

Lärm-Monitoring

Jahresbericht 2023

Schallmessung an Schienenwegen



Eisenbahn-Bundesamt

Impressum

HERAUSGEBER

Eisenbahn-Bundesamt
Heinemannstraße 6
53175 Bonn

www.eba.bund.de

ERSTELLUNG DES BERICHTS

Dr. rer. nat. Nathan Isert

Prof. Dr. Stefan Lutzenberger

Müller-BBM Rail Technologies GmbH
Helmut-A.-Müller-Straße 1 – 5
82152 Planegg bei München

Dr. rer. nat. Henning Brammer

Christoph Jöckle

Referat 52 – Umwelt

EDITOR – TITELBLATT

Mithat Serbest

BILDNACHWEIS

Eisenbahn-Bundesamt

PUBLIKATION ALS PDF

www.laerm-monitoring.de

KONTAKT

Telefon: 0228 / 9826 – 540

E-Mail: laerm-monitoring@eba.bund.de

Bonn, Juni 2025

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	2
2	Zusammenfassung	3
3	Einleitung	5
4	Messstationen	6
5	Verwendete Messgrößen	9
6	Messergebnisse	12
1	Anhang: Messkonzept	52
2	Anhang: Messgrößen	55
3	Anhang: Fehlerbetrachtung, Genauigkeitsbetrachtung, Messunsicherheiten	59
4	Anhang: Kennzahlen 2023	63
5	Anhang: Schienenrauheit und Abklingrate 2023	68
6	Anhang: Literatur	71

2 Zusammenfassung

Mit dem Lärm-Monitoring werden Schallemissionen aus dem Schienenverkehr kontinuierlich und einheitlich erfasst. Initiiert und finanziert wird das Lärm-Monitoring durch das Bundesministerium für Verkehr. Ziel ist es, den Erfolg der Aktivitäten zum Lärmschutz, wie z. B. die Umrüstung der Güterwagen auf lärmarme Bremstechniken, zu überwachen und die Entwicklung der Schallemissionen aus dem Schienenverkehr nachvollziehbar zu dokumentieren. Im Jahr 2023 haben die 19 Messstationen entlang des deutschen Schienennetzes Zugvorbeifahrten mit einer Verfügbarkeit von 97,7 Prozent aufgezeichnet. Mit dem vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse des Lärm-Monitorings für das Jahr 2023 dargestellt.

Auf Basis der Messergebnisse können folgende wesentliche Aussagen getroffen werden:

- Die Schallemissionen in Form von Mittelungspegeln, gemessen in einem Abstand von 7,5 Meter, liegen zwischen 63,3 dB(A) und 72,1 dB(A). Im Vergleich zu 2019 sind die Mittelungspegel an allen Messstationen um bis zu 5,2 dB(A) reduziert. Insbesondere an Messstationen mit höheren Pegeln konnte eine deutliche Reduktion gemessen werden. Selbst an Messstationen, an denen der Verkehr zugenommen hat, gingen die Schallemissionen im Vergleich zu 2019 zurück.
- Insgesamt sind es weiterhin Güterzüge, die an den Messstationen die wesentlichen Geräuschquellen darstellen. Sie verursachten etwa 71 Prozent der gemessenen Gesamtemission. Im Jahr 2019 betrug der Anteil an der Gesamtemission noch 90 Prozent. Die Reduktion der Mittelungspegel ist auf die Reduktion der Emissionen aus dem Güterverkehr zurückzuführen.
- Wesentlich für den Rückgang der Schallemissionen ist die Umrüstung der Güterwagen von Grauguss-Bremssohlen auf Rollgeräusch-reduzierende Verbundstoff-Bremssohlen bzw. die Neuanschaffung von Güterwagen, die der TSI Lärm [1] entsprechen. Mit dieser Umrüstung bzw. Neubeschaffung wird die Schallemission eines Güterwagens um etwa 10 dB(A) reduziert. Seit Juni 2019 ging die von Güterwagen verursachte mittlere Emission um ca. 6,5 dB(A) zurück.
- Der Einsatz lauter Güterwagen ist seit dem 13.12.2020 verboten. Die Bremsausstattung der Güterwagen wird durch das Eisenbahn-Bundesamt im

Rahmen von Kontrollen des Schienenlärmschutzgesetzes regelmäßig überprüft. Im Jahr 2023 waren fast alle (99,9 Prozent) der überprüften Güterwagen mit Verbundstoffbremssohlen bzw. Scheibenbremsen ausgestattet (siehe [Jahresbericht Schienenlärmschutzgesetz](#)). Auch die Ergebnisse des Lärm-Monitorings belegen, dass seit Dezember 2020 fast alle Güterwagen mit Verbundstoffbremssohlen ausgestattet waren (vgl. Abschnitt 6.5). Die teilweise gemessenen laueren Pegel werden z. B. von akustisch ungünstigen Radzuständen bedingt.

- Seit der Inbetriebnahme der Lärm-Monitoringstationen im Jahr 2019 bis zum Jahr 2021 wurden an allen Stationen Schallpegelminderungen festgestellt, die durch die Umrüstung der Güterwagen verursacht waren. Seitdem die Güterwagenumrüstung abgeschlossen ist, beeinflussen eine Vielzahl kleinerer Einflussfaktoren wie z. B. die Zuganzahl, die Vorbeifahrtgeschwindigkeit oder die Gleiseigenschaften die Entwicklung der Schallemissionen an den einzelnen Stationen.

Weitere Messdaten, welche in Echtzeit aktualisiert werden, können auf der Internetseite www.laerm-monitoring.de abgerufen werden.

3 Einleitung

Mit dem netzweiten Lärm-Monitoring stellt die Bundesregierung den langfristigen Trend des Schienenverkehrslärms transparent und nachvollziehbar dar. Hierfür wurden entlang des Schienennetzes Messstationen errichtet, die nach einheitlicher Methode den Schallemissionspegel (Maß für die Lautstärke) vorbeifahrender Züge messen. 19 Messstationen im Netz erfassen mehr als zwei Drittel des gesamten Schienengüterverkehrs.

Das Lärm-Monitoring erfasst Schallemissionen über einen längeren Zeitraum und wertet die gewonnenen Daten statistisch aus. Damit können Aussagen zur zeitlichen Entwicklung der Schallemissionen gemacht werden – also ob der Schienenverkehr z. B. durch die Umrüstung der Güterwagen auf leise Bremssohlen tatsächlich leiser geworden ist.

Das Lärm-Monitoring ermöglicht unter anderem die Überprüfung, ob das am 13. Dezember 2020 in Kraft getretene Verbot des Betriebs lauter Güterwagen (Schienenlärmschutzgesetz) den erwarteten Effekt bringt – eine deutliche Reduktion der Schallemissionen des Schienenverkehrs.

Die Messungen werden im Auftrag des Eisenbahn-Bundesamtes von Müller-BBM Rail Technologies GmbH durchgeführt. Initiiert und finanziert wird das Lärm-Monitoring durch das Bundesministerium für Verkehr mit dem Ziel, den Erfolg der zahlreichen Aktivitäten zum Lärmschutz, wie z. B. die Umrüstung der Güterwagen auf lärmarme Bremstechniken, zu überwachen.

Das Lärm-Monitoring erfolgt gemäß der DIN 38452-1:2022-08; Langzeitmessung von Schienenverkehrsgeräuschen –Teil 1: Emissionen; [2] mit der höchsten Qualitätsstufe 3.

Für diesen Bericht wurden die Messergebnisse aus dem Jahr 2023 ausgewertet und aufbereitet. Auf der Internetseite www.laerm-monitoring.de können die Messergebnisse im Einzelnen eingesehen werden. In Echtzeit sind die Pegelschriebe der Messstationen sowie die Daten zu den Zugvorbeifahrten verfügbar. Die Mittelungspegel werden ebenfalls regelmäßig veröffentlicht. Einen Monat nach der Messung stehen die Daten der Zugvorbeifahrten sowie die Mittelungspegel auch zum Download zur Verfügung. Dieser Zeitraum wird für die Überprüfung der Messdaten benötigt.

4 Messstationen

4.1 Messtechnik

Für jedes Gleis ist ein Mikrofon zur Messung der Schallemissionen normgerecht [2] in 7,5 Meter Entfernung zur Gleismitte und 1,2 Meter über Schienenoberkante installiert. Alle in diesem Bericht genannten akustischen Kenngrößen beziehen sich auf diesen Abstand. Aus den Signalen der im Gleis verbauten Sensoren werden Zeitpunkt und Geschwindigkeit der Zugvorbeifahrten bestimmt. Details zum Messaufbau befinden sich in Anhang 1.

4.2 Messstandorte

Die Standorte der Messstationen wurden auf Basis einer Auswertung der Verkehrsströme ermittelt, so dass ein hoher Anteil insbesondere des Güterverkehrs erfasst wird. Güterzüge sind zurzeit die dominante Schallquelle im Schienenverkehr. Die Messstationen wurden so im Schienennetz positioniert, dass sie mehr als zwei Drittel des in Deutschland verkehrenden Güterzugverkehrs erfassen.

Darüber hinaus sollen die Messungen nicht von der Umgebung beeinflusst werden. Insbesondere dürfen sie nicht von Schallreflexionen an Flächen in der Umgebung gestört werden. Genauso sollen Hintergrundgeräusche die Messungen nicht beeinträchtigen. Deshalb stehen die Messstationen grundsätzlich nicht neben Gebäuden oder in lärmintensiven Umgebungen.

Die Art des Infrastrukturaufbaus beeinflusst die Entstehung und Ausbreitung des Schalls. Deshalb wurden Standorte gewählt, die einen Standardoberbau aufweisen (i. d. R. Schiene E60, Betonschwelle B70 und Schotter) und auf einem geraden Streckenabschnitt liegen, in dem keine Lärmschutzmaßnahmen vorgenommen wurden.

Die Verteilung der Messstandorte ist in der folgenden Abbildung 1 dargestellt.

4.3 Wagenscharfe Messung

Eisenbahnfahrzeuge werden anhand der detektierten Achsvorbeifahrten unterschieden. Den Wagen wird der Vorbeifahrtpegel, der während der Zeit der Vorbeifahrt von Puffer zu Puffer gemessen wird, zugeordnet. Dies ist eine solide Datenbasis für die im Bericht durchgeführten statistischen Auswertungen. Im Einzelfall kann die Schallemission eines benachbarten lauten Güterwagens die Messung eines leisen Wagens beeinflussen.

Zudem werden mittels einer Hochgeschwindigkeitskamera und automatischer Schrifterkennung mittels künstlicher Intelligenz die Wagennummern bestimmt. Dies ermöglicht tieferegehende statistische Auswertungen (siehe Abbildung 17).

Durch die Umrüstung der Güterwagen und den insgesamt niedrigeren Vorbeifahrtpegel treten die durch Flachstellen bzw. Raddefekte verursachten klopfenden oder dröhnenden Geräusche vermehrt in den Fokus. Die hierdurch verursachten Schallemissionen werden bereits vom Lärm-Monitoring erfasst, können jedoch nicht gesondert ausgewiesen werden. Für die Zukunft wird geprüft, inwiefern solche Auffälligkeiten in Verbindung mit den dazugehörigen Defekten erfasst und einzelnen Wagen bzw. Achsen zugeordnet werden können.

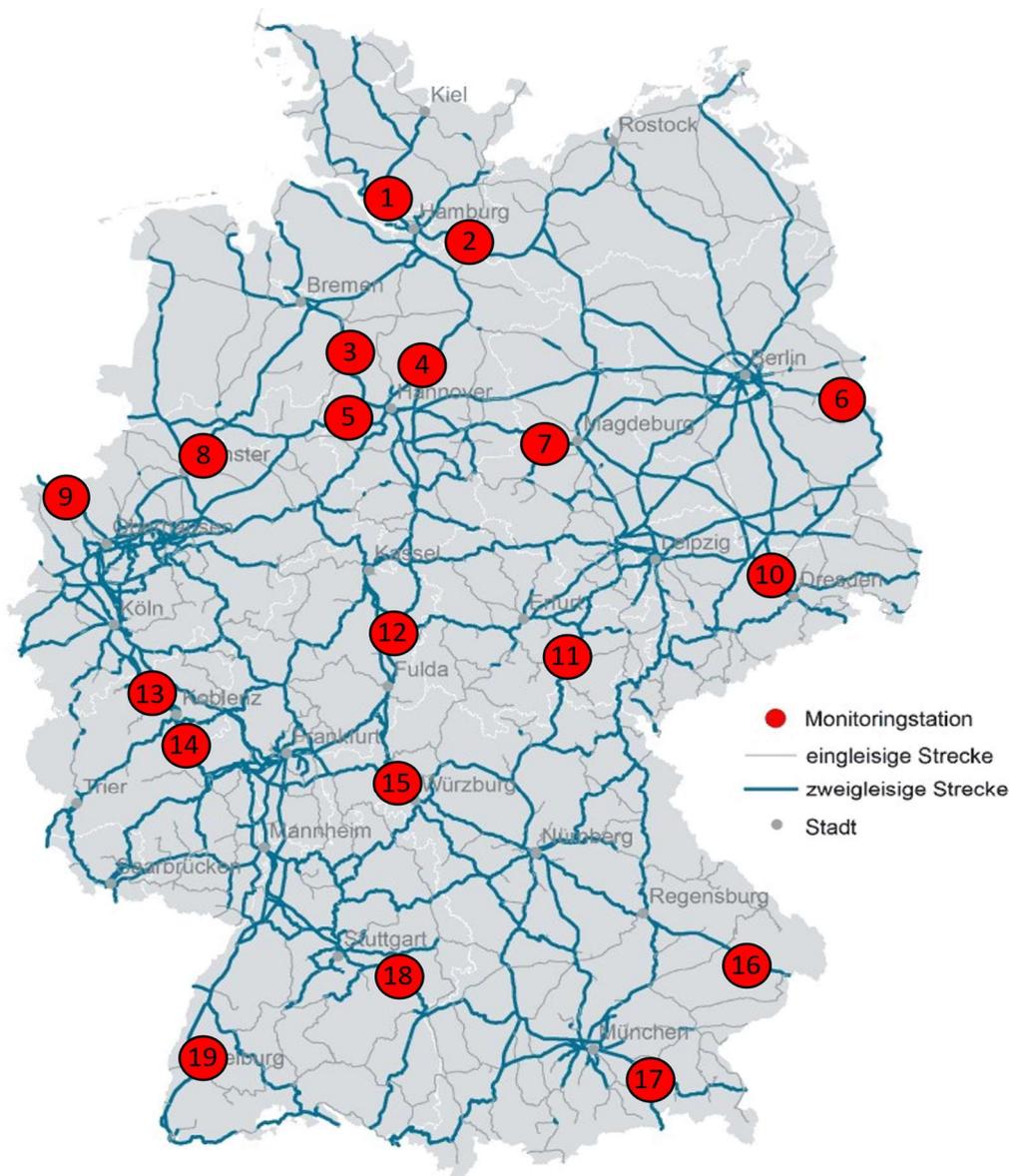


Abbildung 1: Standorte der Messstationen

Nr.	Standorte der Lärmmessstationen	Nr.	Standorte der Lärmmessstationen
1	Elmshorn, Strecke 1220: Hamburg – Kiel	11	Saalfeld, Strecke 6305: Großheringen – Saalfeld
2	Schwarzenbek, Strecke 6100: Berlin – Hamburg	12	Bad Hersfeld, Strecke 3600: Bebra – Fulda
3	Nienburg, Strecke 1740: Wunstorf – Bremen	13	Andernach, Strecke 2630: Köln – Bingen
4	Celle, Strecke 1720: Lehrte – Hamburg	14	Lahnstein, Strecke 3507: Koblenz – Wiesbaden
5	Stadthagen, Strecke 1700: Hannover – Minden	15	Karlstadt, Strecke 5200: Würzburg – Aschaffenburg
6	Fürstenwalde, Strecke 6153: Berlin – Guben	16	Osterhofen, Strecke 5830: Regensburg – Passau
7	Eilsleben, Strecke 6110: Braunschweig – Magdeburg	17	Rosenheim, Strecke 5510: München – Rosenheim
8	Telgte, Strecke 2200: Wanne-Eickel – Hamburg	18	Göppingen, Strecke 4700: Stuttgart – Ulm
9	Emmerich, Strecke 2270: Oberhausen – Emmerich (Grenze)	19	Emmendingen, Strecke 4000: Mannheim – Basel
10	Radebeul, Strecke 6248: Berlin – Dresden		

Tabelle 1: Standortbeschreibung der Messstationen

5 Verwendete Messgrößen

Das Lärm-Monitoring erfasst die Schallemissionen aus dem Schienenverkehr, zeigt aber – soweit das möglich ist – auch die Ursachen der Emissionen auf.

5.1 Entstehung der Schallemissionen

Die wichtigste Schallquelle im Schienenverkehr ist das Rollgeräusch. Andere Geräusche, wie Aggregatgeräusche oder aerodynamische Geräusche, spielen bei den typischen Geschwindigkeiten an den Messstationen eine nachgeordnete Rolle.

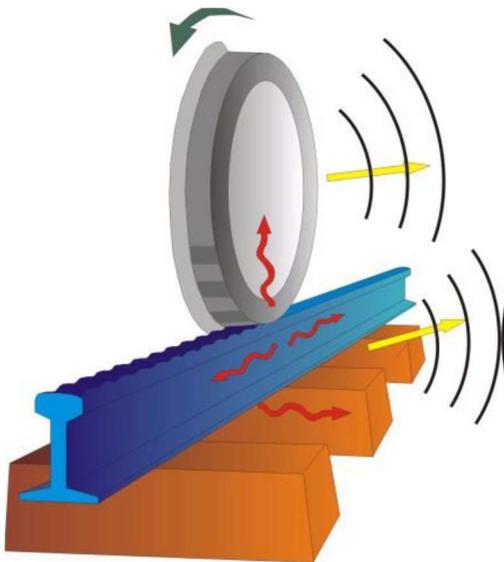


Abbildung 2: Schall- und Erschütterungserzeugung verursacht durch ein rollendes Rad mit Rundheitsabweichungen auf einer Schiene mit Riffeln (Quelle: TNO)

Der Entstehungsprozess des Rollgeräusches kann in Anregung und Abstrahlung unterteilt werden (siehe Abbildung 2). Die Anregung findet am Rad-Schiene-Kontakt statt: Da sowohl das Rad als auch die Schiene nicht perfekt glatt, sondern rau sind, bewegen sich Rad und Schiene während des Abrollens zueinander. Je nachdem, wie schnell dies passiert, werden verschiedene Eigenfrequenzen von Rad und Schiene angeregt – sowohl Rad als auch Schiene beginnen zu schwingen. Diese Komponenten übertragen einen Teil der Schwingungsenergie an die Luft – und strahlen somit den Schall ab.

Je schneller das Rad abrollt, desto mehr Energie ist in der relativen Schwerpunktbewegung vorhanden und desto mehr Schall wird emittiert.

Eine größere Anzahl von vorbeifahrenden Rädern führt zu einer Zunahme der Schallemission.

5.2 Schallpegel

Abbildung 3 zeigt einen typischen Pegelschrieb über eine gewisse Zeitdauer. In diesem sind die wichtigsten Pegelgrößen exemplarisch dargestellt.

In den **Mittelungspegel** gehen Stärke und Dauer jedes Einzelgeräusches während eines bestimmten Bezugszeitraums (z. B. ein Monat) ein. Pegelspitzen werden durch ihre hohe Intensität und die energetische Mittelung besonders stark berücksichtigt. Für die Bestimmung des Mittelungspegels wird die Schallenergie aller Zugvorbeifahrten im Bezugszeitraum zusammengerechnet und durch die Dauer des Bezugszeitraums geteilt. Er ist für die Zeiträume Tag (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr), Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr des Folgetages) und 24 Stunden berechnet.

Der Mittelungspegel beschreibt den Schall über lange Zeiträume und ist gesetzlich für die Bewertung verankert, da alle wesentlichen Einflussgrößen (Anzahl der Züge bzw. Achsen, die Fahrgeschwindigkeit, die Beschaffenheit des Rollmaterials und die Beschaffenheit des Gleises) in den Mittelungspegel eingehen.

Der **Vorbeifahrtexpositionspegel** (engl. Transit Exposure Level, *TEL*) gibt den mittleren Schalldruckpegel während einer einzelnen Vorbeifahrt an. Die Länge des Zuges hat kaum Einfluss. Rechnerisch kann der geschwindigkeitsnormierte Vorbeifahrtexpositionspegel berechnet werden, den der Zug bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h gehabt hätte (siehe Anhang 2.5). Auf Basis des sogenannten *TEL80* können die Schallemissionen verschiedener Züge miteinander verglichen werden.

Der **Maximalpegel** gibt den größten Pegelwert während einer Zugvorbeifahrt an.

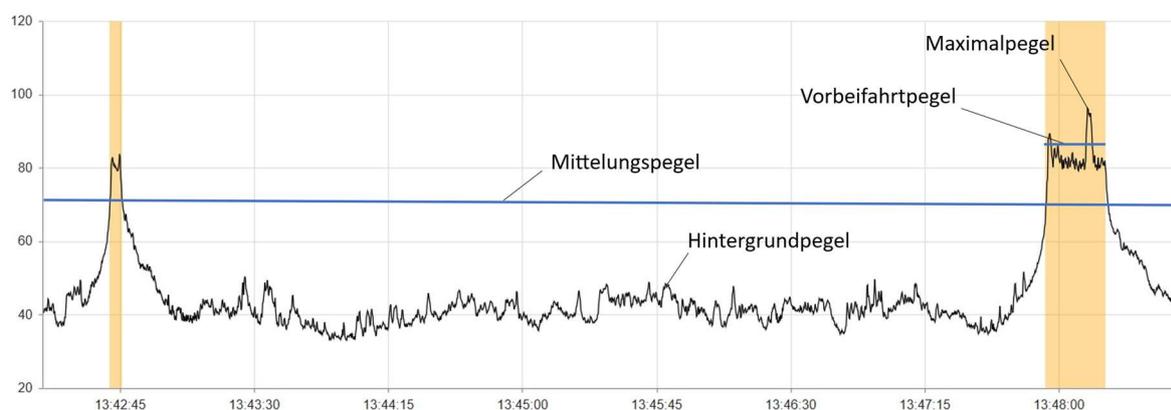


Abbildung 3: Mittelungs-, Vorbeifahrt-, Maximal- und Hintergrundpegel am Beispiel einer Zugvorbeifahrt an der Messstation Rosenheim.

5.3 Gleiszustand

Für die Beschreibung des akustischen Gleiszustands werden zwei Größen gemessen: Die **Rauheit** der Schienenfahrflächen (Schienenrauheit), welche zusammen mit der Rauheit der Räder die Anregung des Rollgeräusches bestimmt, sowie die **Gleisabklingrate**. Letztere beschreibt die Dämpfung von Schwingungen im Gleis und wirkt sich auf die Schallabstrahlung der Schiene/des Gleises aus.

5.4 Rollmaterial

Für die Betrachtung des akustischen Einflusses des Rollmaterials wird der geschwindigkeitsgewichtete Schallereignispegel TEL_{80} verwendet, da dieser den Einfluss von Geschwindigkeit und Zuglänge minimiert und Zugvorbeifahrten untereinander vergleichbar macht. Nicht eliminiert werden kann hingegen der Einfluss des Gleises, so dass dieser bei der Betrachtung der Werte verschiedener Messstationen berücksichtigt werden muss.

Für Güterwagen wird der Begriff **lärmarm** verwendet, wenn deren auf 80 km/h korrigierter und auf den jeweiligen APL (Achsen pro Länge) bezogene Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq, T_p, APL, 80}$ den Wert von 86 dB(A) nicht überschreitet. Für Neuzulassungen von Güterwagen nach TSI Lärm (2014) [1] liegt der bei Abnahmemessungen einzuhaltende Grenzwert bei 83 dB(A) – und wird bei den Abnahmemessungen durch die Verwendung von Verbundstoff-Bremssohlen bzw. Scheibenbremsen eingehalten. Bei Messungen im realen Betrieb können Güterwagen mit Verbundstoffbremssohlen diesen Wert jedoch übersteigen, ohne dabei den Vorgaben der TSI Lärm zu widersprechen, z. B. wenn der akustische Gleiszustand nicht den hohen Vorgaben der Abnahmemessung entspricht. Da mit Grauguss-Bremssohlen ausgestattete Güterwagen grundsätzlich einen Vorbeifahrtpegel von mehr als 86 dB(A) aufweisen, werden Güterwagen mit einem Vorbeifahrtpegel von 86 dB(A) oder kleiner als lärmarm bezeichnet.

6 Messergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Messergebnisse des netzweiten Lärm-Monitorings dargestellt. Für einen ersten Überblick sind in Tabelle 2, Tabelle 3 und Tabelle 4 einzelne Kenngrößen für alle 19 Messstationen zusammen dargestellt. Hierbei bestimmt sich der Beurteilungspegel L_m aus Formel (7) im Anhang: Messgrößen, wobei über alle Schallexpositionspegel summiert und mit der Anzahl eingehender Messstationen gewichtet wurde. Damit hat jede Zugvorbeifahrt den selben Einfluss auf den Mittelungspegel. Stationen mit weniger Zugvorbeifahrten werden somit nicht überrepräsentiert.

Der Mittelungspegel L_m liegt für das Jahr 2023 mit einem Wert von 69,6 dB(A) auf dem Niveau des Vorjahres. Dies liegt 3,5 dB(A) unter dem Wert aus dem Jahr 2019.

Insgesamt sind an den Messstationen im Jahr 2023 etwas weniger Züge verkehrt als noch im Vorjahr. Auch die mittlere Anzahl von Achsen pro Zug und die mittlere Zuglänge gingen leicht zurück. Die mittlere Geschwindigkeit der gemessenen Zugvorbeifahrten hat sich nicht signifikant geändert.

Jahr	Zug-kategorie	L_m [dB(A)]	Züge pro Tag	mittl. Achsen pro Zug	mittl. Zuglänge [m]	mittl. Geschw. [km/h]
2019	Alle	73,1	3490	60	317	109
2020	Alle	71,0	3575	59	317	110
2021	Alle	69,6	3786	61	321	109
2022	Alle	69,6	3996	61	324	111
2023	Alle	69,6	3786	59	315	111

Tabelle 2: Tagesmittelwerte des Mittelungspegels L_m , Zugzahlen, mittlerer Achszahlen, Zuglängen und Zuggeschwindigkeiten als Mittel über alle Zugkategorien und alle 19 Messstationen.

In Tabelle 3 sind die gleichen Kenngrößen spezifisch für alle Güterzüge dargestellt. Die durch die Güterzugvorbeifahrten verursachten Mittelungspegel sanken, trotz einer geringen Zunahme der Güterzugzahlen um 2 Prozent von 2019 bis 2023, um 4,5 dB(A).

Jahr	Zug-kategorie	L_m [dB(A)]	Züge pro Tag	mittl. Achsen pro Zug	mittl. Zuglänge [m]	mittl. Geschw. [km/h]
2019	GZ	72,6	1561	101	494	89
2020	GZ	70,2	1584	102	504	90
2021	GZ	68,5	1750	103	505	90
2022	GZ	68,4	1748	106	518	90
2023	GZ	68,1	1593	105	511	89

Tabelle 3: Tagesmittelwerte des Mittelungspegels L_m , Zugzahlen, mittlerer Achszahlen, Zuglängen und Zuggeschwindigkeiten als Mittel über alle Güterzüge und alle 19 Messstationen.

In Tabelle 4 sind die berechneten Kenngrößen für die Personenzüge angegeben. Im Jahr 2023 nahmen die Zugzahlen um mehr als 3 Prozent im Vergleich zum Vorjahr ab, während sie bis dahin zugenommen hatten. Trotzdem ist der durch die Personenzüge verursachte Mittelungspegel im Jahr 2023 um 0,4 dB(A) zum Vorjahr gestiegen. Insgesamt sind die verzeichneten Pegelminderungen des Gesamtsystems (siehe Tabelle 2) über die Jahre auf die Schallminderung im Güterverkehr zurückzuführen.

Jahr	Zug-kategorie	L_m [dB(A)]	Züge pro Tag	mittl. Achsen pro Zug	mittl. Zuglänge [m]	mittl. Geschw. [km/h]
2019	PZ	63,1	1805	27	175	127
2020	PZ	63,0	1881	26	172	128
2021	PZ	63,0	1918	25	168	127
2022	PZ	63,3	2124	26	176	129
2023	PZ	63,7	2062	26	176	129

Tabelle 4: Tagesmittelwerte des L_m , Zugzahlen, mittlerer Achszahlen, Zuglängen und Zuggeschwindigkeiten als Mittel über alle Personenzüge und alle 19 Messstationen.

Angaben zu den Kennzahlen an den einzelnen Stationen finden sich in Kapitel 6.1 und Kapitel 6.2. Die Messergebnisse zu den akustischen Gleiseigenschaften sowie zum Rollmaterial sind in Kapitel 6.3 und Kapitel 6.4 bzw. Anhang 5 dargestellt.

6.1 Schallemissionen an den Messstandorten

In Abbildung 4 ist der Mittelungspegel L_m bezogen auf einen Zeitraum von 24 Stunden für alle Messstandorte für die Jahre 2019 bis 2022 (hellblau) und 2023 (blau) graphisch dargestellt (für weitere Kennzahlen hierzu siehe Anhang 4). Die Werte repräsentieren die Schallemission eines gesamten Jahres. Wie alle akustischen Kenngrößen dieses Berichts wurde der Mittelungspegel in einem Abstand von 7,5 Meter zur Gleismitte bestimmt.

Standorte mit hohem Verkehrsaufkommen weisen meist höhere Mittelungspegel auf als solche mit weniger Verkehr. Ausschlaggebend für den Mittelungspegel sind aber noch weitere Faktoren. Die Art des Rollmaterials (Personen- bzw. Güterzüge) und dessen Zustand haben oft den größten Einfluss auf den Mittelungspegel. Zusätzlich spielen die Fahrgeschwindigkeit und auch der Zustand des Gleises eine Rolle.

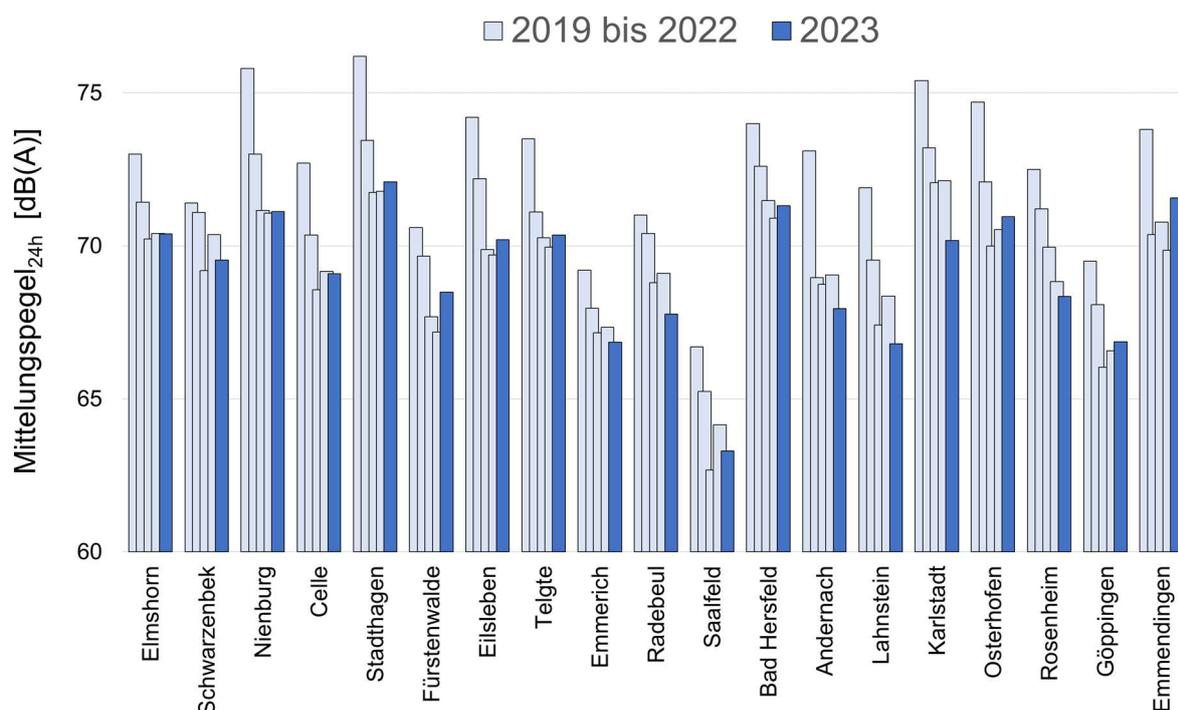


Abbildung 4: Mittelungspegel $L_{m, 24h}$ an allen Messstationen im Vergleich der Jahre 2019 bis 2022 (hellblau) und 2023 (blau)

Im Jahr 2023 lagen die Mittelungspegel zwischen 63,3 dB(A) und 72,1 dB(A). Im Vergleich zum Jahr 2019¹ sind die Schallemissionen aus dem Schienenverkehr an

¹ Die Messstationen sind zwischen April und November 2019 in Betrieb genommen worden. Je nach Inbetriebnahmedatum bilden die Mittelungspegel für das Jahr 2019 somit lediglich einen Zeitraum aus der zweiten Hälfte oder gegen Ende des Jahres 2019 ab.

allen Messstandorten zurückgegangen. Insbesondere an Messstationen mit höheren Mittelungspegeln ist ein deutlicher Rückgang der Werte zu verzeichnen. Dies ist im Wesentlichen auf die Umrüstung der Güterwagen auf rollgeräuschminimierende Verbundstoffbremssohlen zurückzuführen (vgl. Kapitel 5.4).

Seit dem Jahr 2021 ist die Umrüstung der Güterwagen abgeschlossen. Vergleicht man die für das Jahr 2023 ermittelten Mittelungspegel mit dem Vorjahr, ist kein stationsübergreifender Trend zu erkennen. Vielmehr entwickeln sich die Schallemissionen an den Messstationen individuell aufgrund individueller Veränderungen an pegelbeeinflussenden Größen wie Anzahl der Zugvorbeifahrten, Gleiseigenschaften, Vorbeifahrtgeschwindigkeiten, Rollmaterial etc.

Der Anteil des Güterverkehrs an der Gesamtemission ist entsprechend rückläufig und lag im Jahr 2023 bei 71 Prozent, 19 Prozentpunkte niedriger als noch 2019. Dessen ungeachtet bleiben Güterzüge die dominante Geräuschquelle im Schienenverkehr, wie Abbildung 5 entnommen werden kann. Hier ist der oben bereits dargestellte gesamte Mittelungspegel $L_{m, 24h}$ (blau) mit den Mittelungspegeln $L_{m, GZ}$ (gelb) bzw. $L_{m, PZ}$ (grün) dargestellt, die sich ergeben, wenn ausschließlich Personen- bzw. Güterzugvorbeifahrten berücksichtigt werden. Herauszuheben ist die Messstation Elmshorn, an der wie in den Vorjahren die Personenzüge den dominierenden Anteil an der Gesamtemission verursachten. An dieser Messstation ist der Anteil an Güterzügen gering im Vergleich zu Personenzügen.

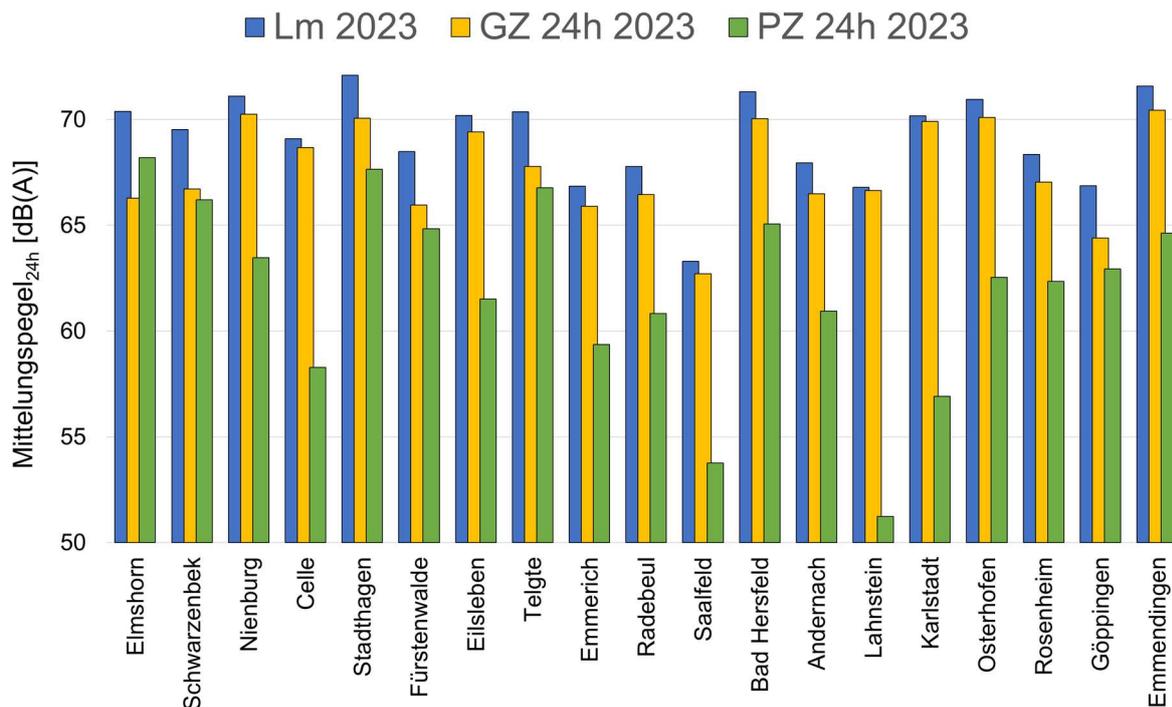


Abbildung 5: Gesamter Mittelungspegel für das Jahr 2023 $L_{m, 24h}$ (blau) pro Messstation zusammen mit den von Güter- und Personenzügen verursachten Mittelungspegeln $L_{m, GZ}$ (gelb) bzw. $L_{m, PZ}$ (grün).

In den vier nachfolgenden Abbildungen Abbildung 6 bis Abbildung 9 sind die Mittelungspegel der Jahre 2019 bis 2023 an den 19 Messstationen jeweils getrennt nach Zeitraum Tag (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) sowie Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) und Zugkategorie (Personen- bzw. Güterzug) graphisch miteinander verglichen. Zusätzlich werden die Zuganzahl, Achszahl, mittlere Zuglänge und Geschwindigkeit für alle Zugfahrten dargestellt.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die Mittelungspegel der Personenzüge für Tag- und Nachtzeitraum im Vergleich zu den Pegeln der Vorjahre leicht steigend sind. Veränderungen sind oft anhand der dargestellten Parameter zu erklären. Steigt z. B. die Anzahl der Züge, so steigt der Pegel, während eine niedrigere Geschwindigkeit zu kleineren Pegeln führt. Auch die akustischen Gleisparameter sowie das Rollmaterial (siehe Abschnitt 6.4) haben einen Einfluss auf die Pegel.

Die Mittelungspegel der Güterzüge haben hingegen bis zum Jahr 2023 in der Fläche abgenommen. Dies kann auf das leisere Rollmaterial der umgerüsteten Güterwagen zurückgeführt werden. Für das Jahr 2023 lässt sich jedoch im Vergleich zum Vorjahr kein stationsübergreifender Trend mehr feststellen, stattdessen lassen sich Änderungen am Mittelungspegel oft wie bei dem durch die Personenzüge

verursachten Mittelungspegel auf Änderungen an den dargestellten Messgrößen erklären.

Auf die Änderungen an den einzelnen Messstationen wird im folgenden Kapitel 6.2 genauer eingegangen.

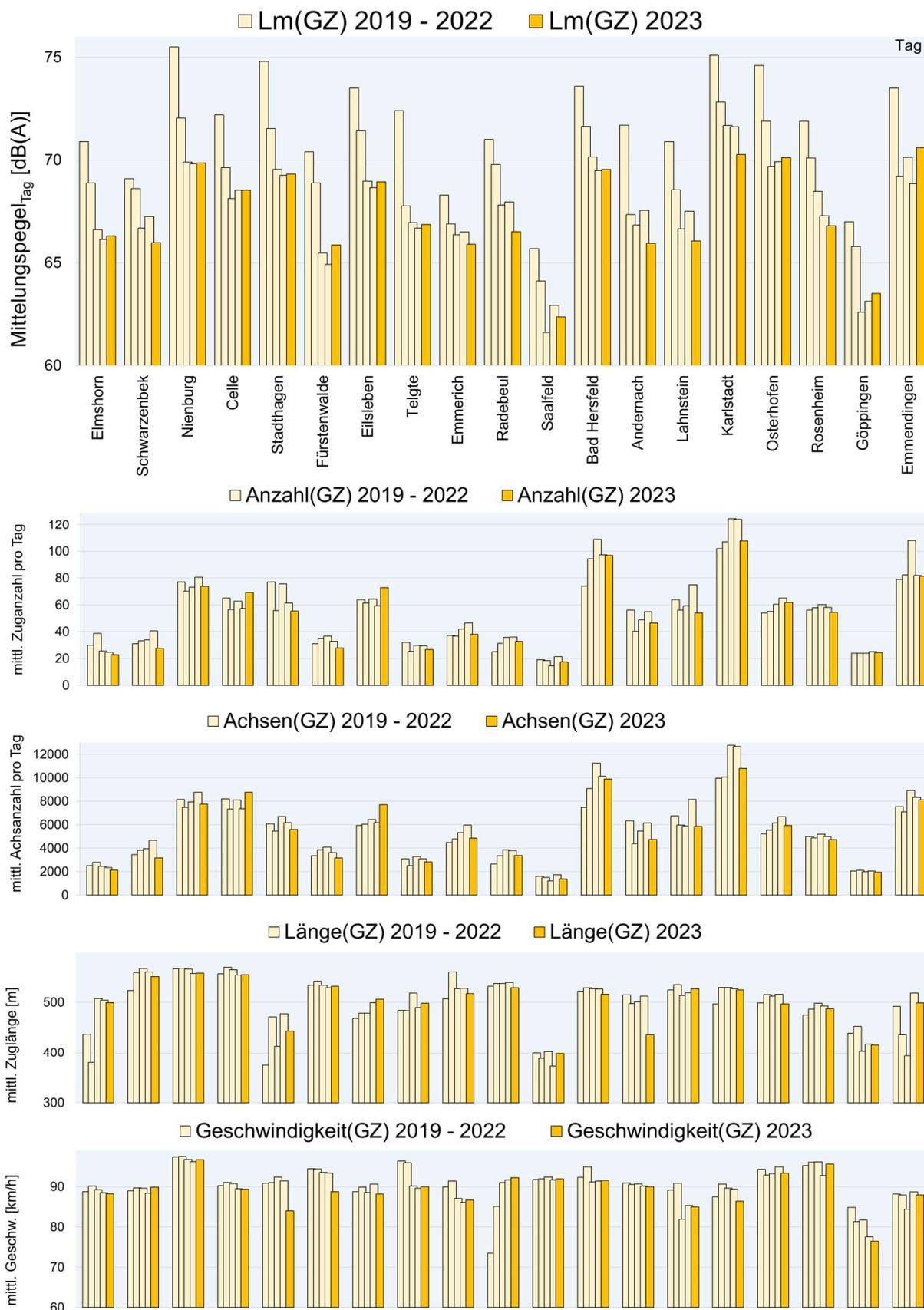


Abbildung 6: Mittelungspegel, Zugangzahl, Achszahl, Zuglänge und Geschwindigkeit für den Zeitraum Tag (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) für Güterzüge. Unterteilt für das Jahr 2021 bis 2022 (hellgelb) und 2023 (gelb).

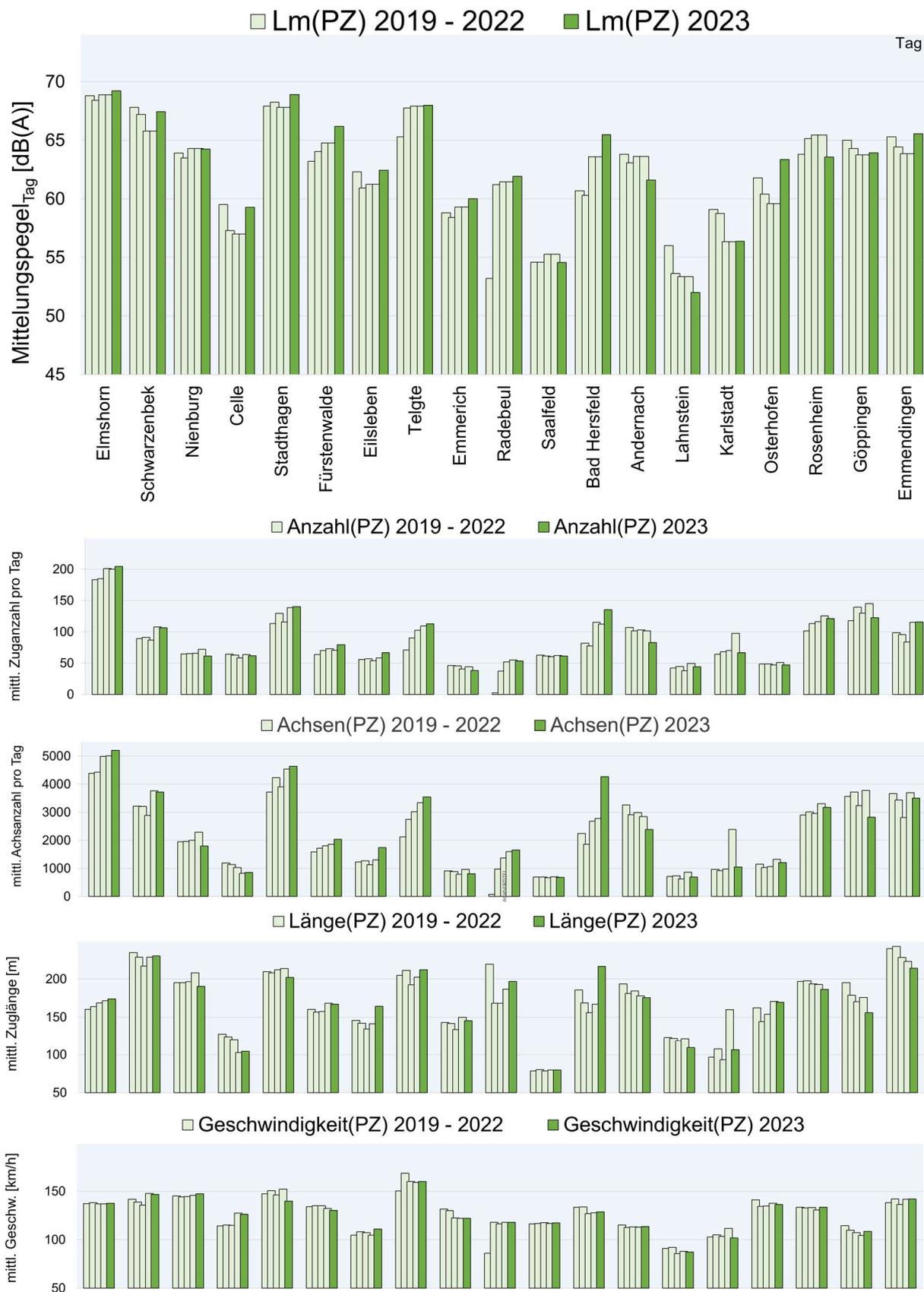


Abbildung 7: Mittelungspegel, Zuganzahl, Achszahl, Zuglänge und Geschwindigkeit für den Zeitraum Tag (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) für Personenzüge. Unterteilt für das Jahr 2021 bis 2022 (hellgrün) und 2023 (grün).

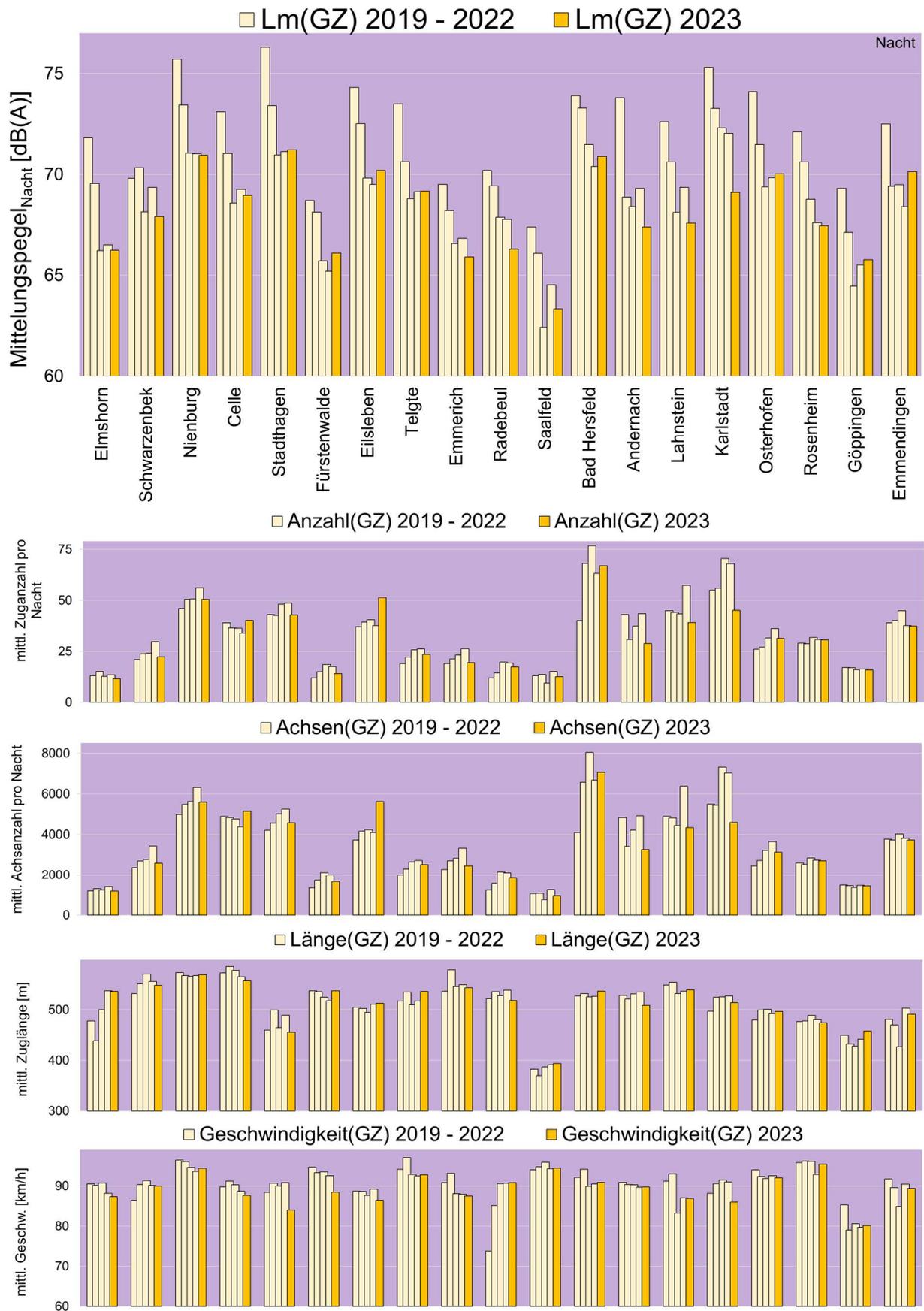


Abbildung 8: Mittelungspegel, Zuganzahl, Achszahl, Zuglänge und Geschwindigkeit für den Zeitraum Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) für Güterzüge. Unterteilt für das Jahr 2021 bis 2022 (hellgelb) und 2023 (gelb).

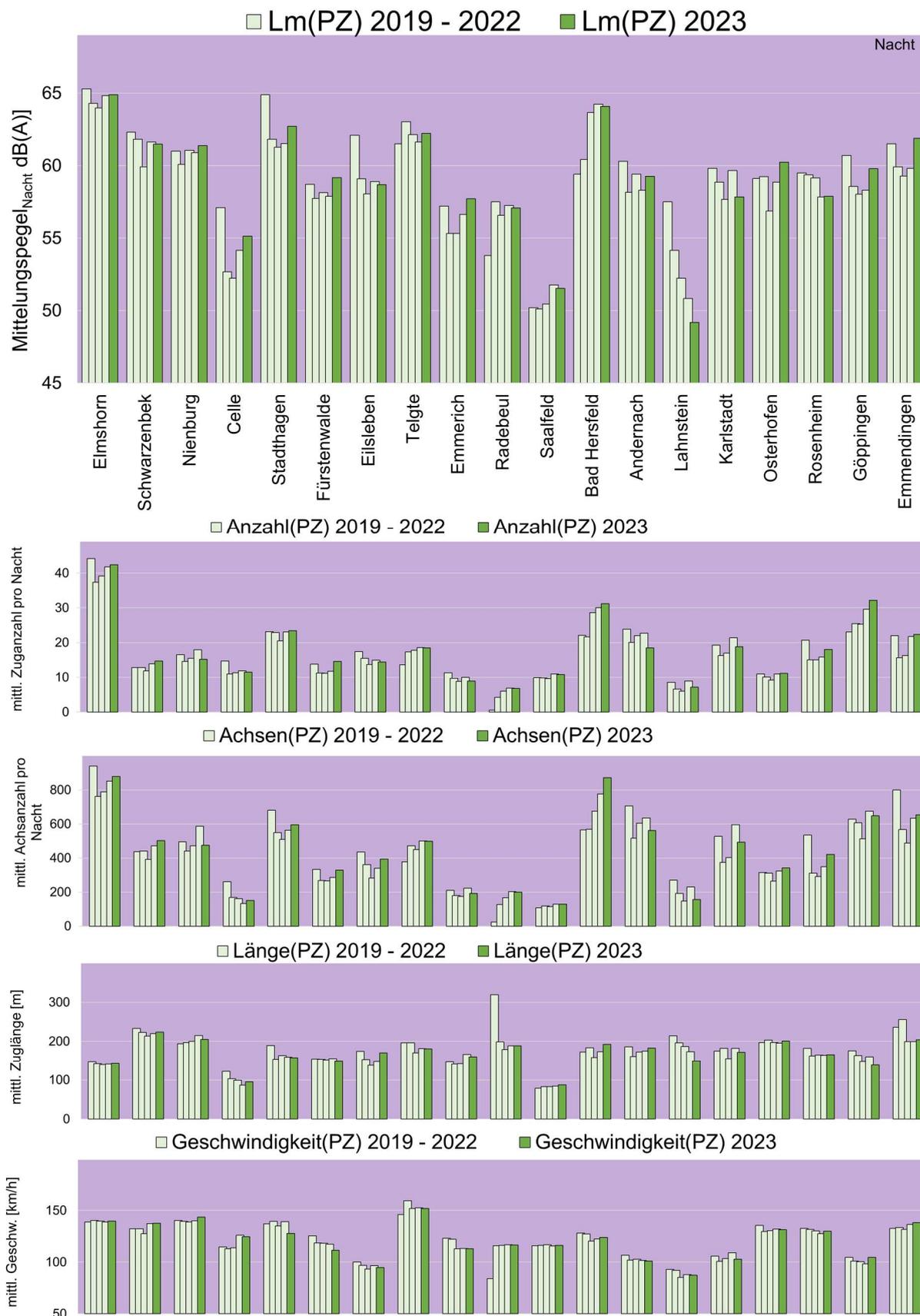


Abbildung 9: Mittelungspegel, Zuganzahl, Achszahl, Zuglänge und Geschwindigkeit für den Zeitraum Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) für Personenzüge. Unterteilt für das Jahr 2021 bis 2022 (hellgrün) und 2023 (grün).

6.2 Kurzbeschreibung der Messstandorte

An den einzelnen Messstandorten stellt sich die Situation wie folgt dar:

ELMSHORN

An der Lärm-Monitoringstation Elmshorn hat sich der gemessene Mittelungspegel für das Jahr 2023 im Vergleich zu 2022 nicht verändert. Der Verkehr hat sich in Anzahl und Zusammensetzung nicht wesentlich verändert. Weiterhin haben die Personenzüge mit über 88 Prozent den größten Anteil am Gesamtverkehr. Dies ist im Vergleich zu den anderen Lärm-Monitoringstationen bundesweit der höchste Anteil von Personenzügen am Gesamtverkehr. An der Messstation wurden im Jahresmittel über 65 Prozent der verkehrenden Güterwagen als lärmarm identifiziert. Dies liegt weiterhin unter dem bundesweiten Mittel von 86 Prozent. Der Anteil lärmarmen Güterwagen verminderte sich im Vergleich zum Vorjahr um etwa 6 Prozentpunkte. Durch den hohen Anteil an Personenzügen bestimmte 2023 wie bereits im Vorjahr der Vorbeifahrtpegel der Personenzüge den Gesamtpegel. Da sich die betrieblichen Parameter des Personenverkehrs nicht geändert haben, liegt der Mittelungspegel 2023 vergleichbar zu dem Mittelungspegel von 2022. Den Mittelungspegel bezogen auf den Nachtzeitraum (22–6 Uhr) dominiert auch hier der Güterverkehr. Die Messstation Elmshorn war vom 04.10.2023 bis zum 03.11.2023 ohne Strom. In der Ermittlung der Mittelwerte wurde dieser Ausfallszeitraum berücksichtigt.

SCHWARZENBEK

Im Tagesdurchschnitt wurden 175 Züge (davon 50 Güterzüge) erfasst. Dies ist ein leichter Rückgang von 21 Zügen (20 Güterzüge) im Vergleich zu 2022. Die Abnahme der Mittelungspegel um 1 dB(A) lässt sich auf die geringe Zahl an erfassten Zugvorbeifahrten und die geringere Schienenrauheit zurückführen. Der Pegelrückgang wirkt sich stärker auf den Nachtpegel aus, weil dieser vom Güterverkehr dominiert wird, der um ca. 30 Prozent gegenüber dem Vorjahr zurück ging. Der Anteil von als lärmarm gemessenen Güterwagen hat sich im Vergleich zum Jahr 2022 um ca. 1 Prozentpunkte erhöht.

NIENBURG

An der Lärm-Monitoringstation Nienburg nahm die Anzahl der Zugvorbeifahrten um ca. 12 Prozent im Vergleich zu 2022 ab. Gleichzeitig hat sich der Mittelungspegel zum Vorjahr nicht verändert. Der Anteil lärmarmen Güterwagen sank im Vergleich

zum Vorjahr um 1,5 Prozentpunkte auf ein Jahresmittel von über 87 Prozent lärmarmen Güterwagen und liegt somit über dem bundesweiten Durchschnitt. Die Zuglänge und Geschwindigkeit haben sich nicht wesentlich verändert. Das der Mittelungspegel trotz sinkender Zugzahlen nicht zurück geht ist insbesondere den erhöhten Vorbeifahrtpegeln auf Gleis 2 zuzuschreiben. Zum Zeitpunkt der Gleismessungen hatte sich der Mittelungspegel beider Gleise normalisiert.

CELLE

Der an der Lärm-Monitoringstation Celle gemessene Mittelungspegel für das Jahr 2023 ist gegenüber dem Wert aus 2022 unverändert. Es verkehrten knapp 20 Prozent mehr Güterwagenachsen als im Jahr 2022. Vergleicht man den Anteil lärmarmen Güterwagen aus dem Jahr 2023 mit dem Jahr 2022, so wurden etwa 3,5 Prozentpunkte mehr Güterwagen als lärmarm gemessen. Mit der Zunahme liegt der Anteil lärmarmen Güterwagen mit 92,3 Prozent weiterhin über den bundesweiten Durchschnitt und weist den zweithöchsten Wert aller Stationen auf.

STADTHAGEN

An der Messstation Stadthagen nahm der Güterverkehr um 12 Prozent zum Vorjahr ab. Trotz der Abnahme an Zugvorbeifahrten vor allem von Güterzügen, nahm der Mittelungspegel im Vergleich zu 2022 um etwa 0,3 dB(A) zu. Dies kann in der Zunahme der Schienenrauheit begründet liegen. Der Anteil lärmarmen Güterwagen ging im Jahr 2023 mit über 10 Prozentpunkte deutlich zurück. An der Messstation wurden 71 Prozent der Güterwagenvorbeifahrten als lärmarm erkannt. Dies kann darin begründet sein, dass sich die Vorbeifahrtpegel einiger Güterwagen durch die erhöhte Schienenrauheit knapp über den Grenzwert von 86 dB(A) bewegt haben.

FÜRSTENWALDE

Im Vergleich zum Vorjahr nahm der Mittelungspegel um 1,3 dB(A) auf 68,5 dB (A) zu. Dies lässt sich durch die deutliche Zunahme der Schienenrauheit begründen. Der Mittelungspegel liegt weiterhin unter dem deutschlandweiten Mittel von 69,1 dB(A). Im Jahr 2023 wurde der dritthöchste Rückgang des Anteils der als lärmarm gemessenen Güterwagen gemessen. Dieser lag im Jahr 2023 bei 85 Prozent und liegt weiterhin über dem deutschlandweiten Mittel. Es verkehrten etwa 10 Prozent weniger Güterachsen die Messstation als noch im Jahr 2022. Die Messstation Fürstenwalde war zwischen dem 04.10.2023 und dem 19.10.2023 außer Betrieb. Der Ausfall wurde in den Auswertungen berücksichtigt.

EILSLEBEN

An der Messstation Eilsleben erhöhte sich der Mittelungspegel im Vergleich zu 2022 um 0,5 dB(A). Dies liegt u. a. an der Zunahme der Zugvorbeifahrten von 21,5 Prozentpunkten sowie an dem Anteil an Güterzugvorbeifahrten von etwa 28 Prozentpunkten. Trotz der deutlichen Zunahme der Zugfrequentierung erhöhte sich der Mittelungspegel im gleichen Zeitraum nur minimal. Der Anteil lärmarmen Güterwagen liegt in Eilsleben bei 88 Prozent, dies entspricht einer Zunahme von über 3 Prozentpunkten zum Vorjahr. Der Mittelungspegel wird deutlich vom Güterverkehr dominiert.

TELGTE

Die Lärm-Monitoringstation Telgte verzeichnete im Jahr 2023 eine Erhöhung der Schallemissionen (Mittelungspegel) um 0,4 dB(A) im Vergleich zu 2022. Der Anteil der als lärmarm gemessenen Güterwagen fiel um etwa 2 Prozentpunkten auf 75 Prozent. Gleichzeitig blieb Anzahl und Länge der Züge im Vergleich zu 2022 etwa gleich.

EMMERICH

Aufgrund von Bauarbeiten auf der Strecke 2270 war die Strecke bei Emmerich im Jahr 2023 mehrfach gesperrt. Dies führte zu einer verminderten Anzahl von Zugvorbeifahrten. Im Schnitt nahm der Zugverkehr um 20 Prozentpunkte ab. Im gleichen Zeitraum nahm der Mittelungspegel um etwa 0,5 dB(A) zu. Der als lärmarm zu klassifizierende Anteil der Güterwagen nahm im Jahr 2023 um knapp 1,5 Prozent gegenüber 2022 ab. Der Anteil lärmarmen Güterwagen lag 2023 bei 91,8 Prozent und somit über dem bundesweiten Durchschnitt von 84,1 Prozent.

RADEBEUL

An der Station in Radebeul haben sich die Daten der Güterzugvorbeifahrt zu 2022 insgesamt nicht verändert. Im gleichen Zeitraum nahm der Pegel um ca. 1,5 Prozentpunkte ab. Dies ist auf die deutliche Zunahme an lärmarmen Güterwagen um 11,3 Prozentpunkt zurückzuführen. Dies ist die stärkste Erhöhung des Anteils lärmarmen Güterwagen im Jahr 2023.

SAALFELD

Der Mittelungspegel minderte sich im Vergleich zum Vorjahr um 1,0 dB(A) auf etwa 63 dB(A), bleibt jedoch im Vergleich zu den anderen Messstationen der niedrigste

Pegel. Die Minderung lässt sich durch den Rückgang an Zugvorbeifahrten sowie kürzere Züge begründen. Der im Vergleich zu anderen Messstationen niedrige Mittelungspegel ist auf die geringe Achszahl respektive kurze Zuglängen und niedrige Zugzahlen insgesamt zurückzuführen. In dem gleichen Zeitraum konnte eine minimale Erhöhung der Anzahl lauter Güterwagen festgestellt werden, so dass lediglich etwa 0,5 Prozentpunkte mehr lärmarme Güterwagen die Messstation in Saalfeld passiert haben.

BAD HERSFELD

Die Lärm-Monitoringstation Bad Hersfeld weist 2023 die höchste Zugfrequentierung aller Stationen auf. Die Anzahl an Zugvorbeifahrten (vornehmlich Personenverkehr) erhöhte sich gegenüber dem Vorjahr um etwa 9 Prozent. Durch die Zunahme der Zugfrequentierung nahm der Mittelungspegel zu 2022 um 0,4 dB(A) auf 71,3 dB(A) zu. Weiterhin liegt die Messstation mit fast 90 Prozent lärmarmen Güterwagen deutlich über den deutschlandweiten Mittel von 84 Prozent. Es verkehrten dreimal mehr Güterachsen die Messstation als Achsen für Personenzüge registriert wurden.

ANDERNACH

Der Anteil lärmarmen Güterwagen erhöhte sich im Vergleich zum Vorjahr um etwa 1 Prozentpunkt auf über 92 Prozent und weist den dritthöchsten Wert auf. Aufgrund von verschiedenen Baumaßnahmen über das Jahr verteilt, reduzierten sich die Zugvorbeifahrten um etwa 20 Prozentpunkte. Etwas deutlicher war hierbei der Rückgang der Güterzugvorbeifahrten um fast 25 Prozentpunkte. Dies wirkte sich auf den Mittelungspegel aus. Welcher sich im gleichen Zeitraum um über 1 dB(A) auf 68 dB(A) gemindert hat.

LAHNSTEIN

An der Messstation Lahnstein ist der Mittelungspegel für das Jahr 2023 im Vergleich zu 2022 um 1,6 dB(A) auf 66,8 dB(A) zurückgegangen. Dies liegt in der Abnahme der Zugfrequentierung begründet. Im Jahr 2023 nahm der Güterzugverkehr um ca. 30 Prozent und der Personenverkehr um etwa 14 Prozent ab. Im Vergleich zum letzten Jahr konnte keine Veränderung an lärmarmen Güterwagen festgestellt werden. Mit 92,8 Prozent wurde der höchste Wert aller Messstationen erreicht.

KARLSTADT

An der Lärm-Monitoringstation Karlstadt wurden im Jahr 2023 neue Lärmschutzwände errichtet. Dies hatte zur Folge, dass die Station zum Ende des Jahres ausgebaut wurde und etwa 20 Meter weiter südlich neu errichtet wurde. Die Messstation war vom 26.10.2023 bis zum 20.12.2023 ausgebaut. In der Bildung der Mittelwerte ist dieser Ausbauperioden berücksichtigt. Die Zugvorbeifahrten (vornehmlich Güterverkehr) nahmen gegenüber dem Vorjahr um fast ein Viertel ab. Dies brachte eine Reduzierung des Mittelungspegels von über 2 dB(A) mit sich. Der Anteil lärmarmen Güterwagen stieg um 2 Prozentpunkte auf 88 Prozent. Dies liegt weiterhin über dem bundesweiten Mittel von 84,1 Prozent.

OSTERHOFEN

Der Mittelungspegel liegt an der Messstation Osterhofen bei etwa 71 dB(A) und nahm im Vergleich zu 2022 um 0,5 dB(A) zu. Der Anteil gemessener lärmarmen Güterwagen liegt mit etwa 79 Prozent unter dem bundesweiten Mittel und hat zum Jahr 2022 um 4,1 Prozentpunkte abgenommen.

ROSENHEIM

An der Lärm-Monitoringstation Rosenheim lag der durch den Güterverkehr dominierte Mittelungspegel im Jahr 2023 bei knappüber 68 dB(A). Dies ist 0,5 dB(A) weniger als im Jahr 2022. Die Minderung des Mittelungspegels kann auf die Emissionen der Güterwagen zurückgeführt werden. Der Anteil lärmarmen Güterwagen lag bei etwa 89,5 Prozent, im Vergleich zu 2022 konnte der Anteil lärmarmen Güterwagen um 0,5 Prozentpunkte gesteigert werden. Auch der etwas bessere akustische Gleiszustand kann die Abnahme des Mittelungspegels begünstigt haben. Nach einem Brandschaden verursacht durch einen Böschungsbrand war die Messstation Rosenheim vom 16.06.2023 bis zum 24.07.2023 außer Betrieb.

GÖPPINGEN

Mit einem Mittelungspegel von 66,9 dB(A) wurde einer der niedrigsten Mittelungspegel an allen Stationen gemessen. Lediglich die Station in Saalfeld und Lahnstein hatten einen niedrigeren Mittelungspegel für 2023. Im Vergleich zu 2022 nahmen vor allem die Personenzugvorbeifahrten mit über 10 Prozent ab. Im gleichen Zeitraum wurden 74,6 Prozent (minus 4,3 Prozentpunkte) der verkehrenden Güterwagen als lärmarm gemessen. Neben Elmshorn passiert die

Station in Göppingen der höchste Anteil an Personenzüge, so dass dieser einen leichten Einfluss auf den Mittelungspegel hat.

EMMENDINGEN

An der Messstation in Emmendingen wurde die höchste Zunahme des Mittelungspegels von etwa 1,5 dB(A) zum Vorjahr gemessen. Dies kann durch einen etwas schlechteren akustischen Gleiszustand verursacht sein. Im Rahmen einer Gleiswartung waren in der ersten Jahreshälfte kürzere Schienenstücke nahe der Messstation eingesetzt worden, was sich insbesondere für Gleis 2 negativ auf die Schallmessung auswirkte. Zum Zeitpunkt der Gleismessungen im Oktober waren noch Schadstellen in der Lauffläche erkennbar aber bereits eingefahren. Mit der Erhöhung liegt der Mittelungspegel mit 2,5 dB(A) über dem bundesweiten Durchschnitt von 69,1 dB(A). Im Vergleich zu 2022 blieben die Zugvorbeifahrten beim gleichen Niveau von täglich 265 Zügen (119 Güterzüge). Mit 12 Prozentpunkte nahm der Anteil an lärmarmen Güterwagen am höchsten ab und liegt mit etwa 77 Prozent unter dem bundesweiten Mittel. Dies kann u. a. darin begründet sein, dass sich die Vorbeifahrtpegel einiger Güterwagen durch den verschlechterten Schienenzustand über den Grenzwert von 86 dB(A) bewegt haben.

6.3 Akustische Eigenschaften der Gleise

6.3.1 Schienenrauheit

Die akustische Schienenrauheit ist eine wichtige Einflussgröße in Bezug auf das Rollgeräusch von Zugvorbeifahrten. In Kombination mit der Radrauheit werden die Schiene und das Rad zu Schwingungen angeregt, wodurch diese Komponenten Luftschall abstrahlen. Je höher die Summenrauheit aus Schienen- und Radrauheit, desto höher ist der abgestrahlte Luftschall bei gleichbleibenden Randbedingungen.

Es wurden die Schienenrauheiten in dB, re 1 µm entsprechend EN 15610:2019 [3] erfasst. Die Ergebnisse sind als Terzpegelspektren in Abhängigkeit der Wellenlänge in Anhang 5 dargestellt. Zur Verdichtung der Daten wurde jeweils der energetische Mittelwert über alle Messspuren beider Schienen separat für jedes Gleis und jeden Messquerschnitt bestimmt. Informativ enthält jedes Ergebnisdiagramm das Grenzspektrum für Referenzgleisabschnitte nach EN ISO 3095 [4].

Für eine bessere Übersicht und Vergleichbarkeit sind die Rauheits-Einzelwerte L_{CA} in dB für die Bezugs-Geschwindigkeit 80 km/h angegeben. Die Bestimmung der Rauheits-Einzelwerte erfolgte entsprechend „*Deliverable 12 part 1 of the*

HARMONOISE project“ [5]. Je kleiner der Rauheits-Einzahlwert, desto kleiner ist die akustische Rauheit der Schienenoberfläche. Die Unterschiede der Rauheitseinzahlwerte können als Anhaltswerte für die Änderung der Rollgeräuschemission bei verschiedenen Schienenrauheiten und gleichbleibenden sonstigen Bedingungen herangezogen werden. Nicht berücksichtigt ist dabei die Radrauheit. Bei glatten Schienen bzw. niedrigen Schienenrauheiten wird die Summenrauheit in der Regel von der Radrauheit dominiert.

In HARMONOISE wird für den Rauheits-Einzahlwert für eine Bezugsgeschwindigkeit von 120 km/h eine Einteilung in etwa wie folgt vorgenommen (für 80 km/h ist diese Klassifizierung i. d. R. vergleichbar; Grenzwerte können sich dabei aber geringfügig nach unten verschieben).

< 4 dB	glatte Schiene
5 – 7 dB	geschliffene und teils eingefahrene Schiene
7 – 9 dB	mittlere ermittelte Schienenrauheit 2001 – 2005 in den Niederlanden
10 –11 dB	Rauheit vergleichbar mit der eines glatten Rades
14 –17 dB	raue Schiene
18 –20 dB	Rauheit vergleichbar mit der eines rauhen Rades (Grauguss gebremst)
> 25 dB	stark korrodierte Schiene

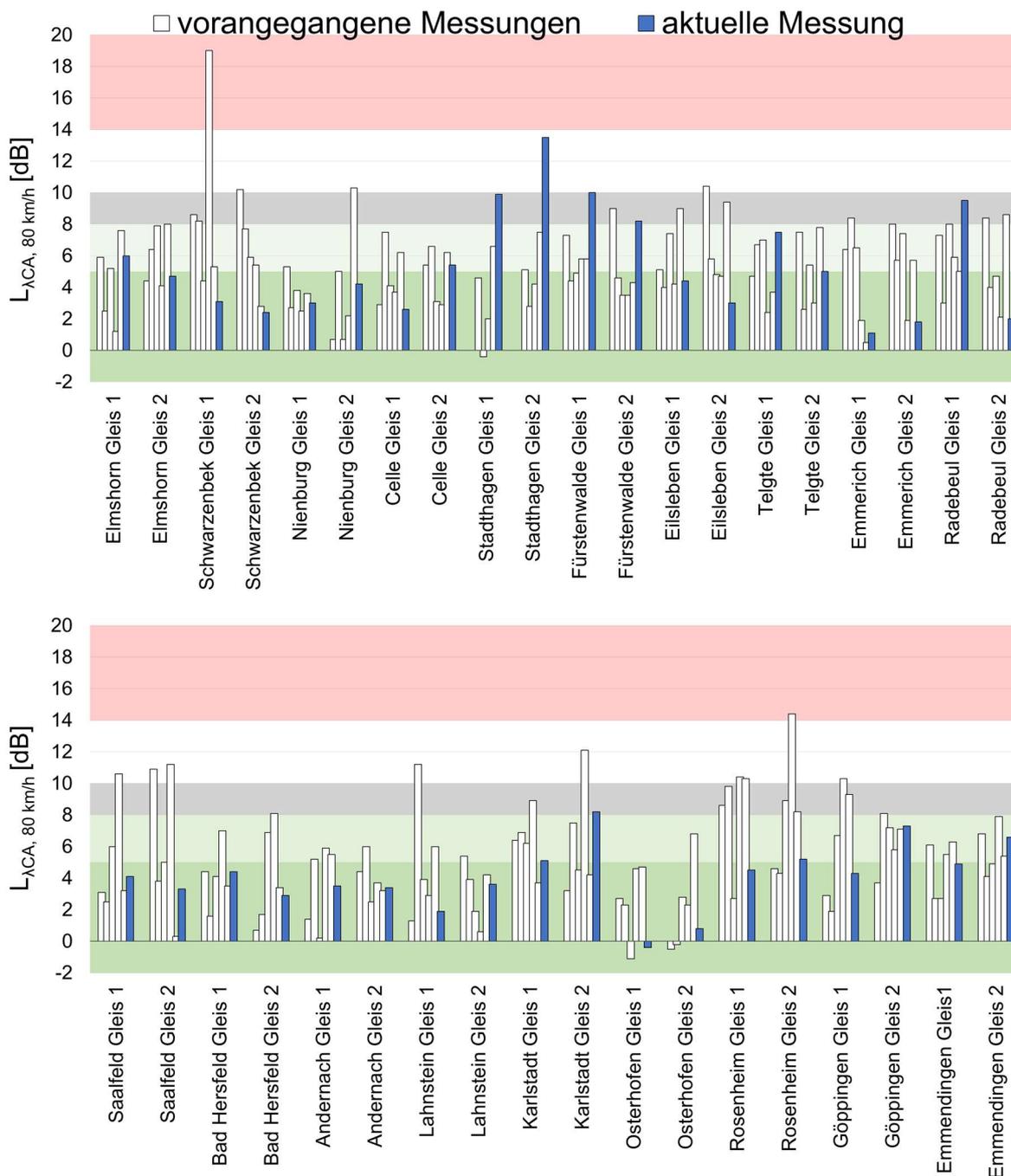


Abbildung 10: Rauheits-Einzahlwerte L_{ACA} in dB für alle Messquerschnitte aller Messstandorte mit der Bezugs-Geschwindigkeit 80 km/h. Die grauen Balken repräsentieren die bisherigen Ergebnisse und die blauen Balken zeigen die Ergebnisse der aktuellen Messung (Messzeitraum August 2023 bis Oktober 2023).

Die Rauheits-Einzahlwerte der jüngsten Messungen variieren signifikant zwischen – 0,4 und 13,5 dB. Da in der Regel die Radrauheit bestimmend für die Schallemission ist, sind die Auswirkungen der Schienenrauheit auf die Schallemission geringer.

Die Schienenrauheit wird einmal jährlich an allen Messorten und Gleisen erfasst und ist für einen begrenzten Zeitraum gültig – nach ISO 3095 wird die Schienenrauheit

für einen Zeitraum von 3 Monaten vor bis zu 3 Monaten nach der Messung als gültig angenommen, sofern keine Wartungsmaßnahmen am Gleis wie Schienenschleifen durchgeführt wurden.

Die Schienenrauheit kann sich mit der Zeit verändern. Durch Radschäden, Bremsen, Verschmutzungen, Kurvenfahrten, Alterung, etc. entstehen Schäden in der Schienenlaufläche. Schienenschleifen entfernt diese Schäden i. d. R., hinterlässt aber je nach Schleifverfahren ein Schleifmuster, was ebenfalls rau ist. Dieses Schleifmuster fährt sich mit der Zeit ab. Der Effekt ist teils auch in Abbildung 10 ursächlich für die großen Unterschiede zwischen den verschiedenen Messungen. An 30 von 38 Gleisen liegt zum Zeitpunkt der Schienenrauheitsmessung eine gute akustische Schienenrauheit mit $L_{ACA} < 7$ vor. An zahlreichen Gleisen erfüllt die Schienenrauheit annähernd oder vollständig die Anforderungen an ein Referenzgleis nach EN ISO 3095.

An Messstellen mit hohen Rauheits-Einzahlwerten erfahren Rad und Schiene i. d. R. stärkere Anregungen. Der Vorbeifahrtpegel kann dadurch erhöht sein. Dies gilt insbesondere für Fahrzeuge mit glatten Radlauflächen, wohingegen für Fahrzeuge mit rauen Radlauflächen der Einfluss der Schienenrauheit geringer ist.

Rauheits-Einzahlwerte für die Bezugs-Geschwindigkeit 120 km/h und detaillierte Darstellungen der Schienenrauheit für alle Messstandorte finden sich in Anhang 5.

6.3.2 Abklingrate

Die Gleisabklingrate ist eine weitere wichtige Einflussgröße in Bezug auf das Rollgeräusch von Zugvorbeifahrten. Die Gleisabklingrate in dB/m stellt die längenbezogene Dämpfung des Gleises dar. Je höher die Abklingrate, desto geringer ist die Schwingungsausbreitung in der Schiene. Damit ist bei höheren Abklingraten auch der von der Schiene abgestrahlte Luftschall geringer.

Anders als die Schienenrauheit beeinflusst die Gleisabklingrate die Schallemission unabhängig von der Rauheit der Radlauflächen.

Es wurden die Gleisabklingraten in dB/m entsprechend EN 15461:2008 [6] bestimmt. Die Abklingraten sind als Terzbandspektren für die vertikale und horizontale Messrichtung für jede Schiene dargestellt. Dabei bezieht sich die Bezeichnung „linke“ bzw. „rechte“ Schiene auf die Fahrtrichtung. Informativ enthält jedes Ergebnisdiagramm das Grenzspektrum für Referenzgleisabschnitte nach EN ISO 3095 [4]. Die Abklingraten für alle Messorte und Gleise sind in Anhang 5

dargestellt. (Hinweis: Einzelne Frequenzbereiche der Graphen sind grau dargestellt, sofern das Ergebnis als nicht vertrauenswürdig einzustufen ist, z. B. aufgrund unzureichender Signalqualität).

Für eine bessere Übersicht und Vergleichbarkeit sind die Einzahlwerte der Auswirkung der Gleisdämpfung auf die der Schallabstrahlung des Gleises in dB (nicht die Gesamtschallabstrahlung) in Bezug zu einem Standardgleis (mit harten Zwischenlagen) angegeben. Die Bestimmung der Einzahlwerte orientiert sich an der Methodik von David Thompson (Single Number Descriptor of Track Decay Rates, A Proposal for SBB, 2012) [7] für den Vergleich der Wirkung von Schienenstegdämpfern. Für das netzweite Lärm-Monitoring wurde die Methodik angepasst um eine Bewertung von Streckengleisen zu ermöglichen. Je niedriger der Wert ist, desto geringer ist die Schallabstrahlung des Gleises. Die Unterschiede der Einzahlwerte können als Anhaltswerte für die Änderung der Schienenemissionen bei verschiedenen Gleisabklingraten und gleichbleibenden sonstigen Bedingungen herangezogen werden. Insbesondere hohe Werte des Einzahlindikators deuten auf eine erhöhte Schallemission hin, wohingegen bei niedrigen Werten die Schallabstrahlung der Räder dominiert und die Auswirkungen des Einzahlindikators gering sind.

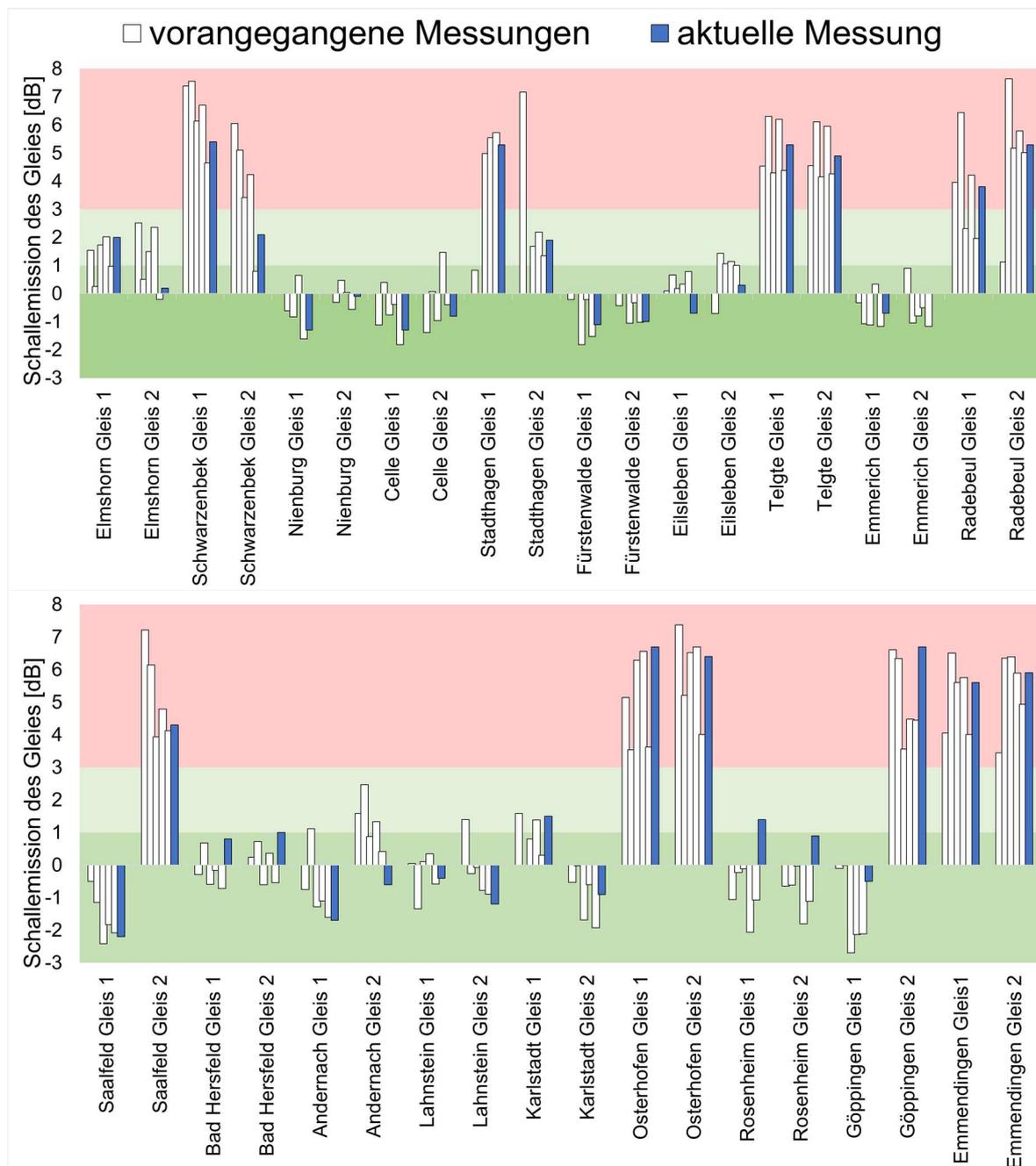


Abbildung 11: Einzahlwerte der Schallemissionen des Gleises für alle Messquerschnitte aller Messstandorte. Die grauen Balken repräsentieren die Ergebnisse der Initialmessung und die blauen Balken zeigen die Ergebnisse der aktuellen Messung

Die Abklingrate ist an den Messstandorten sehr unterschiedlich.

Referenzgleiseigenschaften werden an vielen Standorten zumindest annähernd erreicht. Wie in Abbildung 11 zu erkennen lassen sich die Gleise in zwei Kategorien mit niedrigerer Schallabstrahlung (Einzahlindikator -3 dB bis 2 dB) und höherer Schallabstrahlung (Einzahlindikator > 3 dB) unterteilen. Für letztere ist von einer erhöhten Gesamtschallemission auszugehen. Vermutlich ist dies auf härtere und weichere Zwischenlagen zurückzuführen.

Zur Erklärung: Zwischenlagen befinden sich zwischen Schiene und Betonschwelle. Durch ihre elastischen Eigenschaften helfen sie, die Kraft der Achsen auf die verschiedenen Schwellen zu verteilen und so zu weniger Verschleiß und für mehr Laufruhe der Fahrzeuge zu sorgen.

Im Vergleich zu den Vorjahren haben sich die Abklingraten in der Fläche nicht signifikant verändert.

Detaillierte Darstellungen der Abklingraten für alle Messstandorte finden sich in Abbildung 11 sowie im Anhang 5.

6.4 Akustische Eigenschaften des Rollmaterials

6.4.1 Vorbeifahrtexpositionspegel der Züge

Der *TEL80* gibt den auf 80 km/h normierten Vorbeifahrtexpositionspegel einer Zugvorbeifahrt an. Dieser ist größtenteils unabhängig von der Länge und der Geschwindigkeit eines Zuges. Bei gleichen akustischen Ausbreitungsbedingungen gehen Unterschiede in den Werten auf unterschiedliche Eigenschaften des Rollmaterials und des Gleises (Rauheit und Abklingrate) zurück. Bei Vergleich der akustischen Eigenschaften des Rollmaterials an verschiedenen Standorten über dem *TEL80* ist daher auch der Einfluss der Gleisparameter zu beachten. Die zeitliche Entwicklung des *TEL80* an einem Standort lässt Rückschlüsse auf die Entwicklung des Rollmaterials zu – sofern sich die Gleisparameter nicht geändert haben.

In Abbildung 12 wird die Häufigkeitsverteilung aller im Jahre 2023 gemessenen Vorbeifahrtexpositionspegel für die Bezugsgeschwindigkeit 80 km/h, getrennt nach Güter- und Personenzügen im Vergleich zu den Vorjahren 2019 bis 2022 dargestellt.

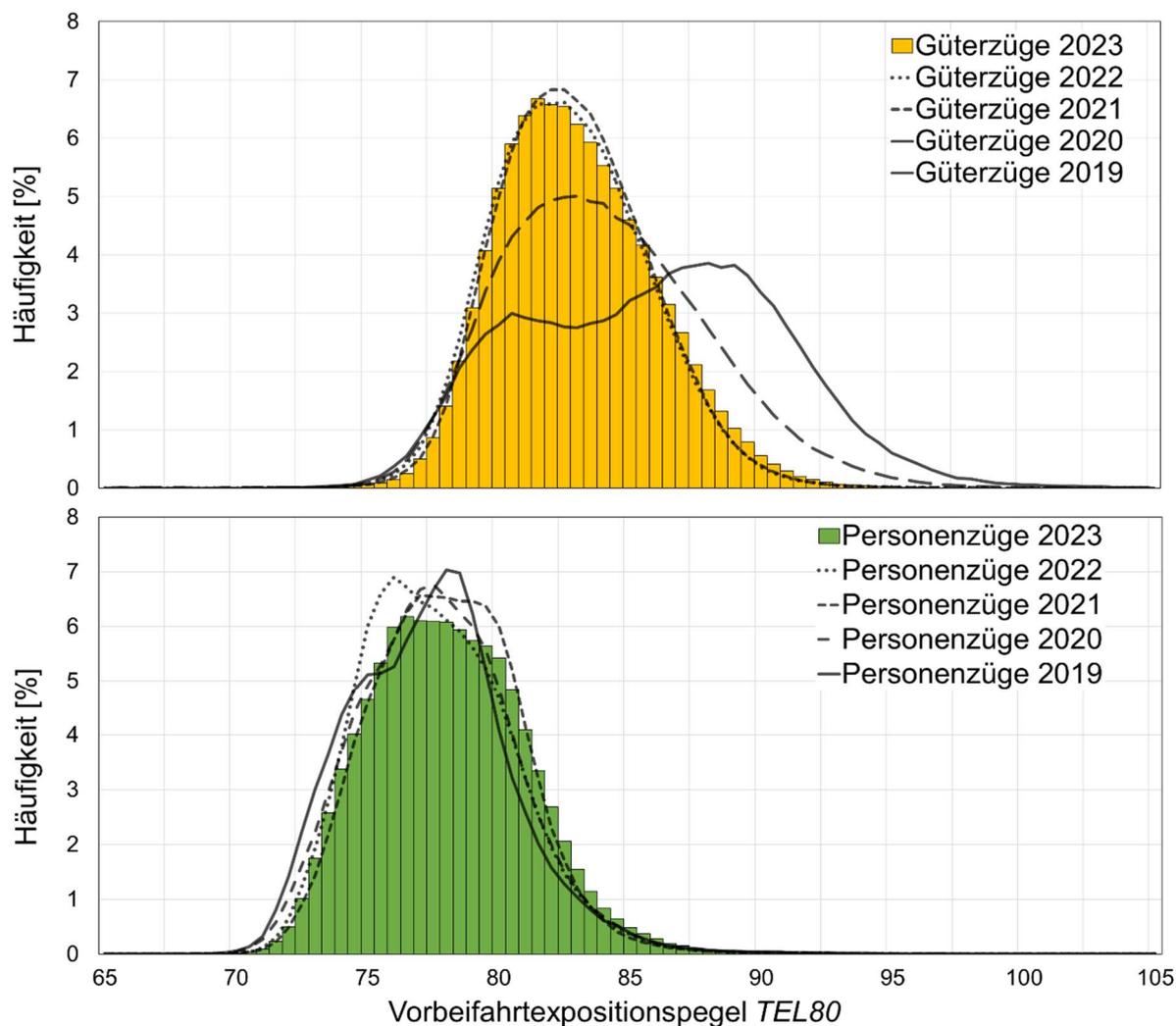


Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung des Vorbeifahrtexpositionspegel für 80 km/h (TEL_{80}). In der oberen Häufigkeitsverteilung werden die Güterzüge aus dem Jahr 2021 bis 2022 (hellgelb) mit dem Jahre 2023 (gelb) verglichen. In der unteren Häufigkeitsverteilung werden die Vorbeifahrtpegel der Personenzüge aus dem Jahr 2021 bis 2022 (hellgrün) und 2023 (grün) gegenüber gestellt.

Insgesamt lässt sich erkennen, dass das Rollmaterial der Personenzüge i. d. R. akustisch besser ist als das der Güterzüge. Das Maximum der Verteilung der Personenzüge ist etwa 4 bis 6 dB(A) niedriger als das Maximum der Verteilung der Güterzüge. Ursachen hierfür können eine bei Personenzügen geringere Radrauheit wie auch akustisch bessere Eigenschaften von Personenzügen sein.

Der Vergleich der Jahre 2021 bis 2023 zeigt für die Güterzugvorbeifahrten, dass sich das Maximum seit der vollständigen Umrüstung mit dem Fahrplanwechsel für 2021 nicht verändert hat. Dies passt zu der Tatsache, dass nach dem Abschluss der Umrüstung der Güterwagen auch keine großen Veränderungen der Verteilung mehr zu erwarten waren. Bei detaillierter Betrachtung fällt auf, dass sich die Verteilungen

für Personen- und Güterzüge für das Jahr 2023 leicht zu höheren Pegel hin verschoben hat.

In Abbildung 13 ist der mittlere längengewichtete TEL_{80} der Güterzüge für jede Station, getrennt für die Jahre 2019 bis 2023 sowie für jeweils beide Gleise dargestellt.

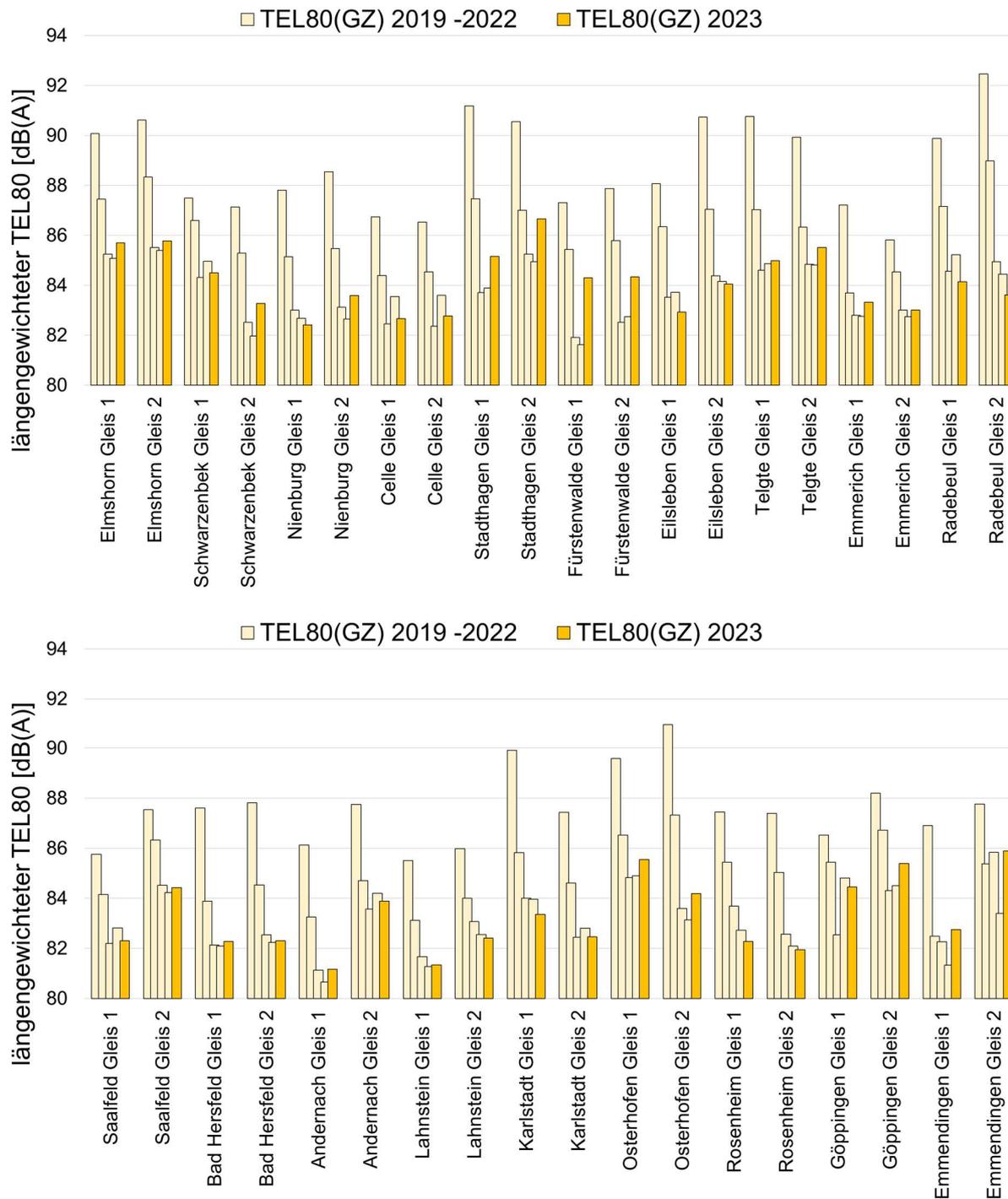


Abbildung 13: mittlerer längengewichteter Vorbeifahrtexpositionspegel TEL_{80} an allen Stationen für Güterzüge in den Jahren 2019 bis 2022 (hellgelb) und 2023 (gelb).

Der längengewichtete *TEL80* der Güterzüge reicht von 81,2 dB(A) in Andernach auf Gleis 1 bis zu 86,7 dB(A) Stadthagen auf Gleis 2. Die Werte haben sich an den meisten Gleisen im Vergleich zum Vorjahr leicht erhöht (passend zu den Daten in Abbildung 12). An der Station in Fürstenwalde erhöhte sich der längengewichtete *TEL80* auf beiden Gleisen. Hier ist auch die höchste Zunahme des längengewichteten *TEL80* mit 2,7 dB(A), auf Gleis 1 zu verzeichnen. An der Messstation in Radebeul reduzierte sich der längengewichtete *TEL80* auf beiden Gleisen. Im Vergleich zum Vorjahr nahm der längengewichtete *TEL80* um ca. 1,1 dB(A) auf Gleis 1 ab.

In der folgenden Abbildung 14 ist der mittlere längengewichtete *TEL80* der Personenzüge für jede Station, getrennt für die Jahre 2019 bis 2023 und für jeweils beide Gleise dargestellt.

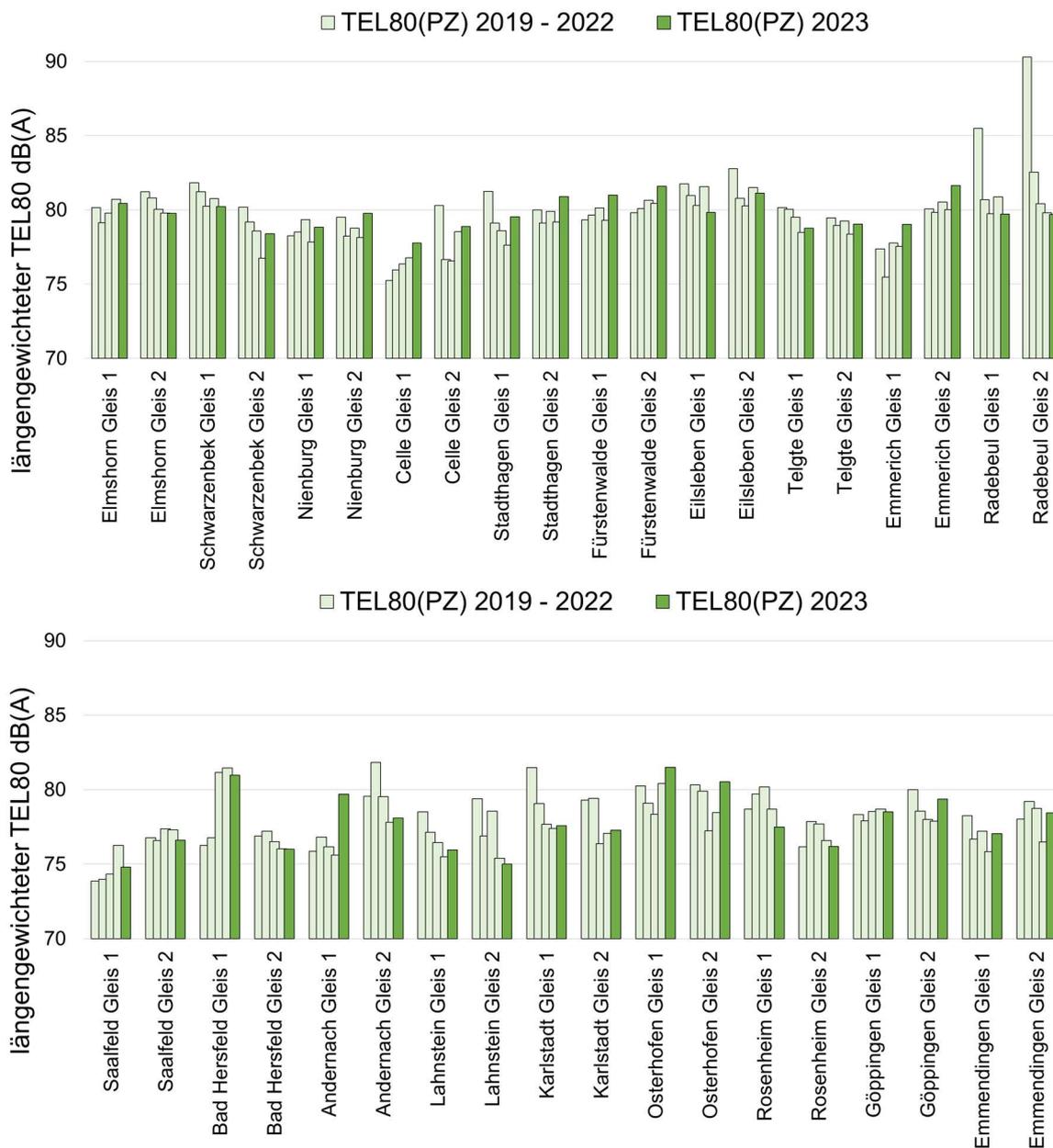


Abbildung 14: mittlerer längengewichteter Vorbeifahrtexpositionspegel TEL_{80} an allen Stationen für Personenzüge in den Jahren 2019 bis 2022 (hellgrün) und 2023 (grün).

Die Werte der längengewichteten TEL_{80} für Personenzüge reichen zwischen 74,8 dB(A) in Saalfeld auf Gleis 1 bis 81,6 dB(A) in Fürstenwald sowie Emmerich jeweils auf Gleis 2. An dem meisten Gleisen erhöhte sich der längengewichtete TEL_{80} für Personenzüge leicht zum Vorjahr. An den einzelnen Gleisen der Messstationen konnte eine Änderung des längengewichteten TEL_{80} zwischen -1,8 dB(A) und 4,1 dB(A) zum Vorjahr bestimmt werden. Der höchste Anstieg mit 4,1 dB(A) wurde in Andernach auf Gleis 1 festgestellt.

6.4.2 Vergleich zwischen Maximal- und Vorbeifahrtexpositionspegel

Zusätzlich zum Vorbeifahrtexpositionspegel kann auch der Maximalpegel einer Zugvorbeifahrt angegeben werden. Bestimmt wird dieser i. d. R. durch die Achsen mit der akustisch schlechtesten Radqualität. Für Zugvorbeifahrten mit starken Differenzen zwischen Maximal- und Vorbeifahrtexpositionspegel sind oft einzelne Wagen mit akustisch schlechten Rädern für die hohen Maximalpegel verantwortlich.

Um zu dokumentieren, inwieweit sich der bei einer Zugvorbeifahrt auftretende maximale Schalldruckpegel L_{Amax} von dem mittleren Vorbeifahrtexpositionspegel TEL unterscheidet, wurde für alle gültigen, registrierten Zugvorbeifahrten die Differenz aus den beiden Schallpegeln gebildet. Für die Jahre 2021 bis 2023 (Abbildung 15) sind die Differenzen in einem Histogramm getrennt für Güter- und Personenzüge dargestellt.

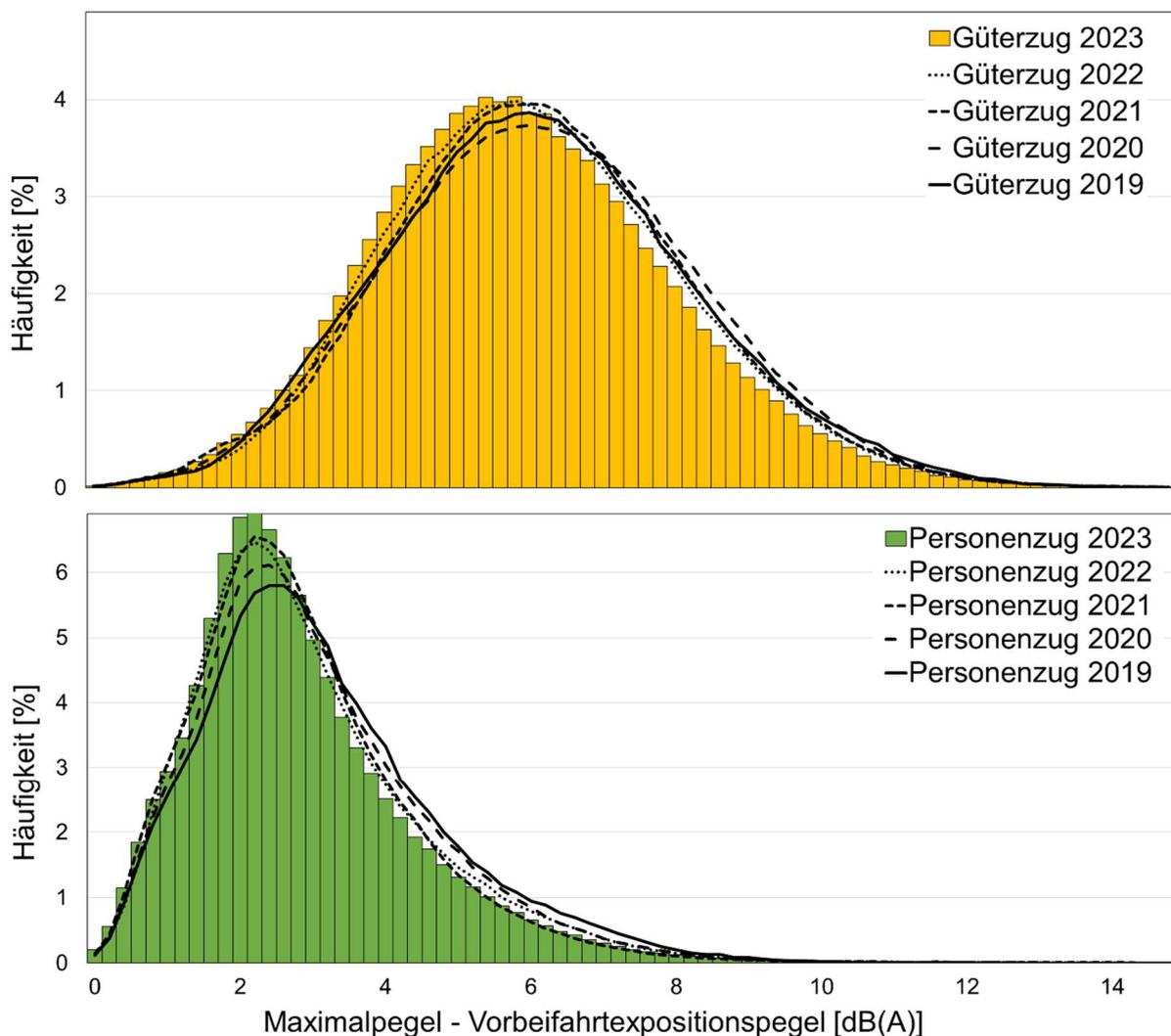


Abbildung 15: Die Häufigkeitsverteilungen stellen die Differenz zwischen Maximal- und Vorbeifahrtexpositionspegel dar. Im oberen Teil der Abbildung sind die

Häufigkeitsverteilungen für Güterzüge aus dem Jahr 2019 bis 2022 (Linien) mit dem Jahre 2023 (gelbe Balken) dargestellt. Im unteren Teil sind die Häufigkeitsverteilungen der Personenzüge aus dem Jahr 2021 bis 2022 (Linien) und 2023 (grüne Balken) gegenübergestellt.

Abbildung 15 zeigt, wie häufig es im Jahr 2023 (gelb und grün) vorkam, dass der Maximalpegel den mittleren Vorbeifahrtexpositionspegel um einen bestimmten Schallbetrag in dB(A) überschritten hatte und vergleicht dies mit den Ergebnissen aus dem Vorjahr. Erkennbar liegt der Schwerpunkt der Verteilung für Güterzüge um 3–4 dB(A) höher als der für Personenzüge. Zurückzuführen ist dies zum einen auf die stark unterschiedliche Radlaufflächenqualität in Güterzügen als auch auf die größere Länge (Achszahl), welche eine höhere Varianz erwarten lässt. Insgesamt ist für eine Zugvorbeifahrt eines Personenzuges eine geringere Schallpegelvariation zu erwarten als für Güterzüge.

Im Vergleich zu den Daten der verschiedenen Jahre hat sich keine große Veränderung in der Differenz zwischen Maximal- und Vorbeifahrtexpositionspegel ergeben. Für die Güterzüge ist dies ein interessantes Ergebnis, da durch die Umrüstung insgesamt weniger laute Güterwagen in den Zügen verkehrten. Die Messungen ergeben, dass mit den sinkenden Vorbeifahrtexpositionspegeln auch die Maximalpegel der Züge gesunken sind.

Bei den Personenzügen kann man eine leichte Abnahme der höheren Werte und eine leichte Zunahme bei der Häufigkeit der kleineren Werte erkennen. Dies deutet auf eine leichte Zunahme von Zügen hin, welche eine homogene Pegelverteilung haben (z. B. Triebzüge) und eine Abnahme von Zügen mit einer inhomogenen Pegelverteilung (z. B. Iokbespannte Personenzüge).

6.4.3 Schallemission einzelner Wagen

Abbildung 16 zeigt für Personenwagen die Häufigkeitsverteilung der Vorbeifahrtpegel umgerechnet auf 80 km/h $L_{pAeq, Tp, 80}$ und für Güterwagen die Häufigkeitsverteilung der auf ihre Achsen pro Länge bezogenen Schallpegel $L_{pAeq, Tp, APL, 80}$ für 80 km/h. Diese Kenngrößen werden auch für die Zulassung von neuen Fahrzeugen in der TSI Lärm verwendet². In die dargestellten Vorbeifahrtpegel

² Weitere Anforderungen an Abnahmemessungen aus der TSI Lärm zur Wagenreihung sowie zum akustischen Gleiszustand können im Rahmen von Messungen im realen Betrieb jedoch i. d. R. nicht eingehalten werden.

einzelner Fahrzeuge gehen neben der Qualität des Rollmaterials auch die akustischen Gleiseigenschaften ein.

Die Vorbeifahrtpegel für die Personenwagen sind in der Regel niedriger als die der Güterwagen. Dies ist auf das bessere Rollmaterial der Personenwagen zurückzuführen.

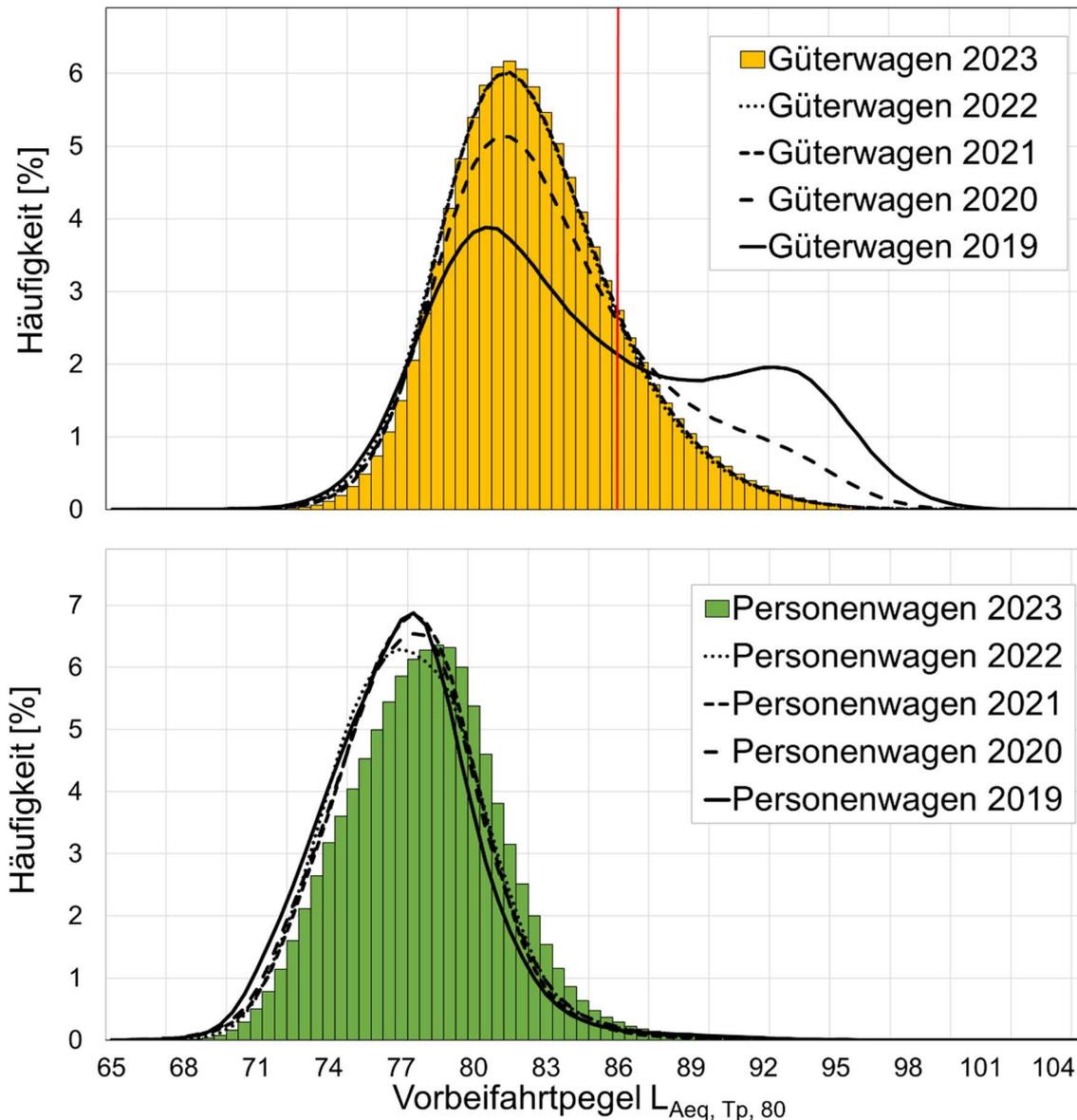


Abbildung 16: Schallpegelverteilung aller Güterwagen korrigiert auf ihren auf Achsen pro Länge bezogenen Schallpegel $L_{pAeq, Tp, APL, 80}$ für 80 km/h für die Jahre 2023 (gelb) und 2021 bis 2022 (hellgelb) und der aller Personenwagen für den Schallpegel $L_{pAeq, Tp, 80}$ umgerechnet auf 80 km/h für die Jahre 2023 (grün) und 2021 bis 2022 (hellgrün). Die rote Linie bei 86 dB(A) dient der Trennung lauter von lärmarmen Güterwagen. Im Jahr 2023 wurden rund 85 Prozent aller Güterwagen als lärmarm gemessen.

Im Vergleich der Jahre 2019 bis 2023 lässt sich für die Personenwagen erkennen, dass die Häufigkeitsverteilungen der Personenzüge in 2023 eine Verschiebung um etwa 2 dB(A) hin zu lautereren Werten erfahren hat.

Für Neuzulassungen von Güterwagen nach TSI Lärm (2014) [1] liegt der bei Abnahmemessungen einzuhaltende Grenzwert bei 83 dB(A) – und wird bei den Abnahmemessungen durch die Verwendung von Verbundstoff-Bremssohlen bzw. Scheibenbremsen eingehalten. Bei Messungen im realen Betrieb können Güterwagen mit Verbundstoffbremssohlen diesen Wert jedoch übersteigen, ohne dabei den Vorgaben der TSI Lärm zu widersprechen, z. B. wenn der akustische Gleiszustand nicht den hohen Vorgaben der Abnahmemessung entspricht. Da mit Grauguss-Bremssohlen ausgestattete Güterwagen grundsätzlich einen Vorbeifahrtpegel von mehr als 86 dB(A) aufweisen, werden Güterwagen mit einem Vorbeifahrtpegel von 86 dB(A) oder kleiner als lärmarm bezeichnet. Die in Abbildung 16 eingezeichnete vertikale Trennlinie bei 86 dB(A) grenzt lärmarme Güterwagen von lautereren Güterwagen ab.

In der Summe können 86 Prozent der im Jahr 2023 gemessenen Güterwagen als lärmarm, d. h. als sicher umgerüstet, klassifiziert werden. Im zeitlichen Verlauf seit Mai 2019 lässt sich eine Entwicklung hin zu geringeren Schallpegeln ausmachen (siehe Kapitel 6.4.3 und Abbildung 23).

Nicht lärmarme Güterwagen sind jedoch nicht zwingend mit Grauguss-Bremssohlen ausgestattet. Auch umgerüstete Güterwagen, die in einem akustisch ungünstigen Zustand sind, können diesen Wert überschreiten. Besonders ungünstige akustische Gleiseigenschaften an einzelnen Messstationen verstärken den Effekt. Die Ergebnisse der Kontrollen des Eisenbahn-Bundesamts zeigen, dass im Jahr 2023 nur mit 0,03 Prozent der überprüften Güterwagen gegen das Betriebsverbot für laute Güterwagen verstoßen wurde.

Der Einfluss der Bremsausstattung auf die Schallemission der Güterwagen ist in Abbildung 17 dargestellt. Dazu wurden Güterwagen, für welche eine Wagenummer erkannt wurde und die im nationalen Fahrzeugregister Deutschlands gelistet sind, die dort hinterlegte Bremsausstattung zugeordnet und eine Häufigkeitsverteilung der Vorbeifahrtpegel dieser Wagen für jede Bremskategorie erstellt.

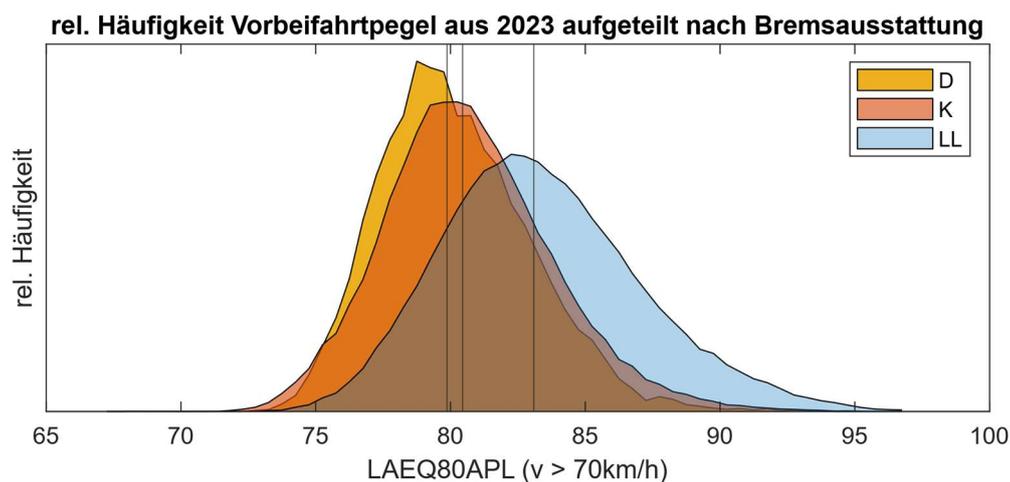


Abbildung 17: Schallpegelverteilung aller Güterwagen mit einer nach der UIC-Nummer und dem NVR zuordenbaren Bremsausstattung der im Jahr 2023 gemessenen Zugvorbeifahrten. Die schwarzen Linien stellen jeweils die Medianwerte dar.

Abbildung 17 zeigt, dass die Häufigkeitsverteilung der mit LL-Sohlen ausgestatteten Güterwagen ihren Median bei einem Vorbeifahrtpegel von 83,1 dB(A) haben und somit einen um 2,6 dB(A) lauterem Medianwert wie Güterwagen mit K-Sohlen aufweisen (80,5 dB(A)). Güterwagen mit Scheibenbremsen (engl. disk brake, *D*) weisen mit einem Medianwert von 79,9 dB(A) ebenfalls einen niedrigen Vorbeifahrtpegel auf. Die Verteilung zeigt, dass selbst umgerüstete Güterwagen nicht immer als lärmarm klassifiziert werden. Dies lässt auf einen ungünstigen akustischen Zustand der Güterwagen schließen.

Güterwagen, die auf LL-Sohlen umgerüstet wurden, sind in der Regel deutlich älter als Güterwagen mit K-Sohlen, welche oftmals ab Werk mit K-Sohle ausgestattet sind. Werden in Zukunft die Güterwagen mit LL-Sohlen nach und nach mit neuen Güterwagen mit K-Sohlen ersetzt, so sollte dies zu weiteren Pegelminderungen führen.

Für den Vergleich der Schallemissionen der einzelnen Fahrzeuge an den einzelnen Stationen wurden Häufigkeitsverteilungen für beide Gleise errechnet (links) und zusammen mit den energetischen Mittelwerten (rechts) für Güter- bzw. Personenwagen in Abbildung 18: Äquivalenter Dauerschalldruckpegel $L_{pAeq,T,APL,80}$ korrigiert auf Achsen pro Länge für Güterwagen mit 80 km/h an allen Stationen und für beide Gleise getrennt dargestellt. Links als Häufigkeitsverteilung und rechts als energetischer Mittelwert. und Abbildung 19 dargestellt. Für Güterwagen wurde der auf Achsen pro Länge korrigierte Schallpegel $L_{pAeq,Tp,APL,80}$ bei 80 km/h verwendet.

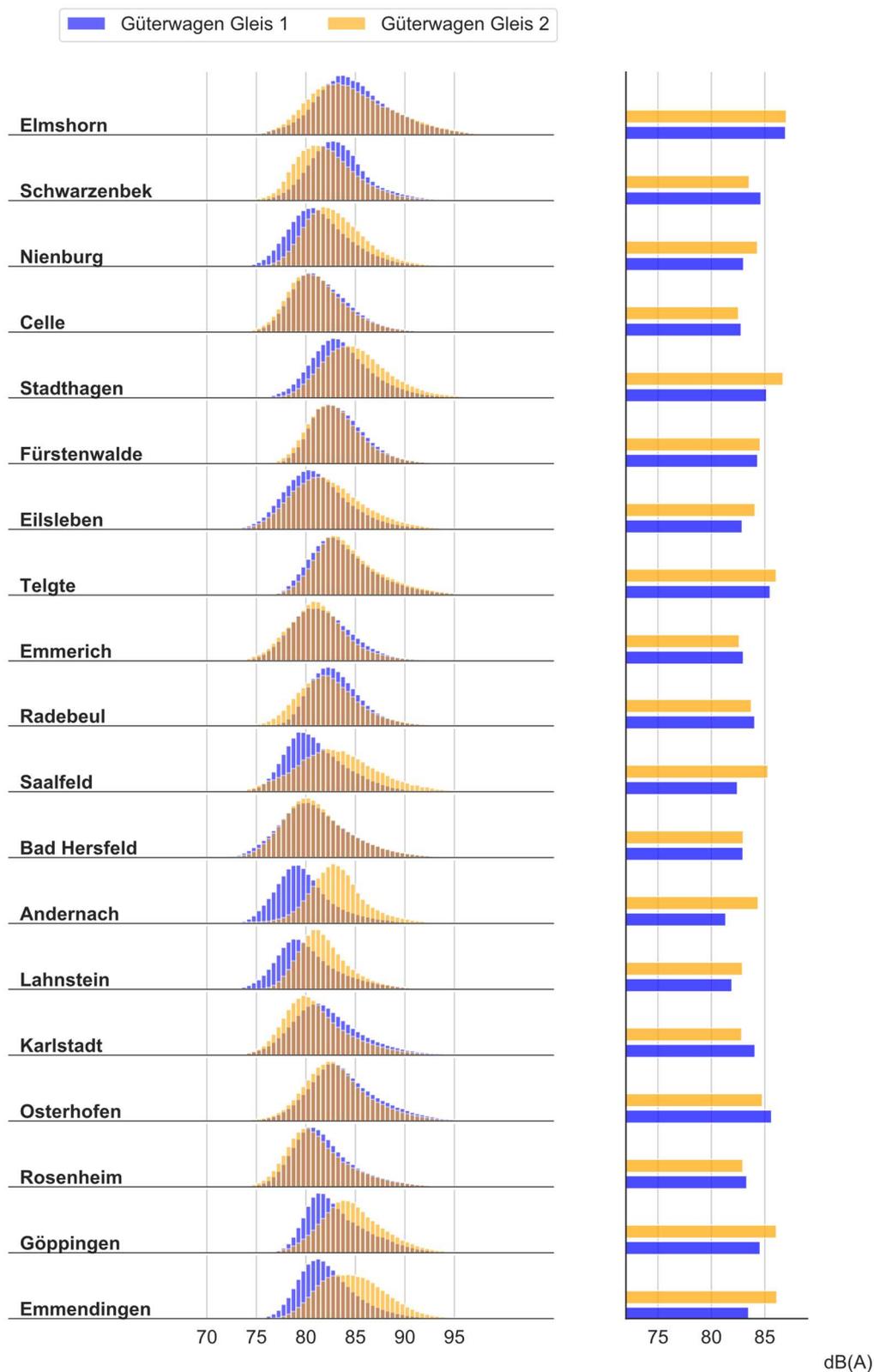


Abbildung 18: Äquivalenter Dauerschalldruckpegel $L_{pAeq,T,APL,80}$ korrigiert auf Achsen pro Länge für Güterwagen mit 80 km/h an allen Stationen und für beide Gleise getrennt dargestellt. Links als Häufigkeitsverteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

Für Personenzugwagen (Abbildung 19) kann ein akustisch guter Zustand der Radlaufflächen angenommen werden. Die Unterschiede in den Schallemissionen werden damit vornehmlich durch den Zustand der Gleise verursacht. Mit der Ausnahme von 6 Gleisen liegt der energetische Mittelwert der Personenzugvorbeifahrtpegel unter 80 dB(A).

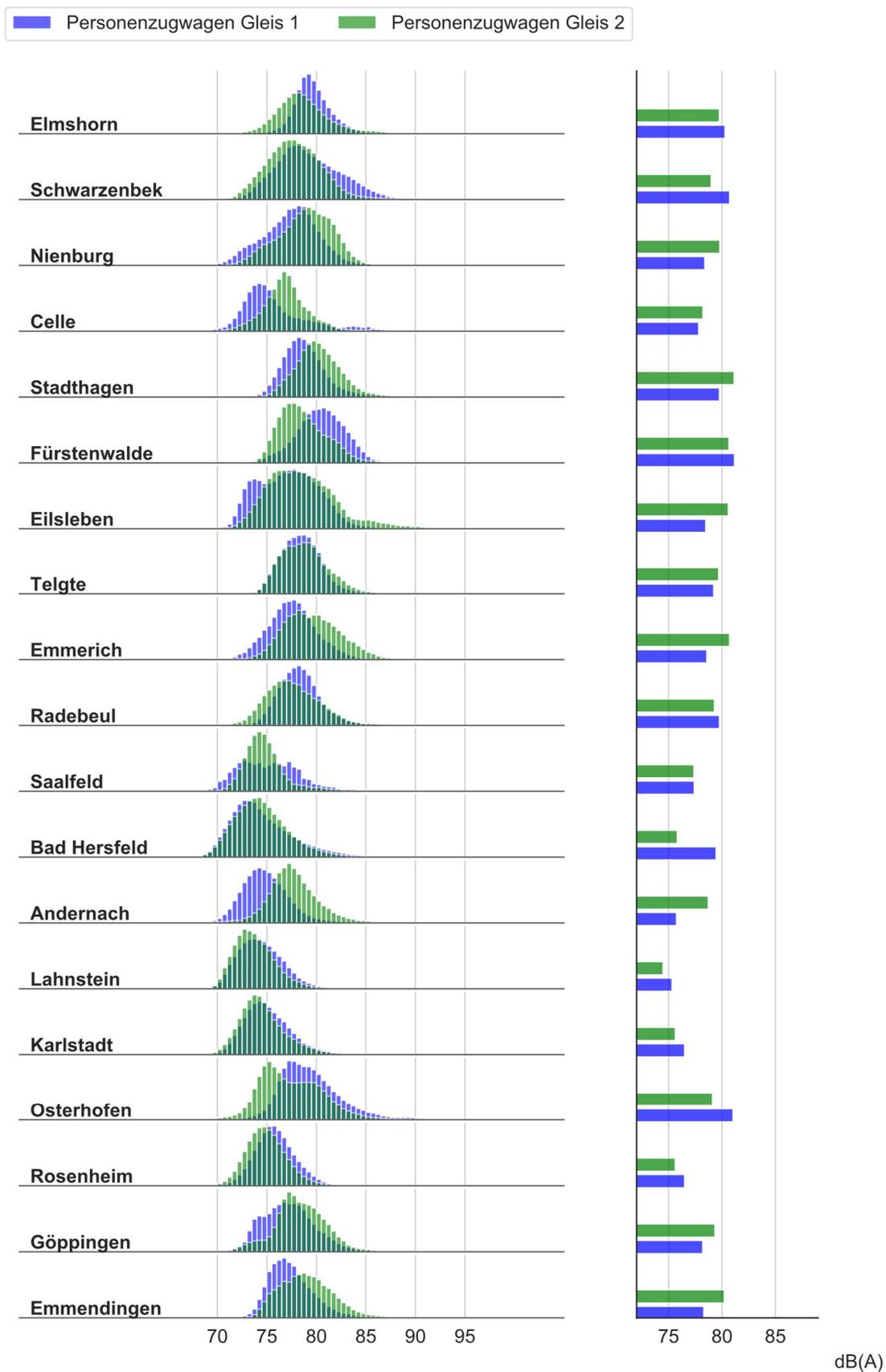


Abbildung 19: Äquivalenter Dauerschalldruckpegel $L_{pAeq,T,80}$ bezogen auf 80 km/h an allen Stationen und für beide Gleise getrennt dargestellt. Links als Häufigkeitsverteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

Der Trennwert von 86 dB(A) des auf die Achsen pro Länge bezogenen Schallpegels $L_{pAeq, T_p, APL, 80}$ bei 80 km/h wird auch verwendet um an den einzelnen Messstandorten den Anteil lärmarmen Güterwagen zu bestimmen. Das Ergebnis dieser Analyse ist in im Vergleich zu den Jahren 2019 bis 2023 dargestellt. Güterwagen ungültiger Zugfahrten (z. B. wenn es zu Zugbegegnungen kam) flossen nicht mit ein. Auch wurden keine Güterwagen mit einer Geschwindigkeit kleiner 60 km/h berücksichtigt, weil unklar ist welchen Fehler die Umrechnung auf 80 km/h in den Formeln (4) und (5) für langsame Züge mit sich bringt. Die Anzahl der Güterwagen an den verschiedenen Messstationen hängt von dem Verkehrsaufkommen ab. Die Berechnung für lärmarme Güterwagen ergab für das Jahr 2023 ein bundesweites Mittel von 86 Prozent.

Wie Abbildung 20 zu entnehmen, ist der Anteil lärmarmen Güterwagen an 10 der 19 Messstationen im Vergleich zu 2022 gesunken. An den Stationen Schwarzenbek, Celle, Eilsleben, Saalfeld, Andernach, Lahnstein und Karlstadt kann eine leichte Erhöhung verzeichnet werden. In Radebeul hat sich der Anteil lärmarmen Güterwagen um über 11 Prozentpunkte erhöht. Dies kann z. B. durch Gleisbauarbeiten (Schienenschleifen) begründet sein. Die unterschiedlichen akustischen Gleiseigenschaften beeinflussen die Ergebnisse der Stationen.

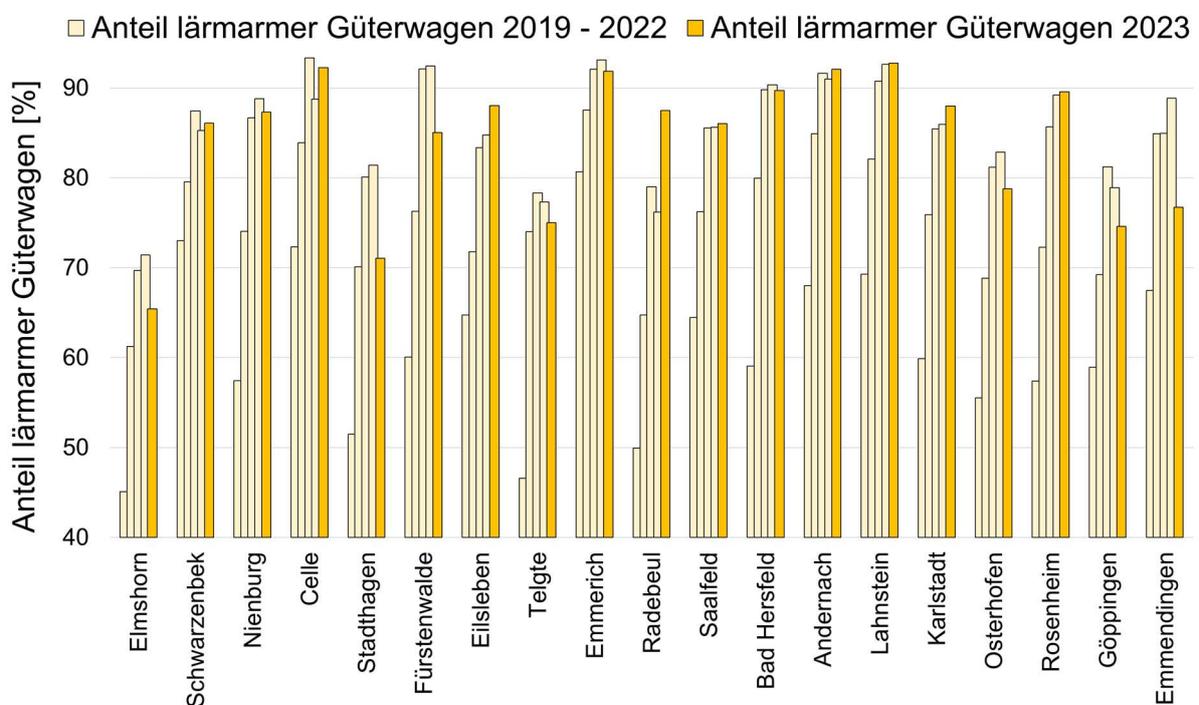


Abbildung 20: Anteil der als lärmarm registrierten Güterwagen an den einzelnen Messstationen im Jahr 2019 bis 2022 (hellgelb) und 2023 (gelb).

6.5 Zeitliche Entwicklung der Schallemissionen von Güterwagen

Das netzweite Lärm-Monitoring soll unter anderem die zeitliche Entwicklung der Schallemissionen von Güterwagen sichtbar machen. In Abbildung 21 ist dafür der auf 80 km/h und auf die Achsen pro Länge bezogene Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq, Tp, APL, 80}$ für jeweils alle registrierten Güterwagen eines Monats als Häufigkeitsverteilung und energetischer Mittelungspegel dargestellt. Es wurden nur Fahrten mit mehr als 60 km/h ausgewertet.

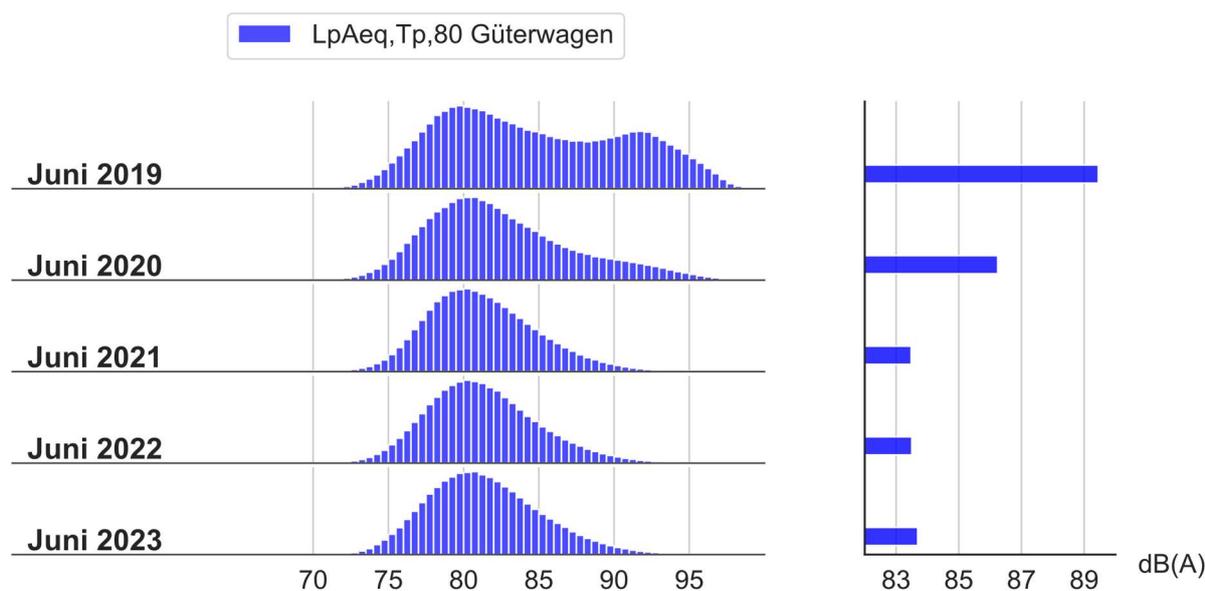


Abbildung 21: Zeitliche Entwicklung des auf 80 km/h bezogenen Vorbeifahrtpegel für Güterwagen, links als Häufigkeitsverteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

Sowohl in den Häufigkeitsverteilungen in Abbildung 21 als auch in den zugehörigen energetischen Mittelwerten ist die Schallpegelreduktion für den Vorbeifahrtpegel von Güterwagen seit Beginn der Messungen klar zu erkennen. Dabei ist zu sehen, wie der durch Güterwagen mit schlechten Radlaufflächen verursachte rechte Bereich der Verteilung stetig abnimmt und somit das Gewicht der Verteilung sich zu geringeren Schallpegeln hin verschiebt.

Auch für den Vorbeifahrtpegel ganzer Güterzüge ist dieser Effekt sichtbar (Abbildung 22). Hier wandert der rechte (lautere) Gipfel der Verteilung zu niedrigeren Schallpegeln hin. Dabei findet die Verschiebung hin zu kleineren Pegeln zeitlich verzögert zu der Darstellung der Güterwagen statt. Ursächlich ist, dass einige wenige laute Güterwagen den energetisch gemittelten Vorbeifahrtpegel eines

Güterzuges bereits deutlich dominieren. Erst wenn keine lauten Güterwagen im Güterzug sind, sinkt der Vorbeifahrtpegel des Zuges merklich.

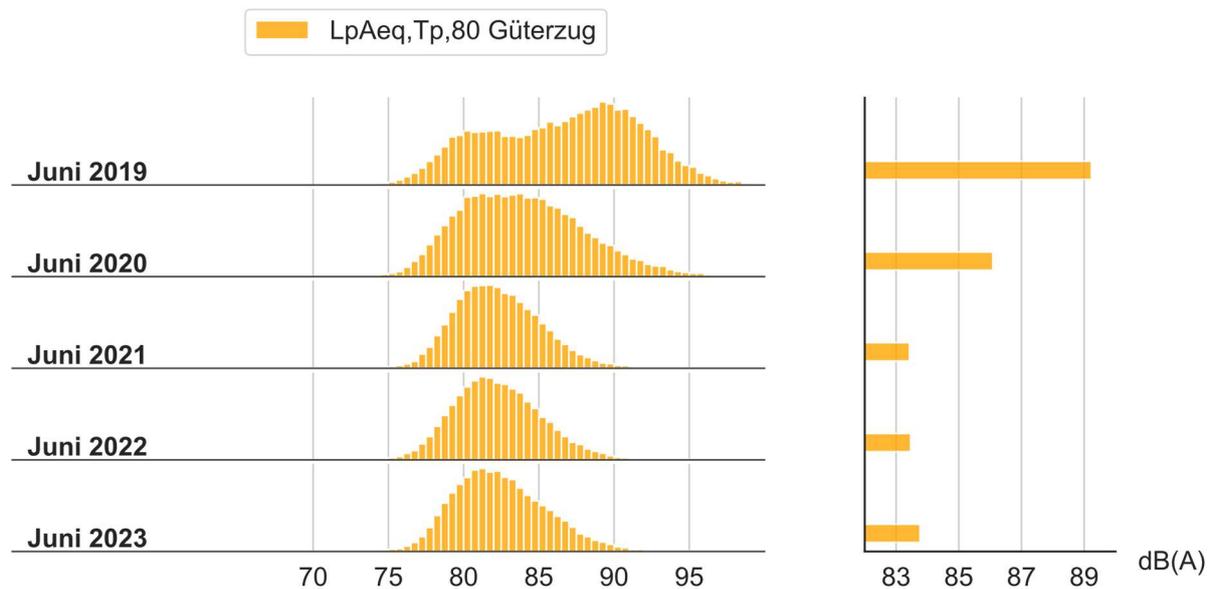


Abbildung 22: Zeitliche Entwicklung des auf 80 km/h bezogenen Vorbeifahrtpegel für Güterzüge, links als Verteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

Aus Abbildung 21 wurde der Anteil der lärmarmen Güterwagen mit einem Vorbeifahrtpegel von unter 86 dB(A) extrahiert und in Abbildung 23 dargestellt. Während im Mai 2019 nur 57 Prozent der gemessenen Güterwagen als lärmarm klassifiziert werden konnten, stieg der Anteil im September 2022 auf über 90 Prozent. Ab Mai 2023 geht der Anteil gegenüber den Vorjahresmonaten zurück. Der höchste Rückgang an lärmarmen Güterwagen zum Vorjahr, wurde mit ca. 4,5 Prozentpunkten im November 2023 festgestellt. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass die Schienenwege bzw. das Rollmaterial im Vergleich zum Vorjahr in einem schlechteren Zustand sind und so zu höheren Vorbeifahrtpegel von Güterwagen wesentlich beitragen. Im Jahresmittel ging der Anteil lärmarmen Güterwagen an allen Messstationen um über 1,5 Prozent zum Jahr 2022 zurück

An dieser Stelle sei noch einmal darauf verwiesen, dass Güterwagen, die als lärmarm klassifiziert wurden, sicher auf Verbundstoffbremssohlen umgerüstet wurden. Nicht lärmarme Güterwagen sind jedoch in der Regel auch nicht mit Grauguss-Bremssohlen ausgestattet. Auch umgerüstete Güterwagen, die in einem akustisch ungünstigen Zustand sind, können diesen Wert überschreiten. Ungünstige akustische Gleiseigenschaften an einzelnen Messstationen verstärken den Effekt. Die Ergebnisse der Kontrollen des Eisenbahn-Bundesamts zeigen, dass im Jahr 2023 nur

mit 0,03 Prozent der überprüften Güterwagen gegen das Betriebsverbot für laute Güterwagen verstoßen wurde.

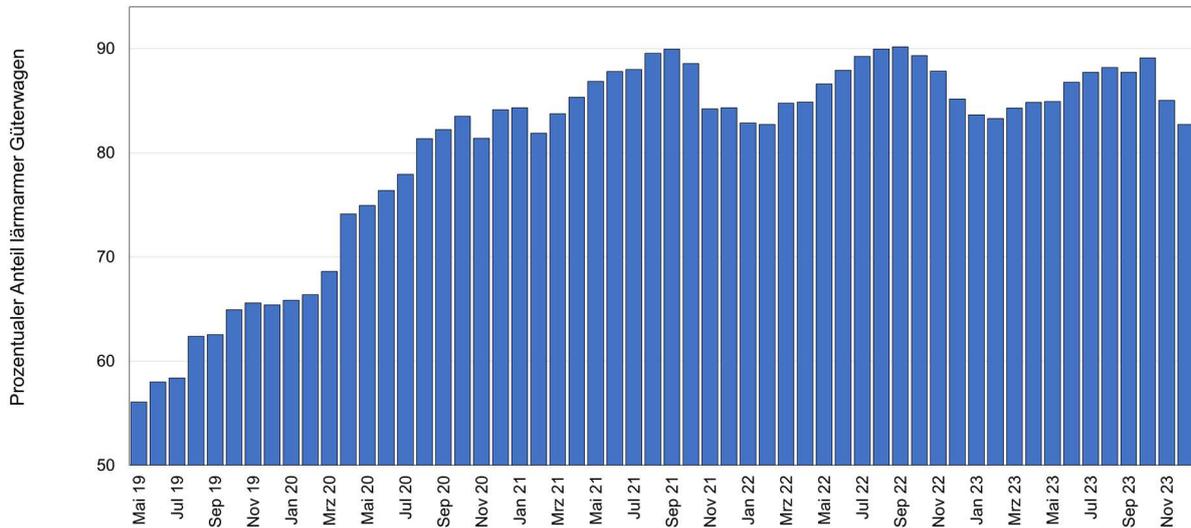


Abbildung 23: Prozentualer Anteil als lärmarm klassifizierter Güterwagen mit einem Vorbeifahrtpegel von unter 86 dB(A) dargestellt über die Monate seit Inbetriebnahme der Stationen im Mai 2019 bis Dezember 2023.

1 Anhang: Messkonzept

Das Lärm-Monitoring erfolgt an zweigleisigen Strecken gemäß der E DIN 38452-1:2020-03; Langzeitmessung von Schienenverkehrsgeräuschen –Teil 1: Emissionen; Entwurf März 2020 [2] mit der Qualitätsstufe 3.

Die Messungen erfolgen mit automatischen Messstationen des „Train Monitoring Systems“ von Müller-BBM Rail Technologies. Das „Train Monitoring System“ ist eine robuste und zuverlässige Dauermessstation, ausgelegt für ganzjährige Messungen an Bahnstrecken

Die verwendeten Messgeräte wurden laufend während der Messungen auf einwandfreie Funktion überprüft. Im Rahmen des hauseigenen Qualitätssicherungssystems wurden die Geräte zusätzlich vor dem Einbau kalibriert.

Technischer Aufbau der Messstationen und Durchführung der Messungen

Damit das Lärm-Monitoring dauerhaft valide und möglichst vergleichbare Messergebnisse liefert, müssen alle Messstationen identisch aufgebaut sein: Sie weisen die gleiche Technik und Auswerteroutine auf. Sie erfassen die Schallereignisse in vergleichbarer Umgebung und dem gleichen Abstand zum Gleis.

Je Station wurden zwei Messquerschnitte je Gleis mit je zwei Mikrofonen eingerichtet. Die Messung ist so konzipiert, dass die 7,5 Meter Mikrofonabstände in Bezug auf die Gleismitte, jeweils über ein Gleis hinweg, gemessen werden.

Die wichtigsten Komponenten sind Mikrofone der Klasse 1, Achszähler und eine Steuerungseinheit mit Mobilfunkverbindung.

Der Achszähler erfasst jede Achsüberfahrt des Zuges. Aus seinen Signalen wird die Zugvorbeifahrt mit Zeitpunkt, Vorbeifahrtdauer sowie Geschwindigkeit und Länge des Zuges erfasst.

Schalldruck und Signale der Achszähler werden an die Steuerungseinheit gesendet. Diese berechnet hieraus die Kenngrößen (z. B. Maximal-, Vorbeifahrt- und Mittelungspegel und Zuglänge, -geschwindigkeit und -kategorie) und übermittelt sie an einen zentralen Server. Dort werden die Daten aller Messstationen gespeichert.

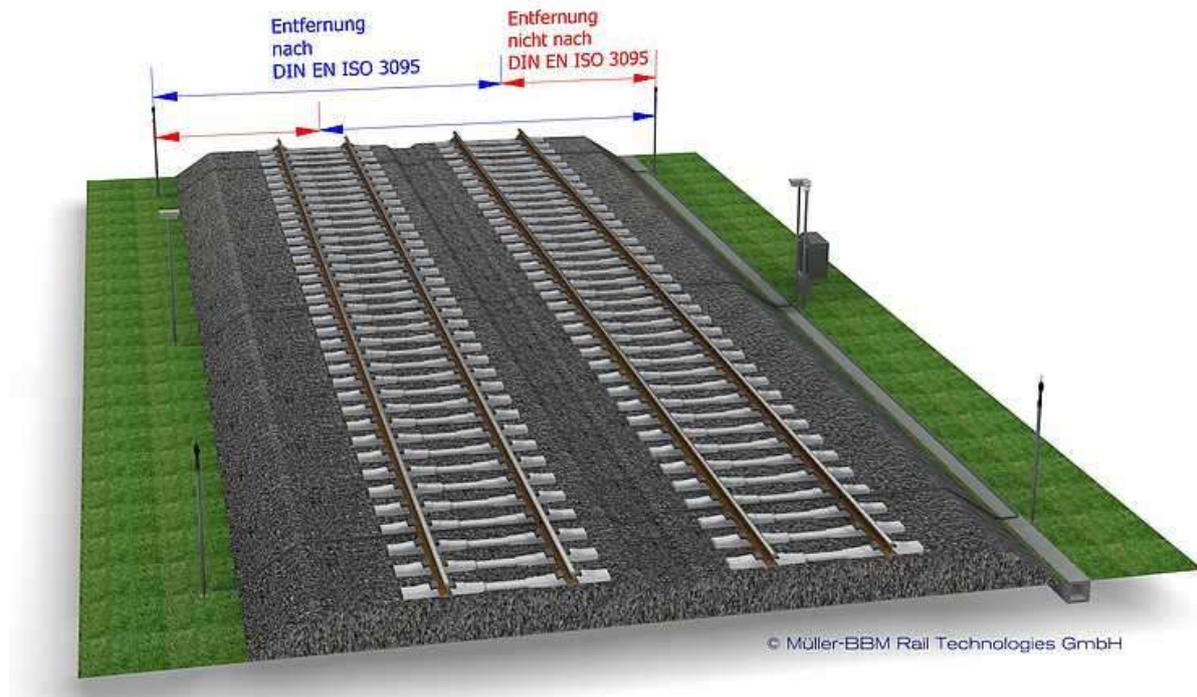


Abbildung 24: Messaufbau (schematisch).

Ungültige Messungen: Für eine korrekte Messung muss die Zugvorbeifahrt in 7,5 Meter Entfernung zum Mikrofon stattfinden. Genauso dürfen keine Fremdgeräusche die Messung beeinflussen. Ist eine der beiden Bedingungen nicht eingehalten, sind die Messungen ungültig.

- Begegnen sich zwei Züge am Standort der Messstation, ist eine normgerechte Messung nicht möglich.
- Störende Witterungsverhältnisse (z. B. Starkregen) sowie zu hohe Hintergrundgeräusche führen zu ungültigen Daten.

Ebenfalls führen Arbeiten am Gleis zu Daten, die nicht verwertbar sind. Auch ein Ausfall der Technik ist nicht zu 100 Prozent auszuschließen.

Daten, die nicht nach Norm gemessen wurden, werden verworfen und durch möglichst ähnliche, gültige Daten gemäß E DIN 38452-1:2020-03 [2] ersetzt. Dadurch erhöht sich die Genauigkeit und Aussagekraft der Daten für die Langfrist-Auswertungen.

Beispiel: Die Daten eines vorbeifahrenden, langen Güterzugs sind wegen Starkregens ungültig. Werden diese Daten nun in der weiteren Bearbeitung, z. B. für die Berechnung des Mittelungspegels, ignoriert, wird dieser nur auf Basis der normgerechten Daten berechnet. Das kann zu Verzerrungen des Mittelungspegels führen – insbesondere, wenn auf der Strecke ansonsten eher leisere Züge verkehren. Werden nicht nach Norm gemessene Daten des Güterzugs aber mit ähnlichen, normgerechten Daten ersetzt, können sie in der Berechnung des Mittelungspegels berücksichtigt werden. Er bildet damit besser die realen Bedingungen ab.

2 Anhang: Messgrößen

2.1 Vorbeifahrtexpositionspegel TEL

A-bewerteter Schallpegel einer Zugvorbeifahrt als energetischer Mittelwert über die Schallereignisdauer T normiert auf die Vorbeifahrtzeit T_p . Der TEL ist damit ein Maß, um die gesamte akustische Energie einer Zugvorbeifahrt zu erfassen.

$$TEL = 10 \log \left(\frac{1}{T_p} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad (1)$$

mit

$p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ (Bezugsschalldruck)

$T_p = T_2 - T_1 =$ geometrische Vorbeifahrtzeit des Zuges

$T =$ Schallereignisdauer/Messdauer (enthält alle Werte Schallwerte vor und nach der Zugvorbeifahrt bis die Pegel auf mehr als 10 dB(A) unter den Wert während der Vorbeifahrt abgesunken ist)

2.2 A-bewerteter äquivalenter Dauerschalldruckpegel $L_{Aeq,Tp}$

Der A-bewertete äquivalente Dauerschalldruckpegel $L_{Aeq,Tp}$ entspricht dem, über die Messdauer T_p energetisch gemittelten A-bewerteten Schalldruckpegel nachfolgender Gleichung:

$$L_{Aeq,Tp} = 10 \log \left(\frac{1}{T_p} \int_{T_1}^{T_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) \quad (2)$$

mit

$p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ (Bezugsschalldruck)

$T_p = T_2 - T_1 =$ geometrische Vorbeifahrtzeit des Zuges

2.3 AF-bewerteter maximaler Schalldruckpegel L_{AFmax}

Maximalwert des A-bewerteten Schalldruckpegels, der während der Messdauer T bei Anwendung der Zeitbewertung F (fast) bestimmt wird.

2.4 Schall exposurespegel SEL

Der Schall exposurespegel SEL bezieht die akustische Schallenergie auf eine Sekunde. Er wird für die Berechnung des Mittelungspegel L_m verwendet und hat die nachstehende Beziehung mit dem Vorbeifahrt exposurespegel TEL :

$$SEL = TEL - 10 \log(T_0 / T_p) \quad (3)$$

mit

$$T_0 = 1 \text{ Sekunde}$$

$$T_p = T_2 - T_1 = \text{geometrische Vorbeifahrtzeit des Zuges}$$

2.5 Vorbeifahrt exposurespegel für die Bezugsgeschwindigkeit 80 km/h TEL_{80}

Der mit der Vorbeifahrtgeschwindigkeit v wie folgt auf die Geschwindigkeit 80 km/h umgerechnete Vorbeifahrt exposurespegel TEL wird i. d. R. für die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messstellen ermittelt und errechnet sich aus:

$$TEL_{80} = TEL - 30 \cdot \log\left(\frac{v}{v_0}\right) \quad (4)$$

mit

$$v_0 = 80 \text{ km/h (Bezugsgeschwindigkeit)}$$

2.6 Dauerschalldruckpegel der Vorbeifahrt bezogen auf 80 km/h $L_{Aeq, Tp, 80}$

Der mit der Vorbeifahrtgeschwindigkeit v wie folgt auf die Geschwindigkeit 80 km/h umgerechnete A-bewertete äquivalente Dauerschalldruckpegel $L_{Aeq, Tp, 80}$ wird i. d. R. für die Auswertung einzelner Wagen und Loks errechnet:

$$L_{Aeq, Tp, 80} = L_{Aeq, Tp} - 30 \cdot \log\left(\frac{v}{v_0}\right) \quad (5)$$

mit

$$v_0 = 80 \text{ km/h (Bezugsgeschwindigkeit)}$$

2.7 Dauerschalldruckpegel korrigiert auf Achsen pro Länge $L_{Aeq, Tp, APL, 80}$

Für die Auswertung einzelner Güterwagen wird in Anlehnung an TSI Lärm (2014) [1] der A-bewertete äquivalente Dauerschalldruckpegel bezogen auf 80 km/h zusätzlich auf die Anzahl Achsen pro Länge wie folgt normiert:

$$L_{Aeq, Tp, APL, 80} = L_{Aeq, Tp, 80} - 10 \cdot \log\left(\frac{APL}{0,225}\right) \quad (6)$$

mit

APL = Anzahl Achsen geteilt durch Länge des Wagens in Meter.

2.8 Mittelungspegel L_m

A-bewerteter mittlerer Schalldruckpegel bezogen auf 7,5 Meter Abstand von der Gleisachse für den Zeitraum Tag, Nacht oder 24 Stunden.

Berechnung aus Summe aller Zugfahrten in einer Periode pro Gleis, pro Zugkategorie, pro Messstelle nach:

$$L_m = 10 \cdot \log\left(\sum 10^{\frac{SEL}{10}}\right) - A1 \quad (7)$$

mit

$A1 = 10 \cdot \log(16 \cdot 3600)$ für die Tagperiode: $06:00:00 \leq \text{Einfahrtszeit } T < 22:00:00$

$A1 = 10 \cdot \log(8 \cdot 3600)$ für die Nachtperiode: $T < 6:00:00 \ || \ T \geq 22:00:00$

$A1 = 10 \cdot \log(24 \cdot 3600)$ für 24 Stundenperiode

SEL = Schallexpositionspegel einer Zugfahrt

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

$$L_{m, \text{Monat/Jahr}} = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{n} \cdot \sum 10^{\frac{L_m}{10}}\right) \quad (8)$$

mit

n = Anzahl der Tage im Monat / Jahr

2.9 Mittlerer gewichteter Vorbeifahrtexpositionspegel für 80 km/h $mTEL80$

Berechnung pro Gleis, pro Periode, pro Zugkategorie, pro Tag bzw. pro Monat, pro Messstelle:

$$mTEL80 = 10 \cdot \log \left(\sum L_i \cdot 10^{\frac{TEL80_i}{10}} \right) + 10 \cdot \log \left(\frac{1}{\sum L} \right)$$

(9)

mit

L = Zuglänge

$TEL80$ = Dauerschalldruckpegel der Vorbeifahrt bezogen auf 80 km/h

3 Anhang: Fehlerbetrachtung, Genauigkeitsbetrachtung, Messunsicherheiten

Die Messungen des Bahnlärm-Monitorings ermitteln Emissionskenngrößen einer Zugvorbeifahrt (TEL , $L_{pAeq,TP}$) sowie Mittelungspegel L_m . Diese charakterisieren damit die Schallemission an einem Streckenabschnitt mit dessen Gleisparametern (Schienenrauheit und Abklingrate) für ein Fahrzeug/alle Fahrzeuge eines Zeitraums.

In diesem Anhang werden die Unsicherheiten der Kenngrößen als erweiterte Messunsicherheit U angegeben. Das verwendete Verfahren basiert auf E DIN 38452-1:2020-03 und ist ISO/IEC Guide 98-3:2008 zu entnehmen.

Die folgenden Begriffe werden verwendet:

- Standardunsicherheit u : Unsicherheit eines Messergebnisses, ausgedrückt als Standardabweichung;
- kombinierte Standardunsicherheit u_c : Standardunsicherheit des Messergebnisses, wenn dieses Ergebnis aus Werten verschiedener anderer Größen gewonnen wird; die kombinierte Standardunsicherheit entspricht der positiven Wurzel der Summe der Ausdrücke, die die Varianzen oder Kovarianzen dieser anderen Größen darstellen, danach bewertet, wie das Messergebnis mit der Änderung dieser Größen variiert;
- Erweiterungsfaktor k : Zahlenwert, verwendet als Multiplikator für die kombinierte Standardunsicherheit, um die erweiterte Unsicherheit zu berechnen. Es wird ein Erweiterungsfaktor $k = 2$ verwendet.
- erweiterte Unsicherheit U : Größe, die ein Intervall um das Messergebnis festlegt, von dem erwartet werden kann, dass es einen großen Teil der Verteilung der Werte umfasst, die sinnvoll der Messgröße zugeordnet werden können.

3.1 Messunsicherheit für den Expositionspegel TEL/ Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq,TP}$

Die angesetzten Eingangsgrößen und ihrer Unsicherheit sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Die Festlegungen zu den Messgeräten ergeben sich aus IEC 61672 und IEC 60942:2003. Die erwähnten Bereiche und Standardunsicherheiten sind für die verwendeten Geräte der Klasse 1 gültig.

Tabelle 5: Bestimmung der Unsicherheiten auf den $TEL/L_{pAeq,TP}$.

<i>Eingabegröße</i> X_i	Beschreibung	Standardunsicherheit $u(x_i)$
L_p	Ablesewert	0 dB(A)
<i>Messgerät, Kalibrator</i>	Einflüsse auf die Genauigkeit des Messgerätes und des Kalibrators (Klasse 1)	0,78 dB(A)
<i>Mess- und aufstellbedingungen</i>	Einflüsse aus Ungenauigkeiten der Mess- und Aufstellbedingungen wie Ungenauigkeiten in der Erfassung der Vorbeifahrtzeit, Abweichungen im Messabstand, Änderung des Bodenniveaus, Wellenreflexion am Stativ und Dämpfung des Windschirms, Fremdgeräusch, Varianz der Gleisbedingungen	0,52 dB(A)
<i>Auswertung</i>	Einflüsse aus Fehlern/Ungenauigkeiten in der Auswertung wie z.B. falsch erkannte Zugkategorie, Ersetzen von Zügen	0,5 dB(A)
	kombinierte Standardunsicherheit u_c	1,1 dB(A)
	erweiterte Unsicherheit $U(k=2)$	2,1 dB(A)

Die Messwerte für den Expositionspegel $TEL/$ Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq,TP}$ liegen damit mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 Prozent in einem Intervall von $\pm 2,1$ dB(A) um den gemessenen Wert.

Bei der Bestimmung des Vorbeifahrtpegels für einzelne Fahrzeuge wird jedem Wagen der Schalldruckpegel, der während der Vorbeifahrt von Puffer zu Puffer gemessen wird, zugeordnet. Der Pegel eines leiseren Fahrzeugs kann dabei zu groß ermittelt werden, wenn das benachbarte Fahrzeug deutlich lauter ist.

In vorherigen Jahresberichten wurde teilweise die APL-Korrektur mit falschem Vorzeichen berechnet (vgl. Anhang 2.7). Dies wurde für den vorliegenden Bericht korrigiert.

3.2 Messunsicherheit für Monatsmittelungspegel $L_{m,Monat}$

Die angesetzten Eingangsgrößen und ihrer Unsicherheit sind in der folgenden Tabelle angegeben. Die Unsicherheiten reduzieren sich im Vergleich zu den Kenngrößen der Zugvorbeifahrt infolge der statischen Mittelungseffekten vieler Zugvorbeifahrten über eine Monatszeitraum.

Die Festlegungen zu den Messgeräten ergeben sich aus IEC 61672 und IEC 60942:2003. Die erwähnten Bereiche und Standardunsicherheiten sind für die verwendeten Geräte der Klasse 1 gültig.

Tabelle 6: Bestimmung der Unsicherheiten auf den Monatsmittelungspegel L_m .

<i>Eingabegröße</i> X_i	<i>Beschreibung</i>	<i>Standardunsicherheit</i> $u(x_i)$
L_p	Ablesewert	0 dB(A)
<i>Messgerät, Kalibrator</i>	Einflüsse auf die Genauigkeit des Messgerätes und des Kalibrators (Klasse 1)	0,41 dB(A)
<i>Mess- und aufstellbedingungen</i>	Einflüsse aus Ungenauigkeiten der Mess- und Aufstellbedingungen wie Ungenauigkeiten in der Erfassung der Vorbeifahrtzeit, Abweichungen im Messabstand, Änderung des Bodenniveaus, Wellenreflexion am Stativ und Dämpfung des Windschirms, Fremdgeräusch, Varianz der Gleisbedingungen	0,52 dB(A)
<i>Auswertung</i>	Einflüsse aus Fehlern/Ungenauigkeiten in der Auswertung wie z.B. Ersetzen von Zügen	0 dB(A)
	kombinierte Standardunsicherheit u_c	0,7 dB(A)
	erweiterte Unsicherheit U ($k=2$)	1,3 dB(A)

Die Messwerte für den Monatsmittelungspegel L_m liegen damit mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 Prozent in einem Intervall von $\pm 1,3$ dB(A) um den gemessenen Wert.

3.3 Messunsicherheit für Jahresmittelungspegel $L_{m,Jahr}$

Die Einflussgrößen auf die Messunsicherheit des Jahresmittelungspegels sind vergleichbar derjenigen des Monatsmittelungspegels. Der größere Zeitraum der Mittelung hat keine wesentlichen Auswirkungen auf die Messunsicherheit.

Die Messunsicherheit für den Jahresmittelungspegel kann analog zur Messunsicherheit für den Monatsmittelungspegel angenommen werden. Damit kann, bei einem Erweiterungsfaktor von $k=2$, von einer erweiterten Unsicherheit U von 1,3 dB(A) ausgegangen werden.

4 Anhang: Kennzahlen 2023

Nachfolgend sind eine Reihe der graphisch dargestellten Kennzahlen tabellarisch aufgeführt.

Tabelle 7: Mittelungspegel und mittlere Zugkennzahlen für den Zeitraum von 24h.

Standort	Zeitraum	Mittelungs- pegel	Mittlere Anzahl Züge	Anzahl Güterzüge	Mittlere Achszahl	Mittlere Zuglänge	Mittlere Geschwindigkeit
Elmshorn	24h	69,8	252	34	33	205	131
Schwarzenbek	24h	69,5	175	50	58	318	129
Celle	24h	69,1	188	109	80	366	104
Nienburg	24h	71,1	207	124	76	410	115
Stadthagen	24h	72,1	271	98	58	284	117
Eilsleben	24h	70,2	214	124	74	365	96
Emmerich	24h	66,9	110	57	77	346	102
Andernach	24h	68,0	185	76	64	307	102
Lahnstein	24h	66,8	147	93	76	379	86
Bad Hersfeld	24h	71,3	343	164	66	359	109
Saalfeld	24h	63,3	106	30	30	169	110
Radebeul	24h	67,8	122	50	61	325	106
Karlstadt	24h	70,2	246	153	69	369	92
Göppingen	24h	66,9	200	40	35	207	101
Osterhofen	24h	70,9	160	93	68	360	109
Emmendingen	24h	71,6	265	119	61	338	116
Rosenheim	24h	70,6	233	86	48	290	118
Fürstenwalde	24h	68,4	135	42	51	269	115
Telgte	24h	70,4	186	50	51	287	139

Tabelle 8: Mittelungspegel und mittlere Zugkennzahlen für den Zeitraum Tag (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr).

Standort	Zeitraum	Mittelungspegel	Mittlere Anzahl Züge	Anzahl Güterzüge	Mittlere Achszahl	Mittlere Zuglänge	Mittlere Geschwindigkeit
Elmshorn	Nacht	68,7	55	11	38	222	128
	Tag	71,0	234	23	32	202	132
Schwarzenbek	Nacht	68,9	38	22	82	411	109
	Tag	69,8	137	28	51	292	134
Celle	Nacht	69,2	53	40	101	446	96
	Tag	69,1	135	69	72	334	107
Nienburg	Nacht	71,4	67	51	91	474	106
	Tag	71,0	140	74	69	378	119
Stadthagen	Nacht	71,9	69	43	77	344	99
	Tag	72,2	202	55	51	264	123
Eilsleben	Nacht	70,6	68	51	90	430	89
	Tag	70,0	146	73	66	335	99
Emmerich	Nacht	66,6	30	19	91	411	95
	Tag	67,0	80	38	72	322	104
Andernach	Nacht	68,4	50	29	83	389	95
	Tag	67,7	135	47	57	277	105
Lahnstein	Nacht	67,7	47	39	96	473	87
	Tag	66,3	100	54	66	334	86
Bad Hersfeld	Nacht	71,8	101	67	80	420	101
	Tag	71,1	242	97	60	334	113
Saalfeld	Nacht	63,7	25	13	45	241	105
	Tag	63,1	81	17	26	147	112
Radebeul	Nacht	67,0	27	17	78	394	98
	Tag	68,1	95	33	56	305	108
Karlstadt	Nacht	69,5	66	45	78	405	91
	Tag	70,5	180	108	66	355	92
Göppingen	Nacht	66,9	50	16	43	240	96
	Tag	66,9	150	24	32	196	103
Osterhofen	Nacht	70,6	45	31	79	405	102
	Tag	71,1	116	62	64	342	111
Emmendingen	Nacht	70,9	62	37	72	373	107
	Tag	71,9	203	82	58	328	119
Rosenheim	Nacht	70,1	51	31	62	348	108
	Tag	70,8	182	55	44	274	121
Fürstenwalde	Nacht	66,9	30	14	66	324	100
	Tag	69,1	111	28	47	254	119
Telgte	Nacht	70,0	43	24	70	371	118
	Tag	70,5	143	27	45	261	146

Tabelle 9: Statistische Pegelwerte für Personenzüge an allen Stationen jeweils für den Zeitraum Tag (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr).

Standort	Zeitraum	Mittelungspegel	L_{Aeq}	TEL	L_{Amax}	TEL80
Elmshorn	Nacht	64,9	87,0	87,3	90,9	80,4
	Tag	69,2	86,6	86,9	90,9	80,1
Schwarzenbek	Nacht	61,5	86,3	86,5	91,0	79,6
	Tag	67,4	86,8	87,0	91,5	79,4
Celle	Nacht	55,1	83,8	84,2	87,5	79,4
	Tag	59,3	83,6	83,9	87,1	78,2
Nienburg	Nacht	61,4	86,6	86,8	91,0	79,4
	Tag	64,2	86,9	87,1	91,1	79,3
Stadthagen	Nacht	62,7	86,6	86,8	89,7	81,1
	Tag	68,9	87,6	87,8	91,4	80,1
Eilsleben	Nacht	58,7	83,0	83,2	87,8	81,3
	Tag	62,5	83,8	84,1	88,6	80,3
Emmerich	Nacht	57,7	84,7	84,9	90,4	82,1
	Tag	60,0	84,7	84,9	88,4	80,4
Andernach	Nacht	59,2	81,7	83,0	87,6	81,4
	Tag	61,6	82,0	82,5	86,3	78,2
Lahnstein	Nacht	49,2	77,1	77,3	80,8	76,2
	Tag	52,0	76,0	76,5	79,0	75,4
Bad Hersfeld	Nacht	64,1	85,8	85,9	93,2	82,1
	Tag	65,5	83,5	83,8	90,8	78,3
Saalfeld	Nacht	51,5	80,9	81,2	82,9	77,1
	Tag	54,6	79,7	80,2	82,1	75,5
Radebeul	Nacht	57,1	85,3	85,5	89,4	81,0
	Tag	61,9	84,1	84,3	88,4	79,5
Karlstadt	Nacht	57,8	81,4	81,5	85,8	78,2
	Tag	56,4	79,2	79,6	83,1	77,0
Göppingen	Nacht	59,8	82,0	82,4	86,3	78,5
	Tag	63,9	83,1	83,4	87,9	79,1
Osterhofen	Nacht	60,2	86,3	86,6	91,8	80,7
	Tag	63,3	87,1	87,5	92,1	81,1
Emmendingen	Nacht	61,9	85,3	85,5	89,1	78,6
	Tag	65,5	84,7	84,9	88,2	77,6
Rosenheim	Nacht	60,3	85,3	85,4	89,6	79,6
	Tag	66,0	85,4	85,5	89,5	79,1
Fürstenwalde	Nacht	59,2	84,2	85,0	88,4	80,7
	Tag	66,2	87,1	87,7	91,2	81,4
Telgte	Nacht	62,2	87,4	87,7	91,1	79,2
	Tag	68,0	88,0	88,2	91,6	78,9

Tabelle 10: Mittelungspegel und mittlere Vorbeifahrtpegel/ Vorbeifahrtexpositionspegel für Güterzüge an allen Stationen jeweils für den Beurteilungszeitraum Tag (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr).

Standort	Zeitraum	Mittelungspegel	L_{Aeq}	TEL	L_{Amax}	TEL80
Elmshorn	Nacht	66,2	86,6	86,7	94,3	85,5
	Tag	66,3	87,0	87,1	94,5	85,8
Schwarzenbek	Nacht	67,9	85,3	85,4	92,2	83,9
	Tag	66,0	85,5	85,5	92,2	84,0
Celle	Nacht	69,0	83,7	83,8	90,7	82,6
	Tag	68,5	84,1	84,1	91,0	82,8
Nienburg	Nacht	70,9	85,0	85,0	92,2	83,0
	Tag	69,9	85,5	85,6	92,5	83,1
Stadthagen	Nacht	71,2	86,4	86,5	92,8	85,9
	Tag	69,3	86,5	86,6	92,8	86,0
Eilsleben	Nacht	70,2	84,1	84,2	91,6	83,5
	Tag	69,0	84,6	84,6	91,7	83,5
Emmerich	Nacht	65,9	83,9	84,0	91,0	82,9
	Tag	65,9	84,1	84,2	91,1	83,3
Andernach	Nacht	67,4	84,1	84,2	90,6	82,6
	Tag	66,0	84,3	84,4	90,3	82,7
Lahnstein	Nacht	67,6	82,7	82,7	89,4	81,6
	Tag	66,1	82,7	82,8	89,5	82,1
Bad Hersfeld	Nacht	70,9	83,7	83,8	91,4	82,2
	Tag	69,5	84,0	84,1	91,3	82,4
Saalfeld	Nacht	63,3	85,0	85,0	91,3	83,1
	Tag	62,4	85,4	85,5	91,9	83,8
Radebeul	Nacht	66,3	85,2	85,3	92,2	83,7
	Tag	66,5	85,6	85,8	93,4	84,0
Karlstadt	Nacht	69,1	83,5	83,5	91,2	82,8
	Tag	70,3	83,7	83,8	91,6	83,0
Göppingen	Nacht	65,8	84,8	84,9	91,7	85,1
	Tag	63,5	83,8	83,9	90,6	84,9
Osterhofen	Nacht	70,0	86,6	86,7	93,2	84,8
	Tag	70,1	86,8	87,0	93,3	84,9
Emmendingen	Nacht	70,1	85,8	85,9	92,1	84,6
	Tag	70,6	85,7	85,7	92,2	84,6
Rosenheim	Nacht	69,6	86,6	86,7	94,4	84,4
	Tag	68,9	86,3	86,4	94,2	84,1
Fürstenwalde	Nacht	66,1	85,4	85,5	91,7	84,4
	Tag	65,9	85,3	85,4	91,6	84,3
Telgte	Nacht	69,2	86,7	86,8	93,4	84,8
	Tag	66,9	87,0	87,1	93,5	85,6

Tabelle 11: Mittelungspegel, mittlere Vorbeifahrtpegel/ Vorbeifahrtexpositionspegel und mittlerer Vorbeifahrtexpositionspegel bezogen auf 80 km/h, sowie Zugkennzahlen für Personen- (PZ) und Güterzüge (GZ) an allen Stationen.

Standort	Tage in Betrieb	Zug-kategorie	L_m	L_{Aeq}	TEL	L_{max}	TEL80	Züge pro Tag	Achsen pro Zug	Mittlere Zuglänge	mittlere Geschwindigkeit
Elmshorn	365	PZ	68,2	86,7	86,9	90,9	80,1	247	25	168	138
		GZ	66,3	86,9	86,9	94,4	85,7	34	97	511	88
Schwarzenbek	365	PZ	66,2	86,7	86,9	91,5	79,4	121	35	230	146
		GZ	66,7	85,4	85,5	92,2	83,9	50	115	550	90
Celle	365	PZ	58,3	83,6	84,0	87,2	78,4	73	14	103	126
		GZ	68,7	83,9	84,0	90,9	82,7	109	127	556	89
Nienburg	365	PZ	63,5	86,9	87,1	91,1	79,3	76	30	193	147
		GZ	70,3	85,3	85,4	92,3	83,0	124	108	562	96
Stadthagen	365	PZ	67,6	87,4	87,6	91,2	80,2	164	32	196	138
		GZ	70,1	86,5	86,5	92,8	86,0	98	104	449	84
Eilsleben	365	PZ	61,5	83,7	83,9	88,5	80,5	81	26	165	108
		GZ	69,4	84,4	84,5	91,6	83,5	124	107	509	87
Emmerich	365	PZ	59,4	84,7	84,9	88,8	80,8	47	21	148	120
		GZ	65,9	84,1	84,1	91,1	83,2	57	127	526	87
Andernach	365	PZ	60,9	81,9	82,6	86,6	79,0	101	29	177	111
		GZ	66,5	84,2	84,3	90,4	82,7	76	106	464	90
Lahnstein	365	PZ	51,2	76,2	76,7	79,3	75,5	52	16	115	87
		GZ	66,6	82,7	82,8	89,5	81,9	93	110	532	86
Bad Hersfeld	365	PZ	65,1	84,0	84,2	91,3	79,2	167	31	212	128
		GZ	70,0	83,9	84,0	91,3	82,3	164	104	524	91
Saalfeld	365	PZ	53,8	80,0	80,4	82,2	75,8	72	11	81	117
		GZ	62,7	85,2	85,3	91,7	83,5	30	78	397	93
Radebeul	365	PZ	60,8	84,3	84,5	88,5	79,7	60	31	196	118
		GZ	66,5	85,5	85,6	93,0	83,9	50	104	525	92
Karlstadt	365	PZ	56,9	80,0	80,3	83,8	77,4	86	18	121	102
		GZ	69,9	83,7	83,7	91,5	82,9	153	101	521	86
Göppingen	365	PZ	62,9	82,9	83,2	87,6	79,0	155	22	152	108
		GZ	64,4	84,2	84,3	91,1	85,0	40	84	432	78
Osterhofen	365	PZ	62,5	87,0	87,3	92,0	81,0	58	27	176	135
		GZ	70,1	86,8	86,9	93,3	84,9	93	97	497	93
Emmendingen	365	PZ	64,6	84,8	85,0	88,4	77,8	138	30	213	141
		GZ	70,4	85,7	85,8	92,1	84,6	119	100	496	88
Rosenheim	365	PZ	64,8	85,4	85,5	89,5	79,1	140	26	184	133
		GZ	69,2	86,5	86,5	94,3	84,2	86	87	483	96
Fürstenwalde	365	PZ	64,8	86,8	87,4	90,9	81,3	94	25	164	127
		GZ	66,0	85,3	85,4	91,6	84,3	42	115	534	89
Telgte	365	PZ	66,8	87,9	88,1	91,5	78,9	131	31	208	159
		GZ	67,8	86,9	86,9	93,5	85,3	50	107	516	91

5 Anhang: Schienenrauheit und Abklingrate 2023

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit in dB, re 1 μm entsprechend

BS EN 15610:2019

Darstellung der energetischen Mittelwerte über alle Messspuren beider Schienen separat für jedes Gleis am Messquerschnitt. Gegenüberstellung des Grenzspektrums für Referenzgleisabschnitte nach TSI Lärm/EN ISO 3095.

Rauheits-Einzelwert $L_{\lambda CA}$ in dB ist angegeben für die Bezugs-Geschwindigkeiten 80 km/h und 120 km/h entsprechend Deliverable 12 part 1 of the HARMONOISE project.

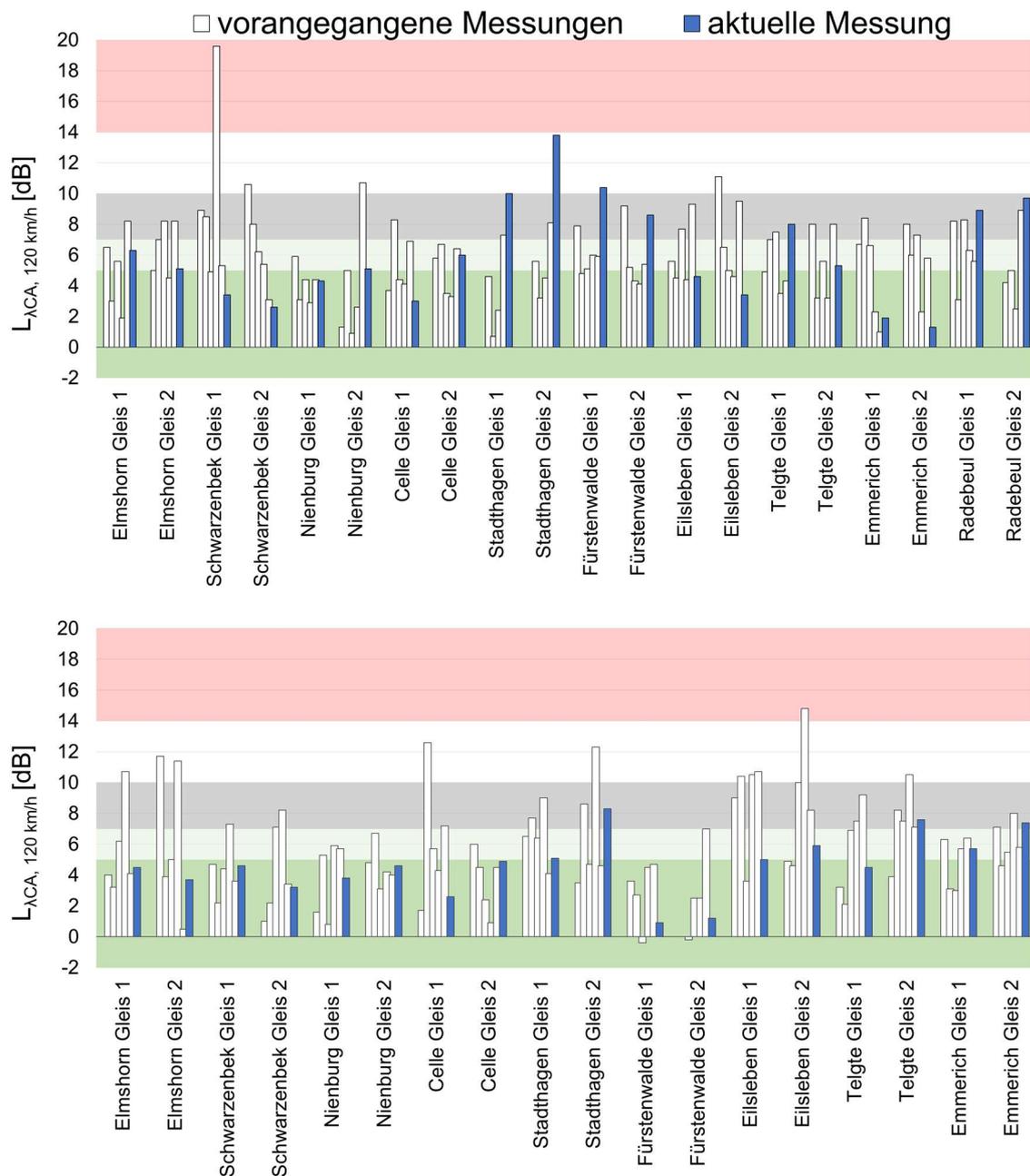


Abbildung 25: Rauheits-Einzahlwerte L_{ACA} in dB(A) für alle Messquerschnitte aller Messstandorte mit der Bezugs-Geschwindigkeit 120 km/h. Die grauen Balken repräsentieren die Ergebnisse der Initialmessung und die blauen Balken zeigen die Ergebnisse der zweiten Messung.

Gleisabklingrate in dB/m entsprechend EN 15461:2008

Darstellung der Abklingraten in vertikaler und horizontaler Messrichtung für jede Schiene (linke/rechte Schiene in Bezug auf die Fahrtrichtung). Gegenüberstellung des Grenzspektrums für Referenzgleisabschnitte nach TSI Lärm/EN ISO 3095.

(Hinweis: Einzelne Frequenzbereiche der Graphen sind nicht dargestellt, sofern das Ergebnis als nicht vertrauenswürdig einzustufen ist, z. B. aufgrund unzureichender Signalqualität.)

6 Anhang: Literatur

- [1] DURCHFÜHRUNGSVERORDNUNG (EU) 2019/774 DER KOMMISSION vom 16. Mai 2019 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 1304/2014 in Bezug auf die Anwendung der technischen Spezifikation für Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge — Lärm“ auf Bestandsgüterwagen
- [2] DIN 38452-1:2022-08 Langzeitmessung von Schienenverkehrsgeräuschen – Teil 1: Emissionen
- [3] DIN EN 15610:2021-11 Bahnanwendungen – Akustik – Messung der Schienen- und Radrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräuschen; Deutsche Fassung EN 15610:2019
- [4] ISO 3095 Akustik – Bahnanwendungen – Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen (2013)
- [5] Annemarie van Beek, Edwin Verheijen: Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management Of Environmental Noise – DEFINITION OF TRACK INFLUENCE: ROUGHNESS IN ROLLING NOISE – Deliverable 12 part 1 of the HARMONOISE project
- [6] EN 15461:2011: Bahnanwendungen – Schallemission – Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften von Gleisabschnitten für Vorbeifahrtgeräuschmessungen; Deutsche Fassung EN 15461:2008+A1:2010
- [7] David Thompson; Single number descriptor of track decay rates: a proposal for SBB, ISVR 2012
- [8] Lutzenberger, Stiebel, Gerbig, Wettschureck; Luftschall aus dem Schienenverkehr, Fachwissen Technische Akustik, Springer Verlag 2017
- [9] Lutzenberger, Stiebel, Gerbig, Wettschureck; Erschütterungen und sekundärer Luftschall aus dem Schienenverkehr, Fachwissen Technische Akustik, Springer Verlag 2017
- [10] G.J. van Blokland and S. Lutzenberger, “Progress report on measures on rail traffic noise in the EU”, Interest Group on Traffic Noise Abatement of the EPA Network (IGNA-EPA), June 2014

- [11] B 126.13 E; Synthesis paper on the EuropeTrain operation with LL brake blocks
–
- [12] Lutzenberger, S., Gralla, G.; Ermittlung der Messunsicherheiten bei
bahnakustischen Messungen; Erläuterungen zum Anhang F der ISO EN 3095;
Fachtagung Bahnakustik 2011.
- [13] Remington, P. J., (1987). Wheel / rail rolling noise. parts I and II. Journal of the
Acoustical Society of America, 81 (June), 1805–1832.
- [14] Thompson, D. J., (1993). Wheel–Rail Noise Generation, Parts I – V. Journal of
Sound and Vibration, 161, 387–482.
- [15] David Thompson; Railway Noise and Vibration; ISBN: 9780080451473; Elsevier
Science; 2008
- [16] Lutzenberger, S.; Gutmann, C.: Geräuschemission europäischer
Schienenfahrzeuge, Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Januar 2013
- [17] Gutmann, C., Oertli, J., Scossa–Romano, E., Lutzenberger, S., Belcher, D.;
Statistische Untersuchung der Track Decay Rate verschiedener
Schotteroberbauten im Hinblick auf die Wirksamkeit von Schienendämpfern,
Fachtagung Bahnakustik 2014
- [18] Lutzenberger, S.: Bahnlärmmonitoring El Der Eisenbahningenieur, Mai 2017
- [19] Jahresbericht 2019 – „Monitoring Eisenbahnlärm“ veröffentlicht vom
Bundesamt für Verkehr BAV, Schweizerische Eidgenossenschaft
- [20] Jahresbericht 2020 – „Monitoring Eisenbahnlärm“ veröffentlicht vom
Bundesamt für Verkehr BAV, Schweizerische
Eidgenossenschaft ISO/IEC Guide 98–3 *Uncertainty of measurement – Part 3:
Guide to the expression of uncertainty in measurements* (GUM:1995)