



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 2019

1. Januar – 31. Dezember 2019

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:

Güterzug bei Wichtrach

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	11
4.2.1 Schienenrauheit	11
4.2.2 Abklingrate der Schiene (Track Decay Rate, TDR)	11
4.2.3 Entwicklung Vorbeifahrtspegel (TEL 80)	12
4.2.4 Häufigkeitsverteilung Vorbeifahrtspegel	14
4.2.5 Emissionswerte von Güterwagen	17
4.2.6 Auswirkungen von High Speed Grinding (HSG)	20
4.3 Anteil Güterverkehr	21
4.4 Verkehr	22
Abkürzungsverzeichnis	23
Verzeichnis der Anhänge	24

1 Zusammenfassung

Das Messnetz war im Jahr 2019 grundsätzlich mit hoher Verfügbarkeit in Betrieb. Die Station in Lindau konnte nach einer umfangreichen Oberbauerneuerung wieder in Betrieb genommen werden. Die Station in Gland musste aufgrund von Bauarbeiten im Sommer abgebaut werden.

Aus den Messdaten ergeben sich die folgenden Kernaussagen:

- Bei allen Messstationen liegen die Emissionswerte 2019 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. Ungünstige Oberbauverhältnisse können zu erhöhten Pegelwerten führen.
- Bei den Güterzügen ist der Medianwert der Vorbeifahrtspegel seit 2003 um rund 8 dB gesunken.
- In Walenstadt sind die Vorbeifahrtspegel aufgrund des Oberbaus aktuell erhöht.
- Der Anteil des Güterverkehrs an den Gesamtemissionen liegt auf den Transitachsen nachts über 90-95 %. Weitere wahrnehmbare Lärmreduktionen erfordern insbesondere eine Lärminderung beim Güterverkehr.
- Güterwagen mit K-Sohlen sind 11-13 dB(A) leiser als Güterwagen mit GG-Sohlen. Ein Güterwagen mit GG-Sohle erzeugt damit die gleichen Lärmemissionen wie 13-20 Wagen mit K-Sohlen. Bei Wagen mit LL-Sohlen beträgt die Lärminderung rund 8 dB(A).
-

Auf der BAV-Website (www.bav.admin.ch, Themen 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 Projektes 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 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 > Themen 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 Dieselmotoren 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.

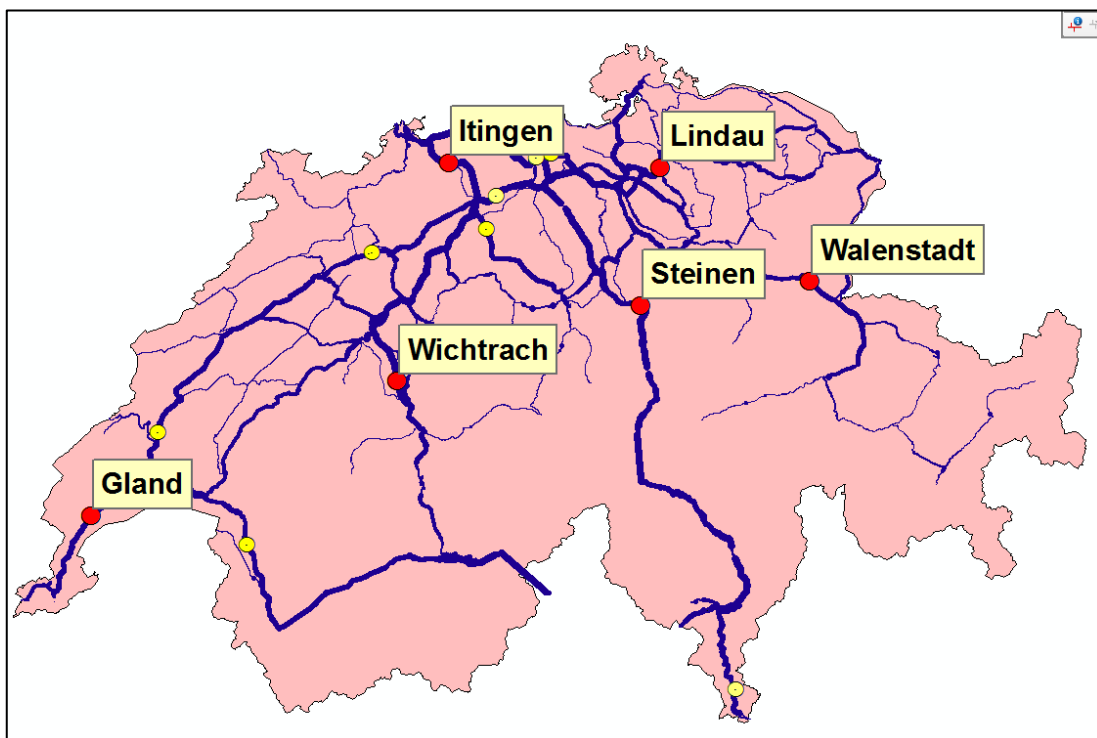


Abb. 1: Messstandorte (Details Anhang 2)

- fixe Standorte seit 2003
- mobile Standorte 2009-2018

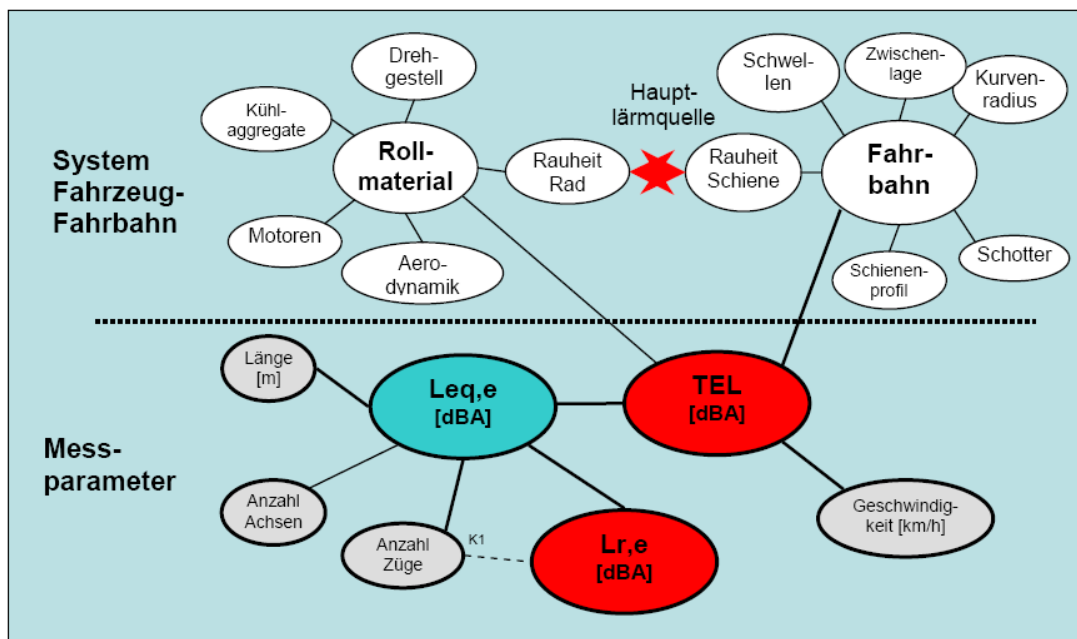


Abb. 2: System Fahrzeug – Fahrbahn und Messparameter des Monitorings Eisenbahnlärm

- TEL: Transit Exposure Level, Vorbeifahrtspegel eines Einzelzugs
 Leq,e: Energieäquivalenter Dauerschallpegel der Emissionen
 K1: Korrekturfaktor K1 nach Anhang 4 LSV (abhängig von der Anzahl Züge)
 Lr,e: Beurteilungsemissionspegel im Sinne von Anhang 4 LSV (Leq,e + K1)
 weitere Informationen: Anhang 3

Der Vorbeifahrtspegel (TEL) jeder Zugsvorbeifahrt wird durch die Eigenschaften des jeweiligen Rollmaterials und durch den Zustand der Fahrbahn am Messstandort bestimmt. Bei gleichem Rollmaterial und gleicher Fahrbahn nimmt der Pegel mit der Geschwindigkeit zu. Aus der Summe der Zugsvorbeifahrten lässt sich der energieäquivalente Dauerschallpegel Leq,e ermitteln. Unter Berücksichtigung der Pegelkorrektur K1 gemäss Anhang 4 der Lärmschutzverordnung [3] lässt sich der Beurteilungsemissionspegel 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://map.geo.admin.ch) (<https://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 2019 den festgelegten Emissionen gegenübergestellt. Heute liegen die Messwerte der Emissionen bei allen Stationen klar unter den festgelegten Emissionen.

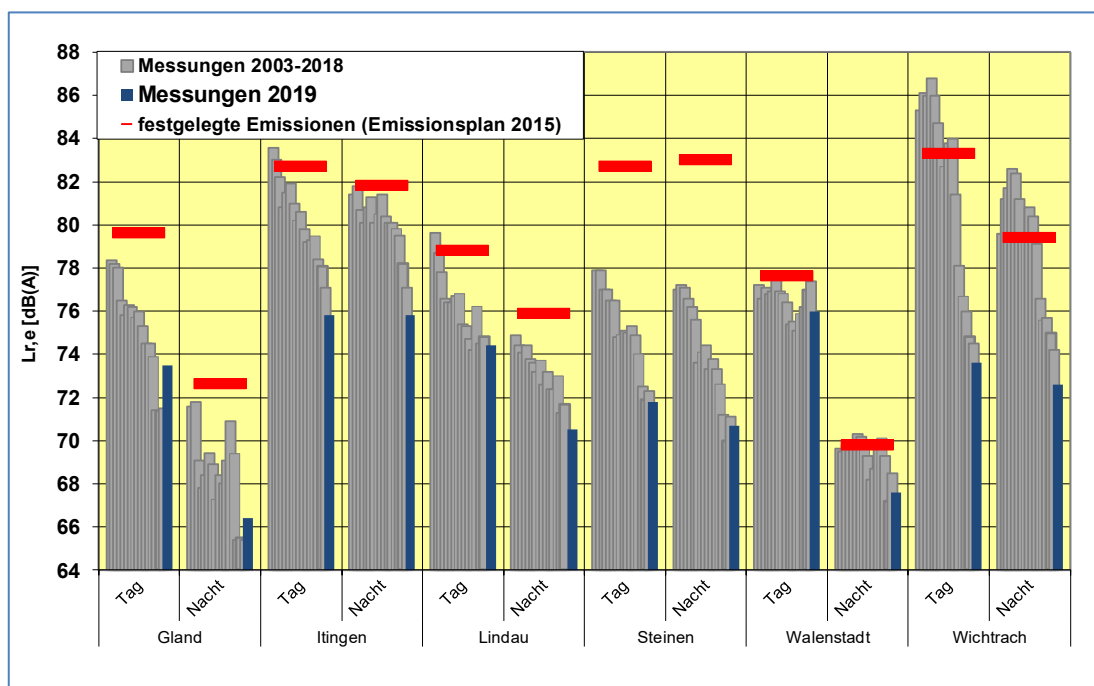


Abb. 3: Gemessene Beurteilungs-Emissionspegel $L_{r,e}$ 2003 – 2019
Jahresmittel

In den Abbildungen 4 und 5 ist die Abweichung zu den festgelegten Emissionen im zeitlichen Verlauf dargestellt. In der Tagperiode, die von den Reisezügen geprägt ist, zeigen sich klar sinkende Werte. In der Nachtperiode mit dominantem Güterverkehr ist dieser Trend ebenfalls erkennbar.

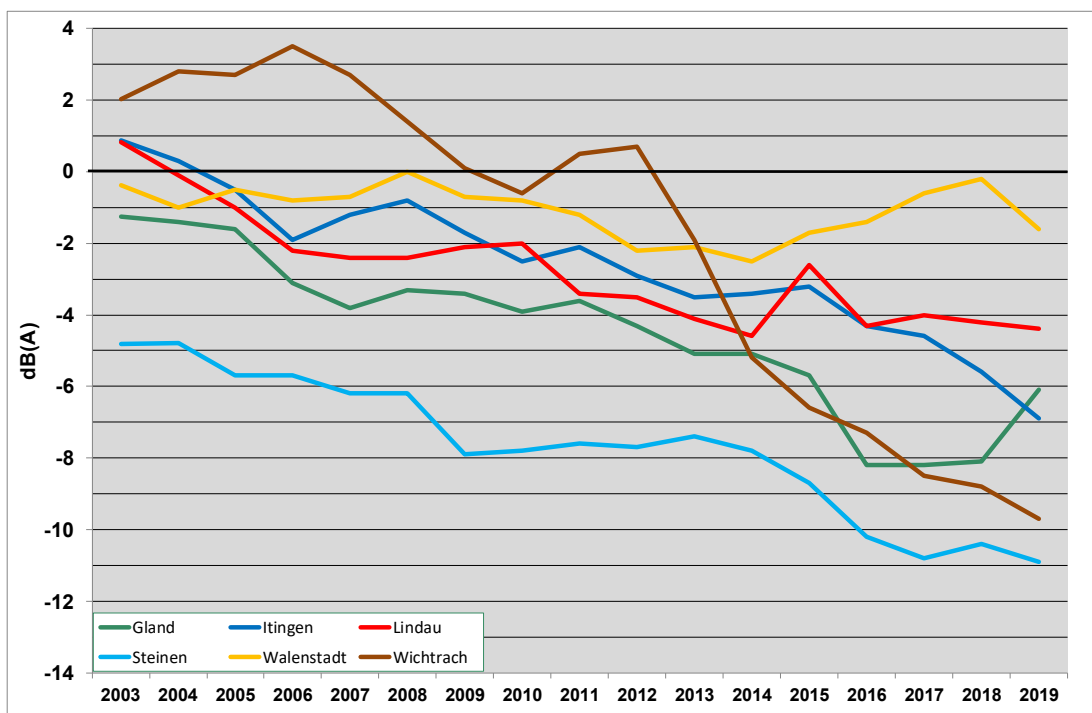


Abb. 4: Differenz Messwert – festgelegte Emissionen, Tagperiode

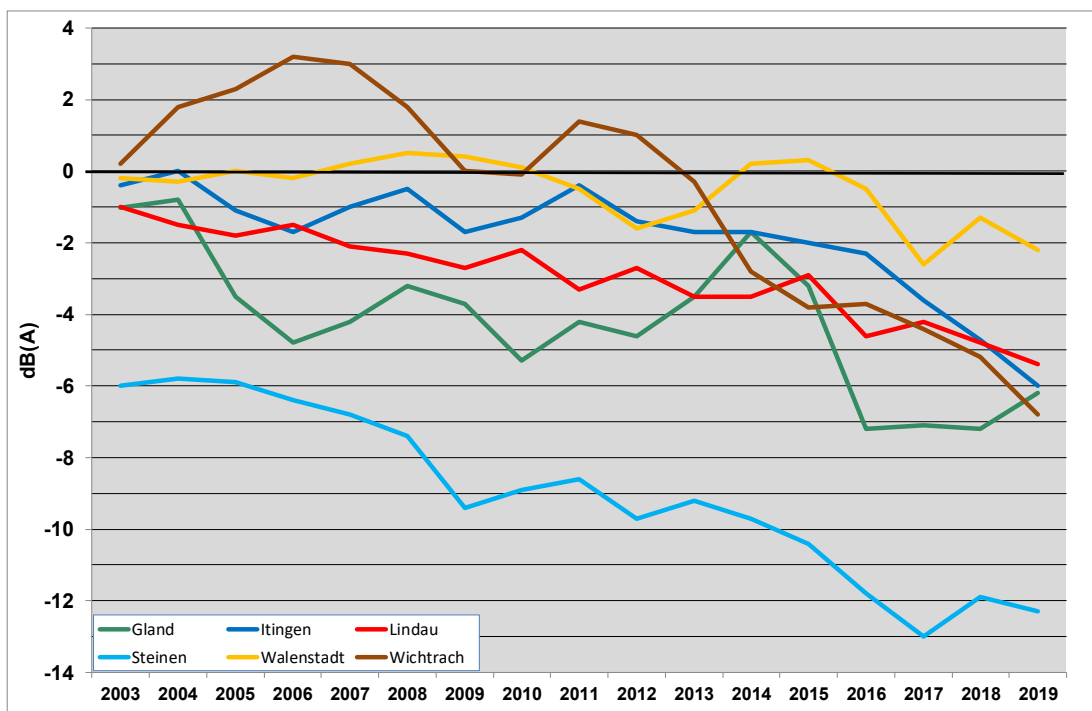


Abb. 5: Differenz Messwert – festgelegte Emissionen, Nachtperiode

Die Entwicklung der Werte ist im langfristigen Trend für alle Stationen ähnlich, im Detail aber unterschiedlich. 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 5 dB tiefer als 2003. Ursache ist das leisere Rollmaterial der Personenzüge v.a. in der Nachtperiode. 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 2016 teilweise deutlich tiefer. Dies ist auf die reduzierte Geschwindigkeit wegen einer Baustelle beim Bahnhof Gland zurückzuführen. Auch 2018 waren die Geschwindigkeiten noch teilweise reduziert. 2018 mussten in Gland relativ viele Messwerte durch vergleichbare Werte ersetzt werden, da Nagetiere die Leitungen beschädigten. Seit Juni 2019 ist die Messstation wegen einer Oberbauerneuerung ausser Betrieb. Im Februar durchgeführte Schleifarbeiten (vgl. Kap. 4.2.6) führten vorher noch zu einer vorübergehenden Pegelerhöhung.

Itingen

In Itingen sind die Emissionswerte trotz steigender Zugzahl seit 2003 bis Ende 2019 um 6-8 dB gesunken. Dies ist einerseits auf das verbesserte Rollmaterial von Personen- und Güterzügen zurückzuführen. Andererseits hat die Gleiserneuerung 2019 zu rund 2 dB tieferen Emissionswerten bei allen Zügen geführt. Die festgelegten Emissionen (Emissionsplan 2015) werden klar unterschritten.

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 relative hohen Anteil von lauten Personenzügen leicht gestiegen. Dieser Anteil war 2016 wieder rückläufig. Die relativ lauten S-Bahn-Züge mit der Lok Re450 (vgl. Bericht 2016) fallen aber immer noch auf. Wegen umfangreichen Bauarbeiten wurde die Station Ende August 2017 ausser Betrieb genommen. Sie wurde im Mai 2019 wieder in Betrieb genommen. Die Emissionswerte liegen trotz starker Verkehrszunahme heute rund 4 dB tiefer als 2003. Die festgelegten Emissionen (Emissionsplan 2015) werden klar unterschritten.

Steinen

Die Werte sind seit 2003 deutlich gesunken. Charakteristisch ist der Jahresgang mit 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 vollständigen Unterbrüchen im Transitverkehr. Der längste Unterbruch von 32 Tagen ist in der Ganglinie klar erkennbar. Im Jahr 2017 fällt der Abfall aufgrund einer längeren vollständigen Streckensperrung in Rastatt (D) auf. Seither steigt die Zahl der Güterzüge wieder an. Heute liegen die Emissionswerte mehr als 6 dB unter den Werten von 2003. Sie liegen sehr klar unter den festgelegten Emissionen (Emissionsplan 2015).

Walenstadt

In Walenstadt sind die Messwerte relativ konstant. Die Verkehrszunahme konnte durch das leisere Rollmaterial kompensiert werden. Insbesondere das Gleis 212 ist 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 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. Die Emissionswerte liegen Ende 2019 deutlich unter den festgelegten Emissionen (Emissionsplan 2015).

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 Tagperiode massiv, da die Auswirkungen 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. Auch dank dem nun akustisch günstigen Oberbau liegen die Emissionswerte heute deutlich unter den festgelegten Emissionen (Emissionsplan 2015).

4.2 Akustische Eigenschaften von Fahrbahn und Rollmaterial

4.2.1 Schienenrauheit

Die Entstehung des Lärms bei Schienenfahrzeugen ist insbesondere auf die Abweichung von Rad und Schiene von der idealen runden bzw. ebenen Form zurückzuführen. Die sogenannte Schienenrauheit ist am Standort direkt messbar. Im Herbst 2019 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 Schienenrauhigkeiten unterschiedlich sind. Aktuell finden wir an den Standorten 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.

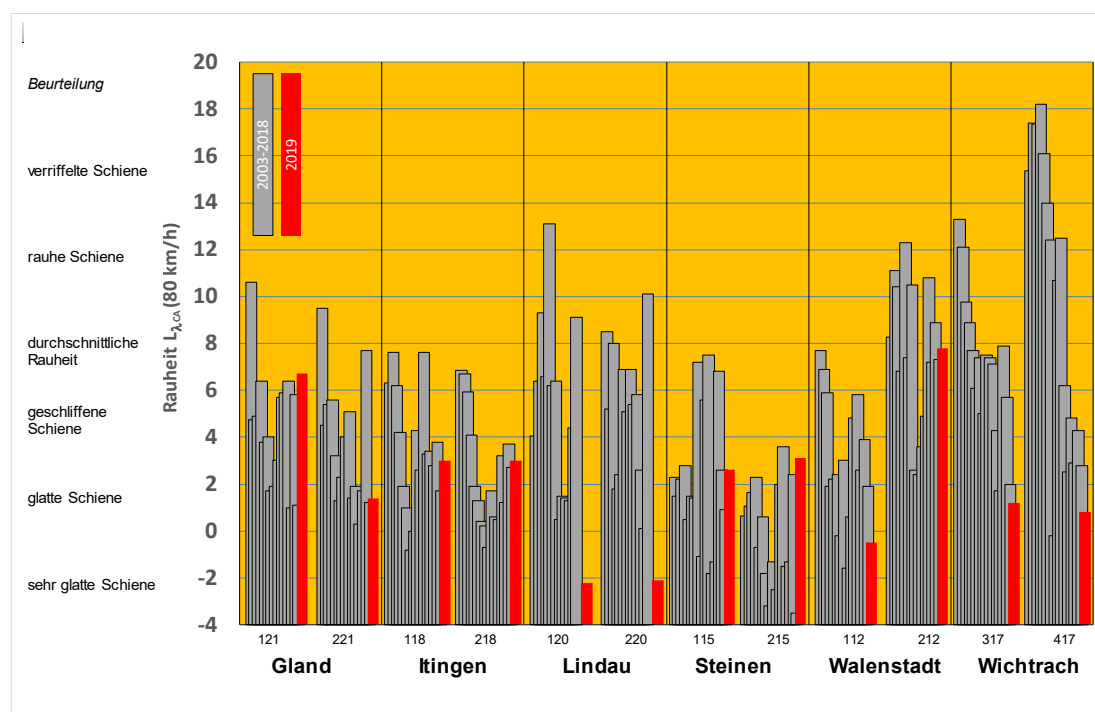


Abb. 6: Schienenrauheit an den Messstandorten
beide Gleise, detaillierte Messergebnisse, $L_{\lambda CA}$ vgl. Anhänge 3 und 6

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 2019 wurde die Abklingrate bei allen Standorten gemessen. In Abbildung 8 sind die entsprechenden Einzahlwerte TNR [13] dargestellt. Die Unterhaltsarbeiten im letzten Jahr führten zu einer Verbesserung an beiden Gleisen in Itingen und an einem Gleis in Walenstadt.

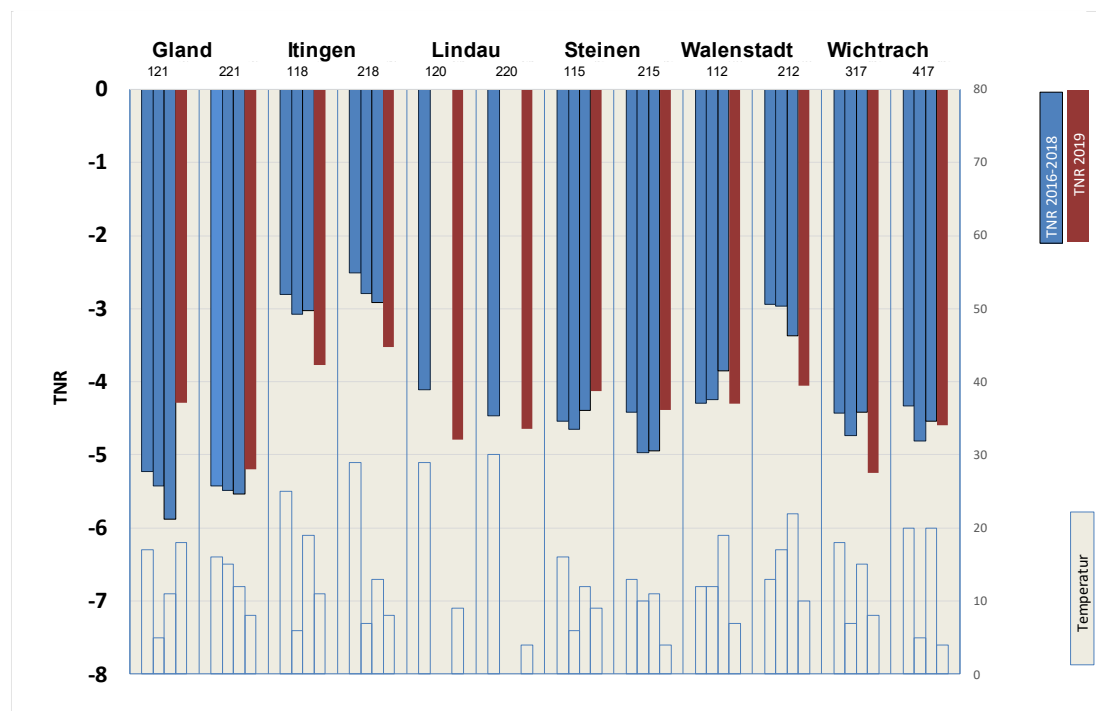


Abb. 7: Schienenabklingrate als Einzahlwert (Track Noise Ratio, TNR[13]) und Gleistemperatur

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 8 sind die Medianwerte der Personenzüge pro Gleis für die Jahre 2003-2019 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. Voraussichtlich werden sich diese Werte in Zukunft im Rahmen der übrigen Gleise bewegen. Die gemessene Gleisabklingrate ist nun ebenfalls günstiger (vgl. Abb. 7).

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.

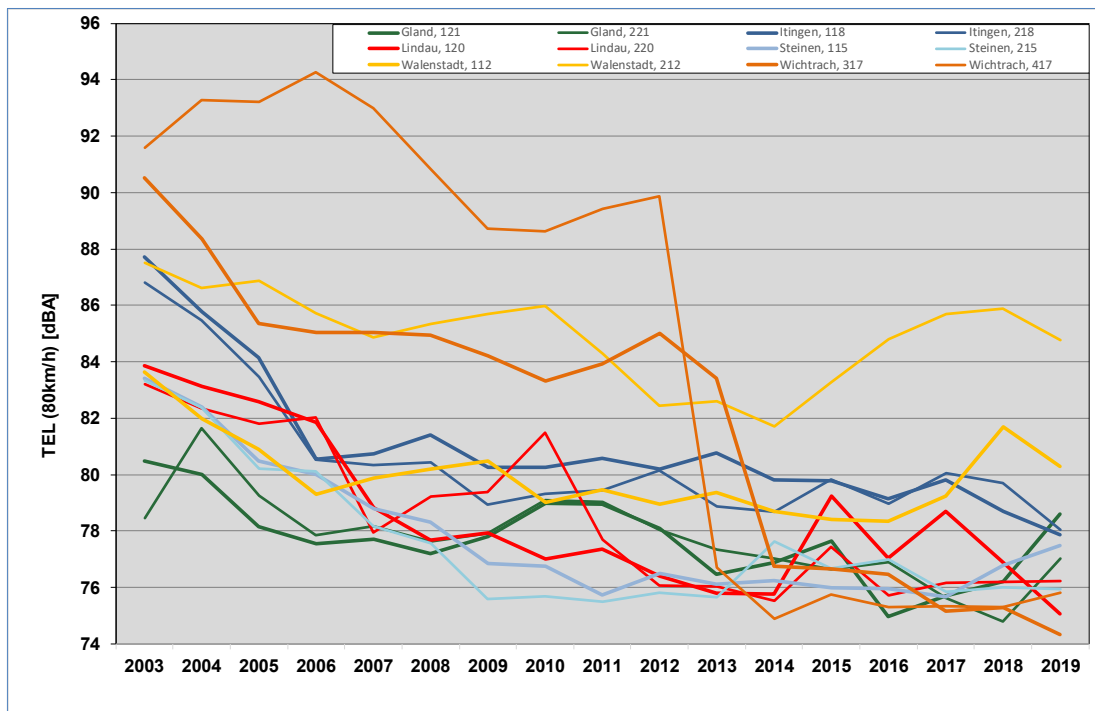


Abb. 8: Vorbeifahrtspegel Personenzüge (TEL, normiert auf V=80 km/h)
Medianwert pro Gleis

Güterzüge

Bei den Güterzügen beträgt die Reduktion der gemessenen Vorbeifahrtspegel seit 2003 rund 8 dB. Allerdings sind die Absolutwerte weiterhin deutlich höher als im Personenverkehr.

Das Reduktionspotenzial beim Güterverkehr ist noch nicht ausgeschöpft. In der zweiten Jahreshälfte 2019 betrug der Anteil lärmarmen Wagen an der gesamten Laufleistung rund 92% [12].

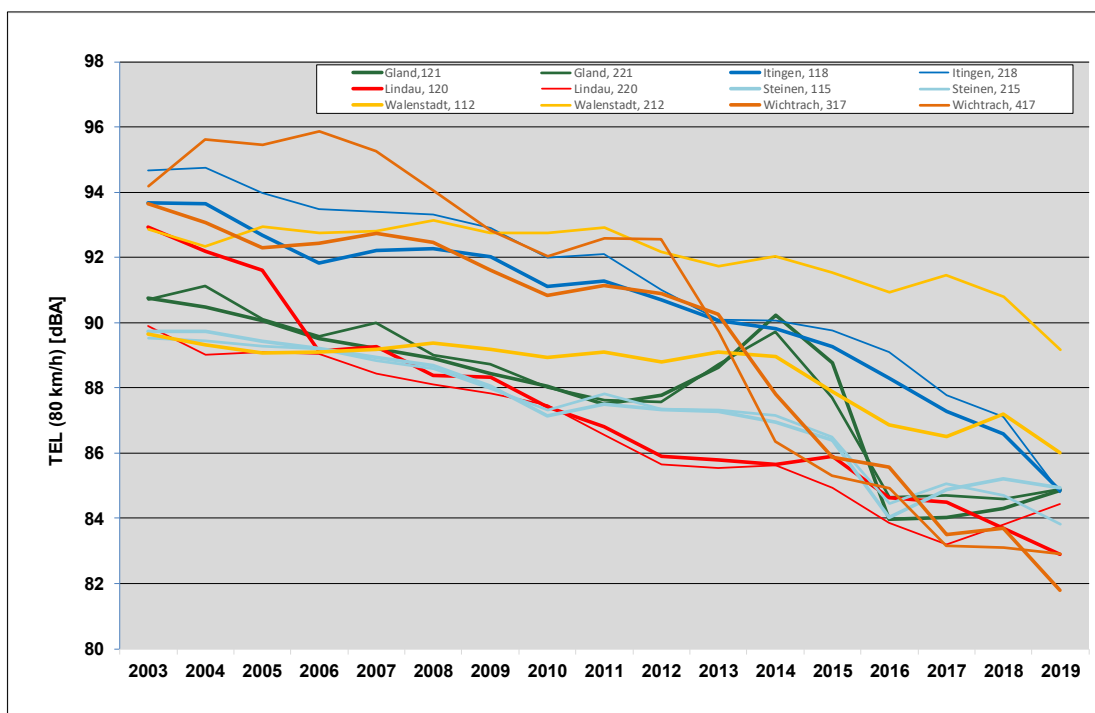


Abb. 9: Vorbeifahrtspegel Güterzüge (TEL, normiert auf V=80 km/h)
Medianwert pro Gleis

4.2.4 Häufigkeitsverteilung Vorbeifahrtspegel

Personenzüge

Der Anteil leiser Personenzüge im Jahr 2019 lässt sich aus den Summenkurven in der Abbildung 10 lesen. Der Vergleich mit den Summenkurven des Jahres 2003 (Abb.11) 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 2019. Der prozentuale Anteil von Zügen unter 80 dB(A) liegt bei einigen Gleisen über 80%. 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 1.9 und 2.8.

In Lindau liegt die Standardabweichung zwischen 3.3 und 3.5. Hier gibt es einen bedeutenden Anteil von Zügen mit Pegeln im Bereich von 82-83 dB(A). Es handelt sich dabei, um die bereits in früheren Berichten erwähnten DPZ mit der Lok Re450 der S-Bahn Zürich.

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

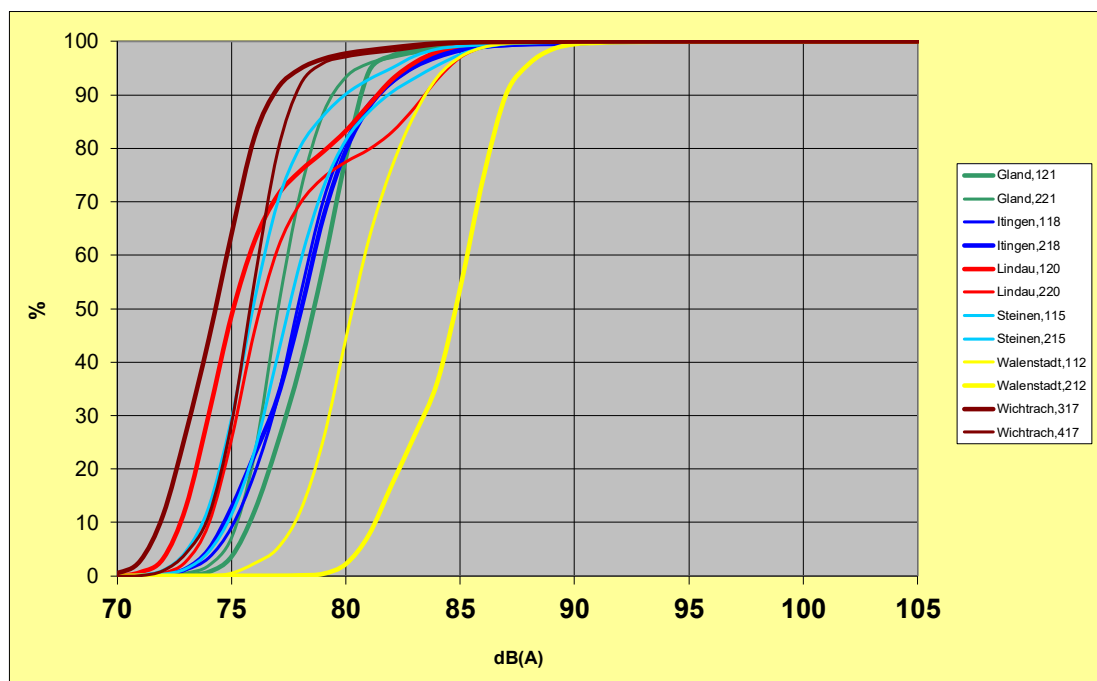


Abb. 10: Summenkurve der TEL 80-Werte für Personenzüge **2019**, beide Gleise

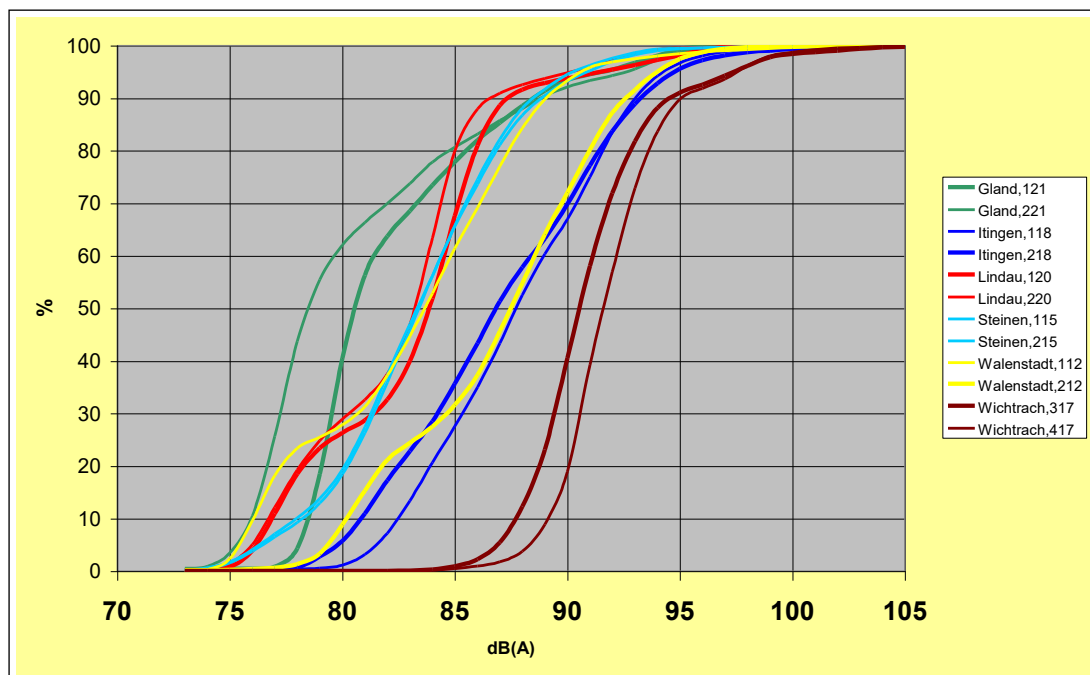


Abb. 11: Summenkurve der TEL 80-Werte für Personenzüge 2003, beide Gleise

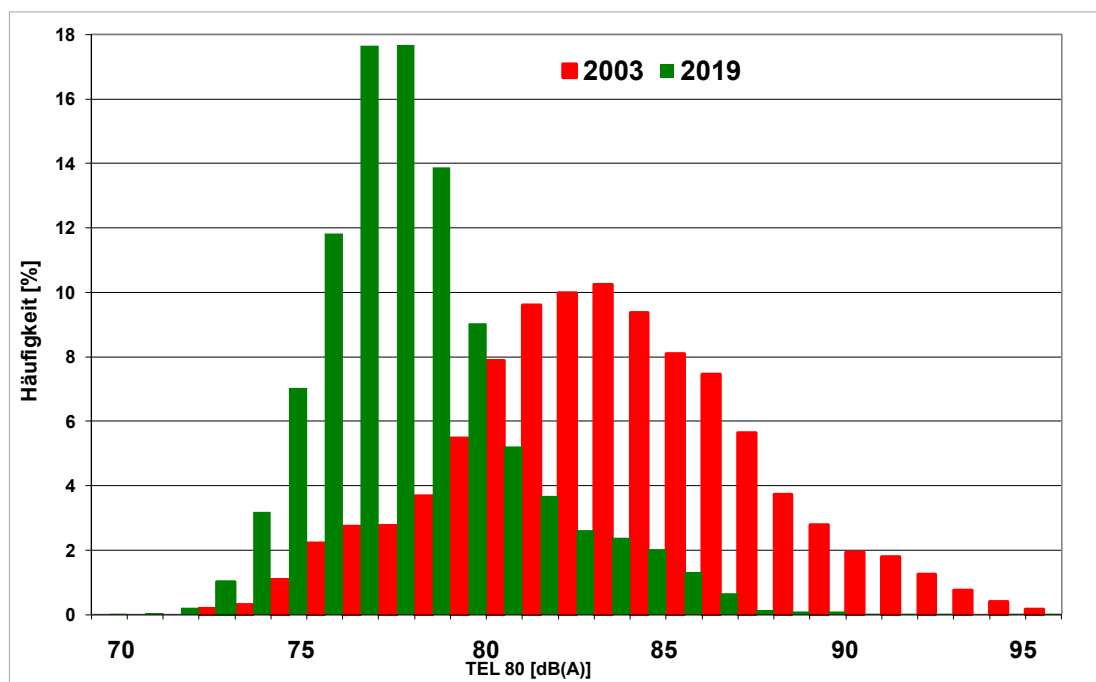


Abb. 12: Steinen (Gleis 115), Häufigkeitsverteilungen TEL 80 der Personenzüge in den Jahren 2003 und 2019

Die Darstellung zur Messstelle in Steinen (Abb. 12) zeigt exemplarisch die Entwicklung 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. 13 bis 14) ist eine Abnahme der Vorbeifahrtspegel zunehmend erkennbar. Mit Ausnahme von Walenstadt liegt der Medianwert der Vorbeifahrtspegel (TEL80) bei 82-85 dB(A). Leider führt leiseres Rollmaterial erst bei einem hohen Anteil lärmarmen Wagen in einem Zug zu einer markanten Verbesserung. Die unterschiedliche Zusammensetzung führt auch zu einer stärkeren Streuung der Vorbeifahrtspegel. Die Standardabweichung liegt zwischen 2.9 und 4.8 und damit klar höher als bei den Personenzügen.

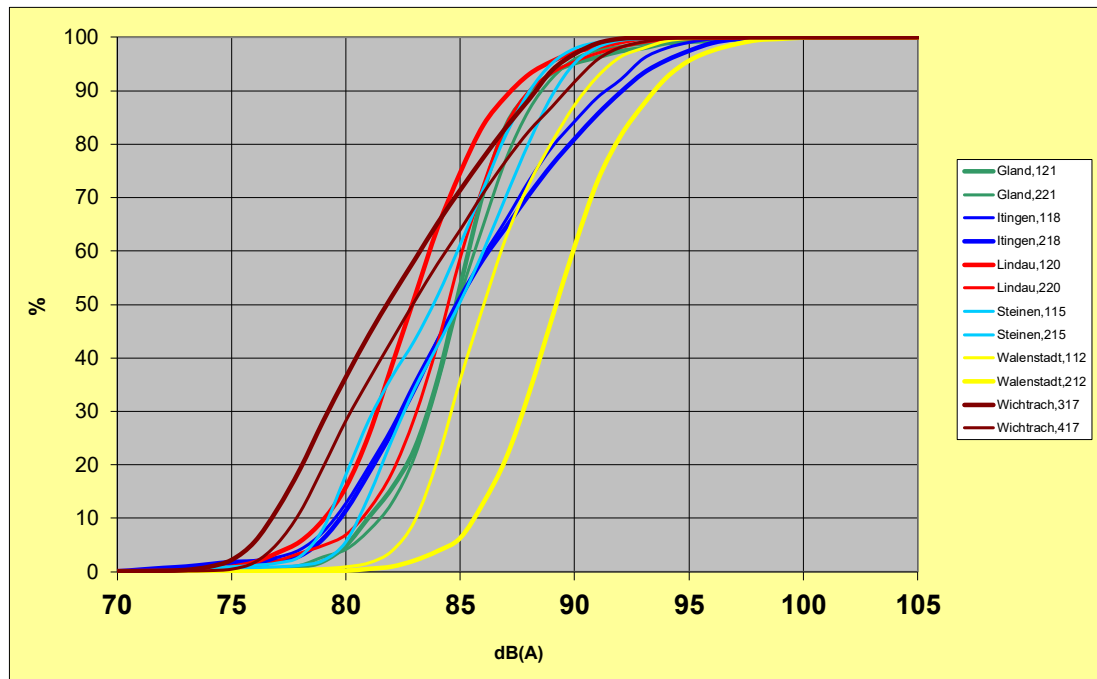


Abb. 13: Summenkurve der TEL 80-Werte für Güterzüge **2019**, beide Gleise

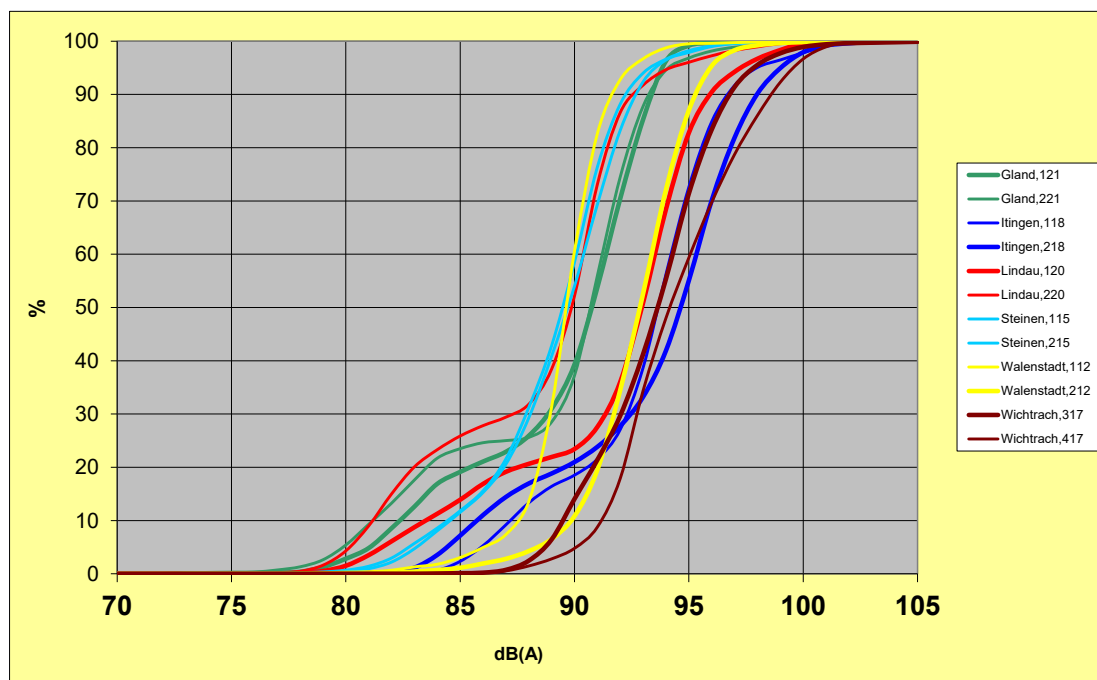


Abb. 14: Summenkurve der TEL 80-Werte für Güterzüge **2003**, beide Gleise

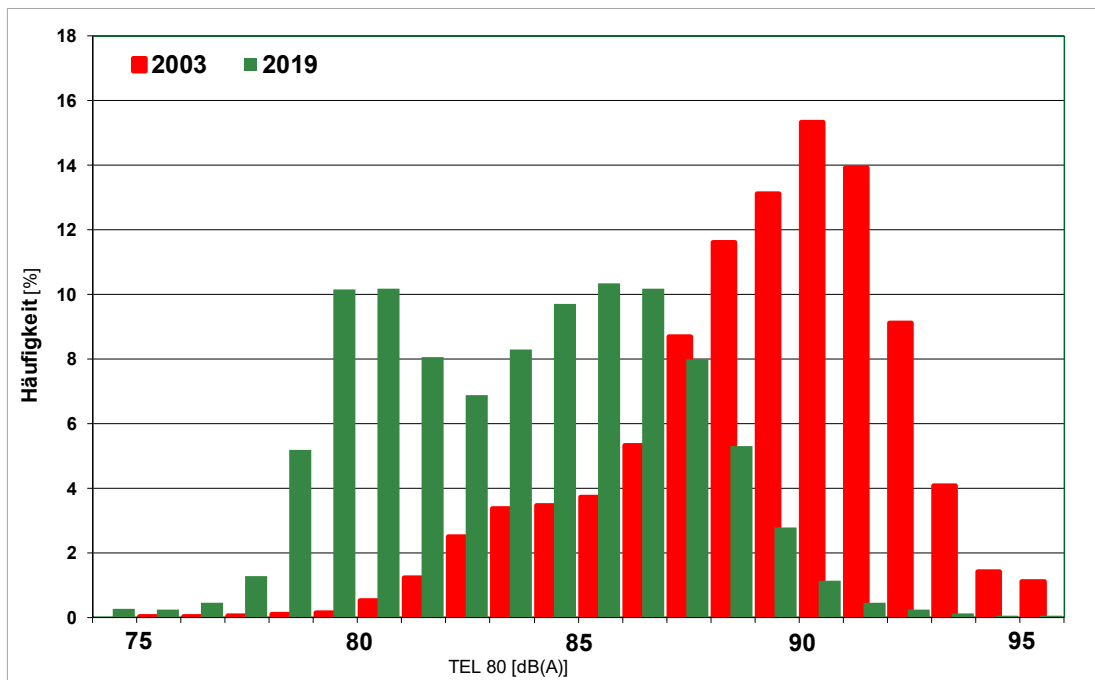


Abb. 15: Steinen (Gleis 115), Häufigkeitsverteilungen TEL 80 der Güterzüge in den Jahren 2003 und 2019

In Steinen (Abb. 15) ist eine Verschiebung hin zu leiseren Güterzügen in der breiten Verteilung 2019 zwar klar erkennbar. In vielen Zügen sind aber noch laute Wagen eingereiht.

4.2.5 Emissionswerte von Güterwagen

Im Hinblick auf die Einführung von Emissionsgrenzwerten für alle Güterwagen wurde im letzten Jahr ein neuer Algorithmus entwickelt, um die Vorbeifahrtspegel von Güterwagen in den regulär verkehrenden Güterzügen zu ermitteln. Die Häufigkeitsverteilungen in den Abbildungen 16 und 17 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 Tiefpunkte 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 durchaus höhere Emissionswerte aufweisen als bei Abnahmemessungen. Korrekt ausgerüstete Wagen können selbst Werte von mehr als 86 dB(A) verursachen. Andererseits werden Wagen mit GG-Sohlen kaum Werte unter 86 dB(A) aufweisen. Der Anteil von Wagen mit Verbundstoffsohlen oder Scheibenbremsen wird damit auf diese Weise etwas unterschätzt.

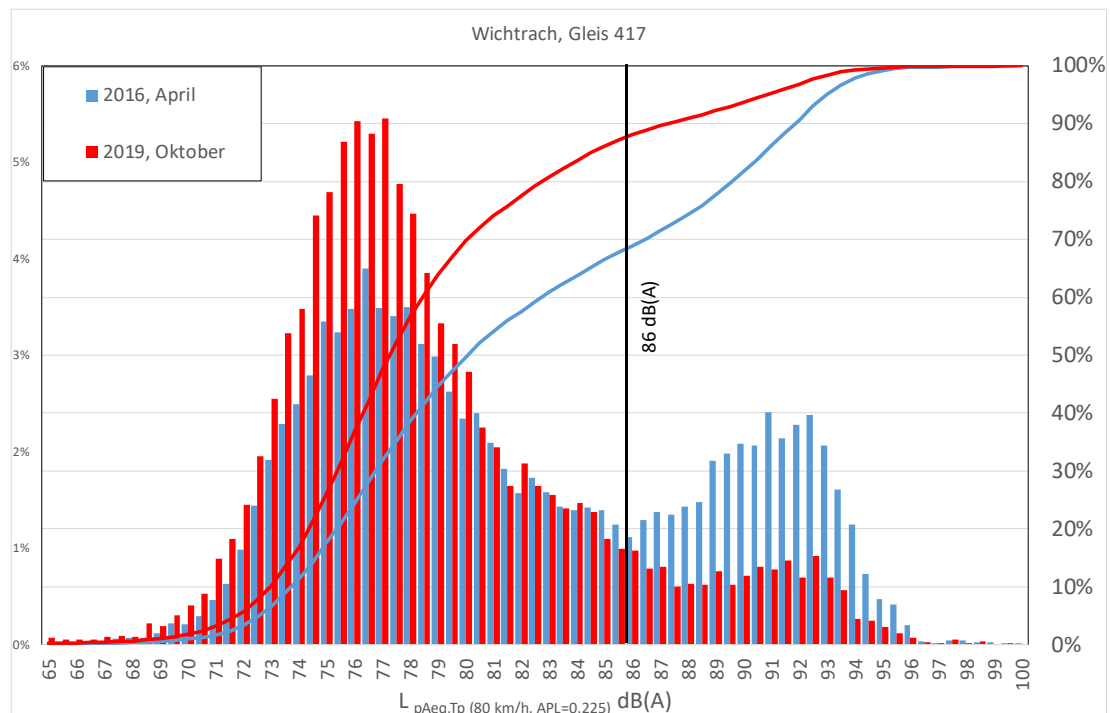


Abb. 16: Emissionswerte Güterwagen Wichtrach, Gleis 417, Häufigkeitsverteilung und Summenkurve aller Vorbeifahrten eines Monats

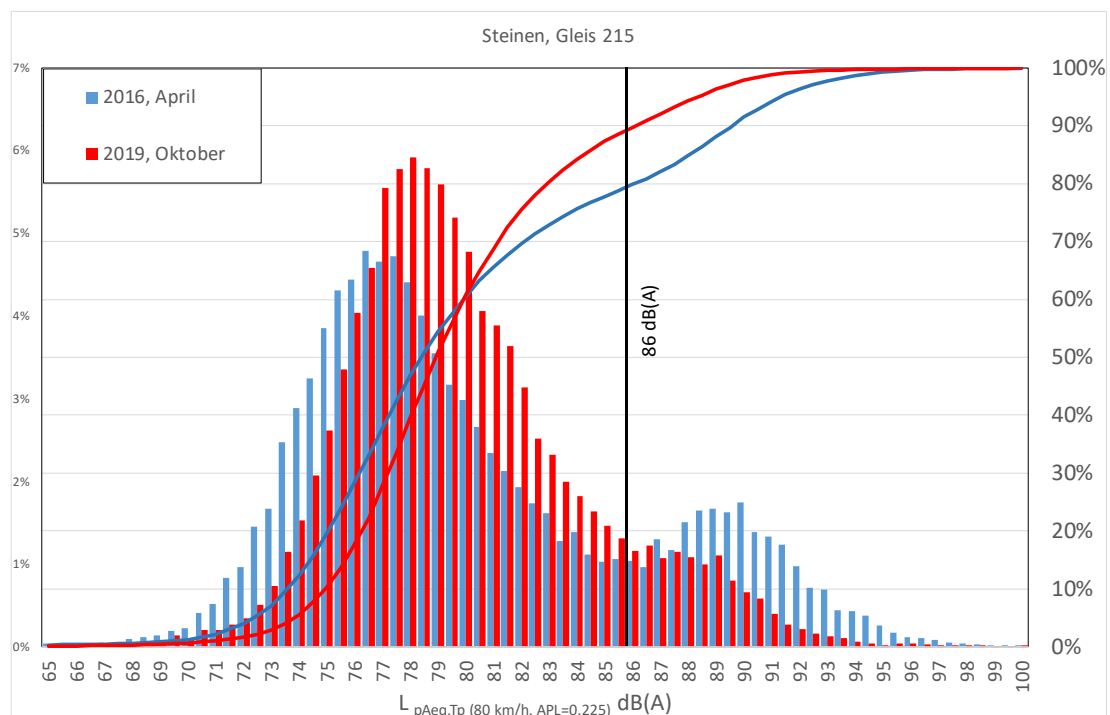


Abb. 17: Emissionswerte Güterwagen Steinen, Gleis 215, Häufigkeitsverteilung und Summenkurve aller Vorbeifahrten eines Monats

Im Oktober 2018 erfolgte in einer Zusatzauswertung die Zuordnung der Bremsbauart zu den einzelnen Wagen aufgrund der Daten naheliegender ZKE-Stationen der SBB. In den Abbildungen 18 und 19 sind die Ergebnisse als Boxplot dargestellt. Die Ergebnisse bestätigen die Pegelminderung durch LL-Sohlen von rund 8 dB(A), die im Rahmen der Revision der TSI Noise angesetzt wurde [18]. Sie zeigen aber auch eine höhere Lärminderung durch K-Sohlen von 11-13 dB(A). Dies entspricht den Modellergebnissen von sonRAIL [10]. In Deutschland wird eine Lärminderung von bis 10 dB(A) angesetzt [19]. Es wird in dieser Studie auch darauf hingewiesen, dass bei günstigem Oberbau noch höhere Lärminderungen möglich sind.

Bei günstigem Oberbau verursacht damit ein Güterwagen mit GG-Sohle die gleichen Lärmemissionen wie 13-20 Güterwagen mit K-Sohle.

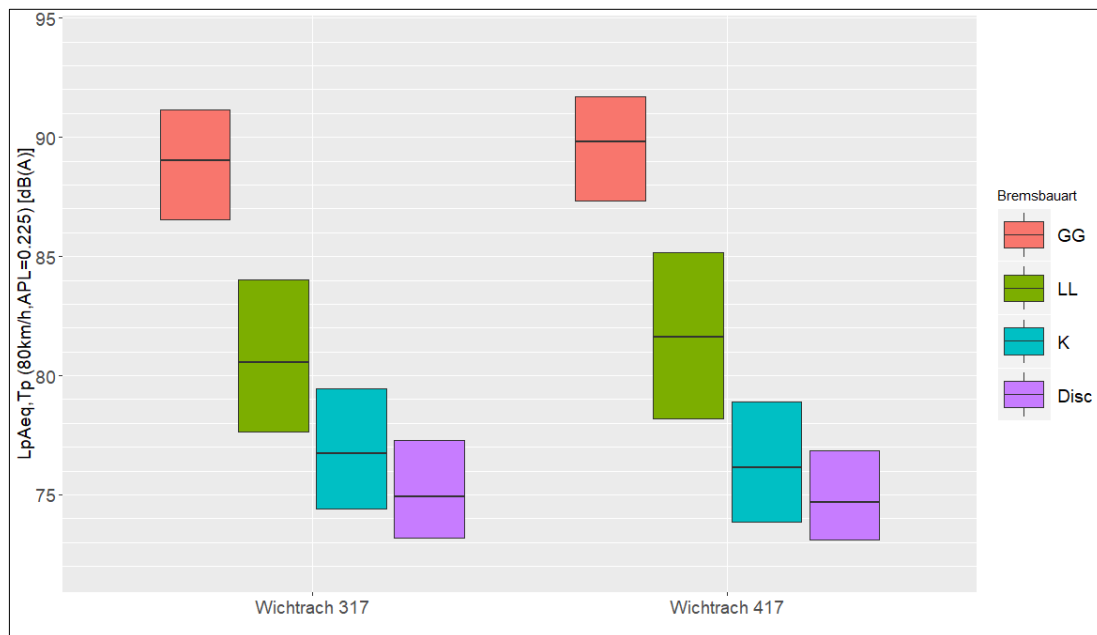


Abb. 18: Emissionswerte von Güterwagen nach Bremsbauart in Wichtrach, Oktober 2018
1'400-4'500 Messwerte pro Box, Medianwert, Perzentile 25 und 75

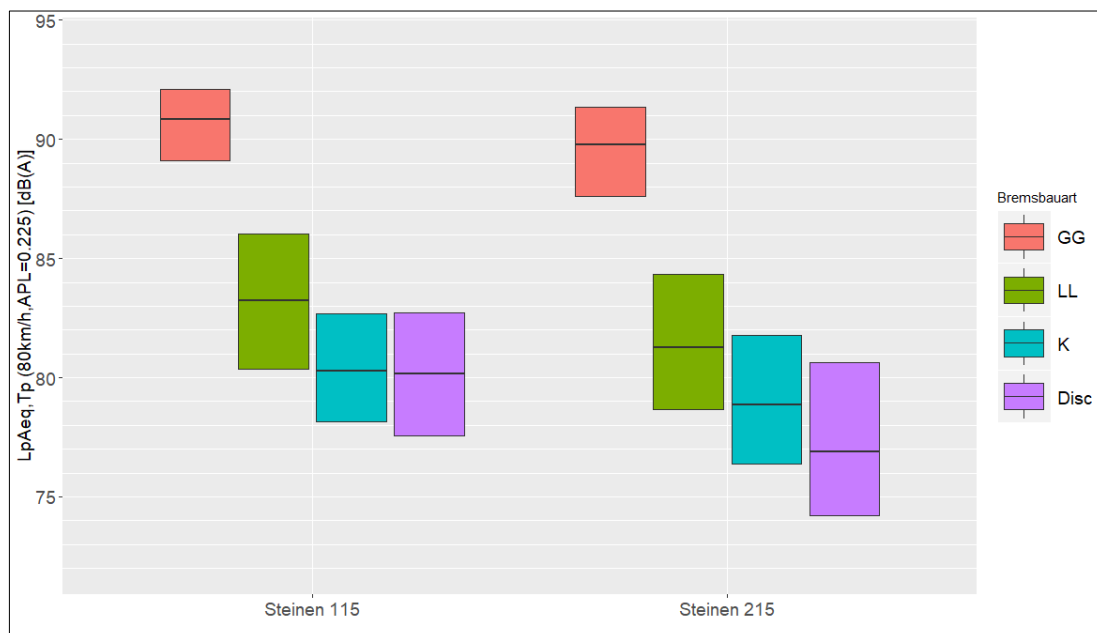


Abb. 19: Emissionswerte von Güterwagen nach Bremsbauart in Steinen, Oktober 2018
400-2'900 Messwerte pro Box, Medianwert, Perzentile 25 und 75

4.2.6 Auswirkungen von High Speed Grinding (HSG)

High Speed Grinding wird in der Schweiz in der Regel nur in den Basistunnels eingesetzt, um in kurzer Zeit lange Streckenabschnitte präventiv zu schleifen. Es wird aber oft als akustisch günstiges Verfahren erwähnt. In Gland wurde dieses Schleifverfahren am 20. Februar 2019 eingesetzt. Die Auswirkungen waren in den Lärmesswerten klar erkennbar. Die geglätteten Werte (Abb. 20, 21) zeigen, dass bei den lauterer Güterzügen die ursprünglichen Lärmwerte nach einigen Wochen wieder erreicht werden. Bei den leisen Güterzügen dauert das Einfahren jedoch mehrere Monate.

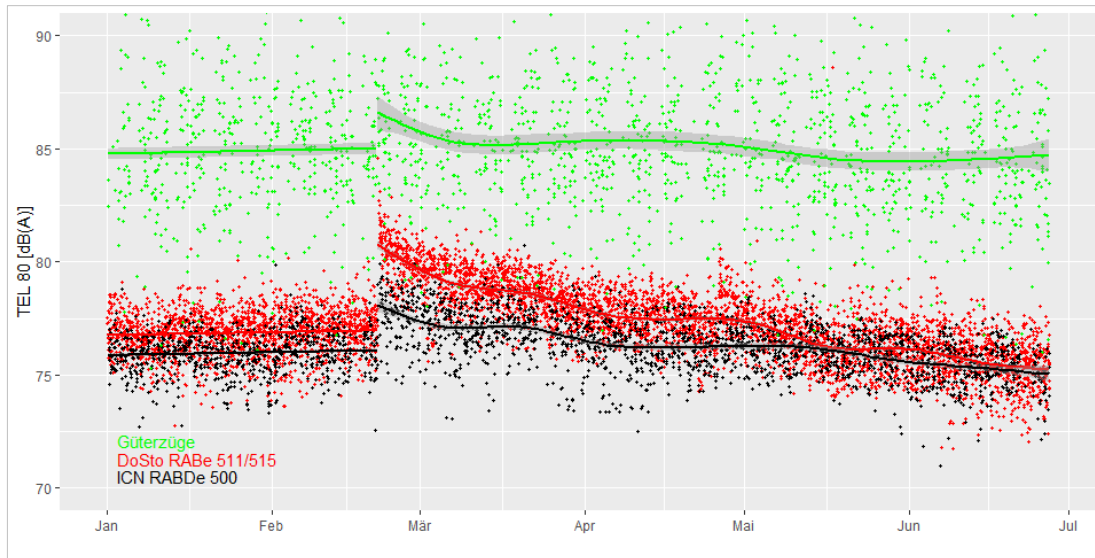


Abb. 20: High Speed Grinding (HSG) in Gland, Gleis 221 am 20.2.2019, Einzelwerte Vorbeifahrtspegel (TEL 80) und Trendlinie für drei Zugskategorien

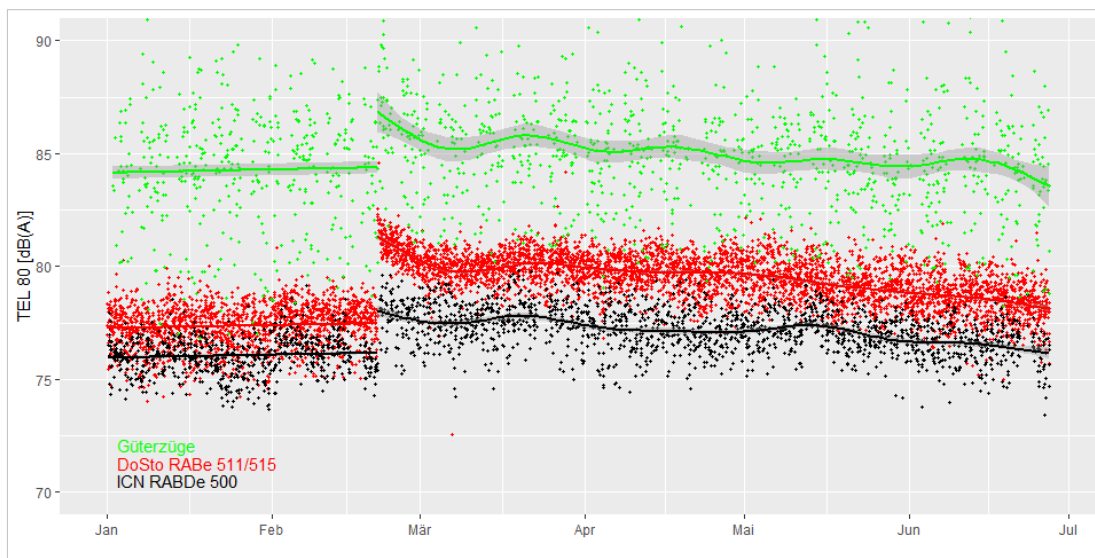


Abb. 21 : High Speed Grinding (HSG) in Gland, Gleis 121 am 20.2.2019, Einzelwerte Vorbeifahrtspegel (TEL 80) und Trendlinie für drei Zugskategorien

4.3 Anteil Güterverkehr

Die Bedeutung des Güterverkehrs für die Lärmemissionen ist aufgrund des lauten Rollmaterials und der langen Züge entscheidend. Abbildung 22 zeigt den Anteil der Güterzüge am gesamten Emissionspegel $L_{eq,e}$. Klar ersichtlich ist die hohe Bedeutung des Güterverkehrs insbesondere in der Nacht.

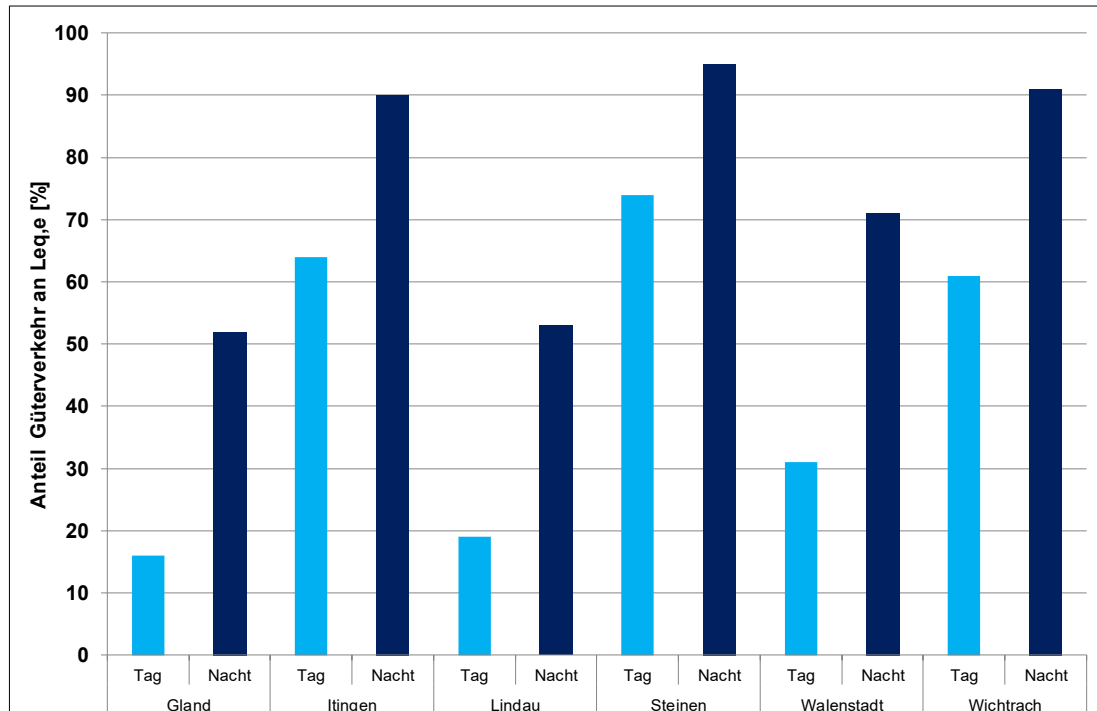


Abb. 22: Anteil des Güterverkehrs an den Gesamtemissionen 2019

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 gleichen grossen Reduktionen des Gesamtpegels.

4.4 Verkehr

In den Abbildungen 23 und 24 ist die Entwicklung der Zugzahlen seit Messbeginn dargestellt.

Der gesamte Verkehr hat in dieser Zeitperiode je nach Messstation um 20-61% zugenommen. Beim Güterverkehr allein ist die Situation uneinheitlich. Je nach Messstation gibt es einen stabilen, einen leicht zunehmenden und oder abnehmenden Trend. Auffällig ist die doch markant rückläufige Entwicklung am Gotthard (Steinen).

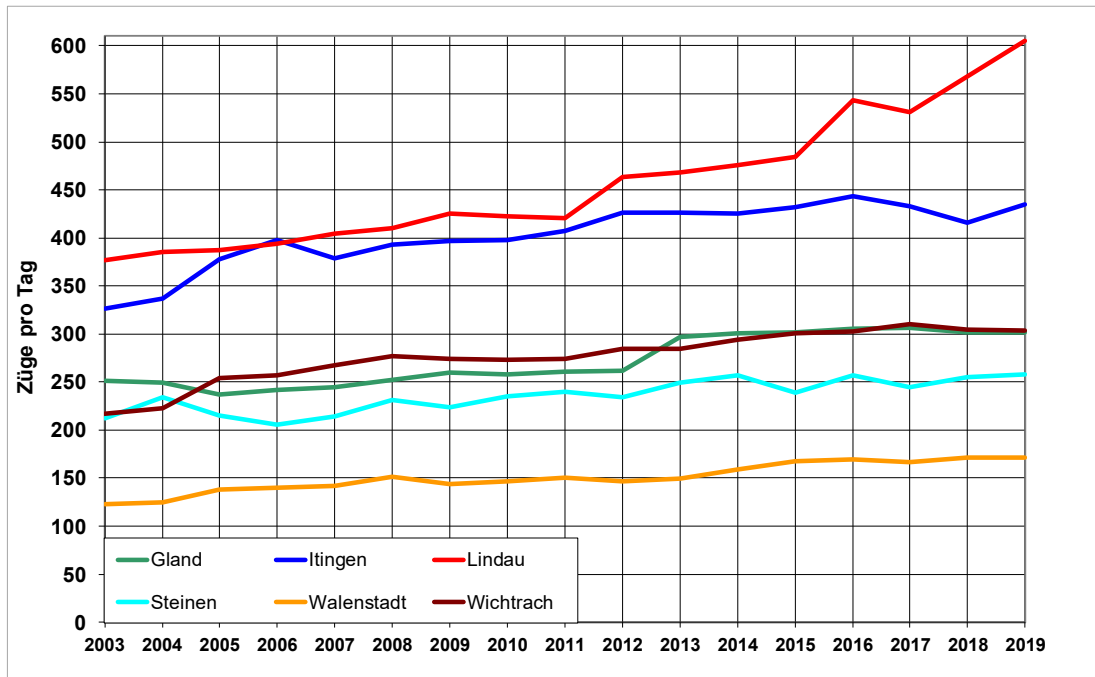


Abb. 23: Entwicklung Gesamtverkehr, mittlere Anzahl Züge pro Tag 2003-2019

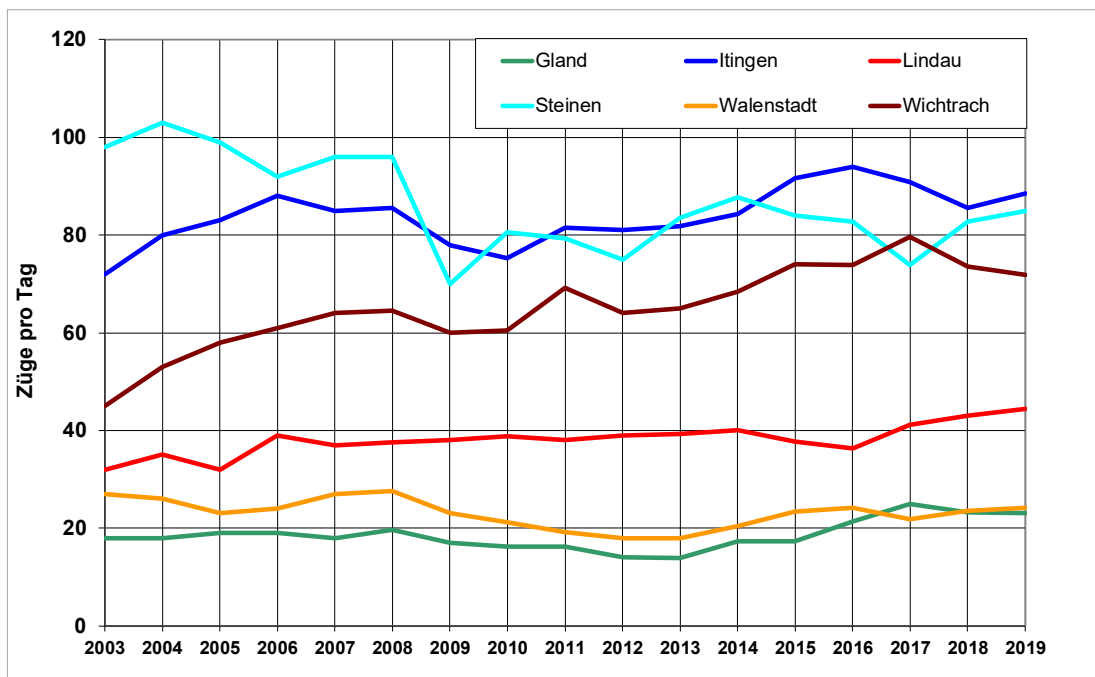


Abb. 24: Entwicklung Güterverkehr, mittlere Anzahl Züge pro Tag 2003-2019

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
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 Zugvorbeifahrt 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 2019
ANHANG 5	Monatsmittelwerte L_{r,e} 2003-2019
ANHANG 6	Schienenrauheit und Track-Decay-Rate 2019
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.

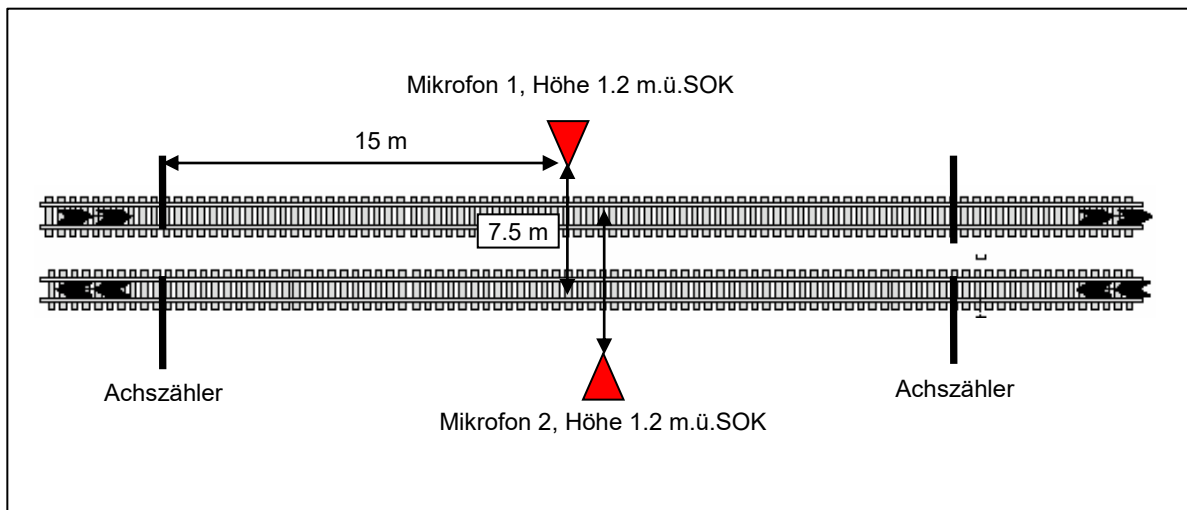


Abb. A2.1:

Situation Messstandort

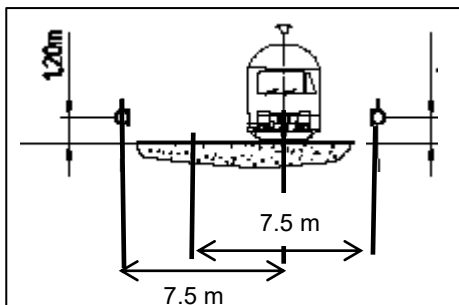


Abb. A2.2: Querschnitt Messstandort

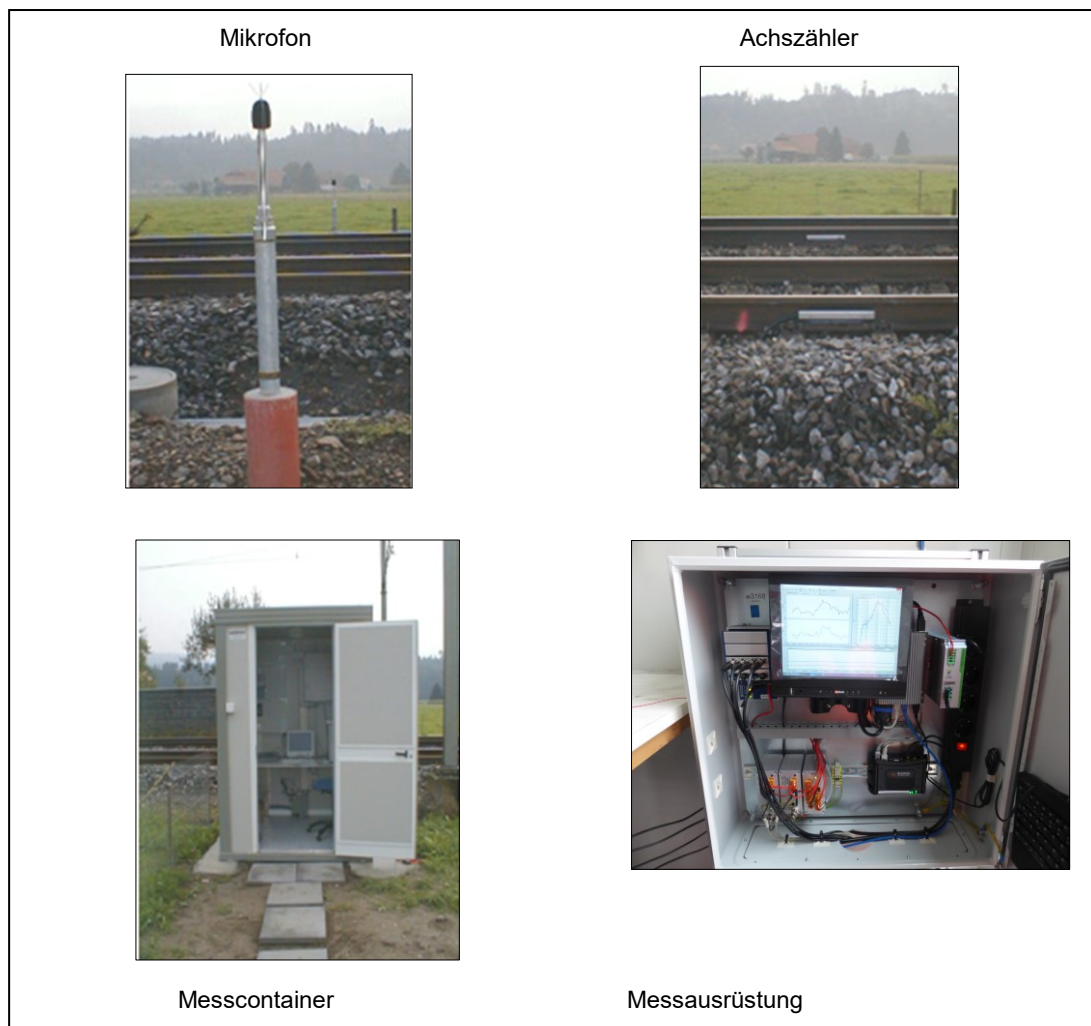


Abb. A2.3: Messstation

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.

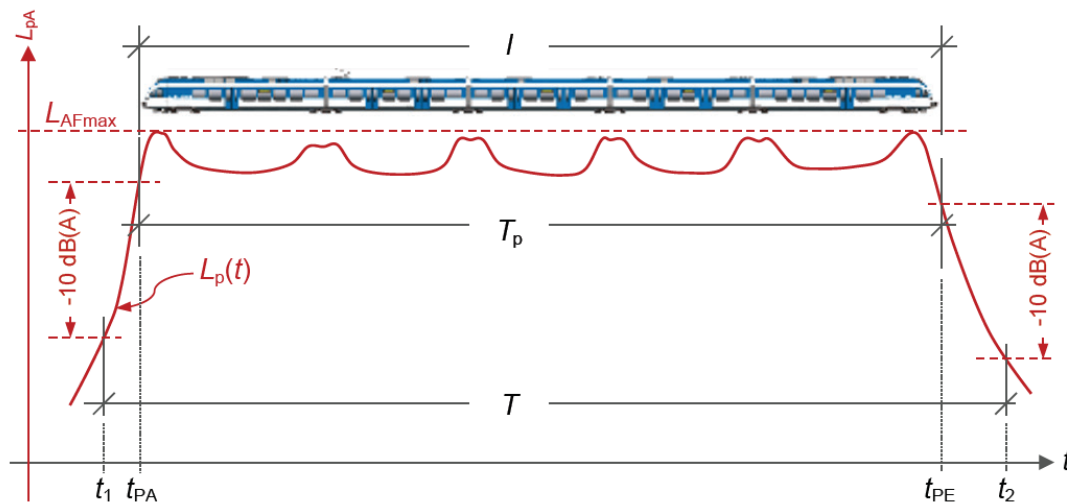


Abb. A3.1: Schematische Darstellung des Zeitverlaufs des Schalldruckpegels $L_{pA}(t)$ einer Zugs vorbeifahrt mit Einzeichnung wichtiger Grössen.

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	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

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

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

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

$L_{eq,e}$ 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:

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

mit

n Anzahl der Tage im Monat bzw. im Jahr

N Anzahl der Züge
 pro Beurteilungszeitintervall (Tag oder Nacht),
 pro Gleis
 pro Zugkategorie,
 pro Messstelle
 pro 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 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 2019

Station		Lr,e [dBA] alle Züge	N	K1		Leq,e [dBA] alle Züge	N
		T		T	N	T	
I02	Gland	73.5	66.4	-5.0	-7.7	78.5	74.1
I03	Itingen	75.8	75.8	-5.0	-5.0	80.8	80.8
I06	Lindau	74.4	70.5	-5.0	-5.0	79.4	75.5
I04	Steinen	71.8	70.7	-5.0	-6.4	76.8	77.1
I05	Walenstadt	76.0	67.6	-5.0	-9.8	81.0	77.5
I01	Wichtrach	73.6	72.6	-5.0	-6.3	78.6	78.9

Tabelle A4.1: Jahresmittelwerte 2019, 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	259	42	243	30	13	10	36	30	35	28	55	43	221	177	221	172	254	228
I03	Itingen	352	83	288	46	55	33	43	53	33	27	97	94	241	258	210	162	442	419
I06	Lindau	520	85	487	65	28	16	32	28	32	27	45	40	196	167	195	162	234	225
I04	Steinen	200	57	148	20	49	36	41	63	26	19	88	88	226	327	163	122	429	449
I05	Walenstadt	146	26	126	17	16	7	32	34	29	23	68	63	196	202	178	144	371	366
I01	Wichtrach	246	58	199	28	43	29	44	61	33	28	97	96	246	287	204	162	455	425

Tabelle A4.2: Jahresmittelwerte 2019, Verkehr
AlleZüge=Personenzüge(PZ)+Güterzüge(GZ)+Dienstzüge+nichtbestimmbareZüge

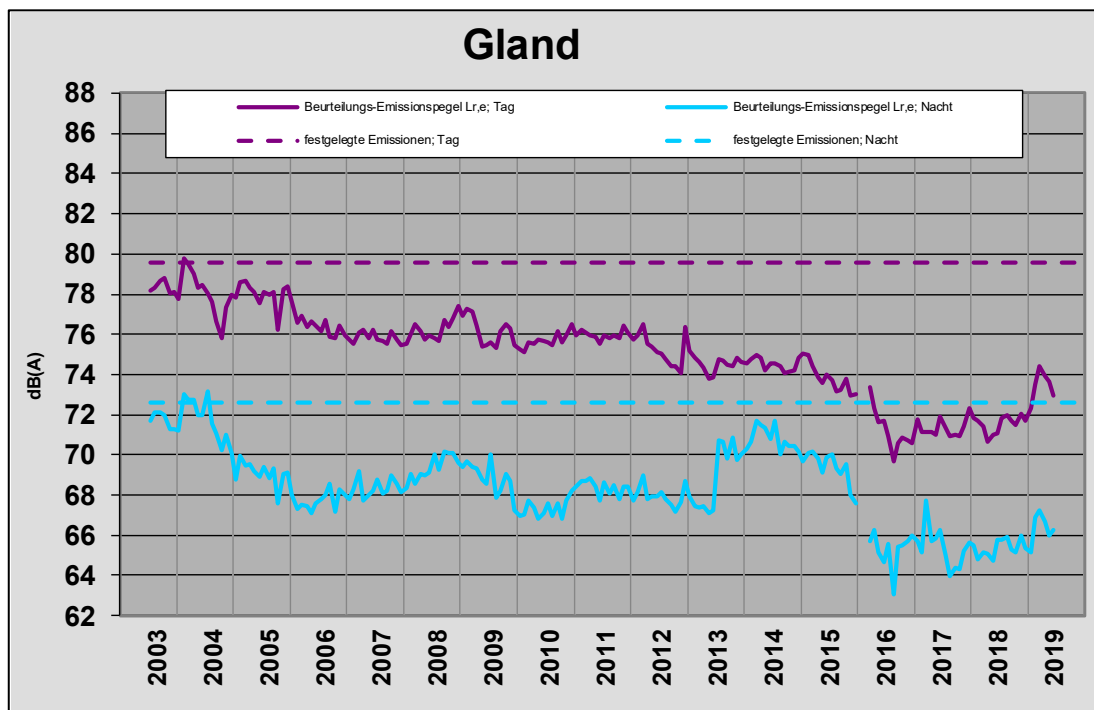
ANHANG 5: MONATSMITTELWERTE Lr,e 2003-2019

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

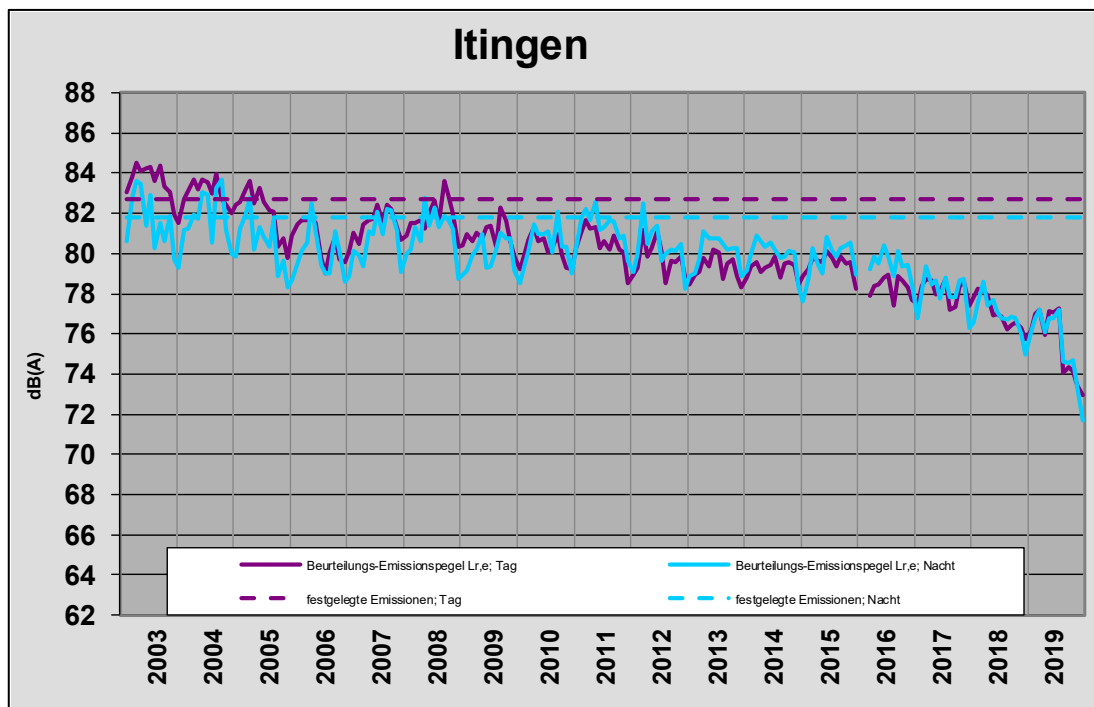


Abb. A5.2: Messstation Ittingen, Messwerte Lr,e (Monatsmittel)

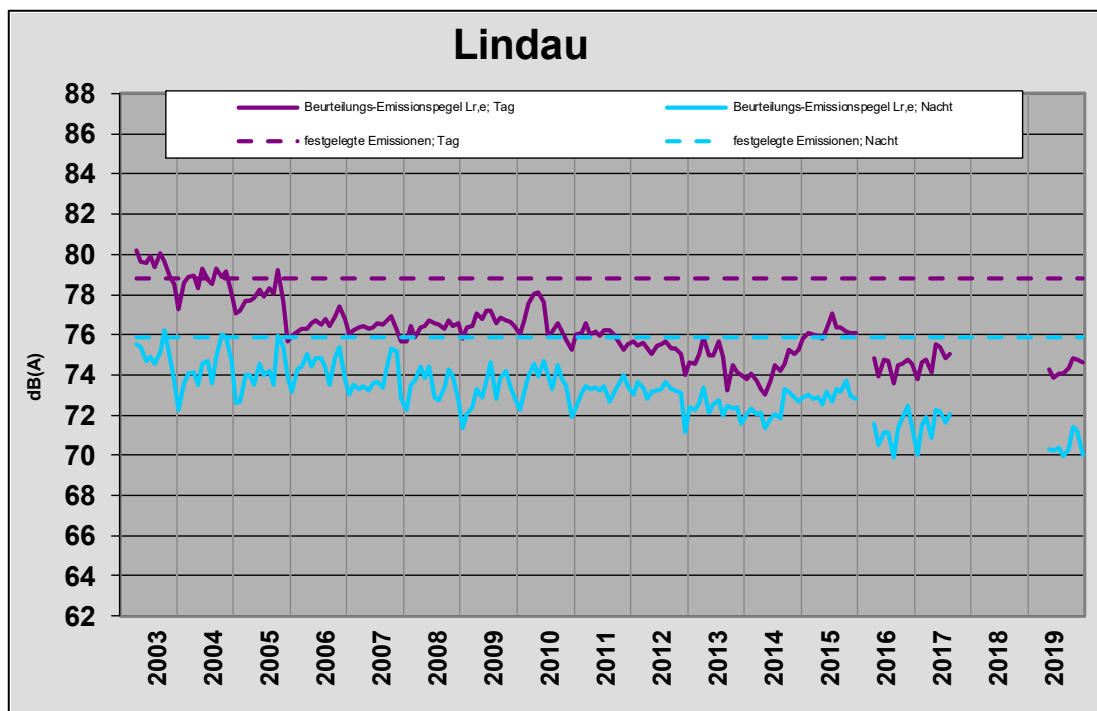


Abb.A5.3: Messstation Lindau, Messwerte Lr,e (Monatsmittel)

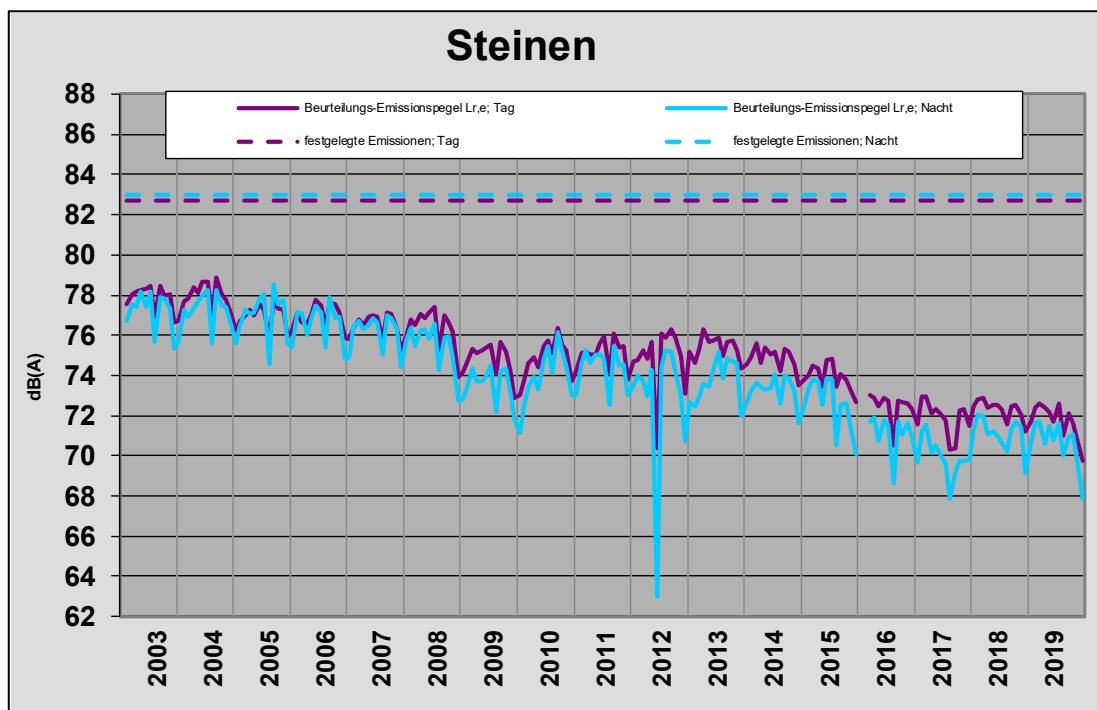


Abb. A5.4: Messstation Steinen, Messwerte Lr,e (Monatsmittel)

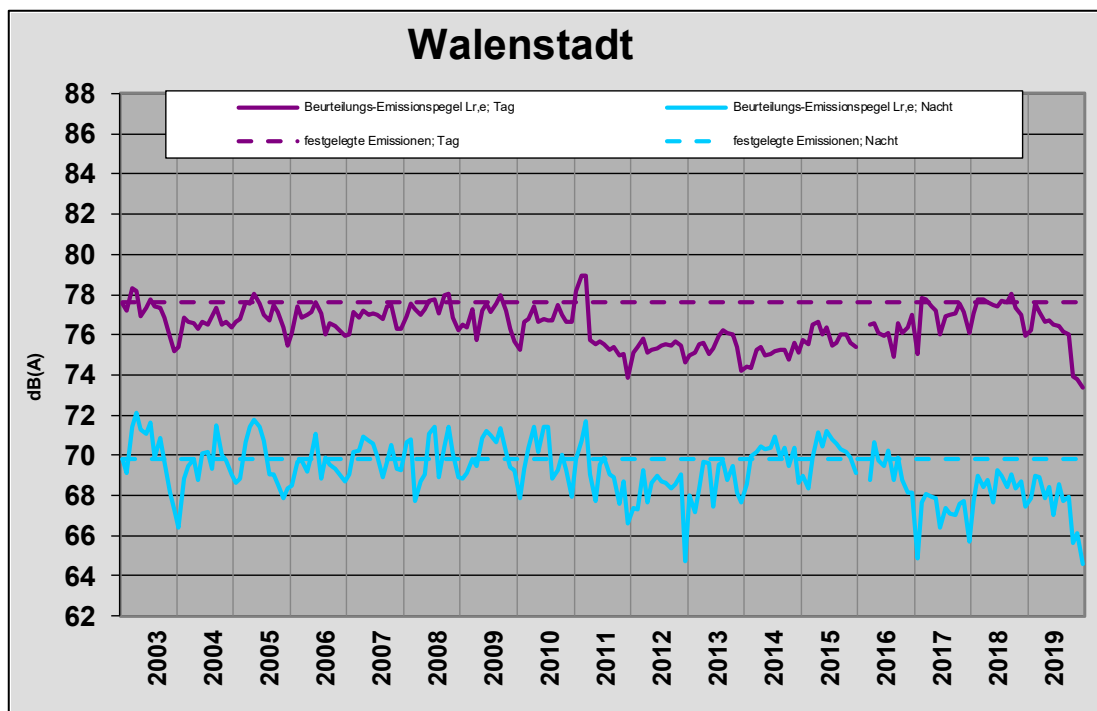


Abb. A5.5: Messstation Walenstadt, Messwerte Lr,e (Monatsmittel)

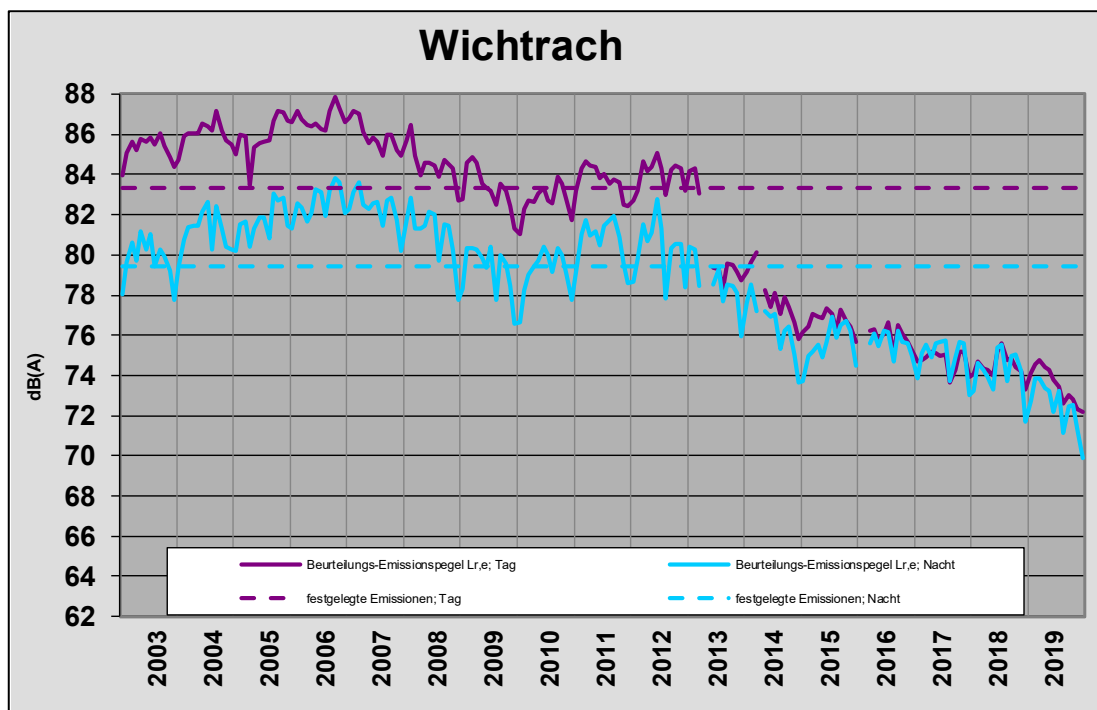


Abb. A5.6: Messstation Wichtrach, Messwerte Lr,e (Monatsmittel)

ANHANG 6: SCHIENENRAUHEIT UND TRACK-DECAY-RATE2019

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	6.7	8.2	-4.29	-3.93	18	12.11.2019
		221	1.4	1.9	-5.20	-4.64	8	12.11.2019
I03	Itingen	118	3.0	4.9	-3.77	-3.56	11	10.11.2019
		218	3.0	4.5	-3.53	-3.40	8	10.11.2019
I06	Lindau	120	-2.2	-1.6	-4.79	-4.63	9	14.11.2019
		220	-2.1	-1.3	-4.64	-4.10	4	14.11.2019
I04	Steinen	115	2.6	3.0	-4.13	-4.08	9	13.11.2019
		215	3.1	3.2	-4.38	-3.98	4	13.11.2019
I05	Walenstadt	112	-0.5	1.1	-4.30	-3.92	7	09.11.2019
		212	7.8	9.4	-4.05	-3.59	10	09.11.2019
I01	Wichtrach	317	1.2	2.2	-5.24	-4.52	8	11.11.2019
		417	0.8	1.6	-4.59	-4.23	4	11.11.2019

Tabelle A6.1: Rauheitswerte und Track-Decay-Rate 2019 proGleis

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. Halbjahr 2018.
- [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] ERA: Full Impact Assessment, Revision of the Noise TSI: Application of NOI TSI requirements to existing freight wagons, 2018.
- [19] Umweltbundesamt: Strategien zur effektiven Minderung des Schienengüterverkehrslärms, 2017.