-0.5	-3.40	-2.90	11	14.11.2021
I06	Lindau	120	-5.4	-0.5	-4.30	-3.60	8	18.11.2021
		220	-4.8	-3.4	-4.50	-3.90	15	18.11.2021
I04	Steinen	115	9.5	11.6	-4.50	-3.90	5	17.11.2021
		215	7.4	9.5	-4.70	-3.90	6	17.11.2021
I05	Walenstadt	112	7.5	10.3	-4.10	-4.10	8	13.11.2021
		212	-1.2	-0.2	-3.40	-3.00	8	13.11.2021
I01	Wichtrach	317	-2.1	-1.3	-4.30	-3.60	9	15.11.2021
		417	6.8	8.7	-4.00	-3.50	8	15.11.2021

Tabelle A6.1: Rauheitswerte und Track-Decay-Rate 2021 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 L 139/89ff 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 2021.
- [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 2020.