



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 2020

1. Januar – 31. Dezember 2020

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:

ETR 610

Inhalt

Inhalt	3
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	20
4.5 Auswirkungen Corona-Pandemie	21
Abkürzungsverzeichnis	23
Verzeichnis der Anhänge	24

1 Zusammenfassung

Das Messnetz war im Jahr 2020 mit hoher Verfügbarkeit in Betrieb. Das Jahr ist geprägt durch die Corona-Pandemie und die Einführung des Verbotes lauter Güterwagen seit 1.1.2020.

Aus den Messdaten ergeben sich die folgenden Kernaussagen:

- Im Jahr 2020 sind die Pegel gegenüber dem Vorjahr bei allen Stationen zurückgegangen. Ursachen sind der geringere Verkehr (Corona), aber zu einem wesentlichen Teil auch das leisere Rollmaterial.
- Bei allen Messstationen liegen die Emissionswerte 2020 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 77-92 %. 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.
- Insbesondere beim Güterverkehr, aber auch beim Personenverkehr konnten seit 2003 durch neues und saniertes Rollmaterial deutliche Pegelminderungen erzielt werden. Dieser Prozess ist voraussichtlich nun abgeschlossen. In den folgenden Jahren dürfte die Lärmentwicklung durch die Verkehrsentwicklung geprägt sein.

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 Dieselzügen 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.

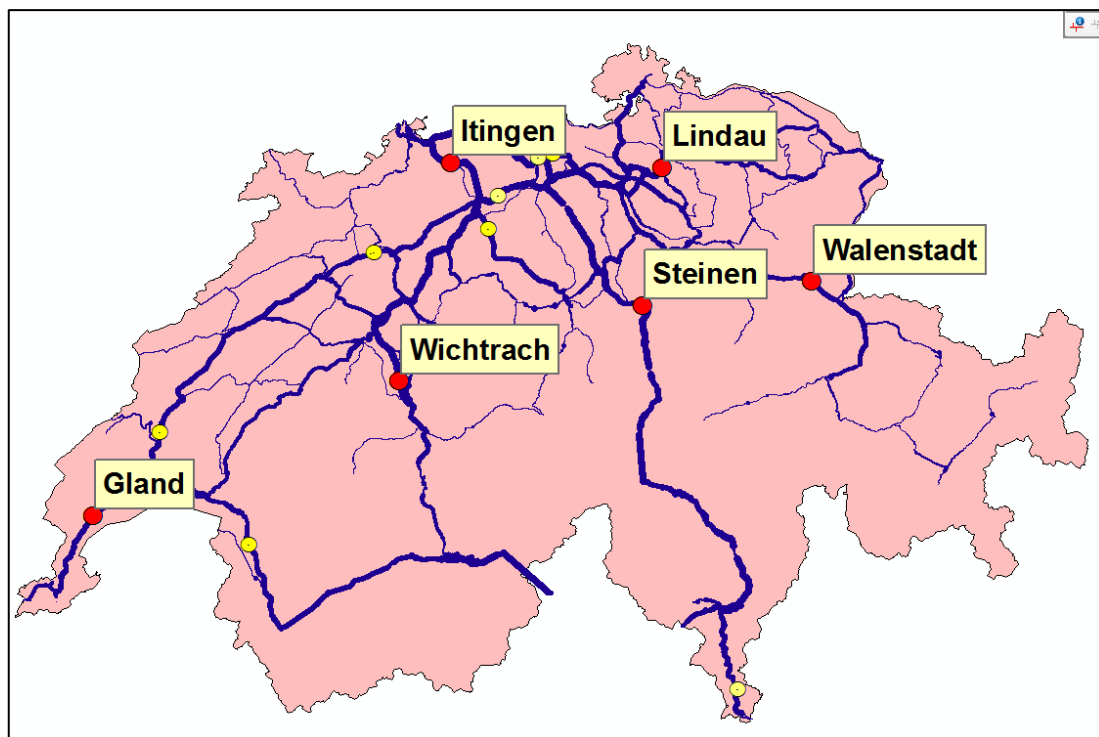


Abb. 1: Messstandorte (Details Anhang 2)
 ● fixe Standorte seit 2003
 ● mobile Standorte 2009-2018

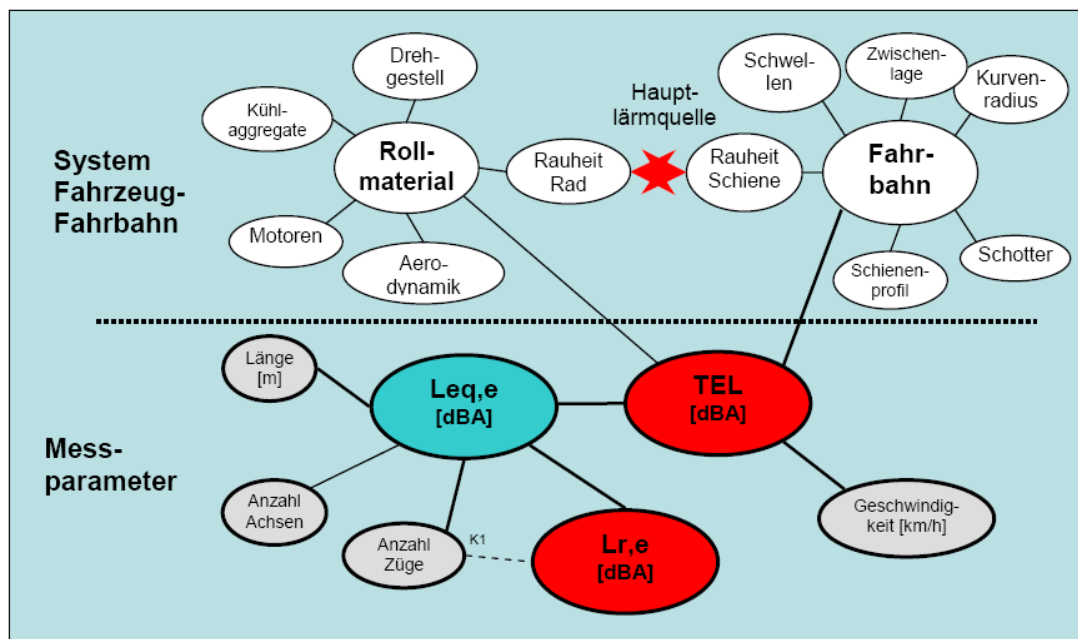


Abb. 2: System Fahrzeug – Fahrbahn und Messparameter des Monitorings Eisenbahnlärm

- 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 Zugvorbeifahrt 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 Zugvorbeifahrten 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](#) (map.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 2020 den festgelegten Emissionen gegenübergestellt. Heute liegen die Messwerte der Emissionen bei allen Stationen klar unter den festgelegten Emissionen.

Die Entwicklung der Werte ist im langfristigen Trend für alle Stationen ähnlich, im Detail aber unterschiedlich. Gegenüber dem Vorjahr sind die Pegel im Mittel um 0.7-4.2 dB zurückgegangen. Die naheliegende Vermutung, dass dies allein auf den Verkehrsrückgang durch die Corona-Pandemie zurückzuführen ist, greift zu kurz. Der Rückgang durch die geringere Verkehrsmenge beträgt maximal 1.5 dB (vgl. Kap. 4.5). Einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion liefert das leisere Rollmaterial, insbesondere im Güterverkehr (vgl. Kap. 4.2.3). Die Einführung der Emissionsgrenzwerte für alle Güterwagen (GG-Verbot) entfaltet nun ihre volle Wirkung.

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

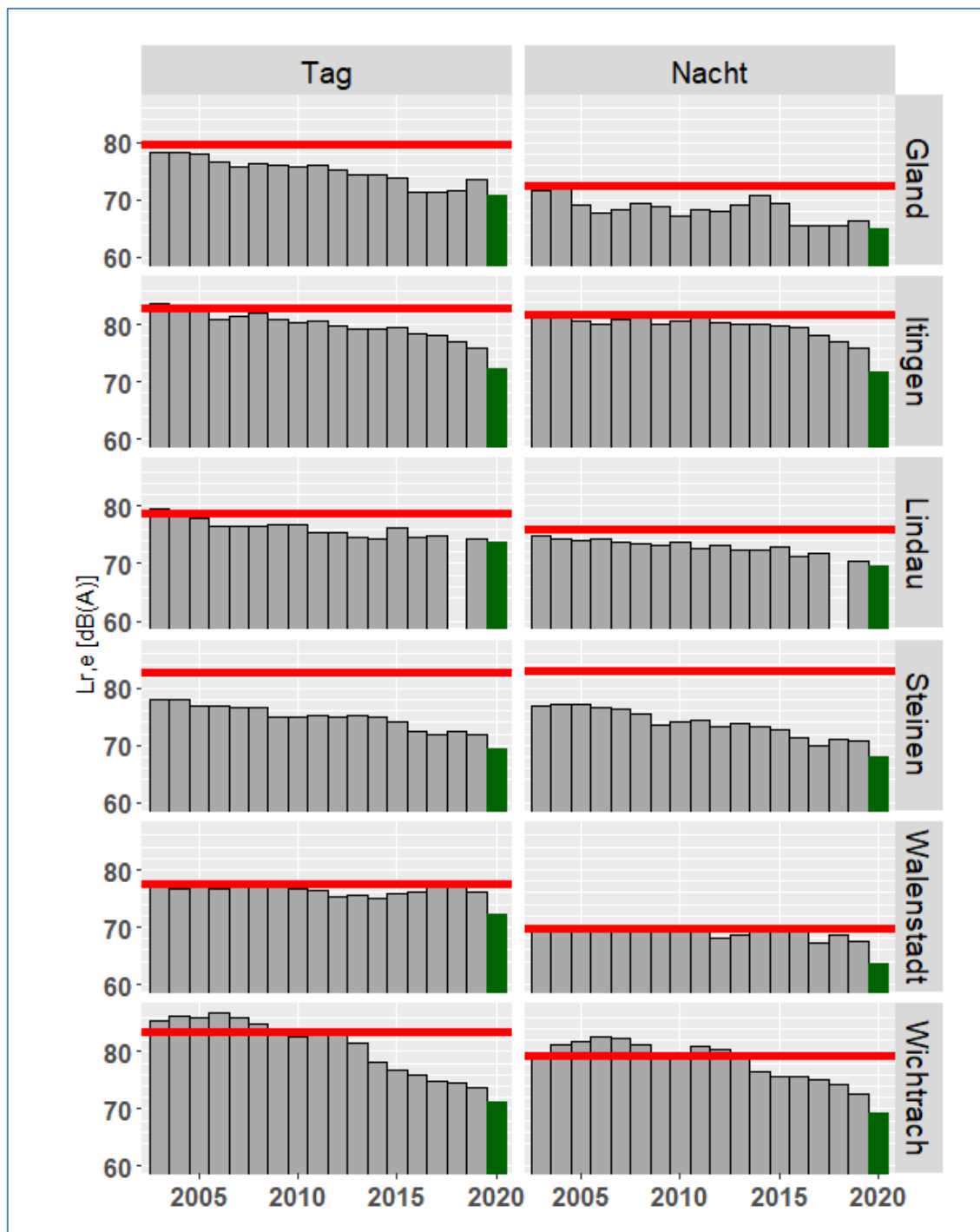
In Gland liegen die Beurteilungs-Emissionspegel L_{r,e} heute rund 7 dB tiefer als 2003. Ursache ist das leisere Rollmaterial der Züge. Ein Anstieg ist im Winter 2008/2009 festzustellen. Er ist auf den erneuten, vorübergehenden Einsatz von altem Rollmaterial bei Personenzügen zurückzuführen. Der Anstieg 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 2020 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, aber auch durch den reduzierten Güterverkehr 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 wieder aufgenommen. Die Emissionswerte liegen trotz starker Verkehrszunahme heute fast 6 dB tiefer als 2003.

Abb. 3: Gemessene Beurteilungs-Emissionspegel $L_{r,e}$ 2003 – 2020

— Festgelegte Emissionen

■ Messwert 2020

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 im vergangenen Jahr 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 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 2020 ist die Schienenrauheit wieder 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 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.

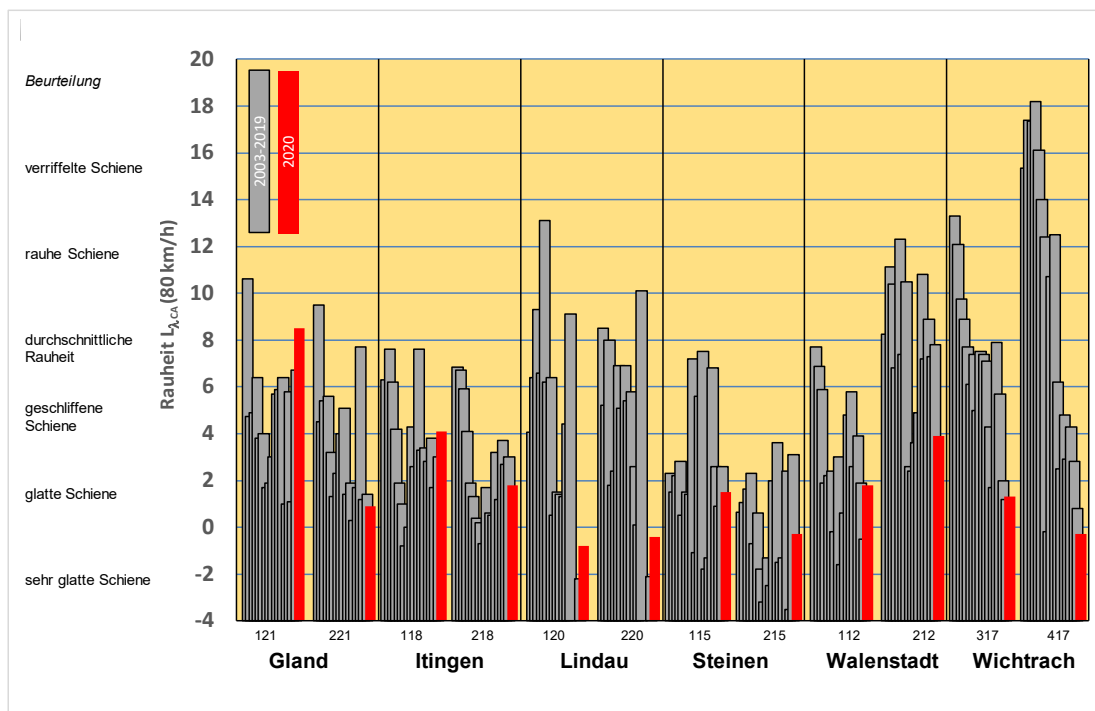


Abb. 4: Schienenrauheit an den Messstandorten
beide Gleise, detaillierte Messergebnisse, $L_{A,CA}$ vgl. Anhänge 3 und 6

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.

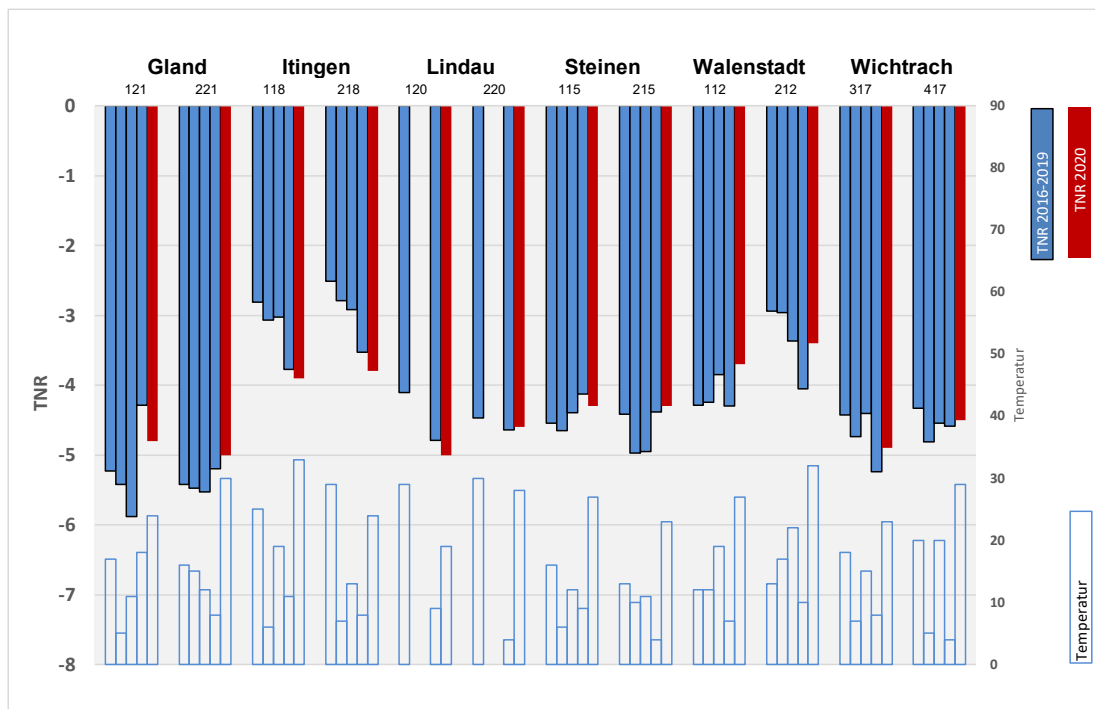


Abb. 5: Schienenabklingrate als Einzahlwert (Track Noise Ratio, TNR[13]) und Gleistemperatur

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 2003-2020 grafisch 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.

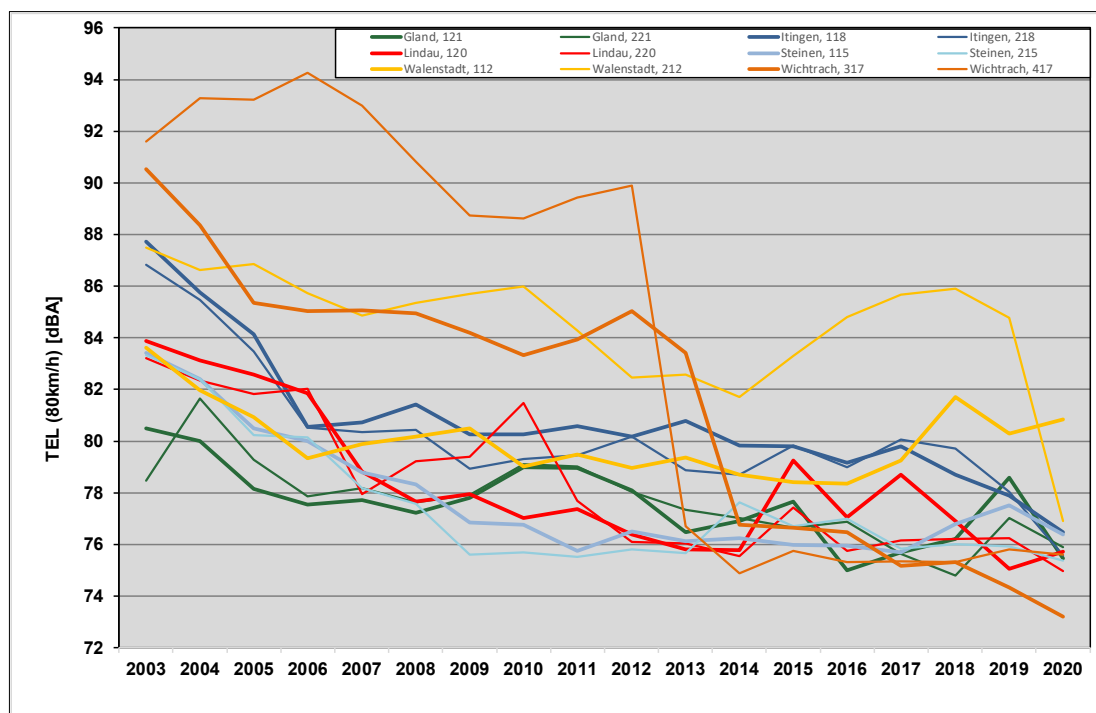


Abb. 6: Vorbeifahrtspegel Personenzüge (TEL, normiert auf V=80 km/h)
Medianwert pro Gleis

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 2020 im Jahresmittel nur noch bei rund einem Prozent [12].

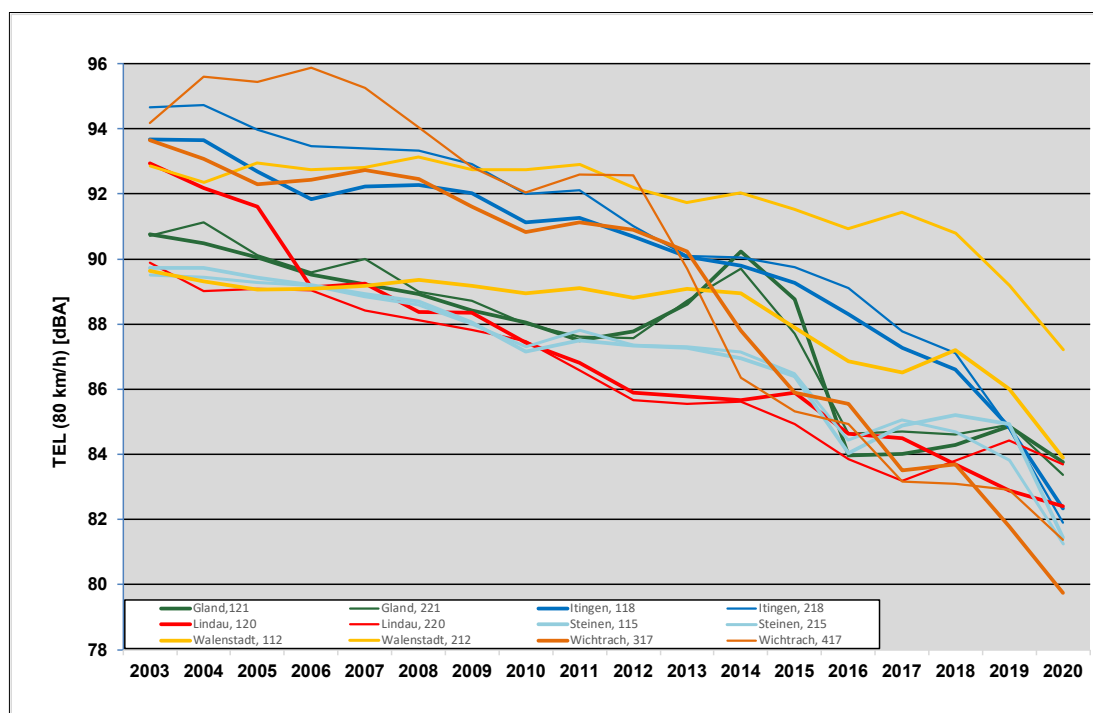


Abb. 7: Vorbeifahrtspegel Güterzüge (TEL, normiert auf V=80 km/h)
Medianwert pro Gleis

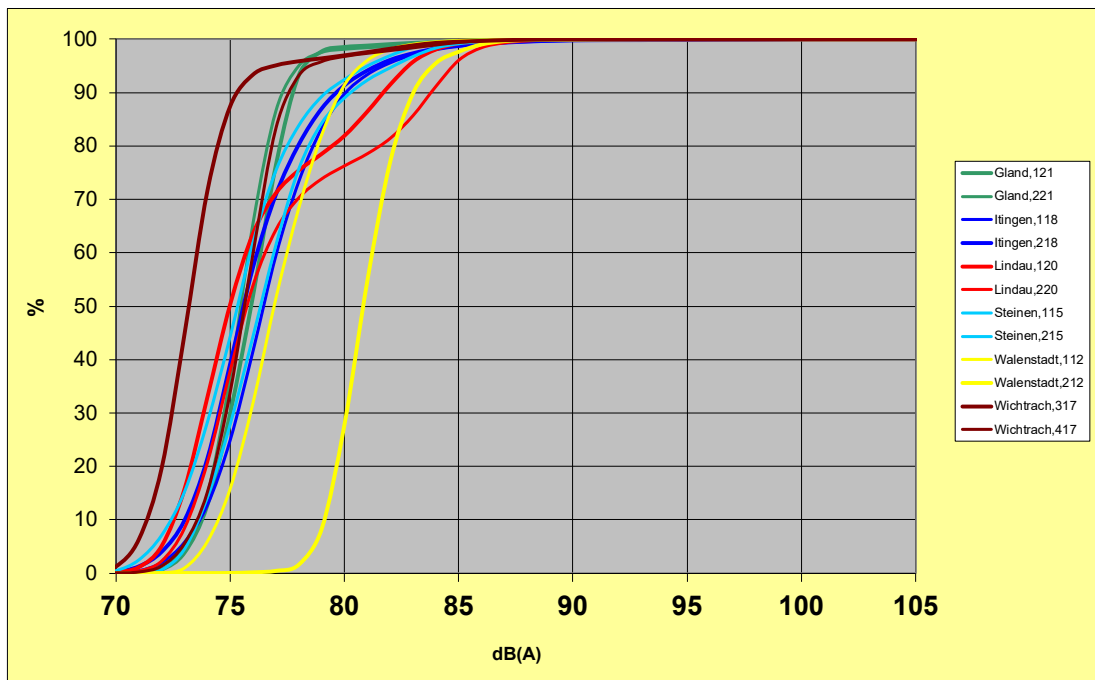
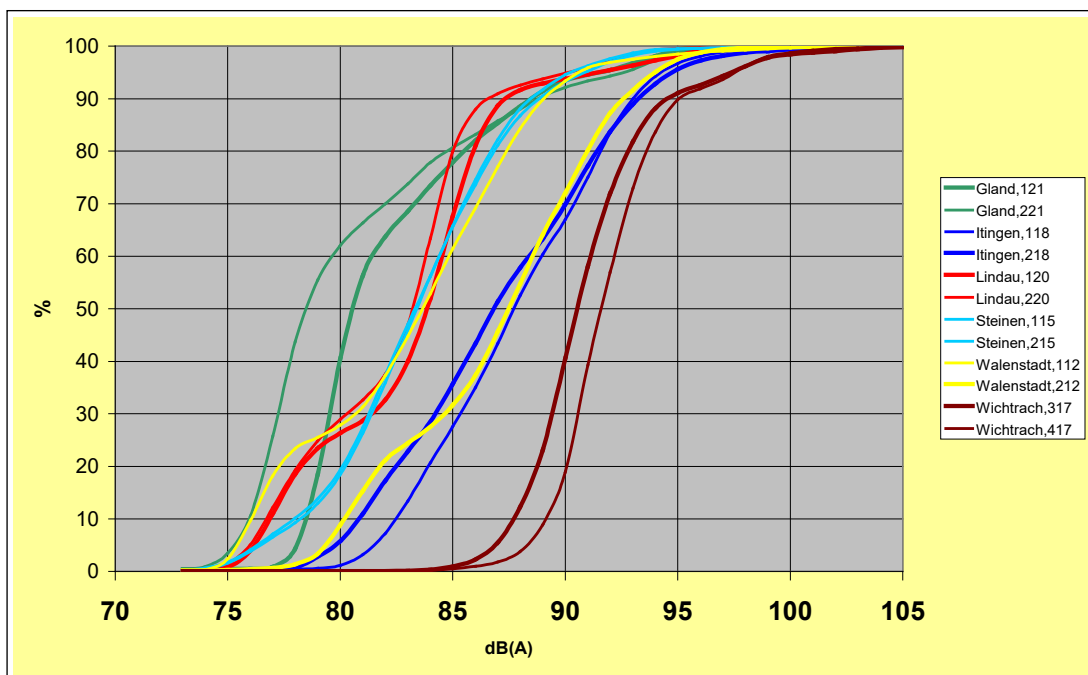
4.2.4 Häufigkeitsverteilung Vorbeifahrtspegel

Personenzüge

Der Anteil leiser Personenzüge im Jahr 2020 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 2020. 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 bei den meisten Gleisen zwischen 1.8 und 2.8.

In Lindau liegt die Standardabweichung zwischen 3.5 und 4.0. Hier gibt es einen bedeutenden Anteil von Zügen mit Pegeln im Bereich von 82-83 dB(A). Es handelt sich dabei um die bereits erwähnten DPZ der S-Bahn Zürich.

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 **2020**, beide GleiseAbb. 9: Summenkurve der TEL 80-Werte für Personenzüge **2003**, beide Gleise

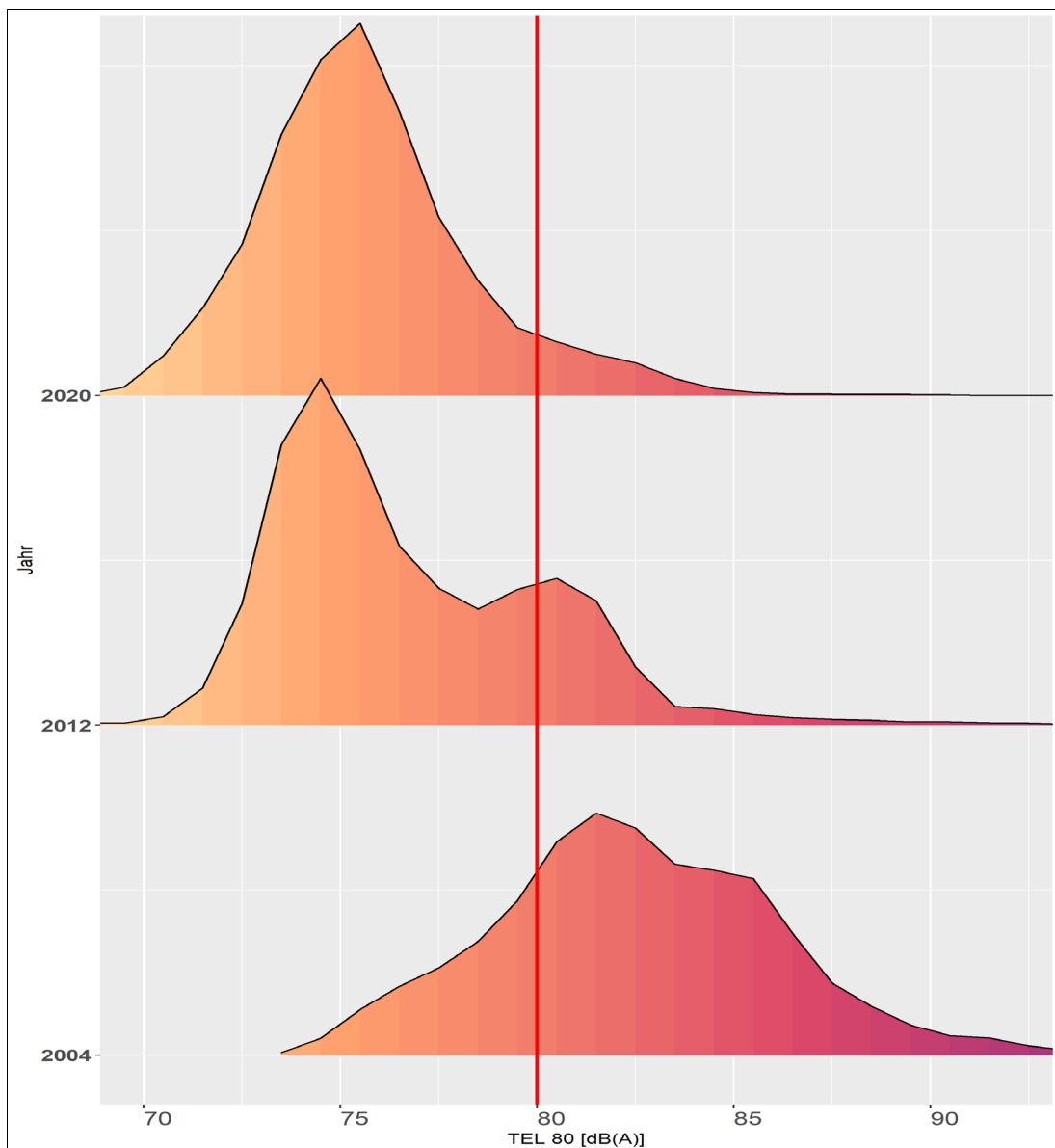


Abb. 10: Steinen (Gleis 215), Häufigkeitsverteilungen TEL 80 der Personenzüge in den Jahren 2004, 2012 und 2020

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) bei 80-84 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 2.3 und 3.7 und damit nur noch geringfügig höher als bei den Personenzügen.

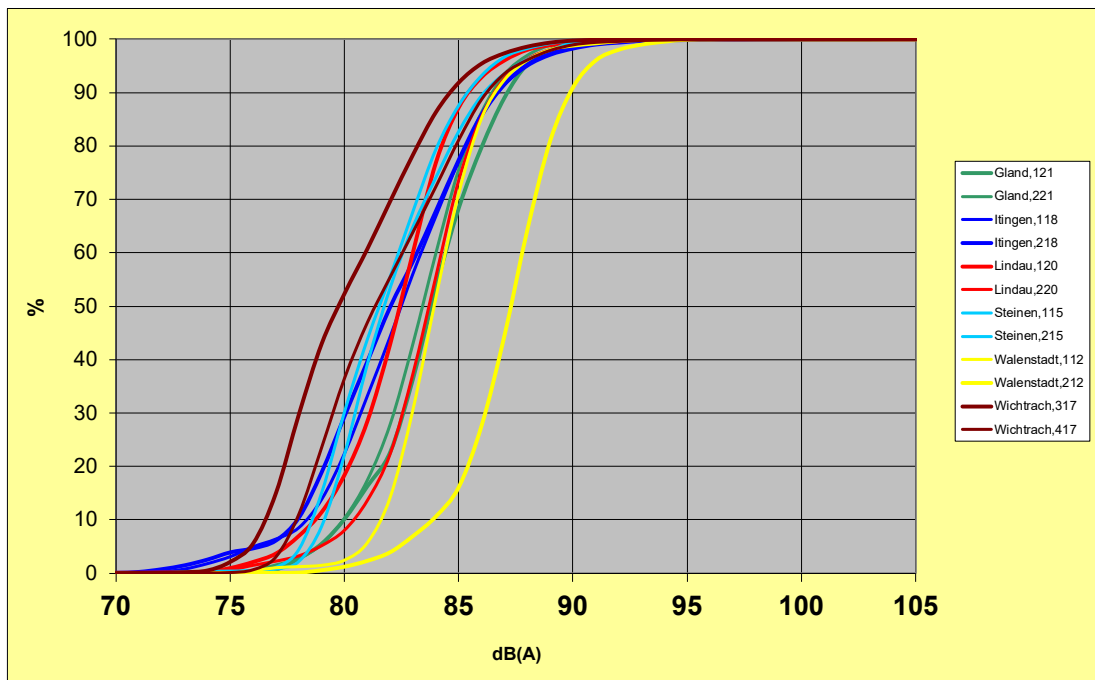


Abb. 11: Summenkurve der TEL 80-Werte für Güterzüge 2020, beide Gleise

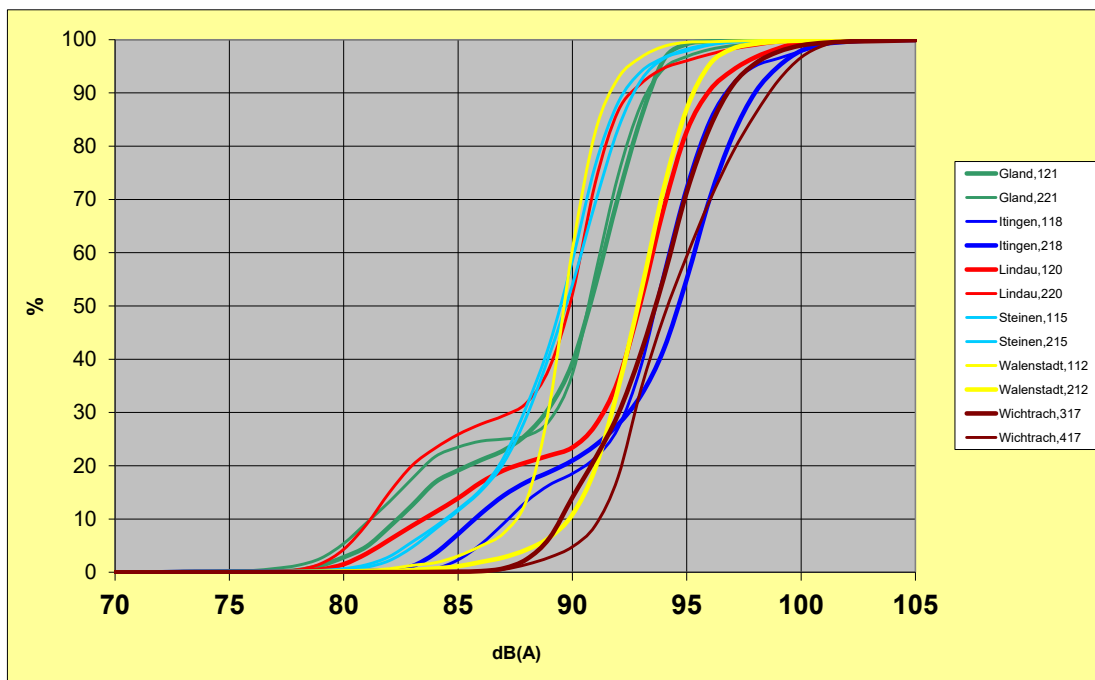


Abb. 12: Summenkurve der TEL 80-Werte für Güterzüge 2003, beide Gleise

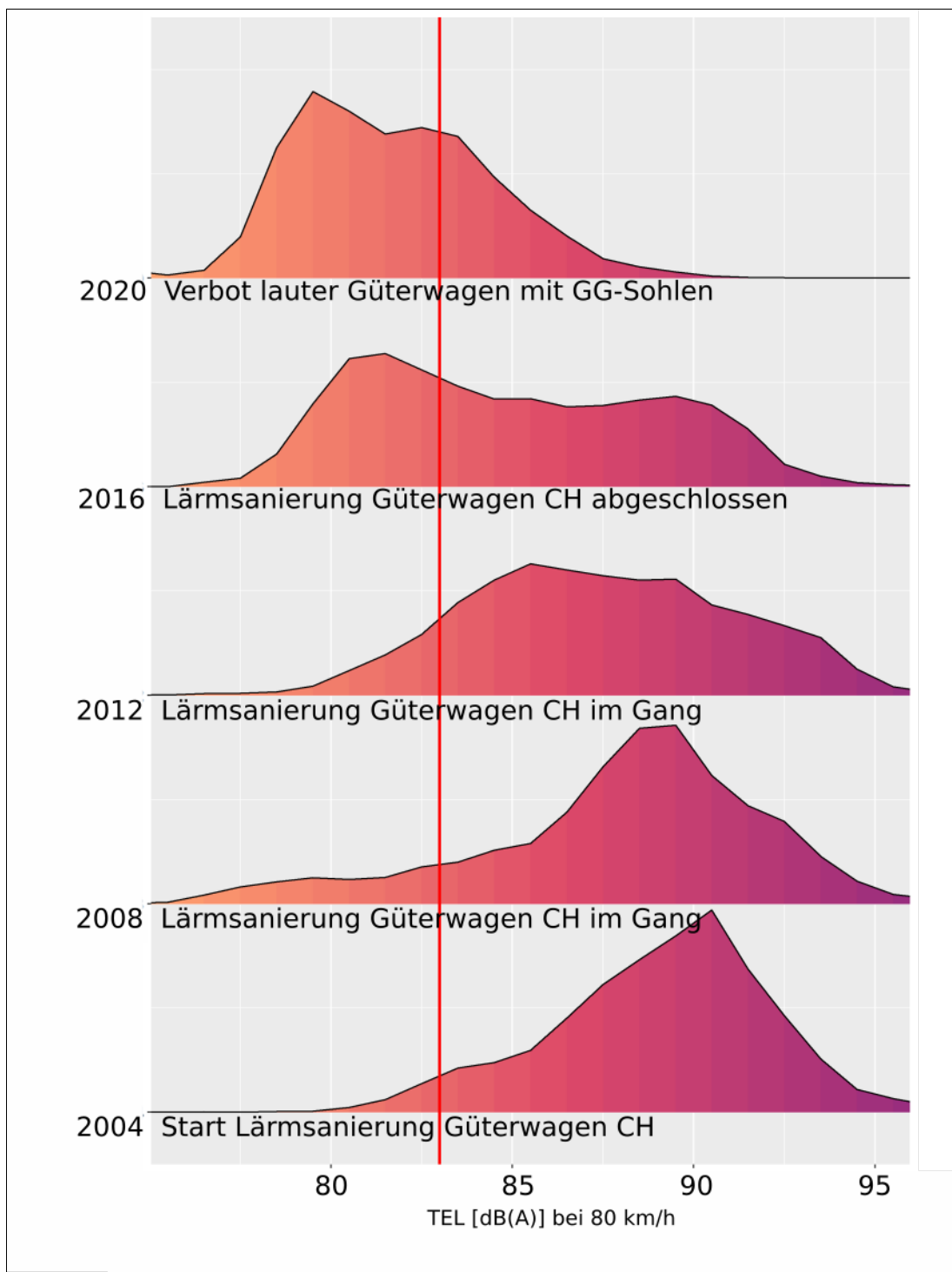


Abb. 13: Steinen (Gleis 215), Häufigkeitsverteilungen TEL 80 der Güterzüge in den Jahren 2004 und 2020

Die Abbildung 13 zeigt exemplarisch die Entwicklung in Steinen auf der Gotthardachse über die ganze Messperiode. Im Jahr 2004 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 im 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.

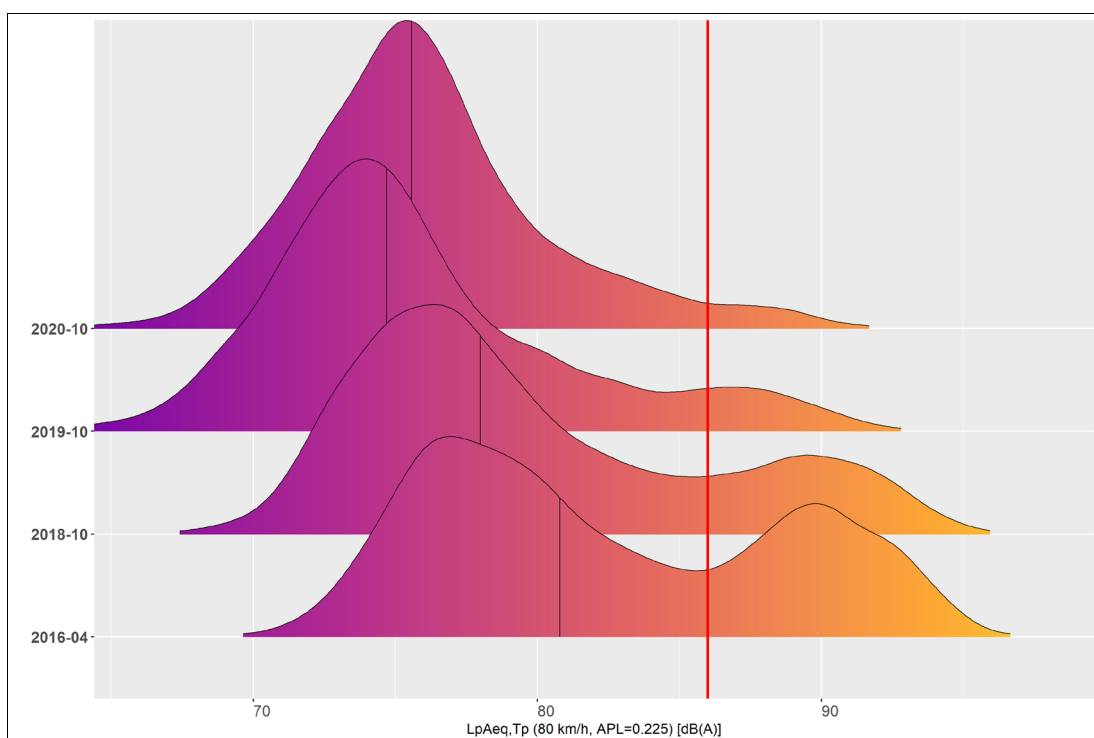


Abb. 14: Emissionswerte Güterwagen in Wichtrach (Lötschberg) 2016-2020, Gleis 317, Häufigkeitsverteilung der Vorbeifahrten eines Monats

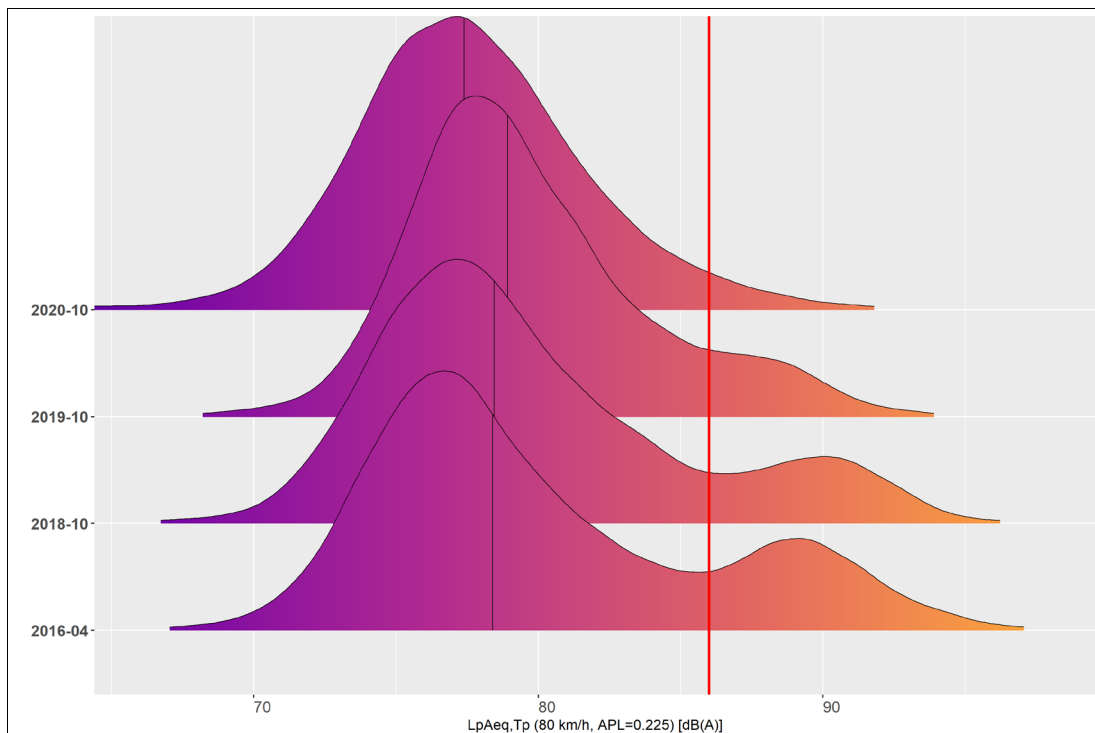


Abb. 15: Emissionswerte Güterwagen in Steinen (Gotthard) 2016-2020, Gleis 215, Häufigkeitsverteilung der Vorbeifahrten eines Monats

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.

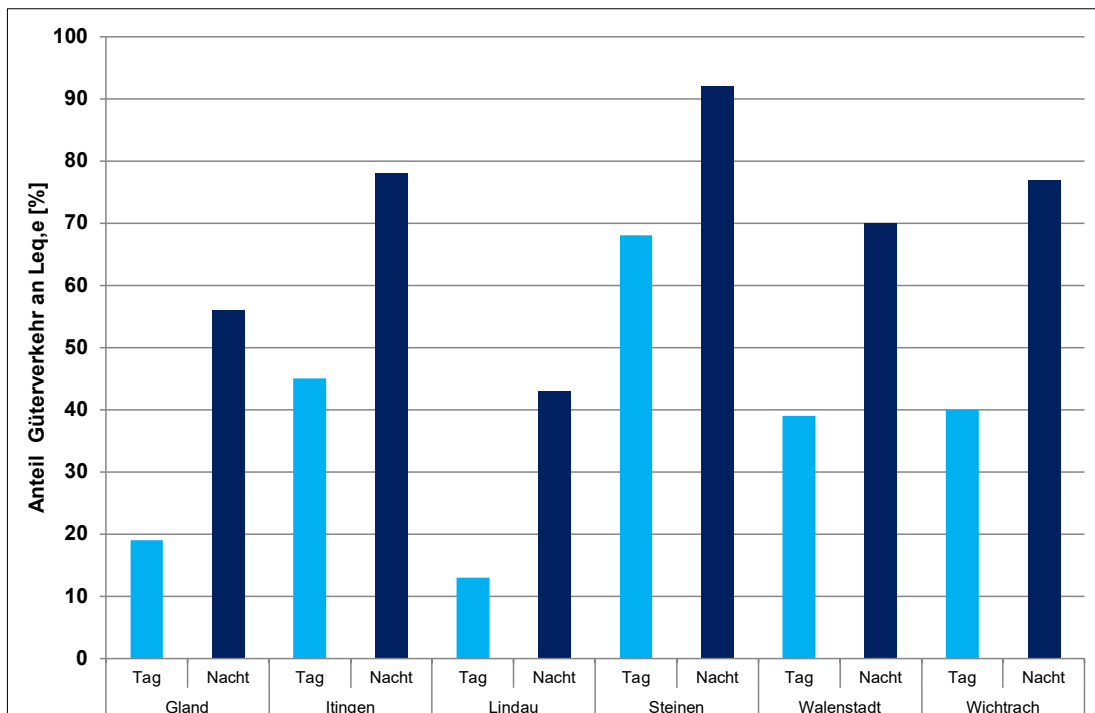


Abb. 16: Anteil des Güterverkehrs an den Gesamtemissionen 2020

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 letzten Jahr 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 letzte Jahr (2020) brachte insbesondere am Lötschberg einen deutlichen Einbruch bei den Güterzügen. Die zunehmende Zahl der Güterzüge in Gland ist aufgrund des Unterbruchs der Messstation (Juni 2019-Juli 2020) von beschränkter Aussagekraft.

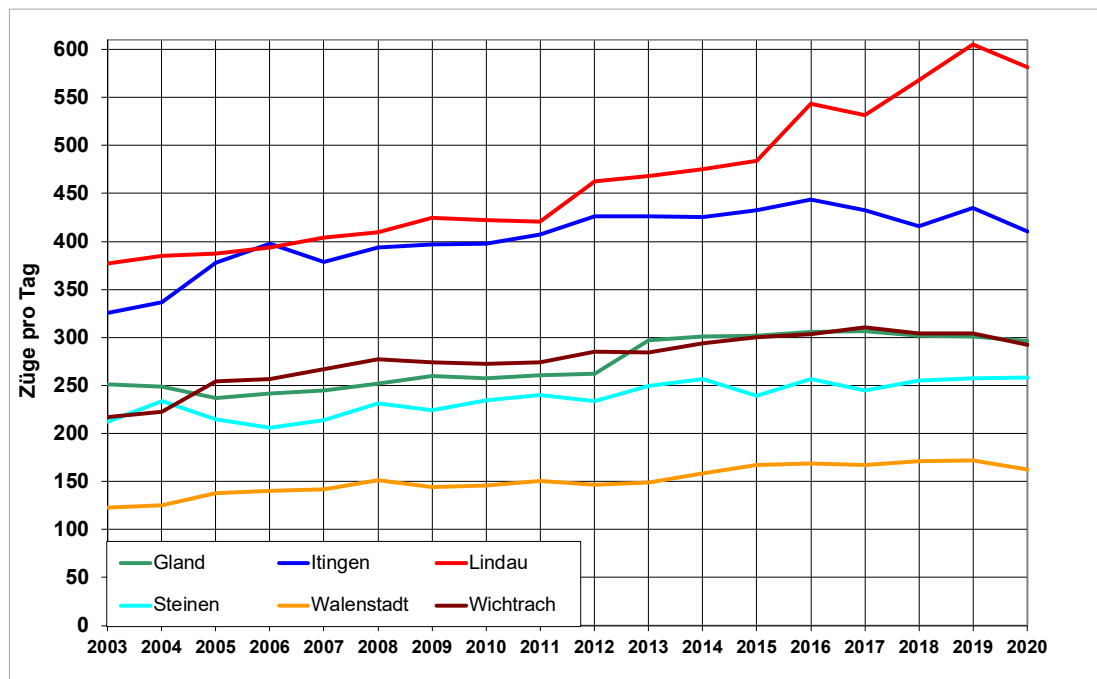


Abb. 17: Entwicklung Gesamtverkehr, mittlere Anzahl Züge pro Tag 2003-2020

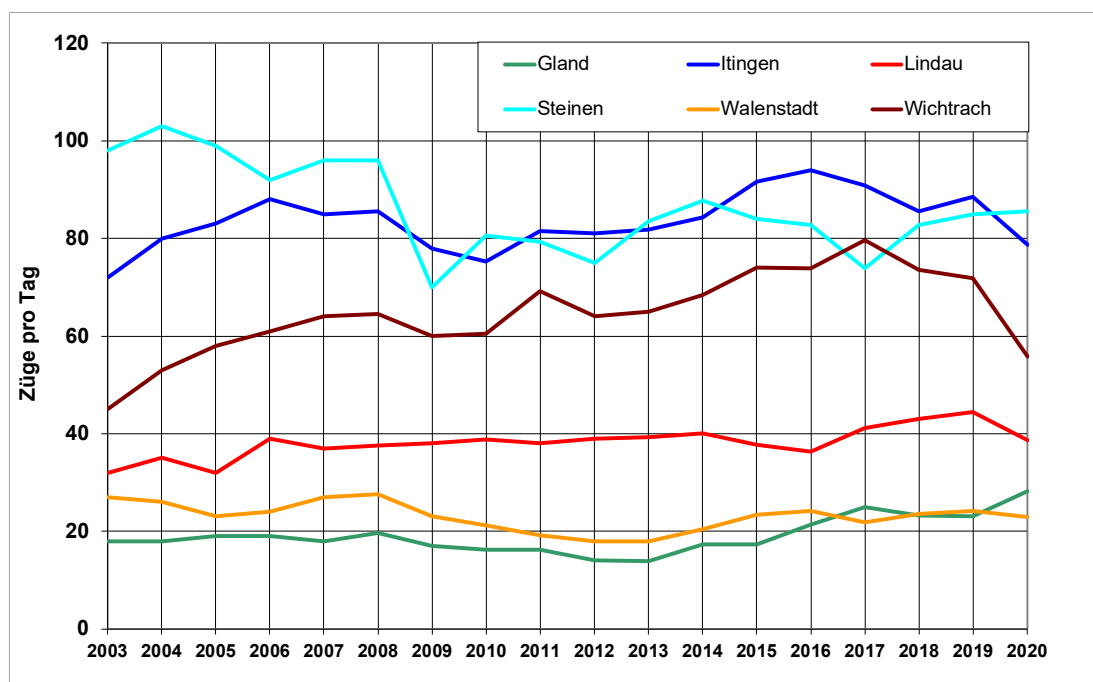


Abb. 18: Entwicklung Güterverkehr, mittlere Anzahl Züge pro Tag 2003-2020

4.5 Auswirkungen Corona-Pandemie

Die Corona-Pandemie hat insbesondere im Güterverkehr zu einer Reduktion der Anzahl Züge und der Zuglänge gegenüber dem Vorjahr geführt. Betroffen war insbesondere die Lötchbergachse (Wichtrach, Itingen). Auf der Gotthardachse war die Veränderung gegenüber dem Vorjahr marginal. Die prozentualen Veränderungen der Jahreswerte sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Der Verkehrsrückgang in der Nacht in Wichtrach führt mit Berücksichtigung des Korrekturfaktors K1 zu einem Pegelrückgang $L_{r,e}$ von rund 1.5 dB(A). Bei den anderen Stationen und in der Tagperiode ist die Pegelminderung geringer. Die Zahlen in Gland haben eine sehr beschränkte Aussagekraft, da die Station von Juni 2019 bis Juli 2020 ausser Betrieb war.

Hinsichtlich Pegelminderung ist damit die Auswirkung der speziellen Situation 2020 relativ bescheiden.

Station	Anzahl Züge				Gesamtlänge der Züge			
	Personen		Güter		Person		Güter	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Wichtrach	1.5	8.4	-20.2	-25.9	-2.1	13.2	-17.0	-26.6
(Gland)	(-5.4)	(3.1)	(29.1)	(12.6)	(-3.8)	(5.3)	(8.8)	(7.8)
Itingen	3.2	4.2	-7.6	-16.6	0.2	13.5	-8.2	-15.8
Steinen	-1.8	0.7	0.2	0.3	-2.9	1.2	0.0	-0.9
Walenstadt	-6.1	-3.6	0.7	-13.8	-10.2	-7.6	-4.0	-20.7
Lindau	-3.0	-6.1	-16.4	-7.8	-3.4	-4.3	-17.6	-11.0

Tab. 1: Veränderung Verkehr im Jahresmittel 2019-2020 in Prozent

Im Jahresverlauf sind die Veränderungen markanter. Exemplarisch sind in Abbildung 19 die Zugzahlen in Wichtrach dargestellt. Klar erkennbar ist der Einbruch während dem ersten Lockdown von März bis Mai 2020. Auch der übliche Verkehrsrückgang im August (Ferragosto in Italien) ist erkennbar.

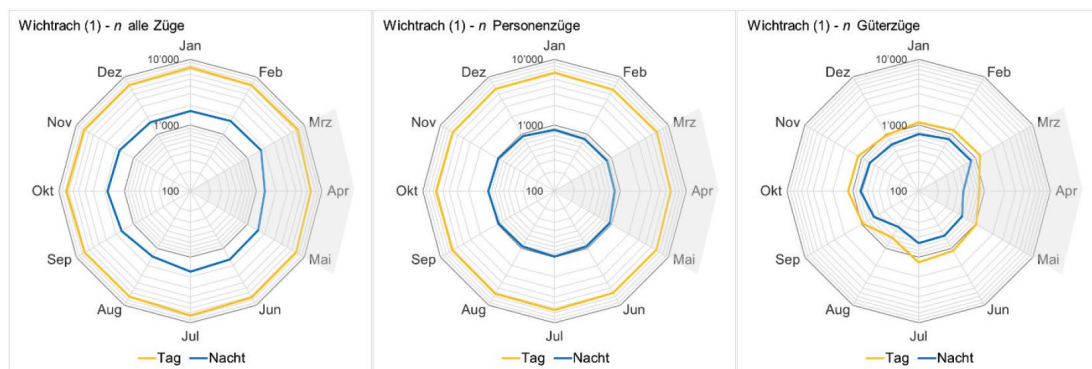


Abb. 19: Wichtrach, Anzahl Züge im Jahresverlauf

Abkürzungsverzeichnis

A		SEMI-BEL	Schweizerisches Emissions- und Immissionsmodell für die Berechnung von Eisenbahnlärm [4]
B		sonRAIL	Neues Referenzmodell Eisenbahnlärm in der Schweiz [11]
BAV	Bundesamt für Verkehr	T	
BGLE	Bundesgesetz über die Lärmsanierung der Eisenbahnen vom 24.3.2000 [1]	TDR	Track-Decay-Rate, Schienenabklingrate
C		TEL	Transit- Exposure-Level, A-bewerteter Schallpegel einer ganzen Zugsdurchfahrt normalisiert auf die Vorbeifahrtsdauer (vgl. Anhang 3)
D		TEL 80	TEL normiert auf eine Geschwindigkeit von 80 km/h
dB(A)	A-bewerteter Schallpegel	TNR	Track Noise Ratio [13]
DPZ	Doppelstock-Pendelzug mit Re450; S-Bahn Zürich)	TSI	Technische Spezifikation für die Interoperabilität [9]
E		U	
F		V	
G		VLE	Verordnung über die Lärmsanierung der Eisenbahnen vom 4. Dezember 2015 [2]
H		W	
I		X	
J		Y	
K		Z	
L		ZKE	Zugskontrolleinrichtung
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)		

Verzeichnis der Anhänge

ANHANG 1	Messkonzept
ANHANG 2	Messnetz
ANHANG 3	Spezielle Messgrößen
ANHANG 4	Kennzahlen 2020
ANHANG 5	Monatsmittelwerte L_{r,e} 2003-2020
ANHANG 6	Schienenrauheit und Track-Decay-Rate 2020
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 Zugs vorbeifahrt wird ein Datensatz mit den gemessenen und berechneten Grössen abgelegt. In einer separaten Datei werden das Achsmuster und der Pegel-Zeit-Verlauf gespeichert.

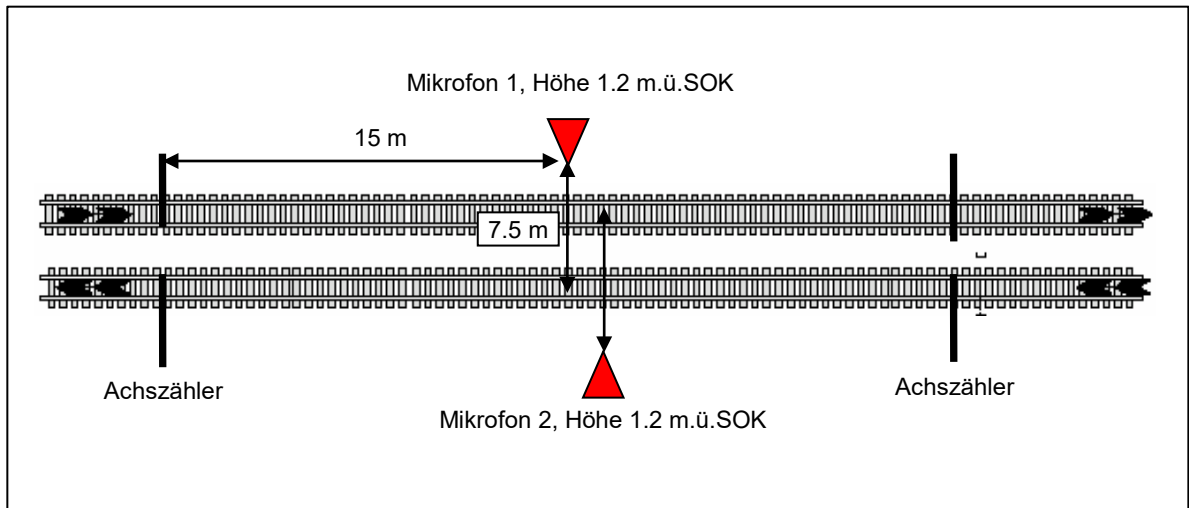


Abb. A2.1:

Situation Messstandort

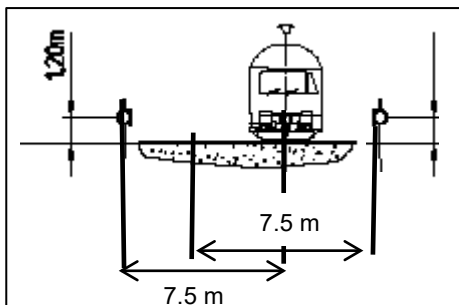


Abb. A2.2: Querschnitt Messstandort

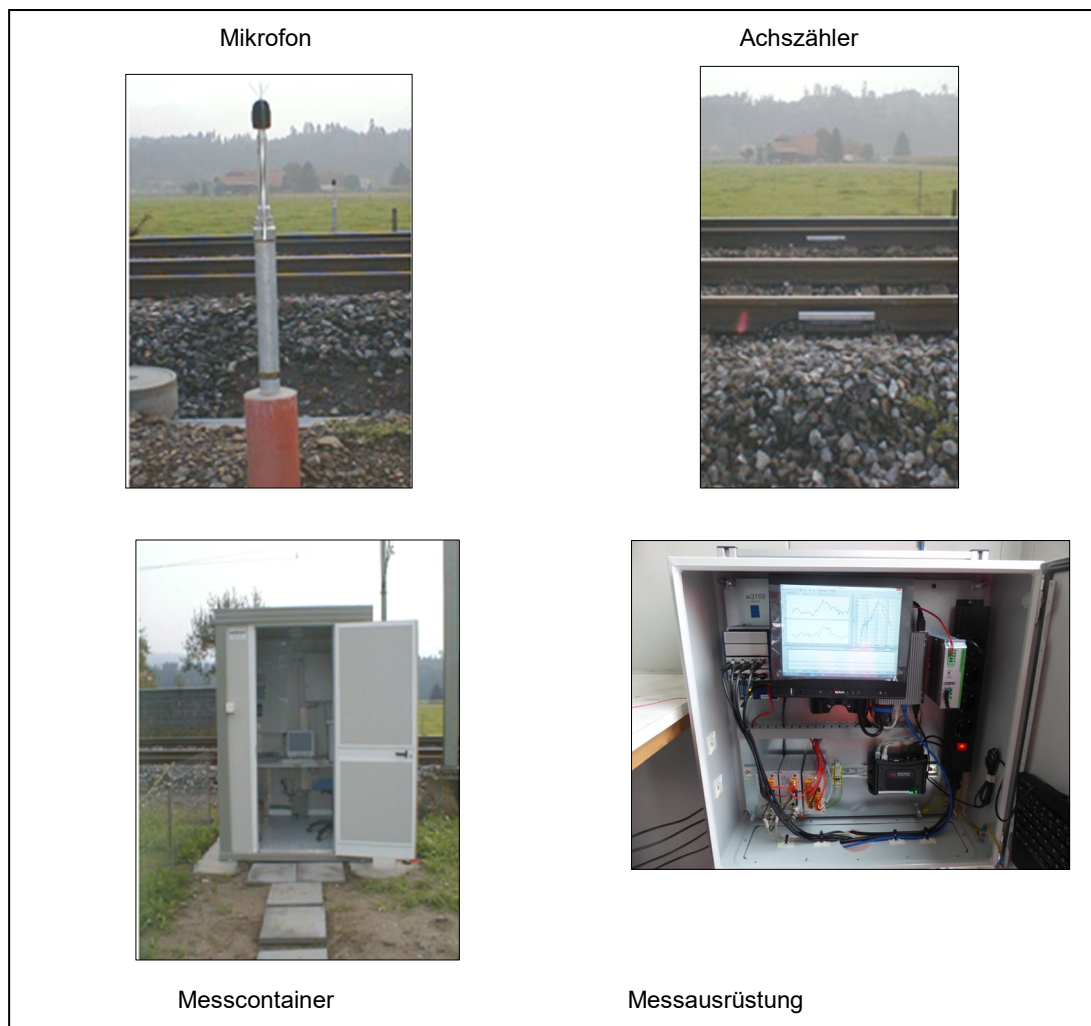


Abb. A2.3: Messstation

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 Zugs vorbeifahrt.

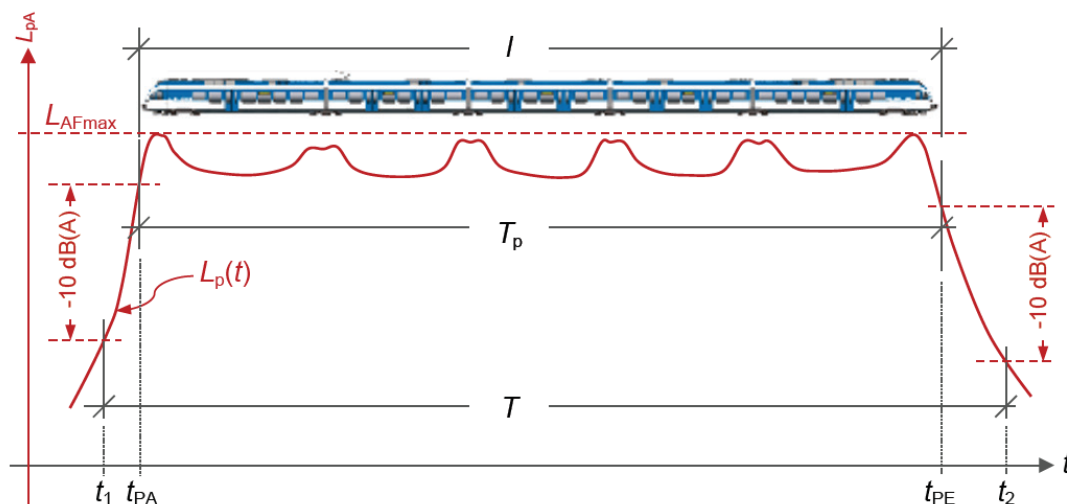


Abb. A3.1: Schematische Darstellung des Zeitverlaufs des Schalldruckpegels $L_{pA}(t)$ einer Zugs vorbeifahrt mit Einzeichnung wichtiger Grössen.

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	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

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

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

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

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

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

$L_{eq,e}$ 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 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 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
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 2020

Station		Lr,e [dBA] alle Züge	N	K1		Leq,e [dBA] alle Züge	N
		T		T	N	T	
I02	Gland	70.9	64.9	-5.0	-7.4	75.9	72.4
I03	Itingen	72.2	71.6	-5.0	-5.3	77.2	76.9
I06	Lindau	73.7	69.4	-5.0	-5.0	78.7	74.4
I04	Steinen	69.3	68.1	-5.0	-6.3	74.3	74.4
I05	Walenstadt	72.2	63.6	-5.0	-10.1	77.2	73.7
I01	Wichtrach	71.2	69.1	-5.0	-6.7	76.2	75.9

Tabelle A4.1: Jahresmittelwerte 2020, 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	251	45	230	31	17	11	36	30	36	29	46	40	221	174	225	176	214	219
I03	Itingen	355	78	297	48	51	28	41	54	32	33	95	95	234	259	204	176	439	423
I06	Lindau	501	80	472	61	24	15	32	28	32	27	43	39	194	167	195	165	231	217
I04	Steinen	200	58	145	21	49	36	39	61	24	19	88	87	223	320	161	123	428	444
I05	Walenstadt	138	25	118	17	16	6	31	31	27	22	64	60	188	183	170	138	354	337
I01	Wichtrach	239	53	202	30	34	21	41	57	32	33	100	93	235	266	197	169	473	421

Tabelle A4.2: Jahresmittelwerte 2020, Verkehr
AlleZüge=Personenzüge(PZ)+Güterzüge(GZ)+Dienstzüge+nichtbestimmbareZüge

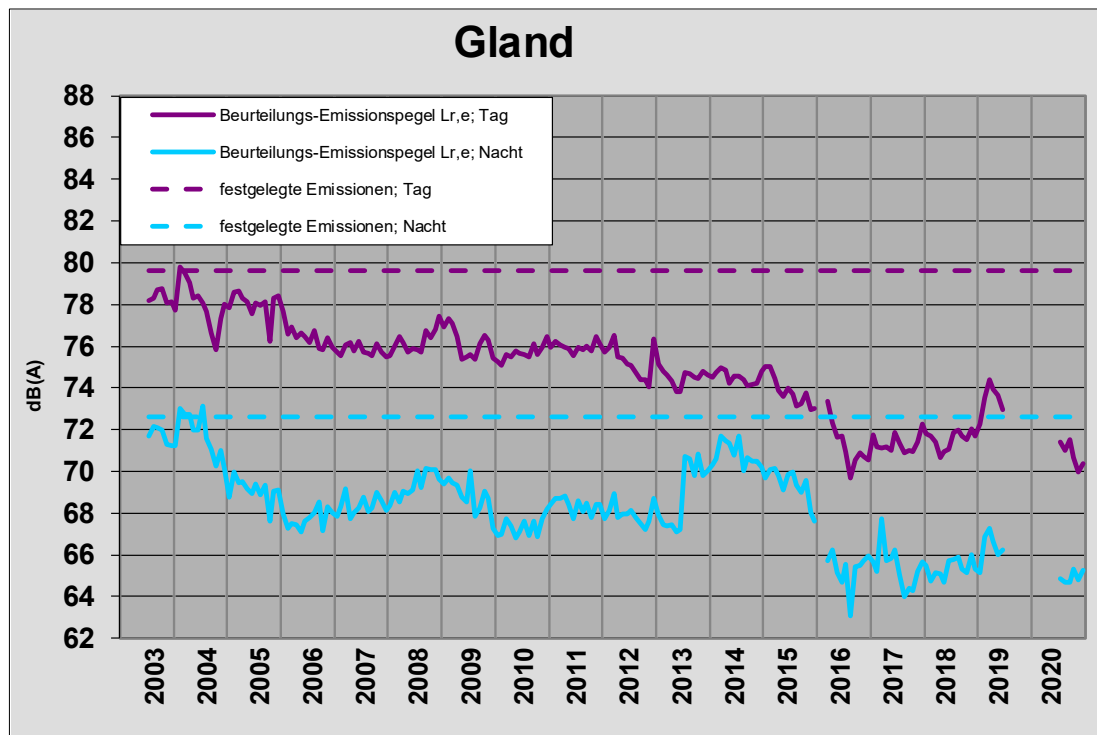
ANHANG 5: MONATSMITTELWERTE Lr,e 2003-2020

Abb. A5.1: Messstation Gland, Messwerte Lr,e (Monatsmittel)

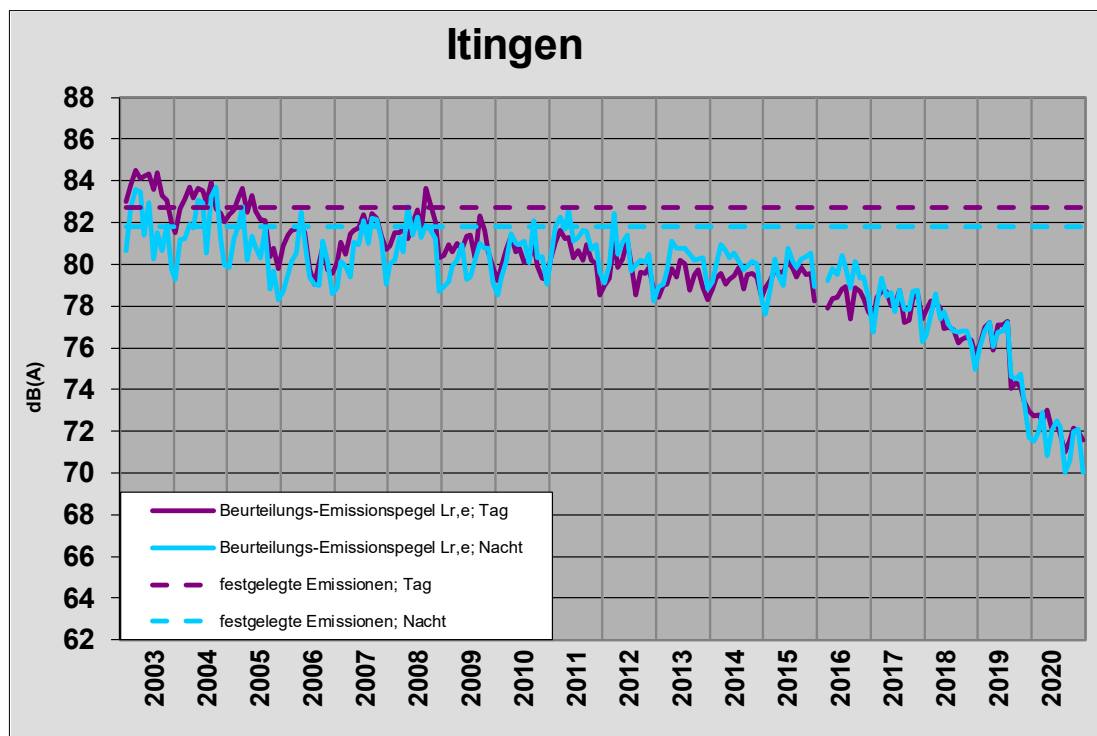
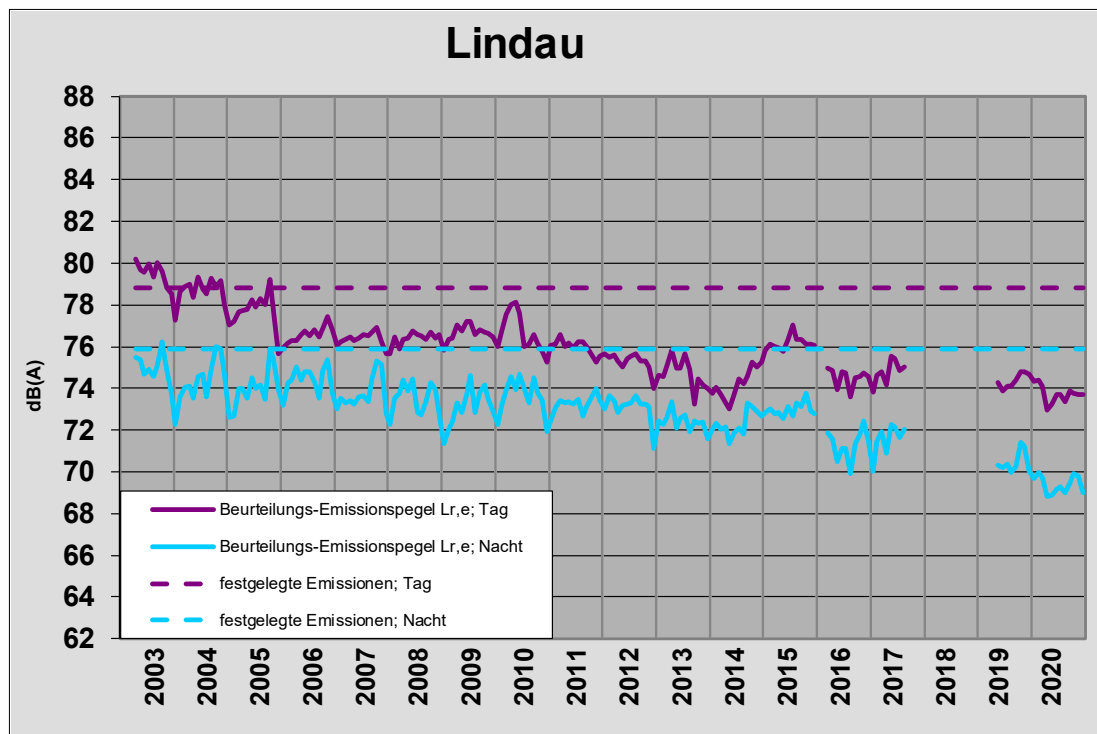
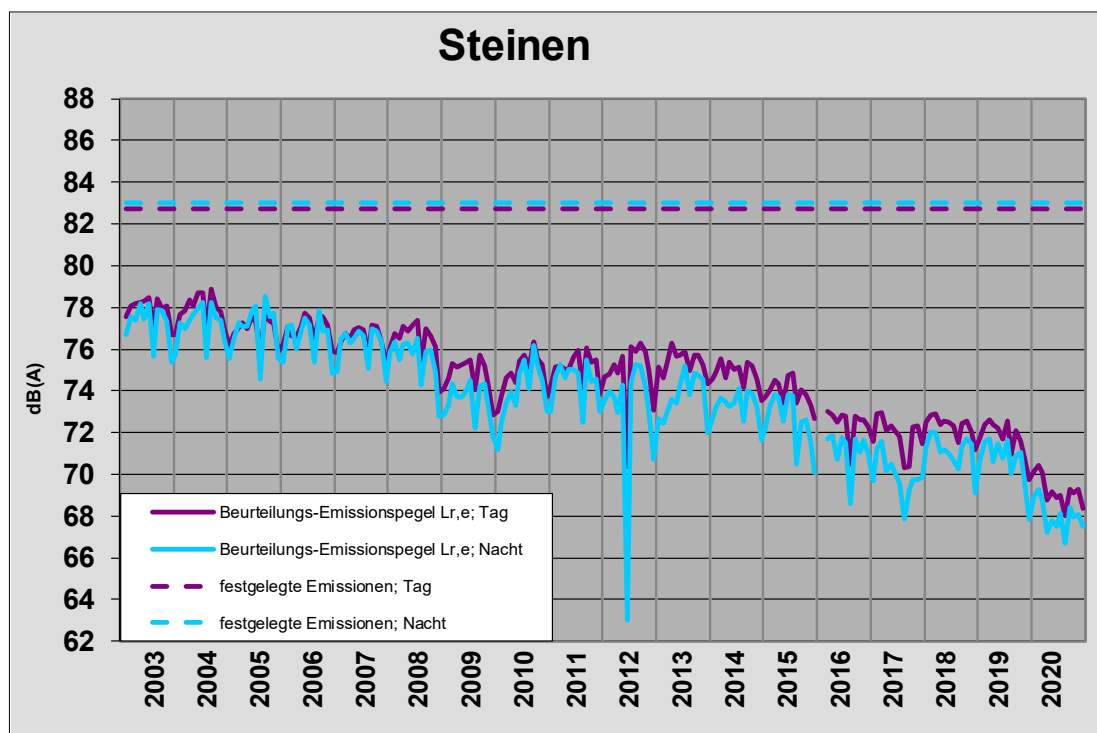


Abb. A5.2: Messstation Ittingen, Messwerte Lr,e (Monatsmittel)

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

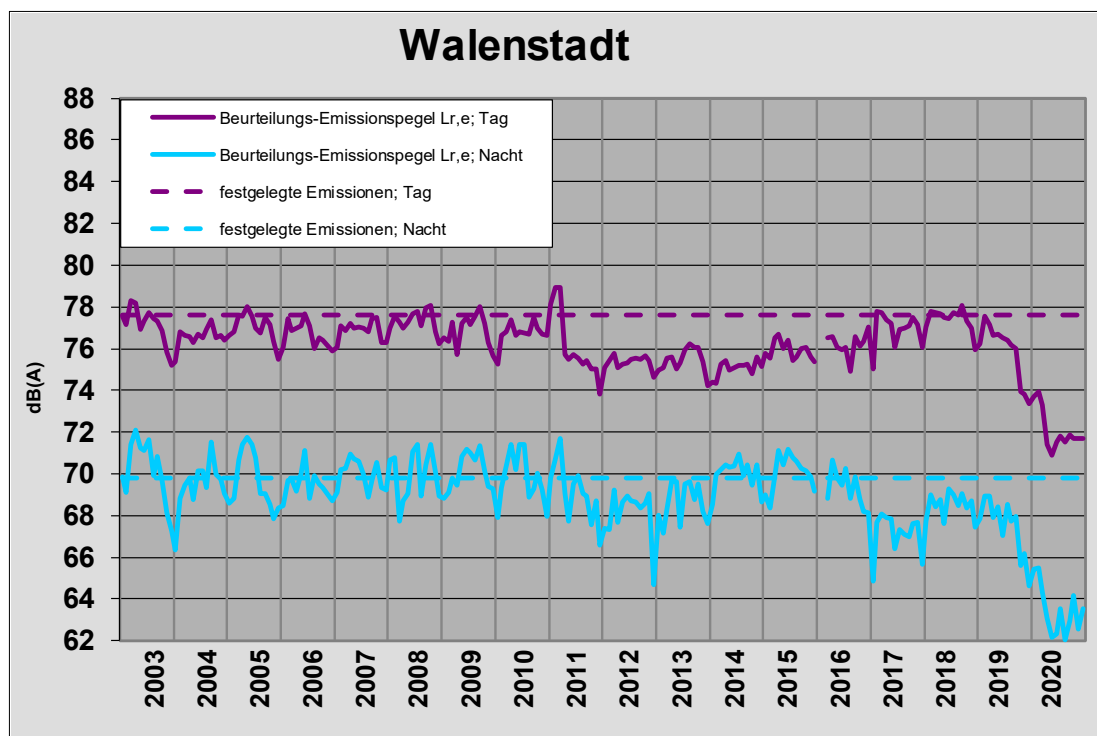


Abb. A5.5: Messstation Walenstadt, Messwerte Lr,e (Monatsmittel)

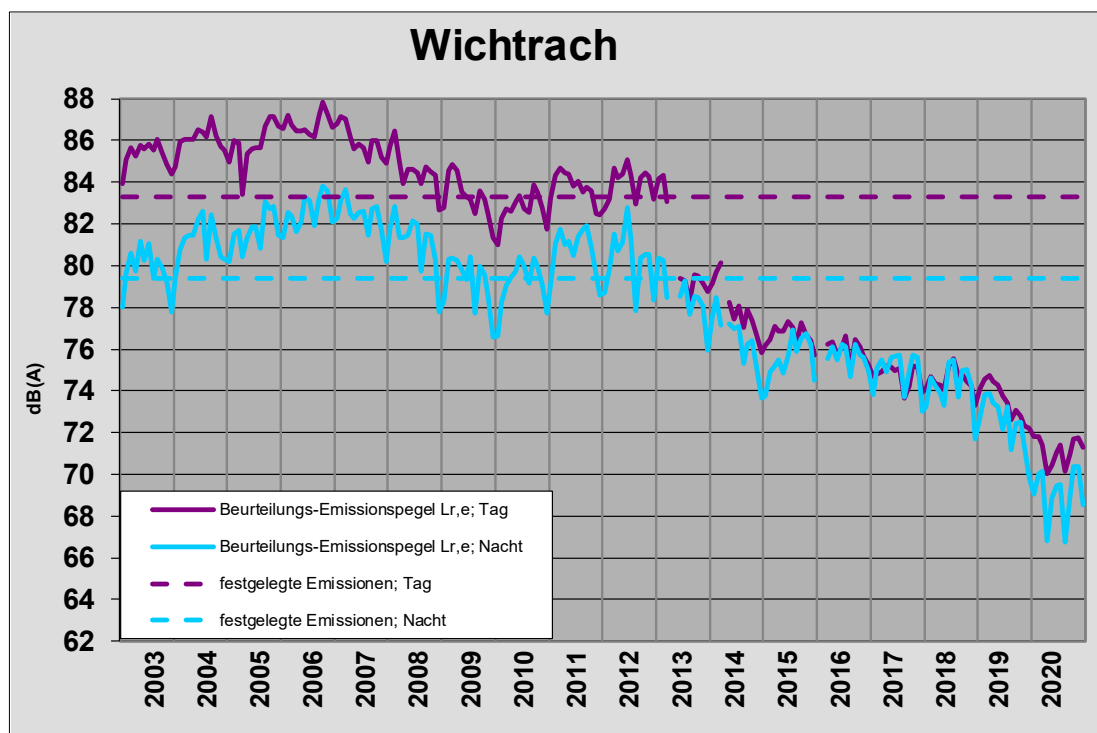


Abb. A5.6: Messstation Wichtrach, Messwerte Lr,e (Monatsmittel)

ANHANG 6: SCHIENENRAUHEIT UND TRACK-DECAY-RATE 2020

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	8.5	10.0	-4.80	-4.20	24	22.09.2020
		221	0.9	1.6	-5.00	-4.50	30	22.09.2020
I03	Ittingen	118	4.1	4.7	-3.90	-3.90	33	20.09.2020
		218	1.8	3.0	-3.80	-3.70	24	20.09.2020
I06	Lindau	120	-0.8	-0.2	-5.00	-4.20	19	24.09.2020
		220	-0.4	0.2	-4.60	-4.00	28	24.09.2020
I04	Steinen	115	1.5	2.1	-4.30	-4.10	27	23.09.2020
		215	-0.3	0.2	-4.30	-3.90	23	23.09.2020
I05	Walenstadt	112	1.8	2.6	-3.70	-3.50	27	19.09.2020
		212	3.9	4.4	-3.40	-3.30	32	19.09.2020
I01	Wichtrach	317	1.3	2.4	-4.90	-4.20	23	21.09.2020
		417	-0.3	0.4	-4.50	-4.00	29	21.09.2020

Tabelle A6.1: Rauheitswerte und Track-Decay-Rate 2020 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, 2. und 3. Quartal 2020.
- [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 2020.
- [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 2019.