

Lärm-Monitoring

# Jahresbericht 2022

Schallmessung im Schienenverkehr



Eisenbahn-Bundesamt

## Impressum

### HERAUSGEBER

Eisenbahn-Bundesamt  
Heinemannstraße 6  
53175 Bonn

[www.eba.bund.de](http://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](http://www.laerm-monitoring.de)

### KONTAKT

Telefon: 0228 / 9826 – 540

E-Mail: [laerm-monitoring@eba.bund.de](mailto:laerm-monitoring@eba.bund.de)

Bonn, September 2023

# 1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	2
2	Zusammenfassung	3
3	Einleitung	5
4	Messstationen	6
5	Verwendete Messgrößen	8
6	Messergebnisse	11
1	Anhang: Messkonzept	41
2	Anhang: Messgrößen	44
3	Anhang: Fehlerbetrachtung, Genauigkeitsbetrachtung, Messunsicherheiten	47
4	Anhang: Kennzahlen 2022	50
5	Anhang: Schienenrauheit und Abklingrate 2022	55
6	Anhang: Literatur	115

## 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 Digitales und Verkehr. Ziel ist es, den Erfolg der zahlreichen Aktivitäten zum Lärmschutz, wie z. B. die Umrüstung der Güterwagen auf lärmarme Bremstechniken, zu überwachen. Im Jahr 2022 haben die 19 Messstationen entlang des deutschen Schienennetzes Zugvorbeifahrten mit einer Verfügbarkeit von 98,4 Prozent aufgezeichnet. Mit dem vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse des Lärm-Monitorings für das Jahr 2022 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 64,2 dB(A) und 72,1 dB(A). Im Vergleich zu 2019 sind die Mittelungspegel an allen Messstationen um bis zu 4,7 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 zurück.
- Insgesamt sind es weiterhin Güterzüge, die an den Messstationen die wesentlichen Geräuschquellen darstellen. Sie verursachten etwa 75 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 stieg der Anteil an Güterwagen, welche als lärmarm<sup>1</sup> und somit als definitiv umgerüstet klassifiziert wurden, von 59 Prozent auf im Mittel 89 Prozent im Jahr 2022. Die von Güterwagen verursachte mittlere Emission ging in diesem Zeitraum um ca. 7 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 2022 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 lautereren Pegel werden z. B. von akustisch ungünstigen Radzuständen bedingt.
- Seit der Inbetriebnahme der Lärm-Monitoringstationen bis zum Jahr 2021 wurden an allen Stationen Schallpegelminderungen festgestellt, die durch die Umrüstung der Güterwagen

---

<sup>1</sup> Als lärmarm werden die Güterwagen bezeichnet, welche einen Vorbeifahrtpegel  $L_{pAeq,T,APL,80}$  von 86 dB(A) nicht überschreiten, da Güterwagen mit Grauguss-Bremssohlen grundsätzlich größere Vorbeifahrtpegel aufweisen. Für Neuzulassungen von Güterwagen nach TSI Lärm liegt der bei Abnahmemessungen einzuhaltende Grenzwert bei 83 dB(A). 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. Details in Abschnitt 5.4.

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](http://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 (Schienenlärmenschutzgesetz) 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 Digitales und 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 E DIN 38452-1:2020-03; Langzeitmessung von Schienenverkehrsgeräuschen – Teil 1: Emissionen; Entwurf März 2020 [2] mit der höchsten Qualitätsstufe 3.

Für diesen Bericht wurden die Messergebnisse aus dem Jahr 2022 ausgewertet und aufbereitet. Auf der Internetseite [www.laerm-monitoring.de](http://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 18).

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.

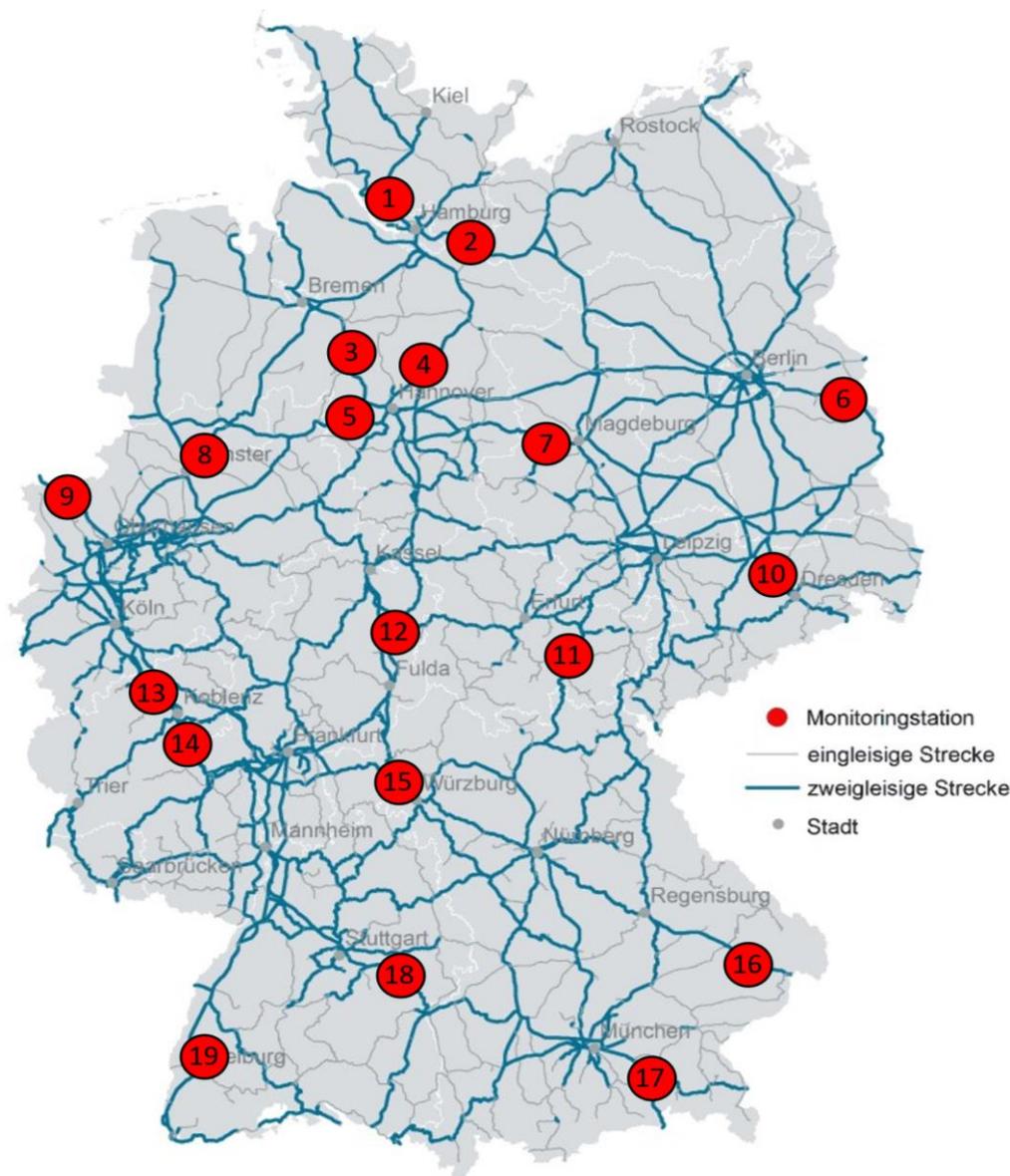


Abbildung 1: Standorte der Messstationen

Nr.	Standorte der Lärmessstationen	Nr.	Standorte der Lärmessstationen
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.

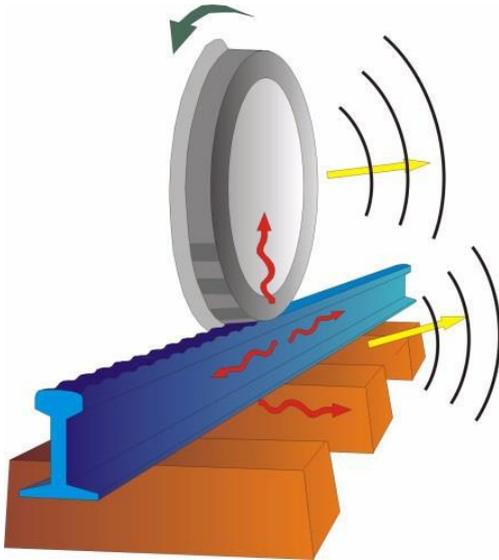


Abbildung 2: Schall- und Erschütterungserzeugung verursacht durch ein rollendes Rad mit Rundheitsabweichungen auf einer Schiene mit Riffeln (Quelle: TNO)

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.

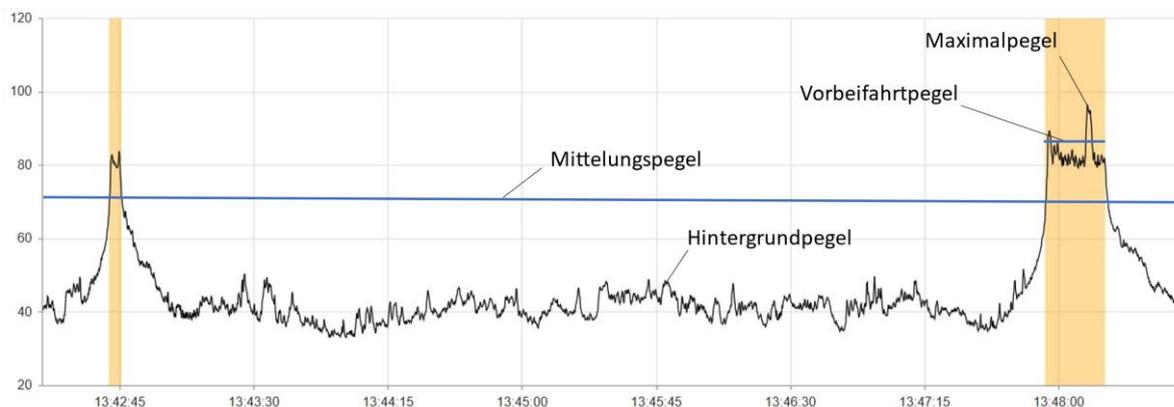


Abbildung 3: Mittelungs-, Vorbeifahrt-, Maximal- und Hintergrundpegel am Beispiel einer Zugvorbeifahrt an der Messstation Rosenheim.

### 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 *TEL80* 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  $L_{pAeq, Tp, APL, 80}$  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 Schallexpositionen 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. Insgesamt haben die Zugzahlen leicht zugenommen, wobei die mittlere Anzahl von Achsen pro Zug als auch die mittlere Zuglänge und Geschwindigkeit konstant blieben. Der Mittelungspegel  $L_m$  nahm im Vergleich zu 2019 um 3,5 dB(A) ab. Der Mittelungspegel  $L_m$  für das Jahr 2022 liegt mit einem Wert von 69,6 dB(A) auf dem Niveau des Vorjahres, da zwar die Anzahl der erfassten Personenzugvorbeifahrten um 5 Prozent zugenommen hat, die Anzahl der pegelbestimmenden Güterzugvorbeifahrten aber praktisch konstant geblieben ist.

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

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

Spezifisch ausgewertet für alle Güterzüge (Tabelle 3) ergibt sich ein vergleichbares Bild wie für den gesamten Zugverkehr aus Tabelle 2. Die durch die Güterzugvorbeifahrten verursachten Mittelungspegel sanken, trotz einer Zunahme der Güterzugzahlen um 12 % von 2019 bis 2022 um 4,2 dB(A).

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

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

In Tabelle 4 sind die Mittelwerte für die Personenzüge angegeben. Auch hier sind die Zugzahlen über die Jahre zunehmend. Zuletzt nahmen die Zugzahlen um mehr als 10 Prozent zum Vorjahr zu. Trotzdem ist der durch die Personenzüge verursachte Mittelungspegel über die Jahre etwa gleich geblieben, im Jahr 2022 nahm der Pegel minimal um 0,3 dB(A) zu. Insgesamt sind die verzeichneten

Pegelminderungen des Gesamtsystems (siehe Tabelle 2) auf die Schallminderung im Güterverkehr zurückzuführen.

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

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

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 2021 (hellblau) und 2022 (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.

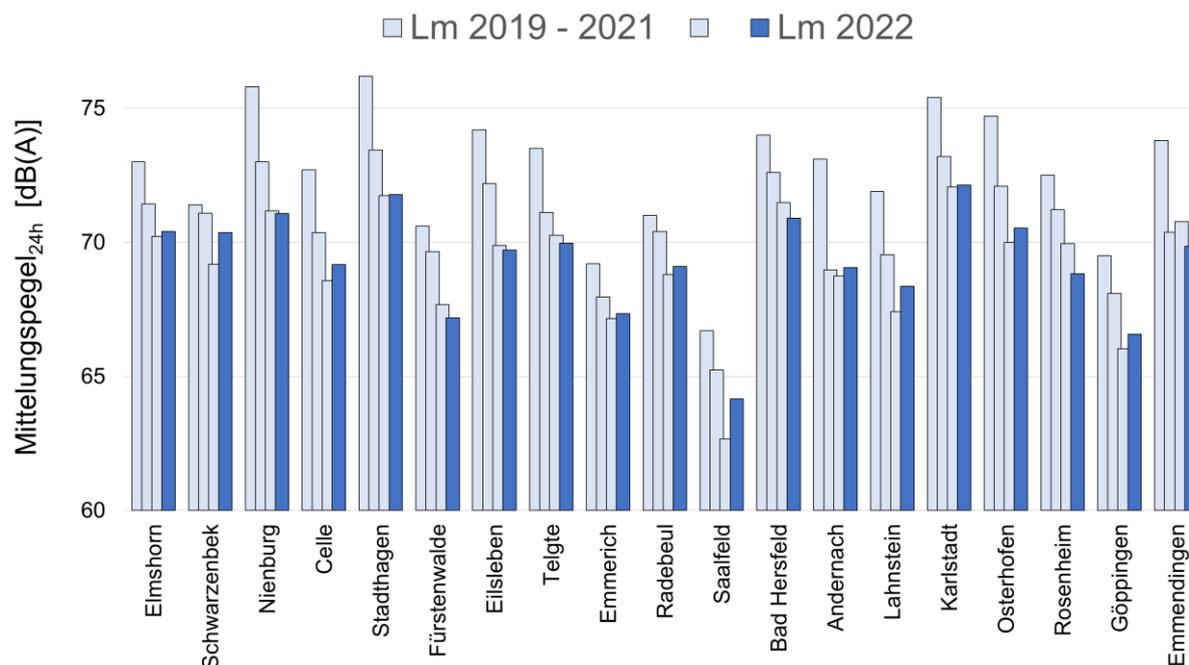


Abbildung 4: Mittelungspegel  $L_{m,24h}$  an allen Messstationen im Vergleich der Jahre 2019 bis 2021 (hellblau) und 2022 (blau)

Im Jahr 2022 lagen die Mittelungspegel zwischen 64,2 dB(A) und 72,1 dB(A). Im Vergleich zum Jahr 2019<sup>2</sup> sind die Schallemissionen aus dem Schienenverkehr an 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 2022 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 2022 bei 75 Prozent, 15 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 bereits 2021 die Personenzüge einen größeren Anteil an der Gesamtemission als die Güterzüge hatten. An dieser Messstation ist der Anteil an Güterzügen gering im Vergleich zu Personenzügen.

<sup>2</sup> 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.

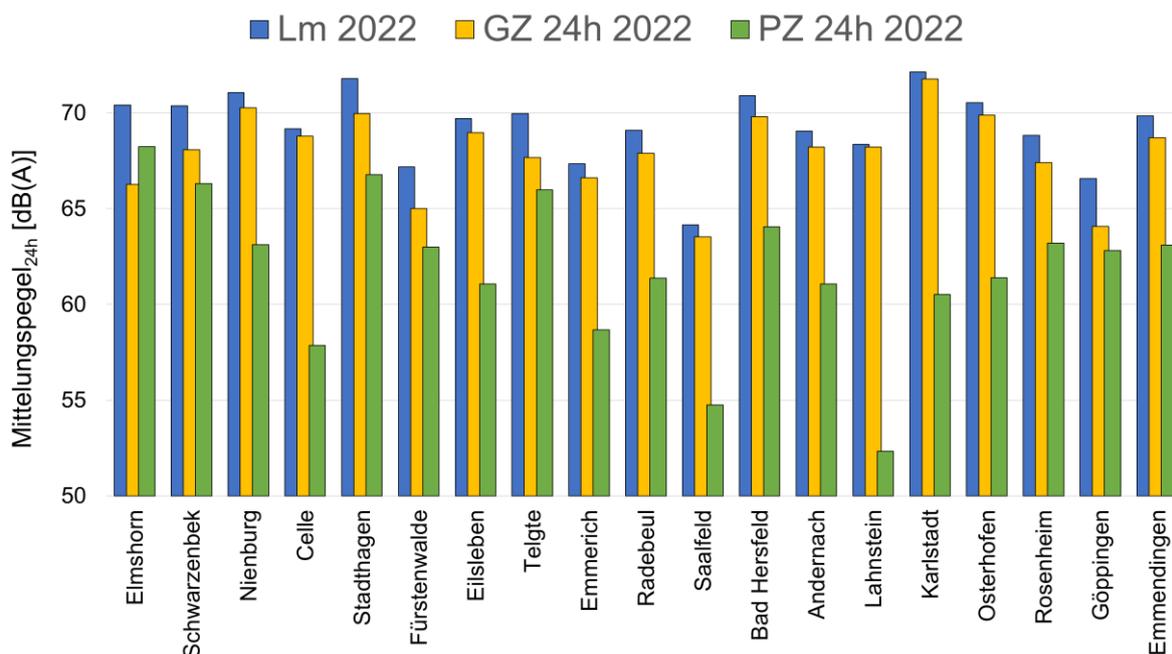


Abbildung 5: Gesamter Mittelungspegel für das Jahr 2022  $L_{m,24h}$  (blau) pro Messstation zusammen mit den von Güter- und Personenzügen verursachten Mittelungspegeln  $L_{m,GZ}$  (gelb) bzw.  $L_{m,PZ}$  (grün).

In den vier nachfolgenden Abbildungen Abbildung 6 bis Abbildung 9 sind die Mittelungspegel der Jahre 2019 bis 2022 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 keinem Trend folgen. 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 (siehe Abschnitt 6.3) haben Einfluss auf die Pegel.

Die Mittelungspegel der Güterzüge haben hingegen bis zum Jahr 2021 in der Fläche abgenommen. Dies kann auf das leisere Rollmaterial der umgerüsteten Güterwagen zurückgeführt werden. Für das Jahr 2022 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.

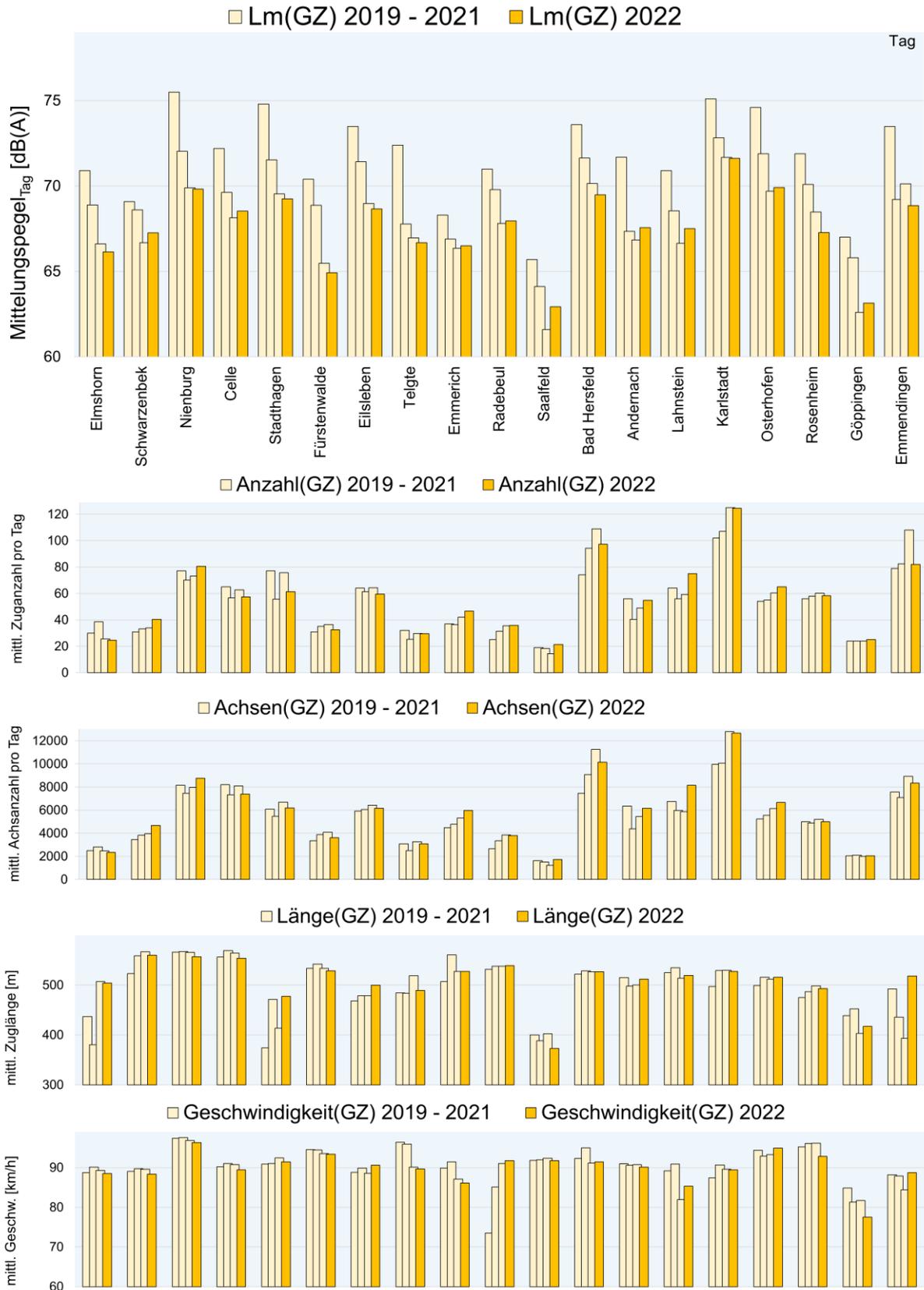


Abbildung 6: Mittelungspegel, Zuganzahl, Achsanzahl, Zuglänge und Geschwindigkeit für den Zeitraum Tag (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) für Güterzüge. Unterteilt für das Jahr 2019 bis 2021 (hellgelb) und 2022 (gelb).

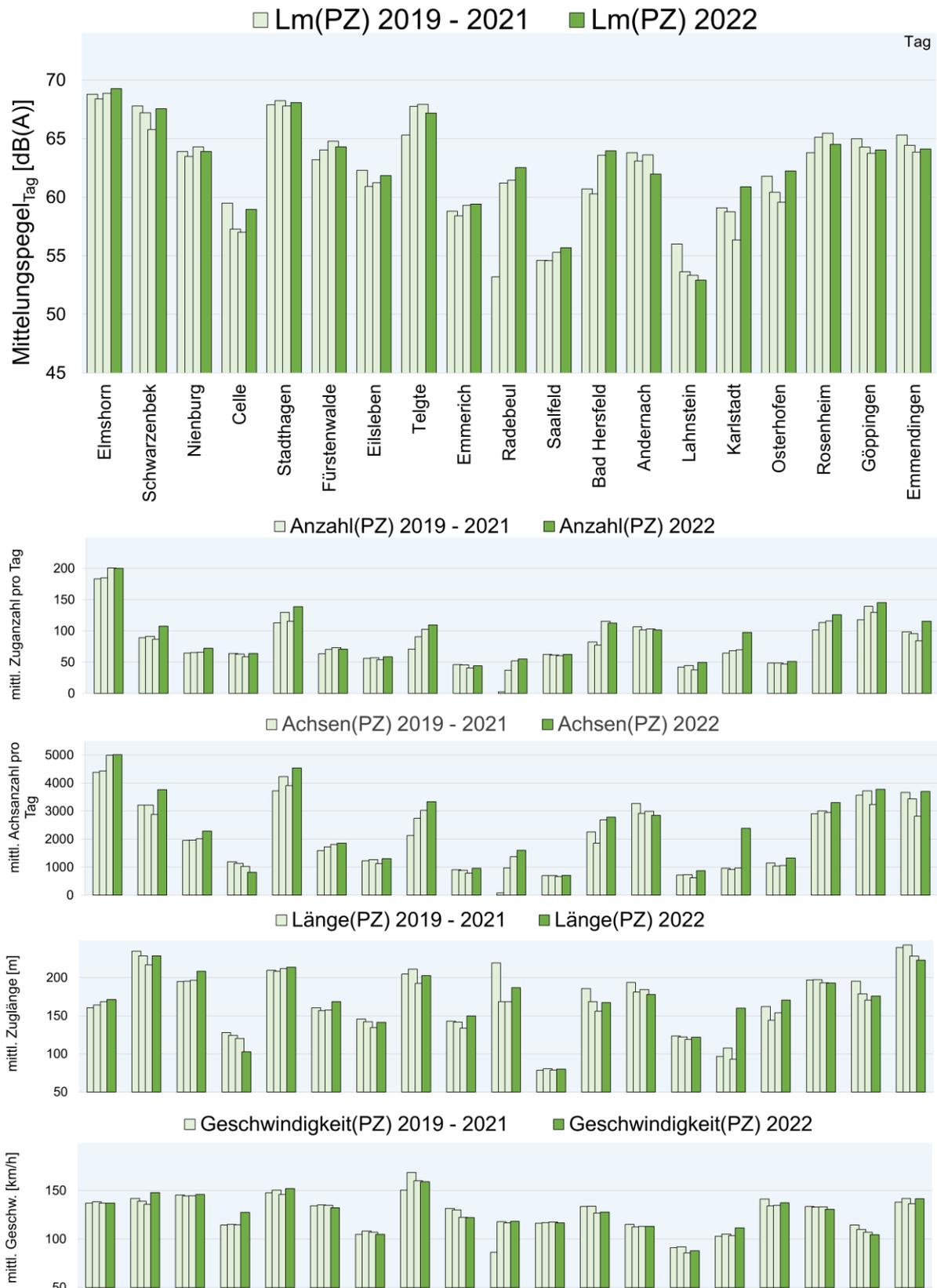


Abbildung 7: Mittelungspegel, Zuganzahl, Achszahl, Zuglänge und Geschwindigkeit für den Zeitraum Tag (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) für Personenzüge. Unterteilt für das Jahr 2019 bis 2021 (hellgrün) und 2022 (grün).

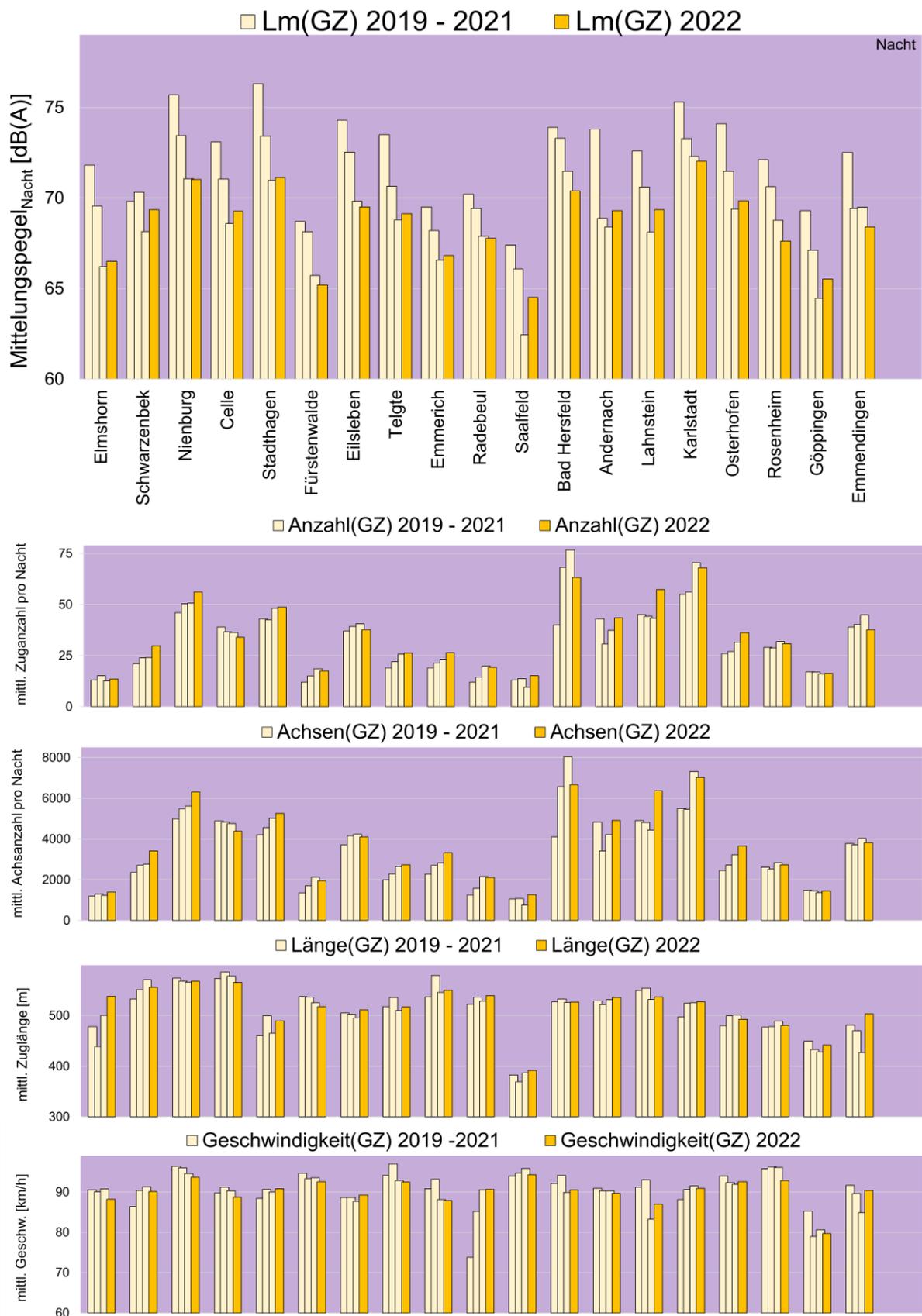


Abbildung 8: Mittelungspegel, Zuganzahl, Achszahl, Zuglänge und Geschwindigkeit für den Zeitraum Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) für Güterzüge. Unterteilt für das Jahr 2019 bis 2021 (hellgelb) und 2022 (gelb).

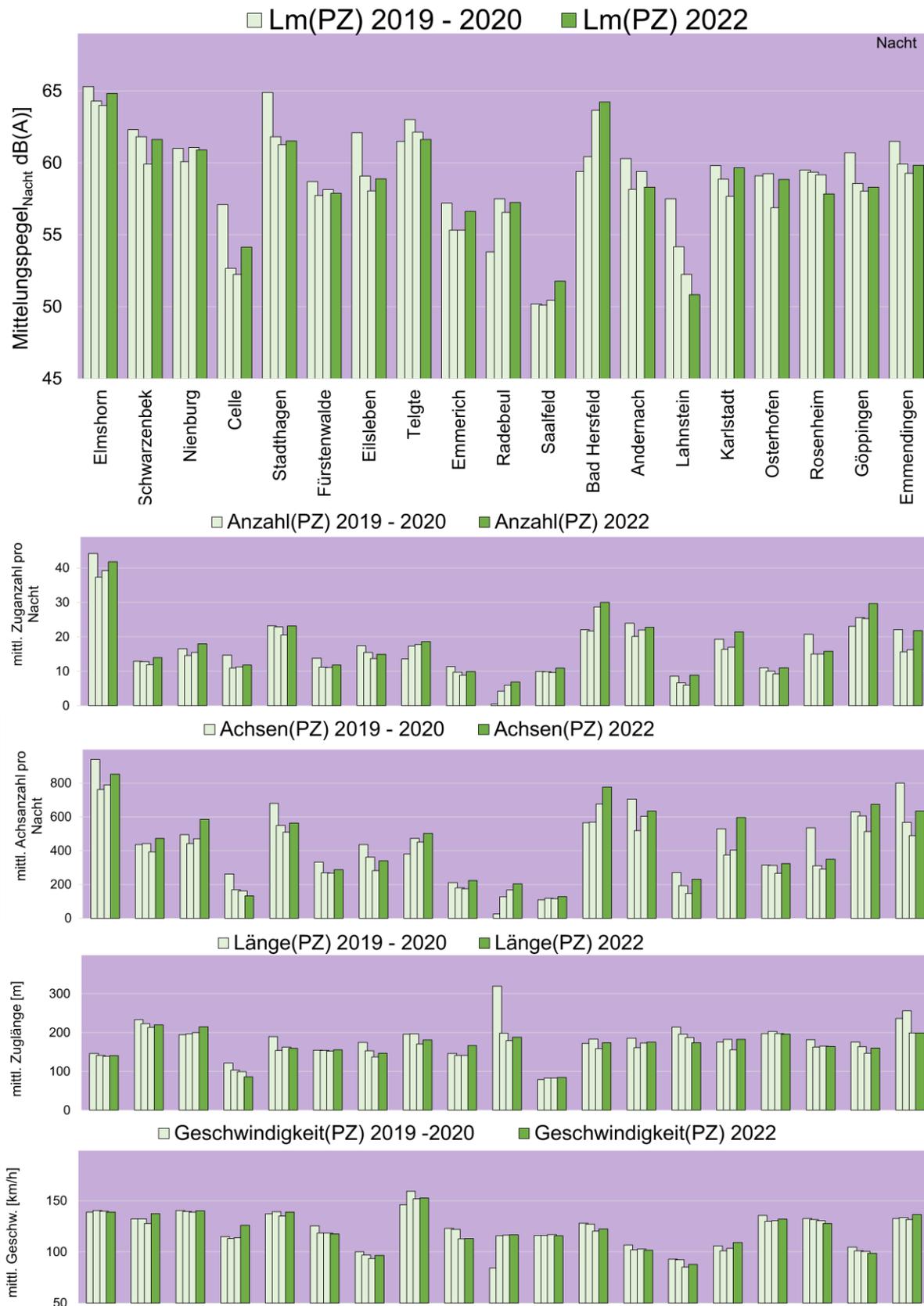


Abbildung 9: Mittelungspegel, Zuganzahl, Achszahl, Zuglänge und Geschwindigkeit für den Zeitraum Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) für Personenzüge. Unterteilt für das Jahr 2019 bis 2021 (hellgrün) und 2022 (grün).

## 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 2022 im Vergleich zu 2021 nicht verändert. Der Verkehr hat sich in Anzahl und Zusammensetzung nicht wesentlich verändert. Weiterhin haben die Personenzüge mit über 86 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 80 Prozent der verkehrenden Güterwagen als lärmarm identifiziert. Dies liegt zwar weiterhin unter dem bundesweiten Mittel von 86 Prozent, jedoch stieg der Anteil lärmarmen Güterwagen im Vergleich zum Vorjahr um etwa 2 Prozentpunkte. Durch den hohen Anteil an Personenzügen und den hohen Umrüstgrad der Güterwagen bestimmte 2022 wie bereits im Vorjahr der Vorbeifahrtpegel der Personenzüge den Gesamtpegel. Da sich die betrieblichen Parameter des Personenverkehrs nicht geändert haben, liegt der Mittelungspegel 2022 vergleichbar zu dem Mittelungspegel von 2021.

### SCHWARZENBEK

An der Messstation Schwarzenbek stieg die Anzahl der verkehrenden Züge im Jahr 2022 um über 21 Prozent zu den Vorjahren. Die Geschwindigkeit der Personenzüge hat zum Vorjahr signifikant zugenommen. Aufgrund dieser Zunahme erhöhte sich der Mittelungspegel um 1 dB(A). Der Anteil von als lärmarm gemessenen Güterwagen hat sich im Vergleich zum Jahr 2021 um ca. 2 Prozentpunkte gemindert.

### NIENBURG

An der Lärm-Monitoringstation Nienburg erhöhte sich die Anzahl der Zugvorbeifahrten um ca. 11 Prozent im Vergleich zu 2021. Dies ist auf die höhere Güterzugfrequentierung sowohl am Tag als auch in der Nacht zurückzuführen. Gleichzeitig hat sich die Geschwindigkeit der Güterzüge leicht reduziert, so dass sich der Mittelungspegel zum Vorjahr nicht verändert. Der Anteil lärmarmen Güterwagen stieg im Vergleich zum Vorjahr um über 1 Prozentpunkte auf ein Jahresmittel von über 90 Prozent lärmarmen Güterwagen und liegt somit über dem bundesweiten Durchschnitt. Die Zuglänge und Geschwindigkeit haben sich nicht wesentlich verändert.

### CELLE

Der an der Lärm-Monitoringstation Celle gemessene Mittelungspegel für das Jahr 2022 liegt 0,5 dB(A) über dem Wert aus 2021. Im gleichen Zeitraum haben sich die Anzahl der Zugvorbeifahrten sowie die Länge und Geschwindigkeit der Züge nicht wesentlich geändert. Vergleicht man den Anteil lärmarmen Güterwagen aus dem Jahr 2022 mit dem Jahr 2021, so wurden etwa 4,5 Prozentpunkte weniger Güterwagen als lärmarm gemessen. Dies kann darin begründet sein, dass sich der Vorbeifahrtpegel einiger Güterwagen durch die leicht erhöhte Schienenrauheit leicht über den Grenzwert von 86 dB(A) bewegt haben. Trotz des Rückgangs liegt der Anteil lärmarmen Güterwagen mit 88,7 Prozent weiterhin über den bundesweiten Durchschnitt.

### STADTHAGEN

An der Messstation Stadthagen nahm der Güterverkehr tagsüber um 19 Prozent zum Vorjahr ab. Jedoch nahm die Länge der Güterzüge im gleichen Zeitraum im Schnitt um ca. 16 Prozent zu. Mit der geringen Erhöhung der Güterzugvorbeifahrten in der Nacht, ergab sich keine Veränderung des Mittelungspegels von 76,2 dB(A) an der Messstation. Der Anteil lärmarmen Güterwagen erhöhte sich im dritten Jahr in Folge. An der Messstation wurden 81 Prozent der Güterwagenvorbeifahrten als lärmarm erkannt und somit über 1 Prozentpunkte mehr gegenüber 2021.

### FÜRSTENWALDE

Im Vergleich zum Vorjahr nahm der Mittelungspegel um 0,5 dB(A) auf 67,2 dB (A) ab. Dies lässt sich durch den leichten Rückgang der Anzahl der Zugvorbeifahrten sowie der Länge der Züge begründen. Die Station weist im Vergleich zu den anderen Stationen den zweitniedrigsten Mittelungspegel für 2022 auf. Für das Jahr 2022 blieb der Anteil der als lärmarm gemessenen Güterwagen gleich. Die akustischen Gleiseigenschaften änderten sich nicht wesentlich.

### EILSLEBEN

An der Messstation Eilsleben blieb der Mittelungspegel im Vergleich zu 2021 in etwa gleich und reduzierte sich über das Jahr um 0,2 dB(A). Der Anteil lärmarmen Güterwagen liegt in Eilsleben bei 84 Prozent, dies entspricht einer Zunahme von 1,4 Prozentpunkten zum Vorjahr. Die Zuganzahl und Geschwindigkeit der Güterzüge änderten sich nur unwesentlich zum Vorjahr.

### TELGTE

Die Lärm-Monitoringstation Telgte verzeichnete im Jahr 2022 einen Rückgang der Schallemissionen (Mittelungspegel) um 0,3 dB(A) im Vergleich zu 2021. Der Anteil der als lärmarm gemessenen Güterwagen stieg auf ca. 80 Prozent. Gleichzeitig stiegen Anzahl und Länge der Personenzüge leicht an im Vergleich zu 2021. Die Mittelungspegel des Güter- bzw. Personenverkehrs unterscheiden sich aktuell lediglich um etwa 1,7 dB(A).

### EMMERICH

Vor allem aufgrund der Zunahme des Güterverkehrs um 11 Prozent und des Personenverkehrs um etwa 8,5 Prozent erhöhte sich der Mittelungspegel an der Messstation Emmerich im Vergleich zu 2021 leicht um 0,2 dB(A) auf 67,3 dB(A). An dieser Messstation wurde im Jahr 2019 bereits ein vergleichsweise hoher Anteil lärmarmen Güterwagen gemessen. Der als lärmarm zu klassifizierende Anteil der Güterwagen nahm im Jahr 2022 um knapp 1 Prozent gegenüber 2021 zu.

### RADEBEUL

An der Station in Radebeul haben sich die Daten der Güterzugvorbeifahrt zu 2021 insgesamt nicht verändert. Daher ist die geringe Pegelzunahme von 0,3 dB(A) zum Vorjahr durch die Zunahme der Personenzugvorbeifahrten sowie deren Länge zurückzuführen. Weiterhin wurde eine Reduzierung von lärmarmen Güterwagen um 1,8 Prozentpunkt ermittelt und stellt dadurch den niedrigsten Wert aller Messstationen dar.

### SAALFELD

Der Mittelungspegel erhöhte sich im Vergleich zum Vorjahr um 1,5 dB(A) auf etwa 64 dB(A), bleibt jedoch im Vergleich zu den anderen Messstationen der niedrigste Pegel. Die Erhöhung lässt sich durch den Anstieg an Güterzugvorbeifahrten um über 50 Prozent begründen. Der im Vergleich zu anderen Messstationen niedrige Mittelungspegel ist auf die geringe Achszahl respektive kurze Zuglängen und niedrige Zugzahlen zurückzuführen. In dem gleichen Zeitraum konnte eine Reduzierung lauter Güterwagen festgestellt werden, so dass über 2 Prozentpunkte mehr lärmarme Güterwagen die Messstation in Saalfeld passiert haben.

### BAD HERSFELD

Die Lärm-Monitoringstation Bad Hersfeld weist die zweithöchste Zugfrequentierung nach Karlstadt auf. Allerdings ging die Anzahl der Güterzugvorbeifahrten gegenüber dem Vorjahr um etwa 15 Prozent zurück. Durch den Rückgang der Zugfrequentierung nahm der Mittelungspegel zu 2021 um 0,6 dB(A) auf 70,9 dB(A) ab. Weiterhin weist die Messstation mit fast 93 Prozent den höchsten Anteil lärmarmen Güterwagen auf.

### ANDERNACH

Der Anteil lärmarmen Güterwagen ging im Vergleich zum Vorjahr um etwa 0,5 Prozentpunkte auf über 89 Prozent zurück und liegt weiterhin über dem bundesweiten Durchschnitt von 85,8 Prozent. An der Messstation wurden im Jahr 2022 etwa 14 Prozent mehr Güterzugvorbeifahrten zum Vorjahr registriert, welches eine minimale Erhöhung des Mittelungspegels um 0,3 dB(A) zur Folge hatte. Trotz der Erhöhung lag der Mittelungspegel mit 69,1 dB(A) unter dem bundesweiten Durchschnitt.

### LAHNSTEIN

An der Messstation Lahnstein ist der Mittelungspegel für das Jahr 2022 im Vergleich zu 2021 um 1,0 dB(A) auf 68,4 dB(A) erhöht. Dies liegt in der Zunahme der Zugfrequentierung begründet. Im Jahr 2022 nahm der Güterzugverkehr um ca. 35 Prozent und der Personenverkehr um etwa 28 Prozent zu. Wie in den letzten Jahren konnte eine Erhöhung an lärmarmen Güterwagen festgestellt werden. Mit 92,2 Prozent wurde der zweithöchste Wert aller Messstationen erreicht.

### KARLSTADT

An der Lärm-Monitoringstation Karlstadt wurden nicht nur die meisten Güterzüge pro Tag registriert, sondern allgemein die meisten Zugvorbeifahrten. Hierbei nahmen die Zugvorbeifahrten zu 2021 zu. Die höhere Frequentierung ist auf die Personenzüge zurück zu führen. Diese nahm im Vergleich zum Vorjahr um etwa 40 Prozent zu. Daneben nahm auch ihre Länge im Schnitt um 67 Meter zu. Dieses Mehraufkommen kann in der Streckensperrung der SFS 1733 begründet liegen. Da der Mittelungspegel durch den Güterverkehr dominiert wird, änderte sich der Mittelungspegel zu 2021 nicht und bleibt weiterhin der höchste Wert aller Stationen. Mit einem Anteil von 88,6 Prozent an lärmarmen Güterwagen liegt die Station über dem bundesweiten Durchschnitt und konnte den Anteil zum Vorjahr wieder erhöhen.

### OSTERHOFEN

Der Mittelungspegel liegt an der Messstation Osterhofen bei etwa 70 dB(A) und nahm im Vergleich zu 2021 um 0,5 dB(A) zu. Der Anteil gemessener lärmarmen Güterwagen liegt mit etwa 84 Prozent unter dem bundesweiten Mittel, konnte aber zum Jahr 2021 um 1,7 Prozentpunkte gesteigert werden.

### ROSENHEIM

An der Lärm-Monitoringstation Rosenheim lag der durch den Güterverkehr dominierte Mittelungspegel im Jahr 2022 bei unter 69 dB(A). Dies ist 1,1 dB(A) weniger als im Jahr 2021. Die Minderung des Mittelungspegels kann auf die Emissionen der Güterwagen zurückgeführt werden. Der Anteil lärmarmen Güterwagen lag bei etwa 89 Prozent, im Vergleich zu 2021 konnte der Anteil lärmarmen Güterwagen um 3,5 Prozentpunkte gesteigert werden. Auch der etwas bessere akustischen Gleiszustand kann die Abnahme des Mittelungspegels begünstigt haben.

### GÖPPINGEN

Mit einem Mittelungspegel von 66,6 dB(A) wurde der zweitniedrigste Mittelungspegel an allen Stationen gemessen. Lediglich die Station in Saalfeld hat einen niedrigeren Mittelungspegel für 2022. Im Vergleich zu 2021 nahm vor allem die Personenzugvorbeifahrten mit über 14 Prozent zu. Im gleichen Zeitraum wurden 81,8 Prozent (plus 2,3 Prozentpunkte) der verkehrenden Güterwagen als lärmarm gemessen. Neben Elmshorn passieren die Station in Göppingen die meisten Personenzüge, so dass diese einen leichten Einfluss auf den Mittelungspegel haben.

### EMMENDINGEN

An der Messstation in Emmendingen wurde die zweithöchste Reduzierung des Mittelungspegels von etwa 1 dB(A) zum Vorjahr gemessen. Dies kann durch einen etwas besseren akustischen Gleiszustand verursacht sein. Trotz der Reduzierung liegt der Mittelungspegel mit 0,5 dB(A) leicht über dem bundesweiten Durchschnitt von 69,4 dB(A). Im Vergleich zu 2021 nahmen die Güterzugvorbeifahrten um etwa ein Fünftel ab. Im Gegenzug nahm die Länge der Güterzüge um ca. 25 Prozent und die Geschwindigkeit um etwa 5 Prozent zu. Mit 91,8 Prozent liegt der Anteil lärmarmen Güterwagen deutlich über dem bundesweiten Durchschnitt von 85,8 Prozent. Dies ist auch der zweithöchste Wert aller Stationen.

## 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  $\mu\text{m}$  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  $L_{\lambda CA}$  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-Einzelwert, desto kleiner ist die akustische Rauheit der Schienenoberfläche. Die Unterschiede der Rauheitseinzelwerte 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-Einzelwert 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

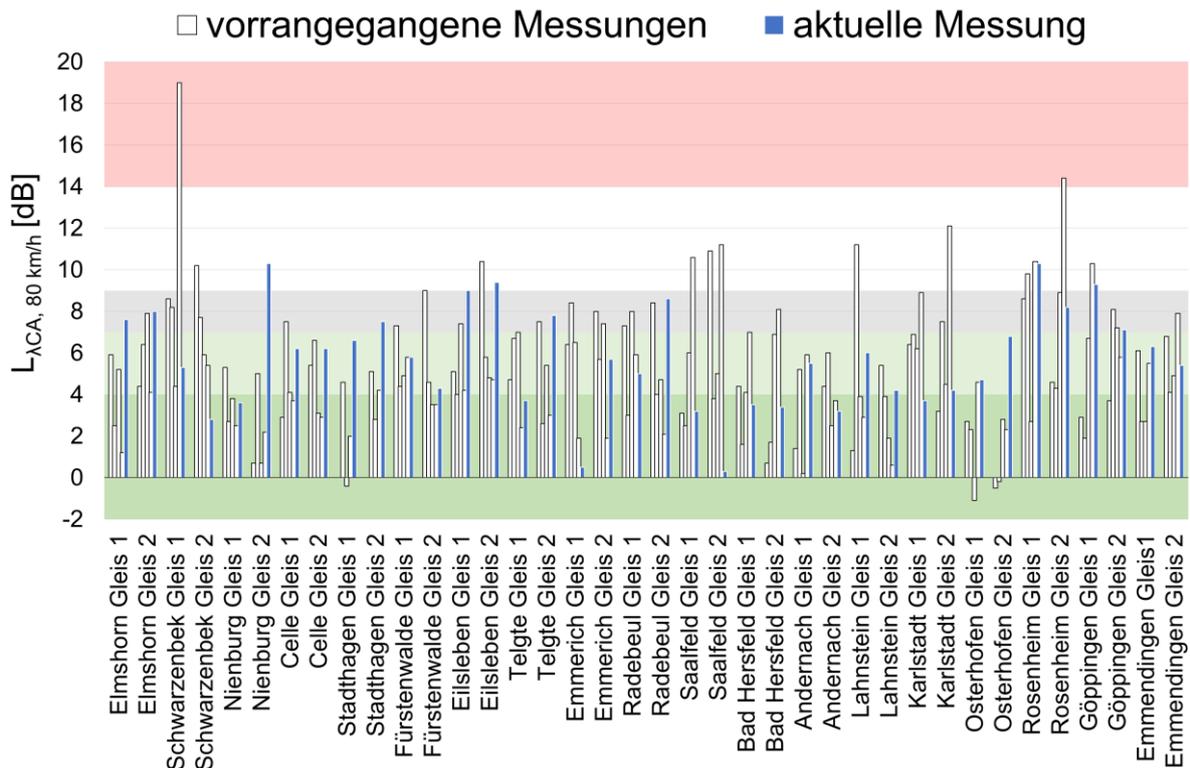


Abbildung 10: Rauheits-Einzelwerte  $L_{ACA}$  in dB für alle Messquerschnitte aller Messstandorte mit der Bezugs-Geschwindigkeit 80 km/h. Die grauen Balken repräsentieren die Ergebnisse der Initialmessung und die blauen Balken zeigen die Ergebnisse der aktuellen Messung (Messzeitraum Ende September 2022 bis November 2022).

Die Rauheits-Einzelwerte der jüngsten Messungen variieren signifikant zwischen 0,3 und 10,3 dB. Da in der Regel die Radrauheit bestimmend für die Schallemission ist, sind die Auswirkungen der Schienenrauheit auf die Schallemission geringer.

Die Schienenrauheit kann sich mit der Zeit verändern. Durch Radschäden, Bremsen, Verschmutzungen, Kurvenfahrten, Alterung, etc. entstehen Schäden in der Schienenlauffläche. 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 11 von 19 Messorten liegt 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-Einzelwerten erfahren Rad und Schiene i. d. R. stärkere Anregungen. Der Vorbeifahrtpegel kann dadurch erhöht sein. Dies gilt insbesondere für Fahrzeuge mit glatten Radlaufflächen, wohingegen für Fahrzeuge mit rauen Radlaufflächen der Einfluss der Schienenrauheit geringer ist.

Rauheits-Einzelwerte 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 Radlaufflächen.

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]. (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 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 (nicht die Gesamtschallabstrahlung). 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.

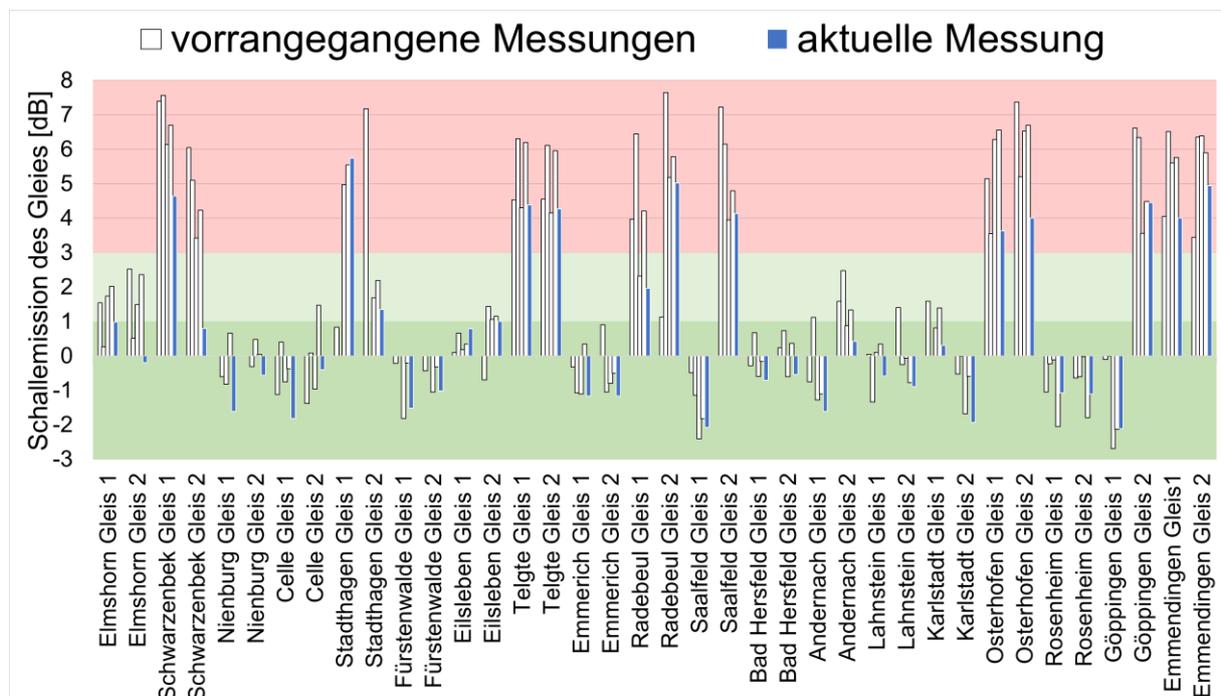


Abbildung 11: Einzahlwerte der Schallemissionen des Gleises für alle Messquerschnitte aller Messstandorte. Die grauen Balken repräsentieren die Ergebnisse der Initialmessung und die blauen Balken zeigen die Ergebnisse der aktuellen Messung

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 Regel 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  $TEL_{80}$  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.

In Abbildung 12 wird die Häufigkeitsverteilung aller im Jahre 2022 gemessenen Vorbeifahrtexpositionspegel für die Bezugsgeschwindigkeit 80 km/h, getrennt nach Güter- und Personenzügen im Vergleich zu den Vorjahren 2019 bis 2021 dargestellt.

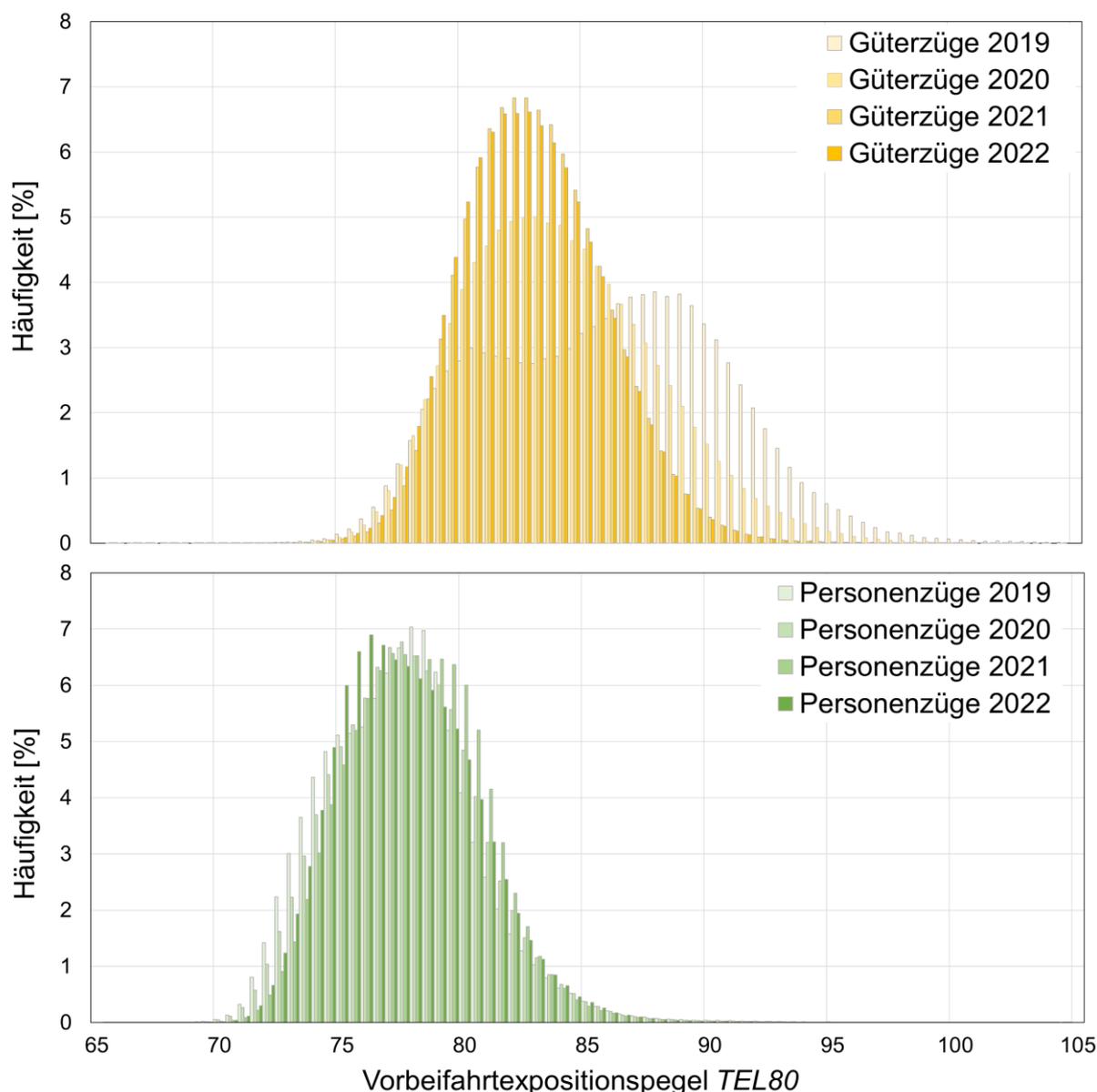


Abbildung 12: Häufigkeitsverteilung des Vorbeifahrtexpositionspegel für 80 km/h ( $TEL_{80}$ ). In der oberen Häufigkeitsverteilung werden die Güterzüge aus dem Jahr 2019 bis 2021 (hellgelb) mit dem Jahre 2022 (gelb) verglichen. In der unteren Häufigkeitsverteilung werden die Vorbeifahrtpegel der Personenzüge aus dem Jahr 2019 bis 2021 (hellgrün) und 2022 (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.

Der Vergleich der Jahre 2019 bis 2022 zeigt für die Güterzugvorbeifahrten, dass sich das Maximum der Verteilung um über 5 dB(A) in Richtung leiserer Vorbeifahrtsexpositionspegel verschoben hat. Die zwei Gipfel der Verteilung aus dem Jahr 2019, welche lauten und leiseren Zügen zugeordnet werden konnten, lassen sich in der Verteilung für das Jahr 2022 nicht mehr erkennen. Stattdessen ist der lautere Gipfel verschwunden. Weiterhin zeigt der Vergleich der Jahre 2021 und 2022 für Güterzugvorbeifahrten, dass die Verteilung der Vorbeifahrtpegel nahezu gleich geblieben ist. Dies passt zu der Tatsache, dass nach dem Abschluss der Umrüstung der Güterwagen auch keine großen Pegelveränderungen mehr zu erwarten waren. Bei detaillierter Betrachtung fällt auf, dass ein leicht kleinerer Anteil der Güterzüge Pegel im Bereich von 82 dB(A) bis 88 dB(A) verursacht, und dafür etwas mehr Züge im Bereich von 77 dB(A) bis 82 dB(A) gemessen wurden. Dies deutet daraufhin, dass möglicherweise teilweise noch leisere Fahrzeuge verwendet wurden, z. B. lautere Loks durch leisere ersetzt wurden oder aber mehr Wagen mit K- bzw. D-Bremsen verkehrten als mit LL-Bremsen.

Der Vergleich der Vorbeifahrtsexpositionspegel der Personenzüge von 2019 bis 2022 lässt erkennen, dass sich die akustischen Eigenschaften in der Fläche im Wesentlichen gleich geblieben sind, wobei es jeweils leichte Abweichungen zwischen den einzelnen Jahren gibt.

In Abbildung 13 ist der mittlere längengewichtete  $TEL_{80}$  der Güterzüge für jede Station, getrennt für die Jahre 2019 bis 2022 sowie für jeweils beide Gleise dargestellt.

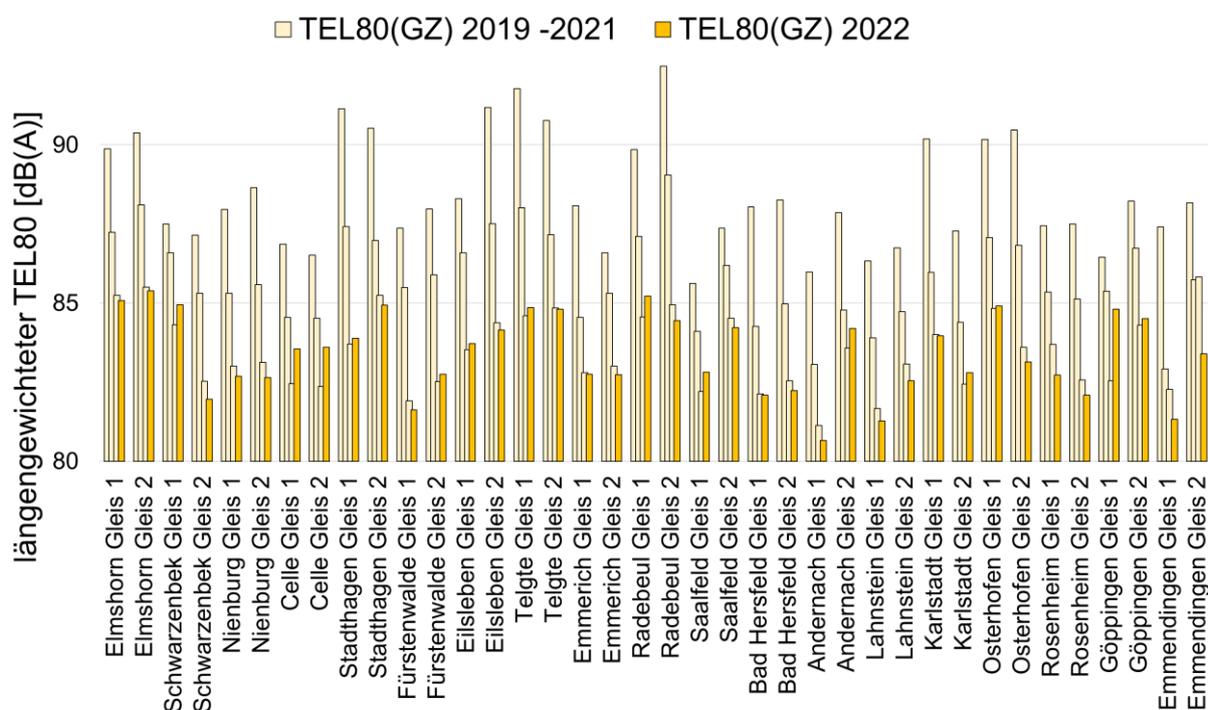


Abbildung 13: mittlerer längengewichteter Vorbeifahrtsexpositionspegel  $TEL_{80}$  an allen Stationen für Güterzüge in den Jahren 2019 bis 2021 (hellgelb) und 2022 (gelb).

Der längengewichtete  $TEL_{80}$  der Güterzüge reicht von 80,7 dB(A) in Andernach auf Gleis 1 bis zu 85,4 dB(A) Elmshorn auf Gleis 2. Die Werte haben sich im Mittel um etwa 5 dB(A) zum Jahr 2019 verringert. Die Reduzierung des längengewichteten  $TEL_{80}$  für Güterzüge lässt sich auf das Rollmaterial und somit auf die Umrüstung von Grauguss- auf Verbundstoff-Bremssohle zurückführen. An der Station in Celle erhöhten sich der längengewichteten  $TEL_{80}$  auf beiden Gleisen um etwa 1,0 dB(A). Die höchste Zunahme des längengewichteten  $TEL_{80}$  mit 2,3 dB(A), konnte in Göppingen auf Gleis 2 verzeichnet werden. An der Messstation in Emmendingen reduzierte sich der längengewichteten  $TEL_{80}$  auf Gleis 2 im Vergleich zum Vorjahr um ca. 2,5 dB(A). Auf allen anderen Gleisen änderte sich der längengewichteten  $TEL_{80}$  um weniger als  $\pm 1$  dB(A) zu 2021. Somit kann über die Fläche im Mittel keine relevante Änderung zum Vorjahr festgestellt werden.

In der folgenden Abbildung 14 ist der mittlere längengewichtete  $TEL_{80}$  der Personenzüge für jede Station, getrennt für die Jahre 2019 bis 2021 und für jeweils beide Gleise dargestellt.

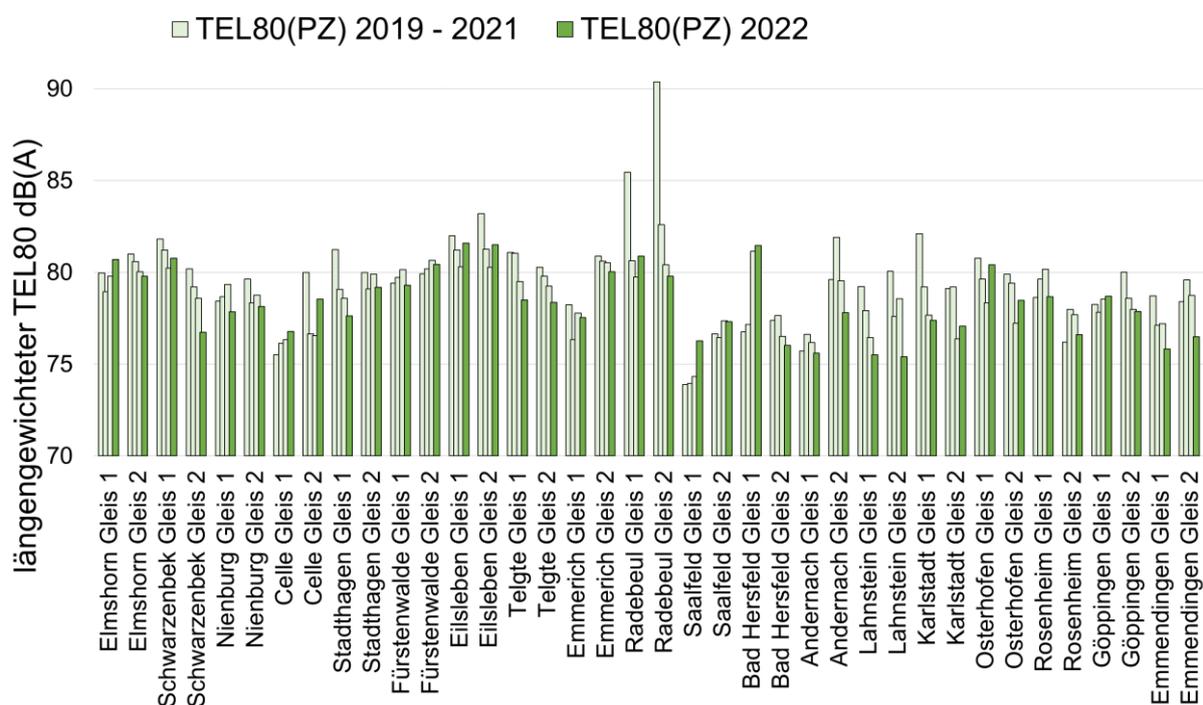


Abbildung 14: mittlerer längengewichteter Vorbeifahrtexpositionspegel  $TEL_{80}$  an allen Stationen für Personenzüge in den Jahren 2019 bis 2021 (hellgrün) und 2022 (grün).

Die Werte der längengewichteten  $TEL_{80}$  für Personenzüge reichen zwischen 75,4 dB(A) in Lahnstein auf Gleis 2 bis 81,6 dB(A) in Eilsleben auf Gleis 1. In Radebeul auf Gleis 2 konnte der mittlere längengewichtete  $TEL_{80}$  um bis zu 11 dB(A) reduziert werden. Der Wert des Jahres 2019 ist allerdings aufgrund der Baustellensituation und den damit verbundenen sehr niedrigen Geschwindigkeiten sowie der insgesamt kleinen Anzahl von Personenzugvorbeifahrten als Ausreißer zu betrachten.

#### 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  $L_{A_{fmax}}$  von dem mittleren Vorbeifahrtexpositionspegel TEL unterscheidet, wurde für alle gültigen, registrierten Zugvorbeifahrten die Differenz aus den beiden Schallpegeln gebildet. Für die Jahre 2019 bis 2022 (Abbildung 15) sind die Differenzen in einem Histogramm getrennt für Güter- und Personenzüge dargestellt.

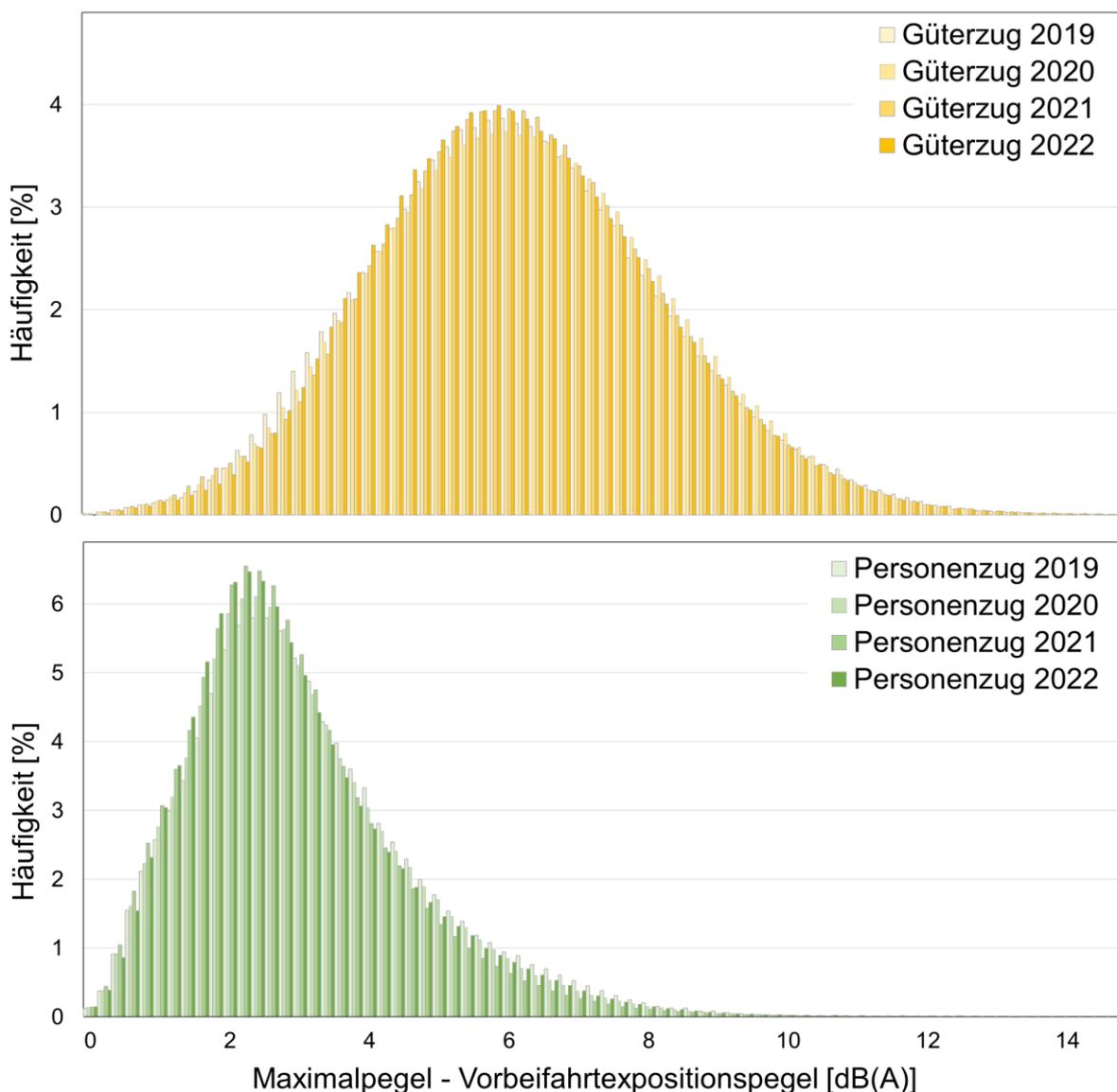


Abbildung 15: Die Häufigkeitsverteilungen stellen die Differenz zwischen Maximal- und Vorbeifahrtexpositionspegel dar. Im oberen Teil der Abbildung sind die Häufigkeitsverteilungen für Güterzüge aus dem Jahr 2019 bis 2021 (hellgelb) mit dem Jahre 2022 (gelb) dargestellt. Im unteren Teil sind die Häufigkeitsverteilungen der Personenzüge aus dem Jahr 2019 bis 2021 (hellgrün) und 2022 (grün) gegenüber gestellt.

Abbildung 15 zeigt, wie häufig es im Jahr 2022 (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. lokbespannte 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 verwendet<sup>3</sup>. In die dargestellten Vorbeifahrtpegel 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.

---

<sup>3</sup> 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.

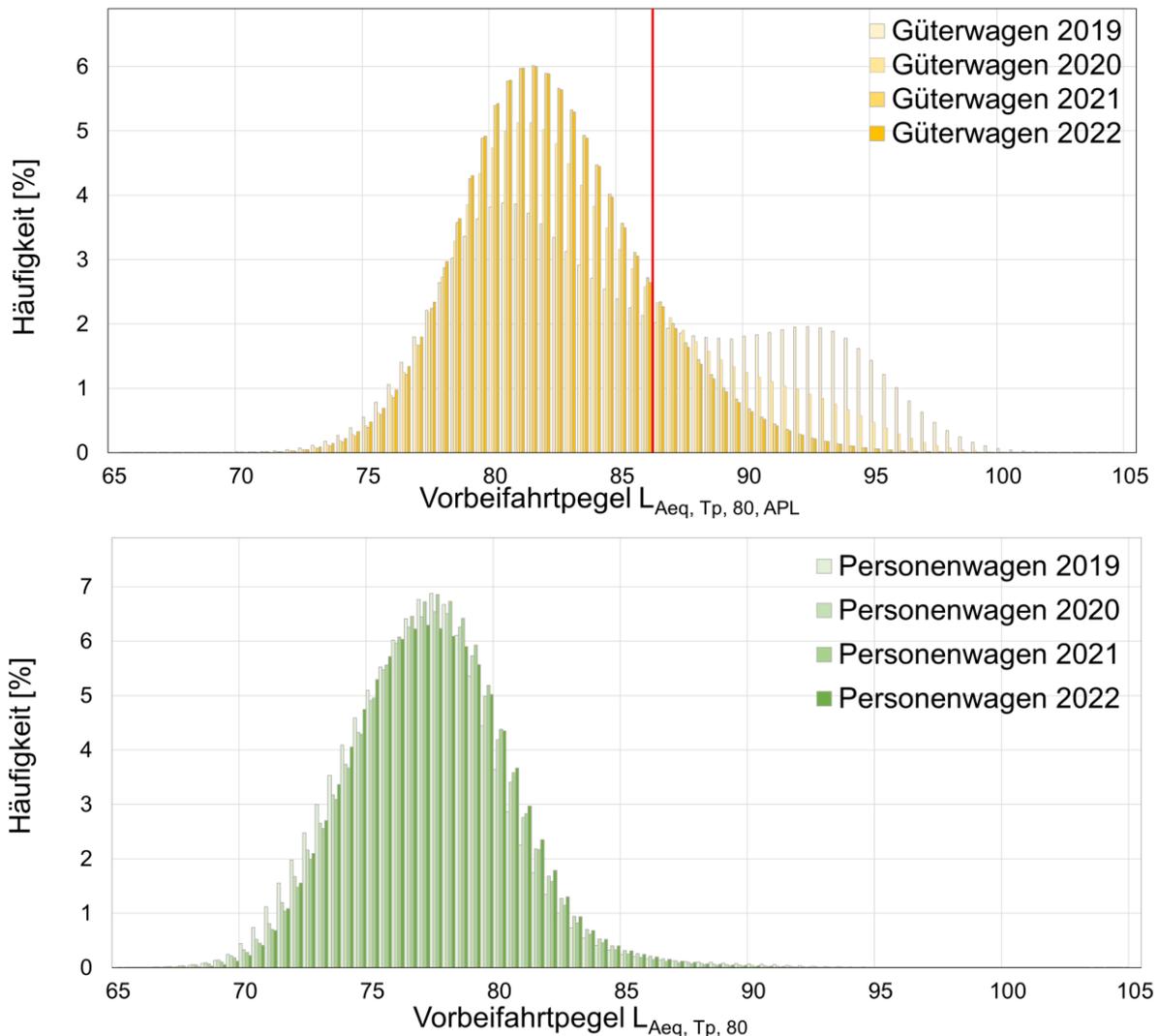


Abbildung 16: Schallpegelverteilung aller Güterwagen korrigiert auf ihren auf Achsen pro Länge bezogenen Schallpegel  $L_{pAeq, Tp, APL, 80}$  für 80 km/h für die Jahre 2022 (gelb) und 2019 bis 2021 (hellgelb) und der aller Personenwagen für den Schallpegel  $L_{pAeq, Tp, 80}$  umgerechnet auf 80 km/h für die Jahre 2022 (grün) und 2019 bis 2021 (hellgrün). Die rote Linie bei 86 dB(A) dient der Trennung lauter von lärmarmen Güterwagen. Im Jahr 2022 wurden rund 87 Prozent aller Güterwagen als lärmarm gemessen.

Im Vergleich der Jahre 2019 bis 2022 lässt sich für die Personenwagen erkennen, dass die Häufigkeitsverteilungen der Personenzüge der letzten beiden Jahre eine Verschiebung um etwa 1 dB(A) hin zu lauterem Werten erfahren hat.

Im Vergleich der Vorbeifahrtpegel für die Güterwagen lassen sich die zwei Gipfel der Verteilung aus dem Jahr 2019, welche lauten und leiseren Güterwagen zugeordnet werden konnten, in der Verteilung für die Jahre 2021 und 2022 nicht mehr erkennen. Stattdessen hat die Verteilung ein Maximum bei etwa 80 dB(A), welches den umgerüsteten Güterwagen zugeordnet werden kann. Der Vergleich zwischen 2021 und 2022 zeigt keine Verschiebung des Maximums bei etwa 80 dB(A). Der Verlauf zeigt, dass die Verteilung breiter geworden ist. Es wurden ein deutlich größerer Anteil an leiseren Güterwagen mit Vorbeifahrtpegeln unter 80 dB(A) sowie auch ein wenig größerer Anteil lauterer Güterwagen mit Pegeln um 86 dB(A) gemessen. Im Allgemeinen weist die Verteilung auf eine verbesserte Qualität des Rollmaterials von Güterwagen hin, möglicherweise durch einen größeren

Anteil an Güterwagen mit K-Sohlen oder Scheibenbremse und weniger Güterwagen mit LL-Sohlen (s. Abbildung 17).

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. Damit 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 laueren Güterwagen ab.

In der Summe können 89 Prozent der im Jahr 2022 gemessenen Güterwagen als lärmarm, d. h. als sicher umgerüstet, klassifiziert werden. Im zeitlichen Verlauf seit Mai 2019 lässt sich dabei 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 2022 nur mit 0,08 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 Wagennummer 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.

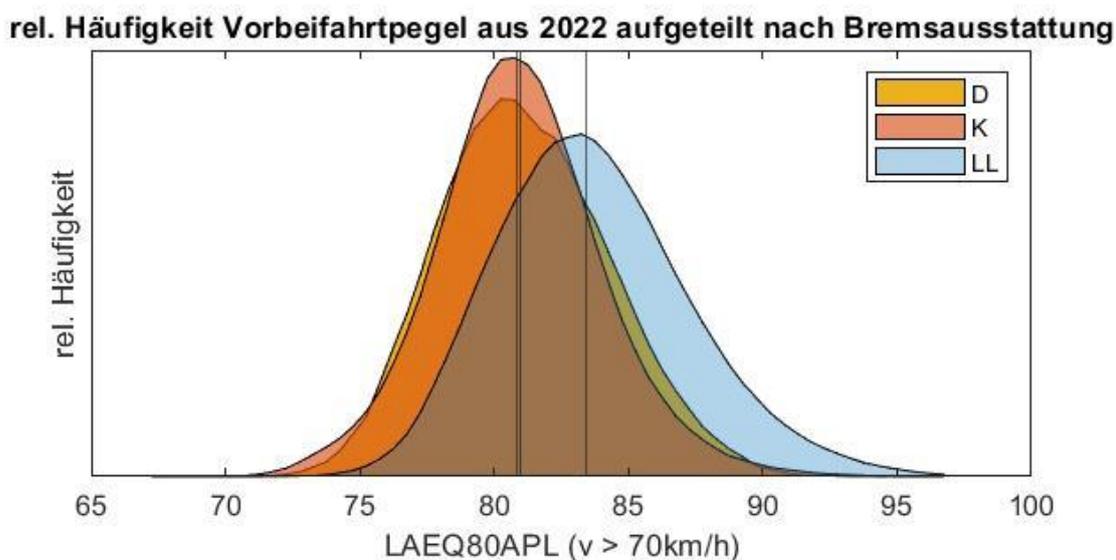


Abbildung 17: Schallpegelverteilung aller Güterwagen mit einer nach der UIC-Nummer und dem NVR zuordenbare Bremsausstattung der im Jahr 2022 gemessenen Zugvorbeifahrten. Die schwarzen Linien stellen jeweils die Medianwerte dar.

Abbildung 17 zeigt, dass die Häufigkeitsverteilung der mit LL-Sohlen ausgestatteten Güterwagen ihren Median bei einem Vorbeifahrtpegel von 83,4 dB(A) haben und somit einen um 2,6 dB(A) lauterem Medianwert wie Güterwagen mit K-Sohlen aufweisen (80,8 dB(A)). Güterwagen mit Scheibenbremsen weisen mit einem Medianwert von 81,0 dB(A) ebenfalls einen niedrigen Vorbeifahrtpegel auf<sup>4</sup>. 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 und Abbildung 19 dargestellt. Für Güterwagen wurde der auf Achsen pro Länge korrigierte Schallpegel  $L_{pAeq, Tp, APL, 80}$  bei 80 km/h verwendet. Für Güterwagen sind die Verteilungen recht breit und lassen an einigen Orten Doppelverteilungen erkennen. An einigen Messorten liegt das Maximum der Verteilung hin zu geringeren Schalldruckpegeln, was für einen umgerüsteten Zustand der Güterwagen spricht. In der Fläche kann im Vergleich zu 2019 und 2020 ein Rückgang und zu 2021 keine wesentliche Veränderung der Schallemissionen für 2022 verzeichnet werden. Bis auf 4 Gleise liegen die Schallemissionen an allen Gleisen unter 85 dB(A).

---

<sup>4</sup> Für die im Jahresbericht 2021 dargestellten Daten wurde die APL-Korrektur mit falschem Vorzeichen berechnet. Während sich dies für die Vorbeifahrtpegel der K- und LL- gebremsten Güterwagen kaum auswirkt, verschiebt dies die Pegel von scheibengebremsten Güterwagen (D) signifikant zu höheren Werten. Dies ist vermutlich auf die insgesamt niedrigen Achsen-pro-Länge Werte der scheibengebremsten Güterwagen zurückzuführen.

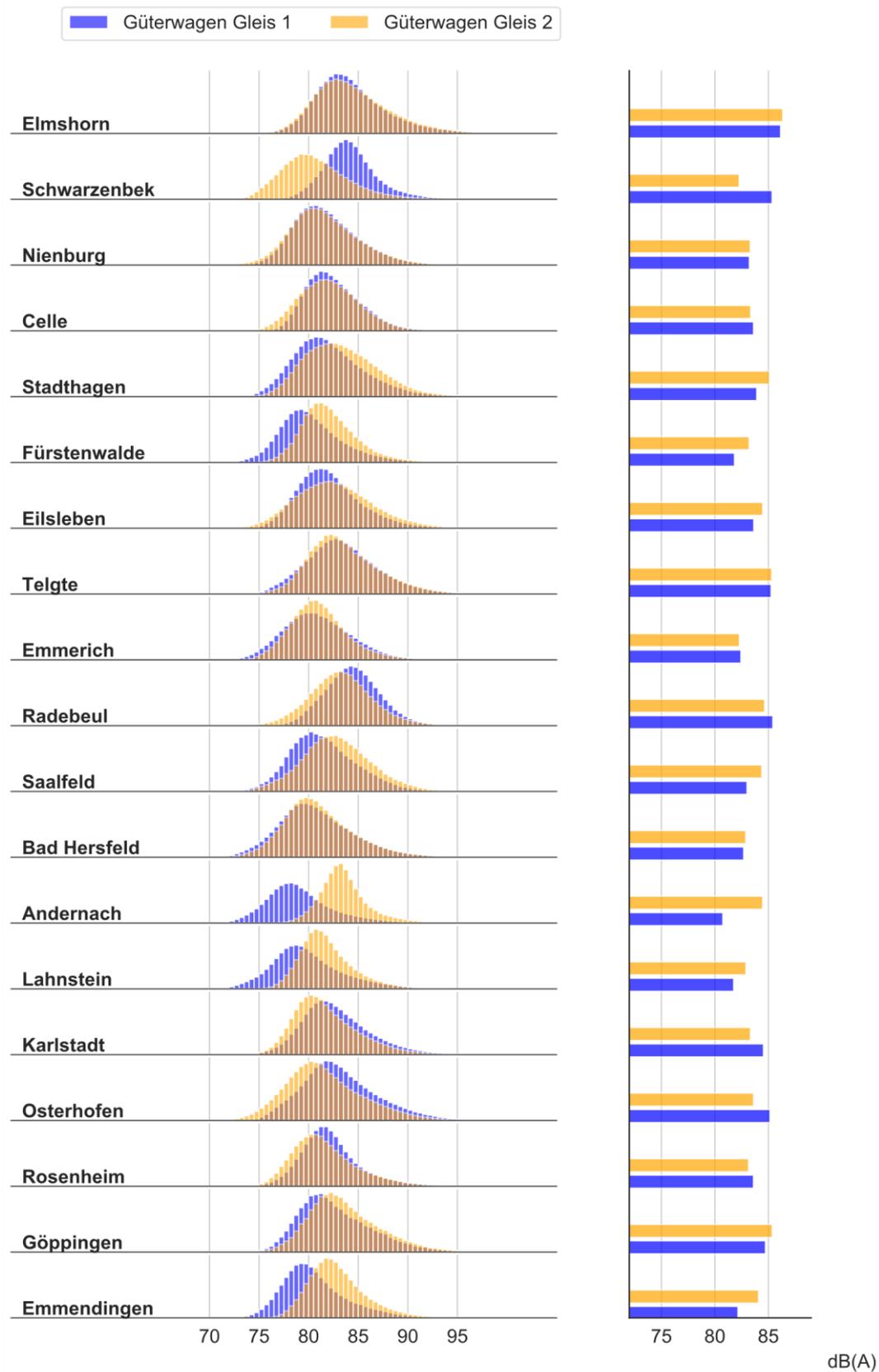


Abbildung 18: Äquivalenter Dauerschalldruckpegel  $L_{pAeq,T,APL,80}$  korrigiert auf Achsen pro Länge für Güterwagen mit 80 km/h an allen Stationen und für beide Gleise getrennt dargestellt. Links als Häufigkeitsverteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

Für Personenzugwagen (Abbildung 19) kann ein akustisch guter Zustand der Radlaufflächen angenommen werden. Die Unterschiede in den Schallemissionen werden also durch den Zustand der Gleise stark beeinflusst. Die Verteilungen für Schallemissionen von Personenzugwagen sind an der Messstation Emmerich dadurch deutlich zueinander verschoben. Mit der Ausnahme von 9 Gleisen liegt der energetische Mittelwert der Personenzugvorbeifahrtpegel unter 80 dB(A).

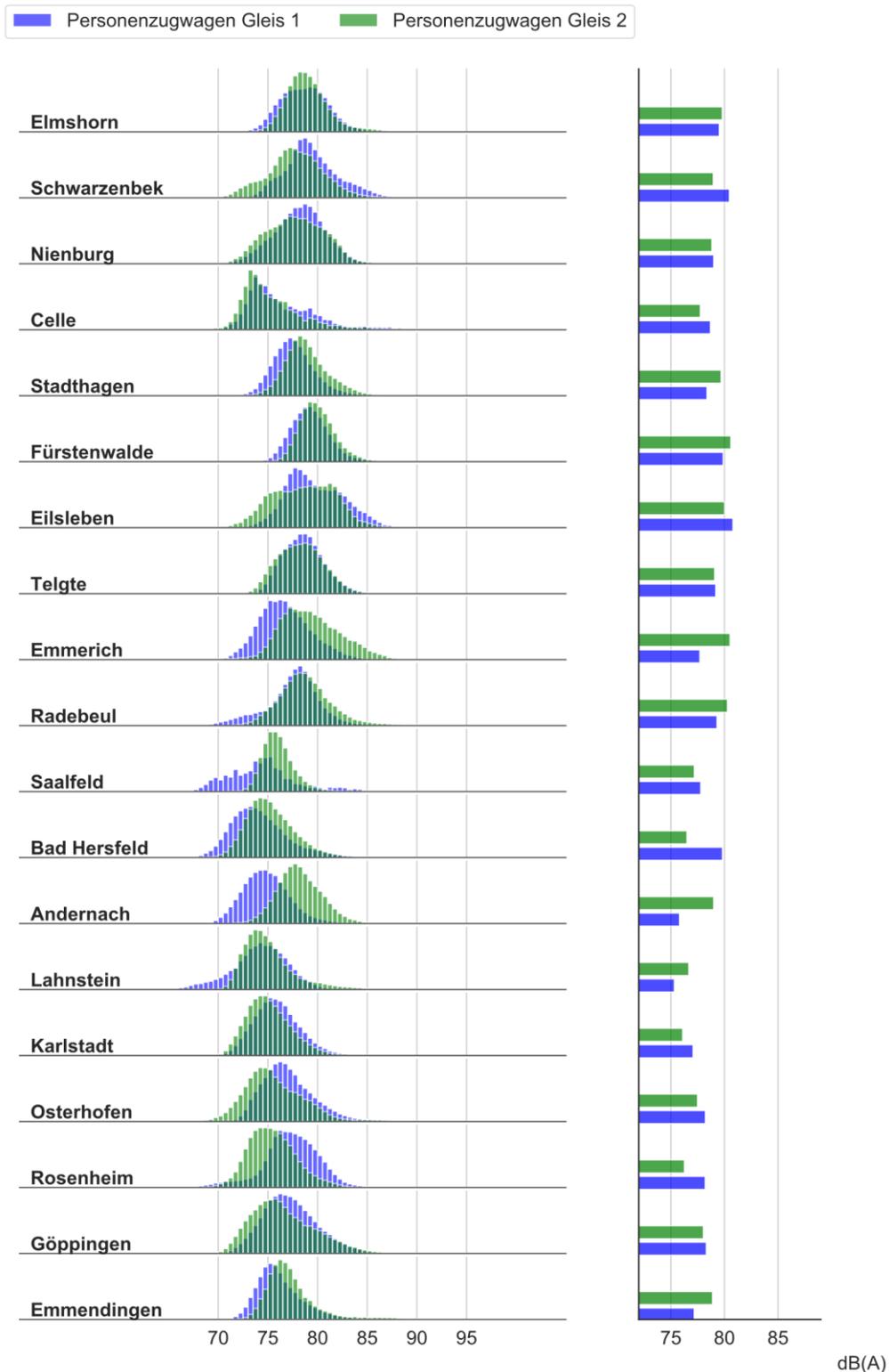


Abbildung 19: Äquivalenter Dauerschalldruckpegel  $L_{pAeq,T,80}$  bezogen auf 80 km/h an allen Stationen und für beide Gleise getrennt dargestellt. Links als Häufigkeitsverteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

Der Trennwert von 86 dB(A) des auf die Achsen pro Länge bezogenen Schallpegels  $L_{pAeq,Tp,APL,80}$  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 2022 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 2022 ein bundesweites Mittel von 89 Prozent.

Wie Abbildung 20 zu entnehmen, ist der Anteil lärmarmen Güterwagen an über zwei Drittel der Messstationen im Vergleich zu 2021 gewachsen. An den Stationen Schwarzenbek, Celle, Radebeul, Andernach und Göppingen kann ein leichter Rückgang verzeichnet werden. Dies kann z. B. durch Gleisbauarbeiten (Schienenschleifen) begründet sein. Die unterschiedlichen akustischen Gleiseigenschaften beeinflussen die Ergebnisse der Stationen.

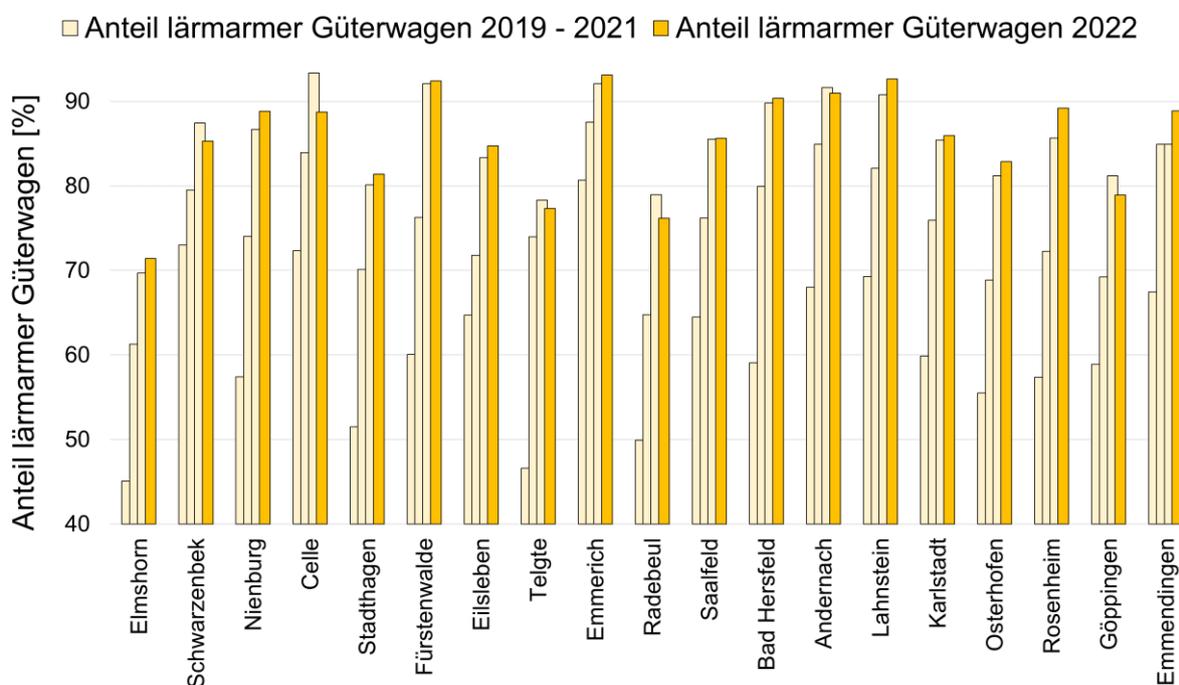


Abbildung 20: Anteil der als lärmarm registrierten Güterwagen an den einzelnen Messstationen im Jahr 2019 bis 2021 (hellgelb) und 2022 (gelb).

## 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 Mittelwert dargestellt. Es wurden nur Fahrten mit mehr als 60 km/h ausgewertet.

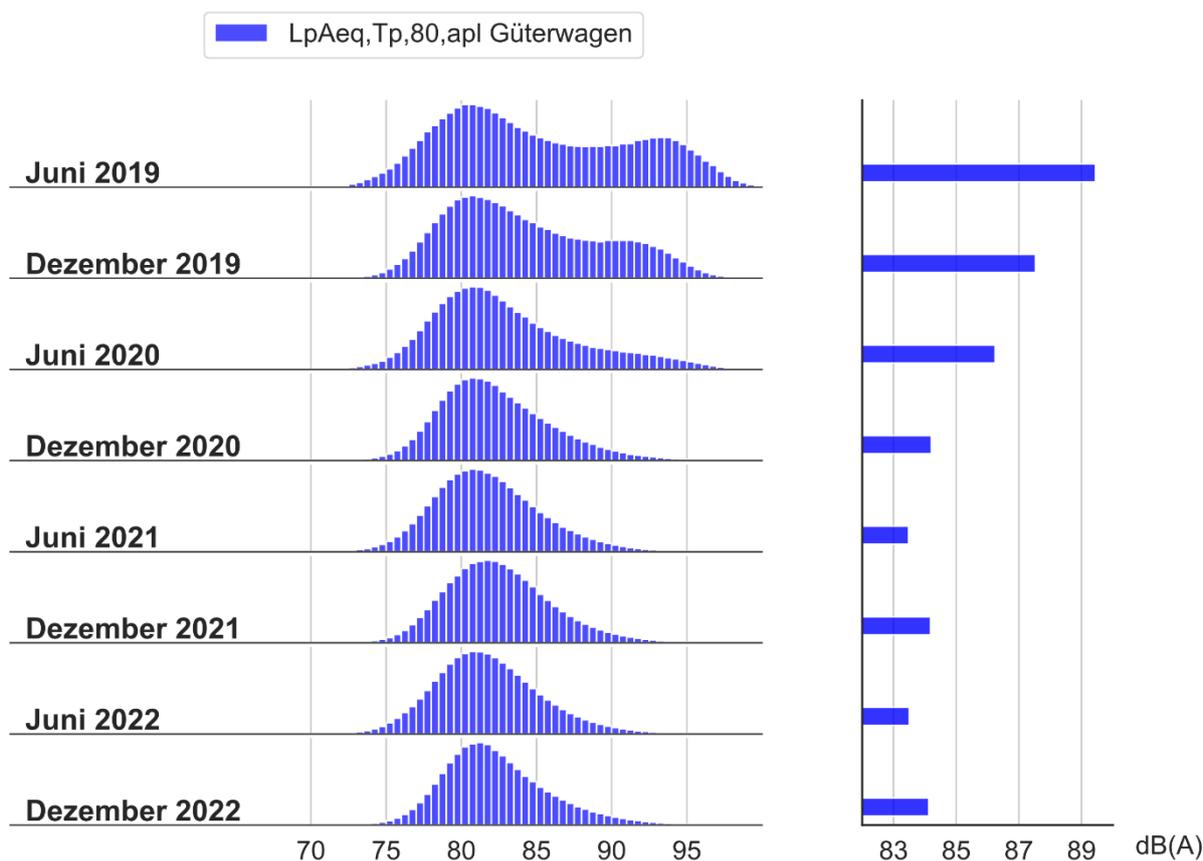


Abbildung 21: Zeitliche Entwicklung des auf 80 km/h bezogenen Vorbeifahrtpegel für Güterwagen, links als Häufigkeitsverteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

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.

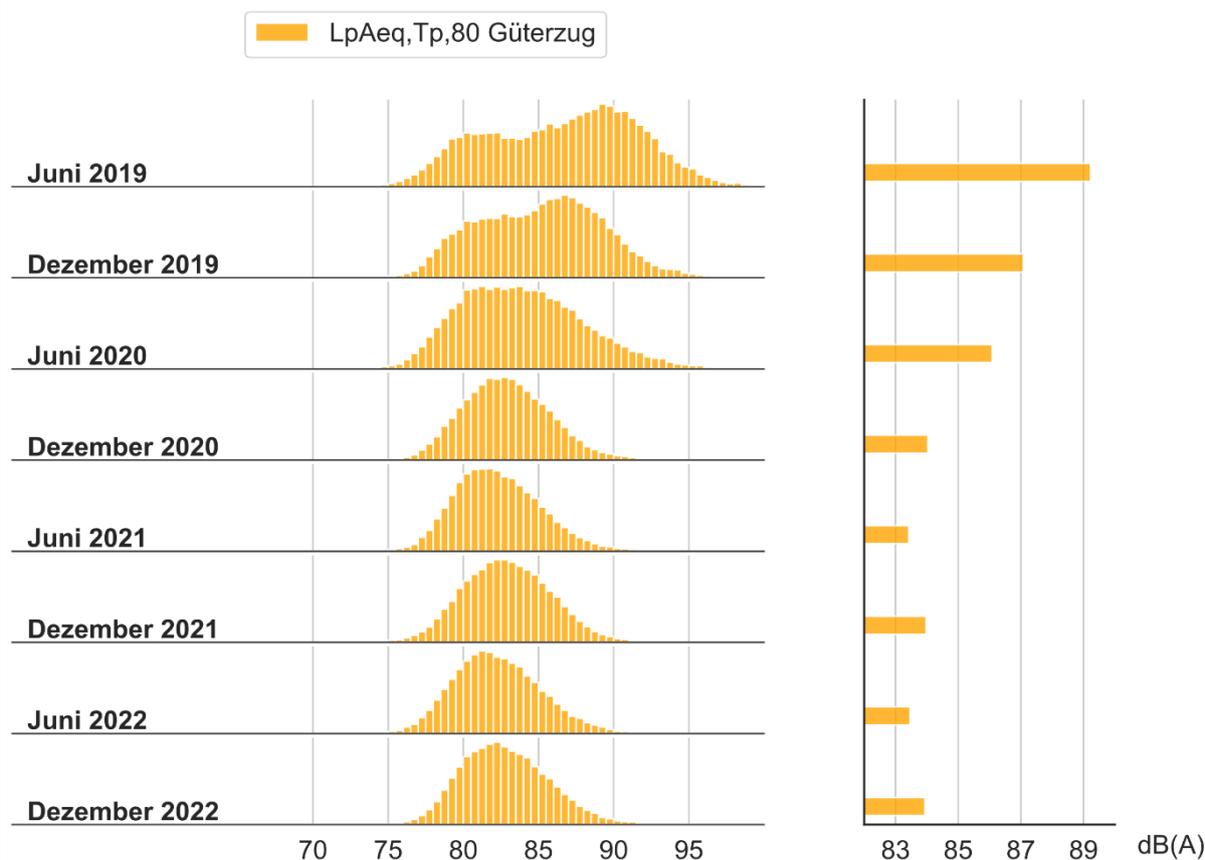


Abbildung 22: Zeitliche Entwicklung des auf 80 km/h bezogenen Vorbeifahrtpegel für Güterzüge, links als Verteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

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. In den folgenden Herbst-Monaten geht der Anteil leicht zurück. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass im Herbst Laub und Witterung zu rutschigeren Schienen führen, welche die Bildung von Raddefekten begünstigen und so höhere Vorbeifahrtpegel von Güterwagen verursachen können.

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 2022 nur mit 0,08 Prozent der überprüften Güterwagen gegen das Betriebsverbot für laute Güterwagen verstoßen wurde.

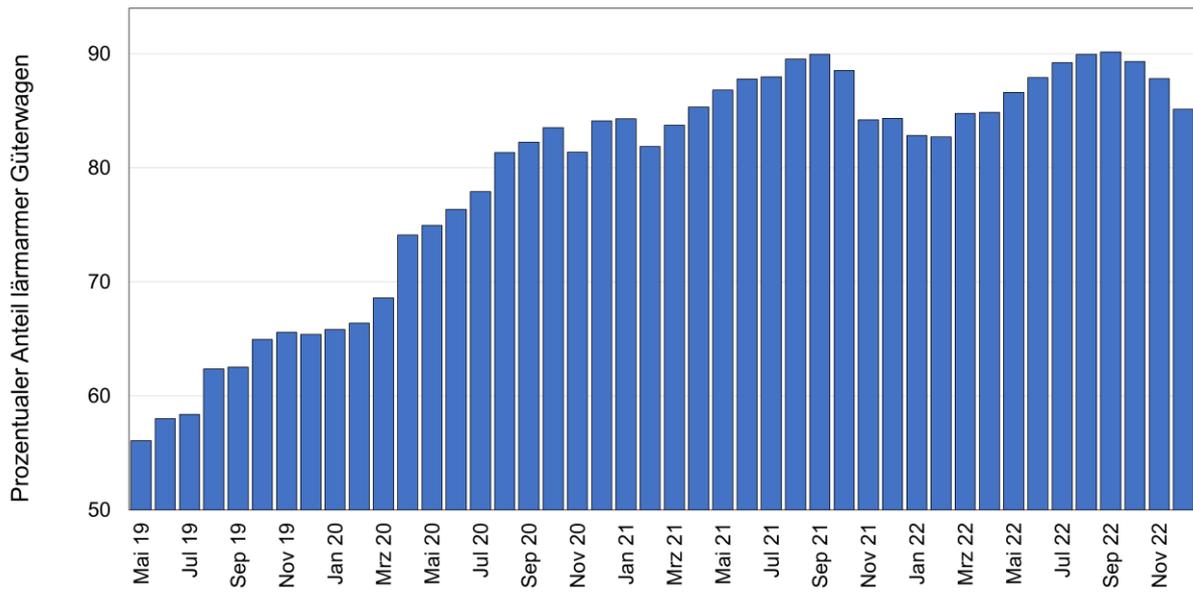


Abbildung 23: Prozentualer Anteil als lärmarm klassifizierter Güterwagen mit einem Vorbeifahrtpegel von unter 86 dB(A) dargestellt über die Monate seit Inbetriebnahme der Stationen im Mai 2019 bis Dezember 2022.

## 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.

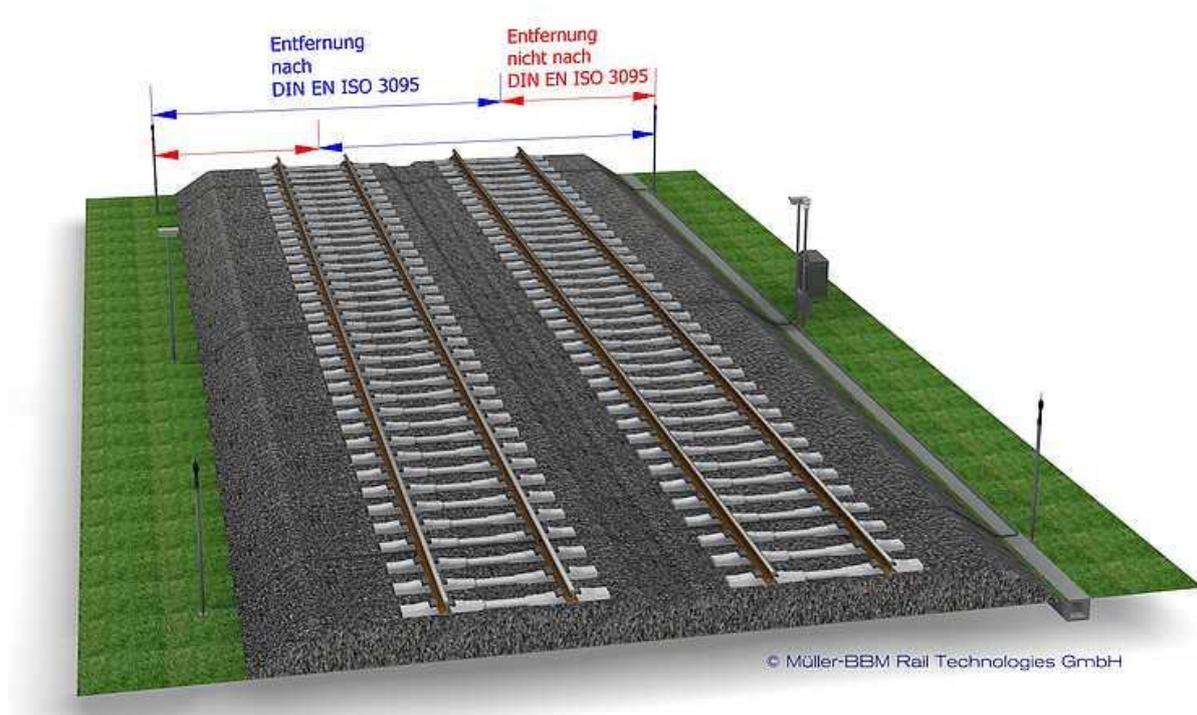


Abbildung 24: Messaufbau (schematisch).

**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 Schallexpositionspegel $SEL$

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

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

mit

$T_0 = 1$  Sekunde

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

## 2.5 Vorbeifahrtexpositionspegel für die Bezugsgeschwindigkeit 80 km/h $TEL_{80}$

Der mit der Vorbeifahrtgeschwindigkeit  $v$  wie folgt auf die Geschwindigkeit 80 km/h umgerechnete Vorbeifahrtexpositionspegel  $TEL$  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

$v_0 = 80$  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

$v_0 = 80$  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:

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

(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:  $T < 6:00:00 \parallel T \geq 22:00:00$

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

$SEL$  = Schallexpositionspegel einer Zugfahrt

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

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

(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  $TEL/L_{pAeq,TP}$ .

Eingabegröße $X_i$	Beschreibung	Standardunsicherheit $u(x_i)$
$L_p$	Ablesewert	0 dB(A)
Messgerät, Kalibrator	Einflüsse auf die Genauigkeit des Messgerätes und des Kalibrators (Klasse 1)	0,78 dB(A)
Mess- und aufstellbedingungen	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)
Auswertung	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 $L_{m, \text{Monat}}$

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 einen 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> <i>X<sub>i</sub></i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Standardunsicherheit</i> <i>u(x<sub>i</sub>)</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 $L_{m, \text{Jahr}}$

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 2022

Nachfolgend sind eine Reihe der graphisch dargestellten Kennzahlen tabellarisch aufgeführt.

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

Standort	Zeitraum	Mittelungspegel	Mittlere Anzahl Züge	Anzahl Güterzüge	Mittlere Achsanzahl	Mittlere Zuglänge	Mittlere Geschwindigkeit
Elmshorn	24h	70,4	288	38	34	209	130
Schwarzenbek	24h	70,4	196	70	63	343	125
Nienburg	24h	71,1	235	137	77	409	115
Celle	24h	69,2	171	91	75	343	106
Stadthagen	24h	71,8	282	110	60	312	125
Fürstenwalde	24h	67,2	139	50	56	289	116
Eilsleben	24h	69,7	176	97	69	341	96
Telgte	24h	70,0	188	56	52	286	137
Emmerich	24h	67,3	133	73	81	364	101
Radebeul	24h	69,1	128	55	64	338	105
Saalfeld	24h	64,2	113	36	34	177	109
Bad Hersfeld	24h	70,9	315	161	66	348	108
Andernach	24h	69,1	227	98	65	326	101
Lahnstein	24h	68,4	194	132	81	401	87
Karlstadt	24h	72,1	319	192	71	381	98
Osterhofen	24h	70,5	171	101	71	368	110
Rosenheim	24h	68,8	236	89	48	298	116
Göppingen	24h	66,6	220	41	36	219	98
Emmendingen	24h	69,9	264	119	63	350	116

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	68,8	57	13	40	232	126
	Tag	71,0	231	25	32	203	131
Schwarzenbek	Nacht	70,1	45	30	88	440	105
	Tag	70,5	151	41	56	314	131
Celle	Nacht	69,4	47	34	97	434	98
	Tag	69,0	124	57	66	309	109
Nienburg	Nacht	71,5	76	56	91	471	105
	Tag	70,9	158	81	70	380	119
Stadthagen	Nacht	71,7	75	49	80	377	106
	Tag	71,8	207	61	53	289	132
Eilsleben	Nacht	69,9	54	38	83	402	92
	Tag	69,6	122	59	62	315	98
Emmerich	Nacht	67,3	38	26	96	435	94
	Tag	67,4	95	47	75	336	103
Andernach	Nacht	69,7	68	43	83	406	94
	Tag	68,7	160	55	57	292	105
Lahnstein	Nacht	69,5	67	57	99	484	87
	Tag	67,7	126	75	72	357	86
Bad Hersfeld	Nacht	71,4	96	63	78	404	101
	Tag	70,6	219	97	60	324	111
Saalfeld	Nacht	64,8	27	15	52	255	103
	Tag	63,8	86	21	29	152	110
Radebeul	Nacht	68,4	29	19	84	422	98
	Tag	69,4	99	36	58	313	107
Karlstadt	Nacht	72,3	91	68	84	438	95
	Tag	72,0	228	124	66	358	99
Göppingen	Nacht	66,3	47	16	46	256	92
	Tag	66,7	173	25	34	209	100
Osterhofen	Nacht	70,2	49	36	82	408	102
	Tag	70,7	121	65	67	351	113
Emmendingen	Nacht	69,1	62	38	73	381	107
	Tag	70,2	203	82	60	340	119
Rosenheim	Nacht	68,1	49	31	64	360	105
	Tag	69,2	188	58	44	282	118
Fürstenwalde	Nacht	66,0	31	17	72	349	103
	Tag	67,7	108	33	51	272	120
Telgte	Nacht	69,9	46	26	71	369	117
	Tag	70,0	142	29	45	258	143

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	64,8	87,0	87,3	90,6	80,4
	Tag	69,3	86,8	87,1	90,8	80,2
Schwarzenbek	Nacht	61,6	86,8	86,9	91,0	79,9
	Tag	67,6	86,9	87,1	91,1	79,1
Celle	Nacht	54,1	83,2	83,6	86,2	78,3
	Tag	59,0	83,2	83,6	86,1	77,7
Nienburg	Nacht	60,9	85,0	85,2	90,0	78,3
	Tag	63,9	85,4	85,6	90,3	77,9
Stadthagen	Nacht	61,5	85,8	86,1	89,1	79,0
	Tag	68,1	86,9	87,1	90,8	78,4
Eilsleben	Nacht	58,9	83,7	83,9	88,2	81,8
	Tag	61,8	84,1	84,3	88,6	81,5
Emmerich	Nacht	56,6	82,8	83,0	87,6	80,1
	Tag	59,4	83,3	83,5	87,1	78,9
Andernach	Nacht	58,3	81,0	81,3	85,9	77,4
	Tag	62,0	81,8	82,0	85,8	76,7
Lahnstein	Nacht	50,8	77,2	77,4	81,3	76,1
	Tag	52,9	76,2	76,5	79,4	75,3
Bad Hersfeld	Nacht	64,2	86,5	86,7	93,8	81,9
	Tag	63,9	83,9	84,1	90,4	78,7
Saalfeld	Nacht	51,8	80,8	81,6	83,6	78,6
	Tag	55,7	80,8	81,3	83,4	76,4
Radebeul	Nacht	57,2	85,4	85,6	89,8	81,2
	Tag	62,5	84,8	85,0	88,8	80,2
Karlstadt	Nacht	59,7	82,7	82,9	87,1	78,4
	Tag	60,9	81,0	81,3	84,9	76,9
Göppingen	Nacht	58,3	80,0	80,3	85,3	77,6
	Tag	64,0	81,7	82,1	87,4	78,4
Osterhofen	Nacht	58,9	85,1	85,4	90,8	79,7
	Tag	62,2	85,7	86,1	90,7	79,5
Emmendingen	Nacht	59,8	83,4	83,6	86,8	76,7
	Tag	64,1	83,1	83,3	86,5	76,1
Rosenheim	Nacht	57,8	83,3	83,5	86,5	78,3
	Tag	64,5	83,5	83,6	87,1	77,8
Fürstenwalde	Nacht	57,9	84,6	84,8	88,5	79,7
	Tag	64,3	86,3	86,5	90,3	79,9
Telgte	Nacht	61,6	86,8	87,0	90,5	78,5
	Tag	67,2	87,4	87,7	91,2	78,4

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	$L_{A_{fmax}}$	TEL80
Elmshorn	Nacht	66,5	86,2	86,3	93,8	85,1
	Tag	66,2	86,5	86,6	94,1	85,3
Schwarzenbek	Nacht	69,3	85,5	85,5	92,2	83,9
	Tag	67,3	84,9	85,0	91,8	83,6
Celle	Nacht	69,3	84,8	84,8	91,3	83,5
	Tag	68,5	84,9	85,0	91,6	83,6
Nienburg	Nacht	71,0	84,6	84,6	92,0	82,6
	Tag	69,8	85,1	85,1	92,3	82,7
Stadthagen	Nacht	71,1	85,8	85,8	92,6	84,3
	Tag	69,3	86,0	86,1	92,7	84,6
Eilsleben	Nacht	69,5	85,0	85,1	92,3	84,0
	Tag	68,7	85,4	85,5	92,3	83,9
Emmerich	Nacht	66,8	83,5	83,5	90,8	82,4
	Tag	66,5	83,8	83,8	91,0	82,9
Andernach	Nacht	69,3	84,0	84,1	90,9	82,6
	Tag	67,6	84,5	84,5	91,1	83,0
Lahnstein	Nacht	69,4	82,8	82,8	89,8	81,8
	Tag	67,5	82,8	82,9	89,8	82,1
Bad Hersfeld	Nacht	70,4	83,6	83,6	91,2	82,1
	Tag	69,5	83,9	83,9	91,5	82,2
Saalfeld	Nacht	64,5	85,4	85,5	91,6	83,5
	Tag	62,9	85,4	85,5	91,6	83,8
Radebeul	Nacht	67,8	86,1	86,1	92,8	84,6
	Tag	68,0	86,6	86,7	93,3	85,0
Karlstadt	Nacht	72,0	84,9	84,9	92,5	83,4
	Tag	71,6	84,7	84,8	92,3	83,5
Göppingen	Nacht	65,5	84,5	84,6	92,4	85,0
	Tag	63,1	83,3	83,4	90,6	84,4
Osterhofen	Nacht	69,8	85,9	85,9	92,8	84,0
	Tag	69,9	86,4	86,5	93,2	84,2
Emmendingen	Nacht	68,4	84,0	84,1	90,4	82,5
	Tag	68,9	83,8	83,9	90,5	82,5
Rosenheim	Nacht	67,6	84,4	84,5	91,5	82,5
	Tag	67,3	84,2	84,3	91,4	82,3
Fürstenwalde	Nacht	65,2	84,1	84,2	91,0	82,3
	Tag	64,9	84,1	84,1	90,8	82,2
Telgte	Nacht	69,1	86,4	86,4	93,1	84,5
	Tag	66,7	86,4	86,5	93,1	85,1

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	Zugkategorie	$L_m$	$L_{Aeq}$	TEL	$L_{max}$	TEL80	Züge pro Tag	Achsen pro Zug	Mittlere Zuglänge	mittlere Geschwindigkeit
Elmshorn	365	PZ	68,2	86,9	87,1	90,8	80,3	242	24	166	137
		GZ	66,3	86,4	86,5	94,0	85,2	38	98	516	88
Schwarzenbek	365	PZ	66,3	86,9	87,0	91,1	79,2	122	35	228	147
		GZ	68,1	85,2	85,2	92,0	83,7	70	115	558	89
Celle	365	PZ	57,9	83,2	83,6	86,1	77,8	76	13	100	127
		GZ	68,8	84,8	84,9	91,5	83,6	91	129	558	89
Nienburg	365	PZ	63,1	85,4	85,6	90,3	78,0	90	32	210	145
		GZ	70,3	84,9	84,9	92,2	82,7	137	110	561	95
Stadthagen	365	PZ	66,8	86,7	87,0	90,6	78,5	162	32	206	150
		GZ	70,0	85,9	86,0	92,6	84,5	110	104	483	91
Eilsleben	365	PZ	61,1	84,0	84,2	88,5	81,5	73	22	142	103
		GZ	69,0	85,2	85,3	92,3	83,9	97	106	504	90
Emmerich	365	PZ	58,7	83,2	83,4	87,2	79,2	54	22	153	120
		GZ	66,6	83,7	83,7	90,9	82,7	73	127	536	87
Andernach	365	PZ	61,1	81,6	81,9	85,8	76,9	124	28	177	111
		GZ	68,2	84,3	84,3	91,0	82,8	98	113	522	90
Lahnstein	365	PZ	52,3	76,4	76,7	79,7	75,5	58	19	130	88
		GZ	68,2	82,8	82,9	89,8	82,0	132	110	527	86
Bad Hersfeld	365	PZ	64,0	84,6	84,8	91,4	79,6	143	25	168	127
		GZ	69,8	83,8	83,8	91,4	82,2	161	105	527	91
Saalfeld	365	PZ	54,7	80,8	81,3	83,5	76,8	73	11	81	117
		GZ	63,5	85,4	85,5	91,6	83,6	36	82	380	93
Radebeul	365	PZ	61,4	84,9	85,1	89,0	80,4	62	29	187	118
		GZ	67,9	86,4	86,5	93,1	84,9	55	107	539	91
Karlstadt	365	PZ	60,5	81,4	81,7	85,4	77,2	119	25	164	111
		GZ	71,8	84,8	84,8	92,4	83,4	192	102	527	90
Göppingen	365	PZ	62,8	81,4	81,8	87,1	78,3	175	25	173	103
		GZ	64,1	83,8	83,9	91,4	84,7	41	85	427	78
Osterhofen	365	PZ	61,4	85,6	85,9	90,7	79,6	62	27	175	137
		GZ	69,9	86,2	86,3	93,0	84,1	101	102	508	94
Emmendingen	365	PZ	63,1	83,1	83,3	86,5	76,2	137	32	219	141
		GZ	68,7	83,9	83,9	90,4	82,5	119	102	514	89
Rosenheim	365	PZ	63,2	83,4	83,6	87,1	77,8	142	26	190	130
		GZ	67,4	84,3	84,3	91,4	82,4	89	87	488	93
Fürstenwalde	365	PZ	63,0	86,1	86,3	90,1	79,9	82	26	167	130
		GZ	65,0	84,1	84,1	90,9	82,2	50	111	525	93
Telgte	365	PZ	66,0	87,4	87,6	91,1	78,4	128	30	199	158
		GZ	67,7	86,4	86,5	93,1	84,8	56	104	503	91

## 5 Anhang: Schienenrauheit und Abklingrate 2022

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit in dB, re 1 µm entsprechend BS EN 15610:2019

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

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

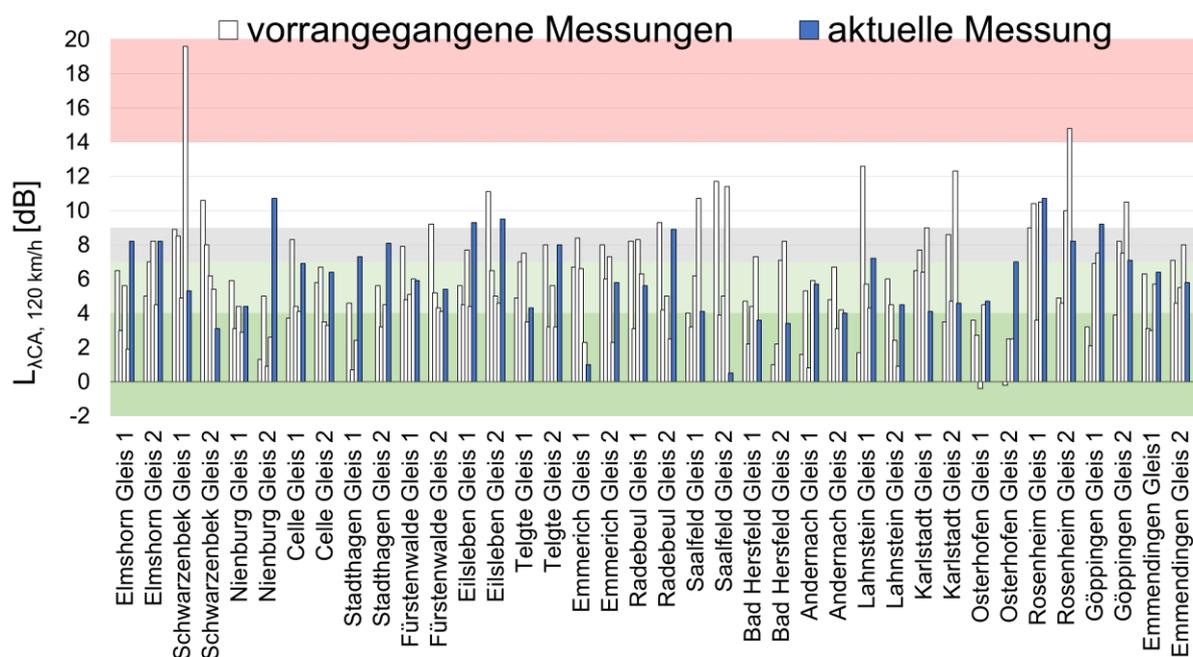


Abbildung 25: Rauheits-Einzahlwerte  $L_{\lambda CA}$  in dB(A) für alle Messquerschnitte aller Messstandorte mit der Bezugs-Geschwindigkeit 120 km/h. Die grauen Balken repräsentieren die Ergebnisse der Initialmessung und die blauen Balken zeigen die Ergebnisse der zweiten Messung.

### 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.)

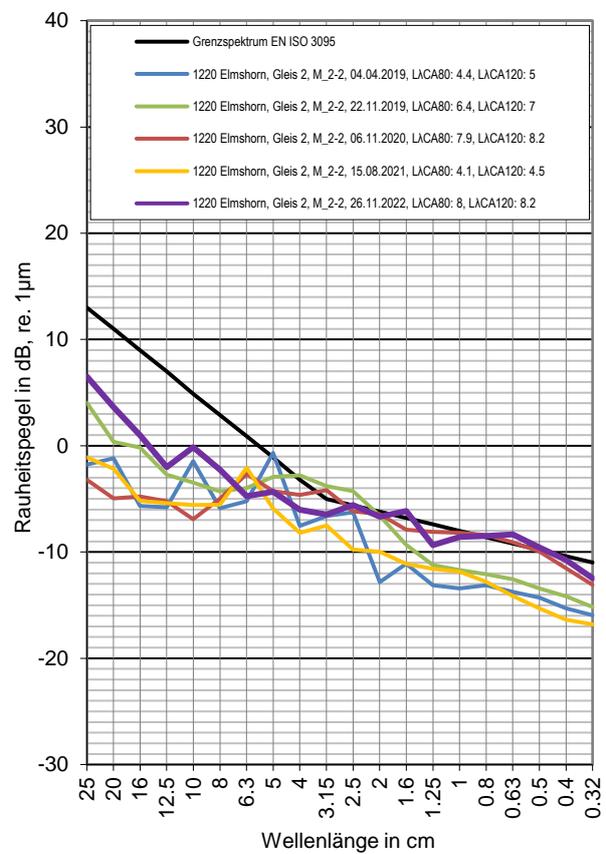
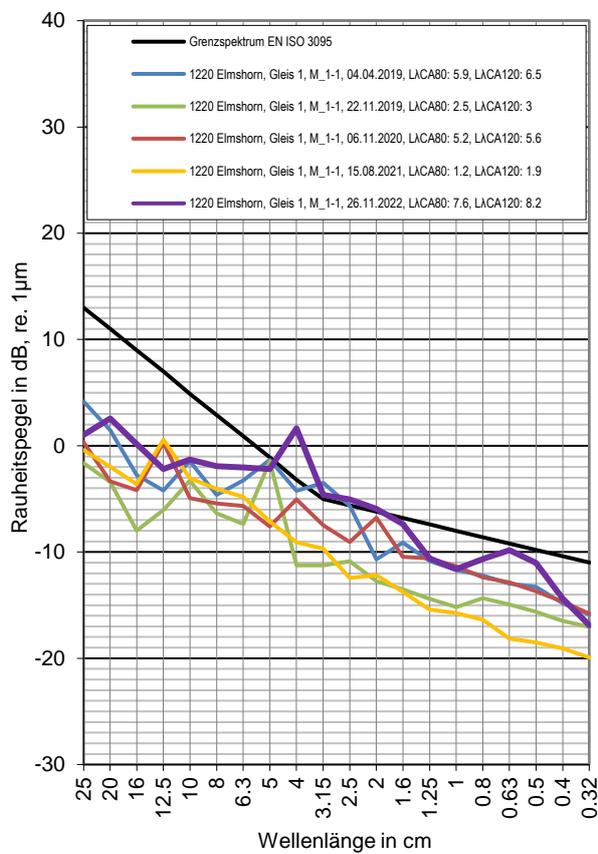
# Messstelle Elmshorn

## Strecke 1220, km 27,4

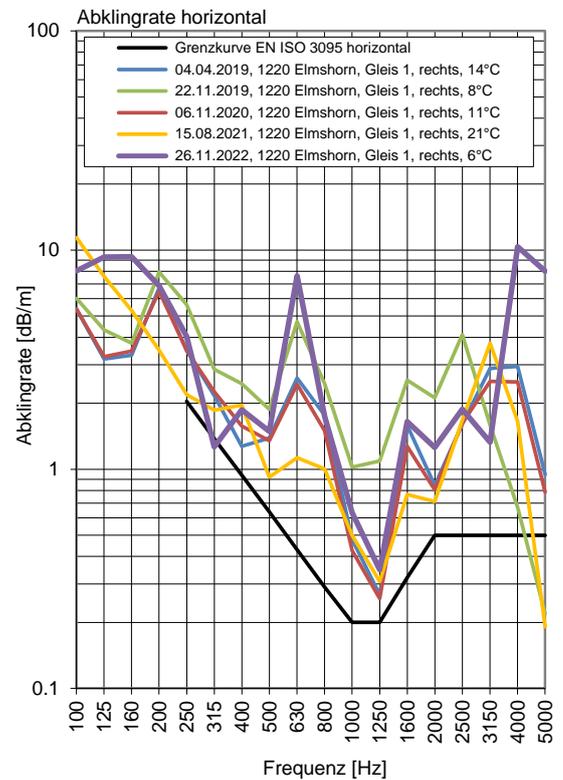
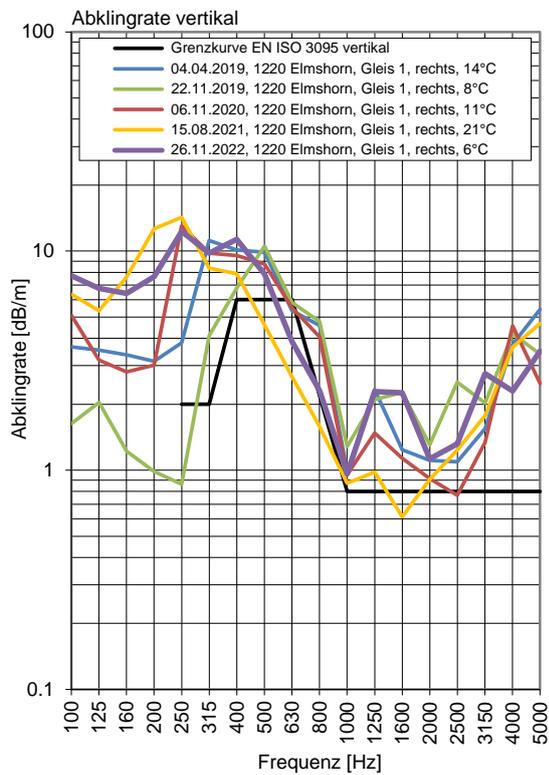
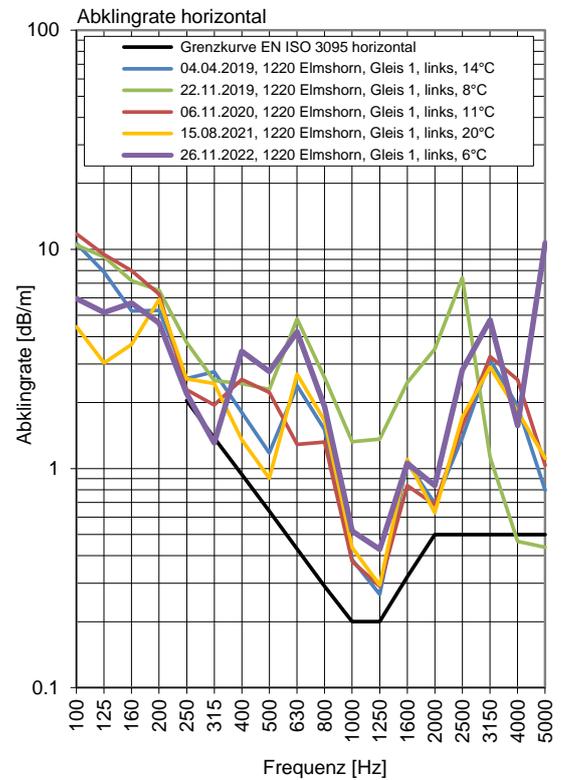
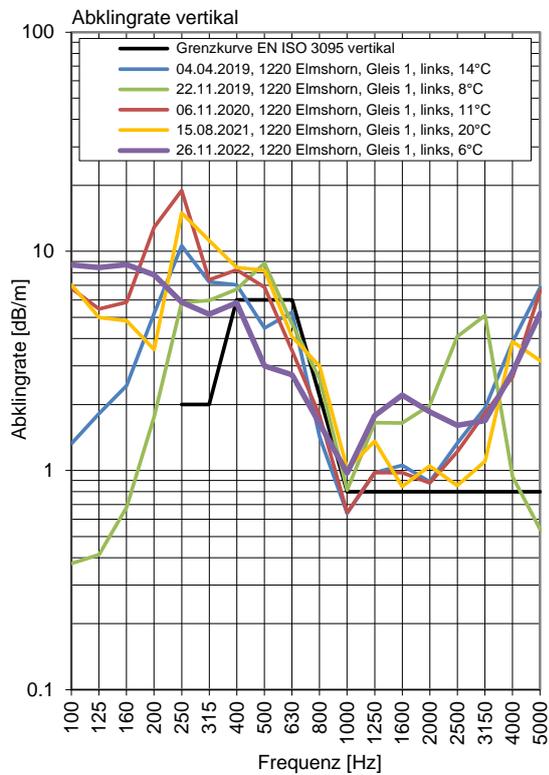
Gleis 1: Richtung Kiel

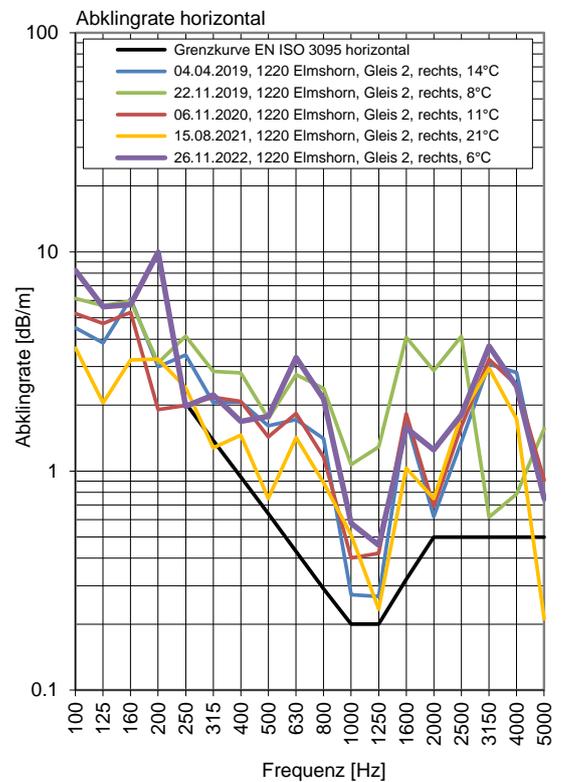
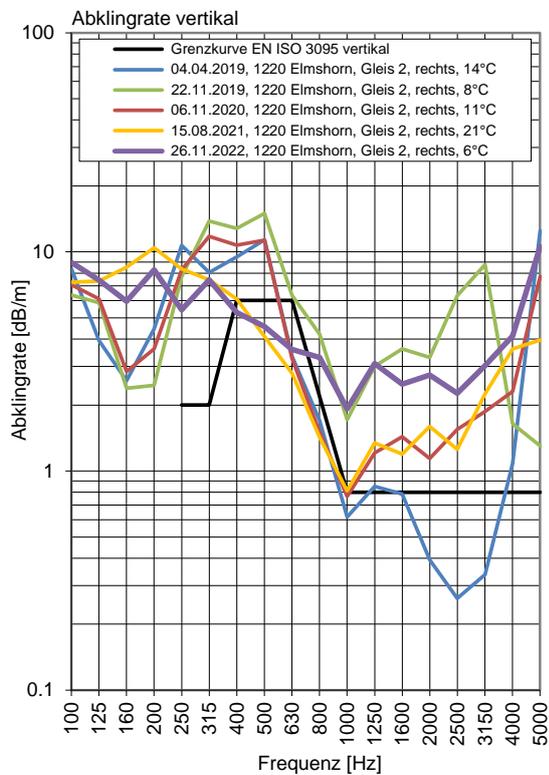
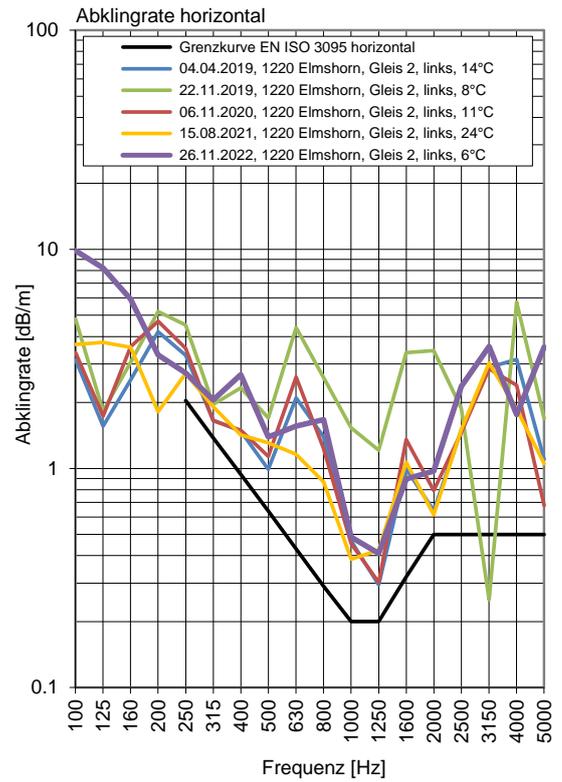
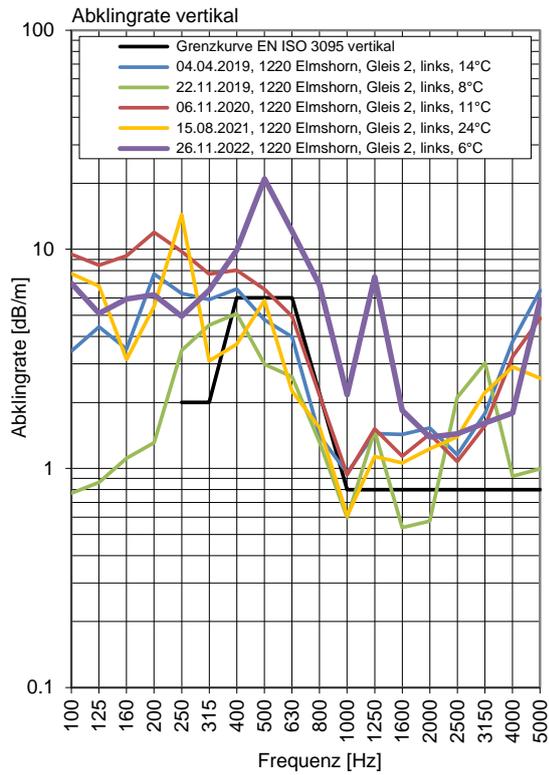
Gleis 2: Richtung Hamburg

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





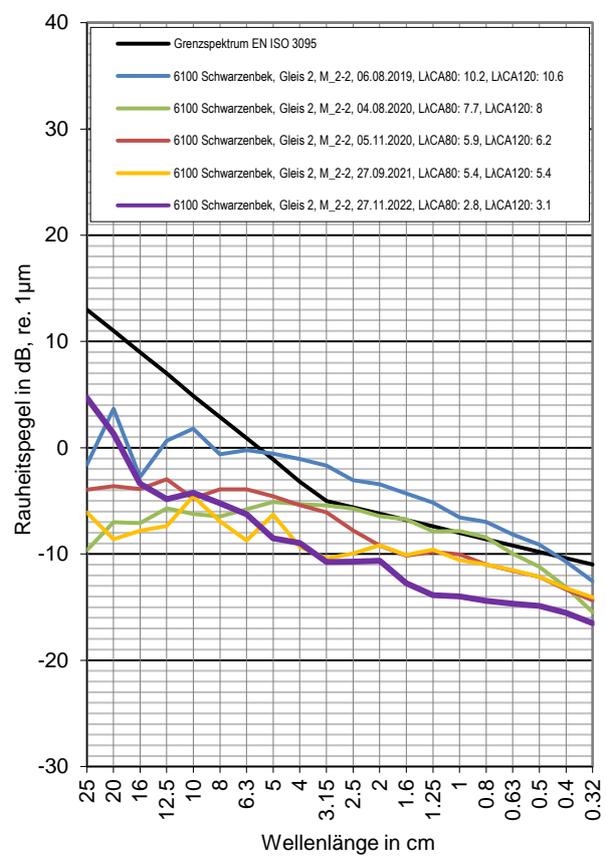
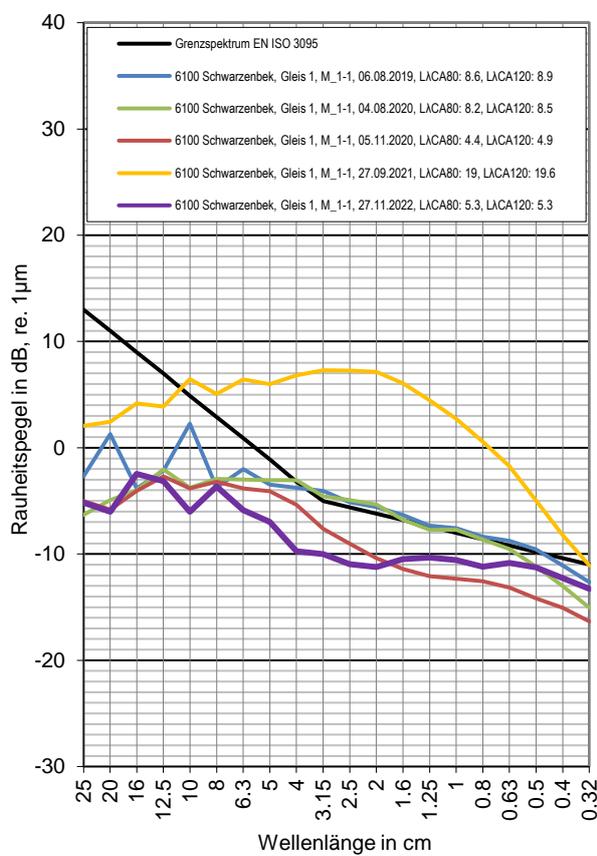
# Messstelle Schwarzenbek

## Strecke 6100, km 242,1

Gleis 1: Richtung Hamburg

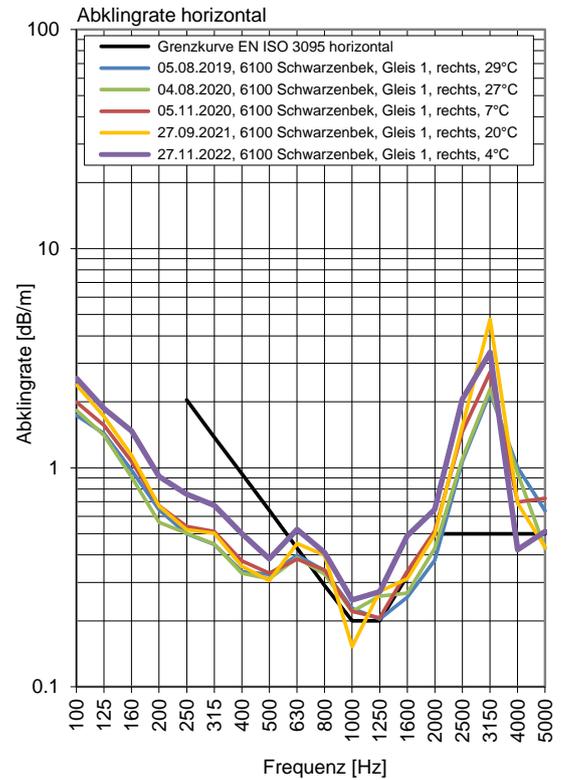
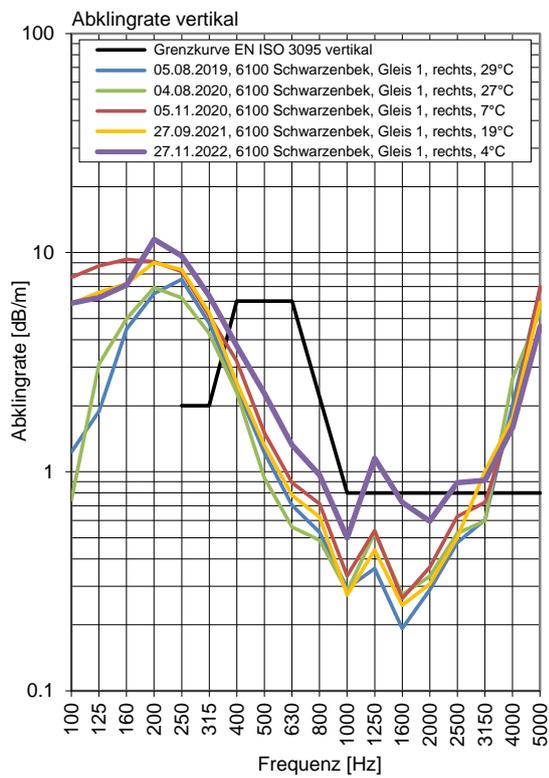
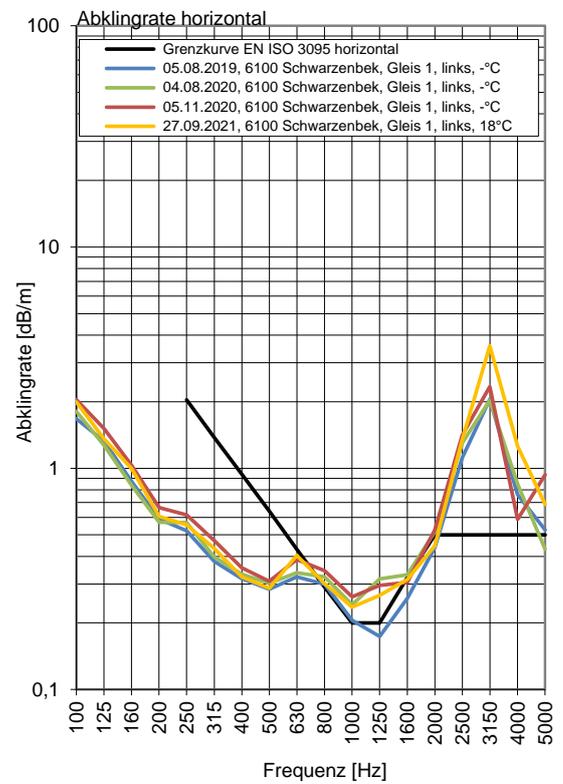
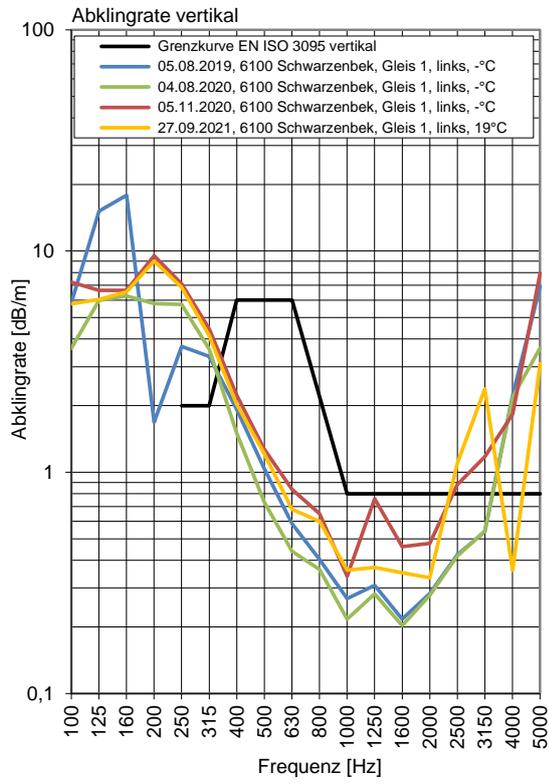
Gleis 2: Richtung Berlin

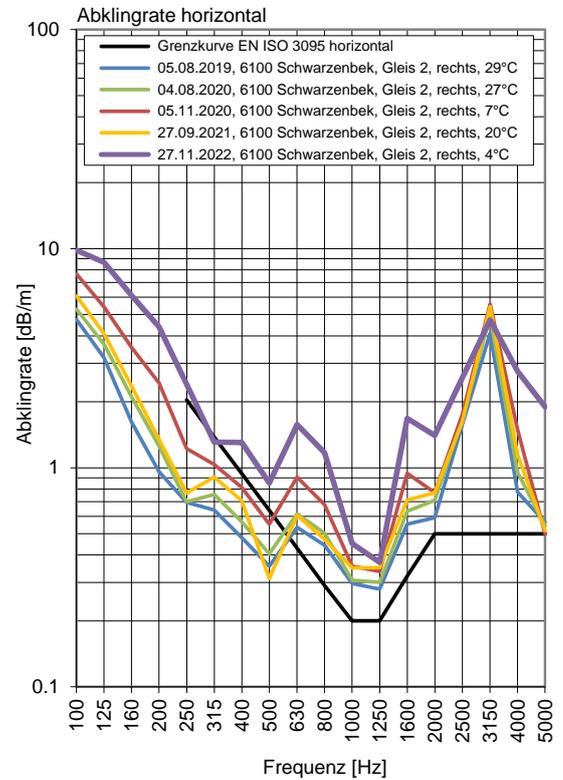
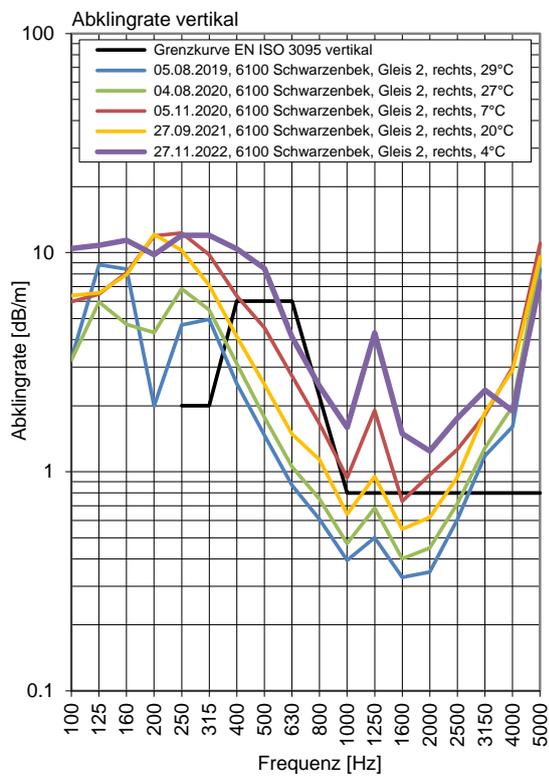
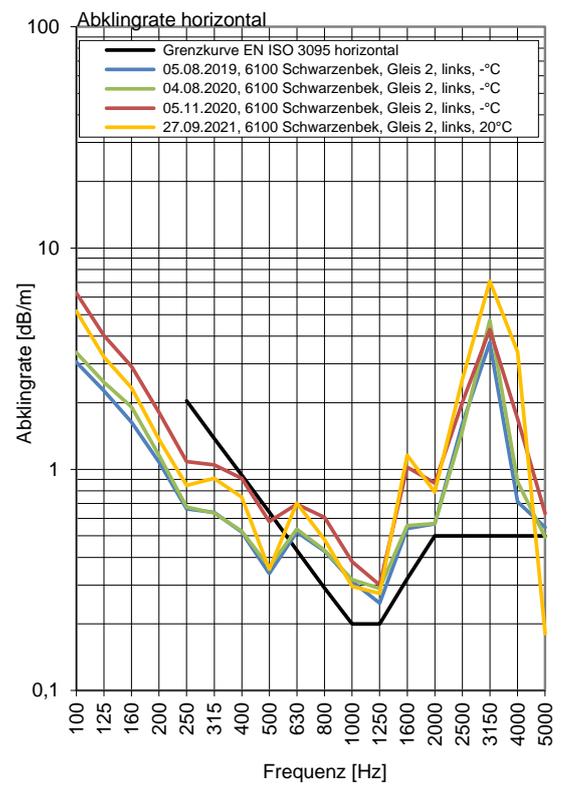
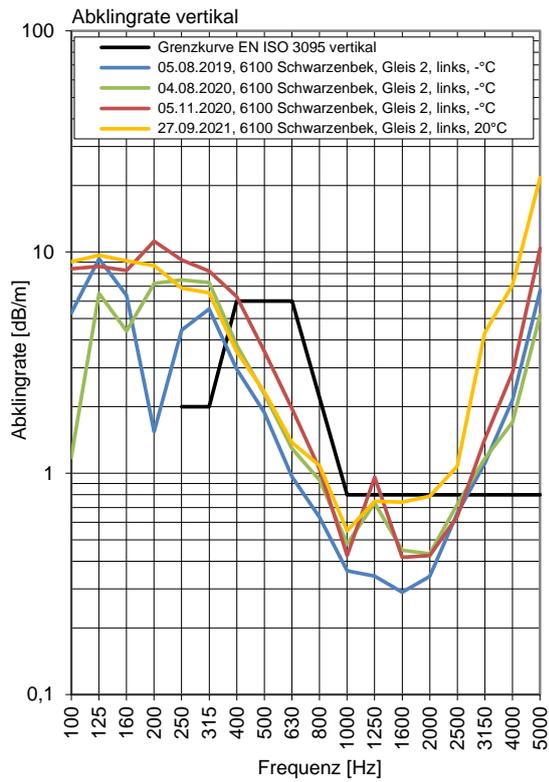
### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Anmerkung zu 2021: Korrosion an Schienenoberfläche auf Gleis1, da kein Verkehr

## Gleisabklingrate





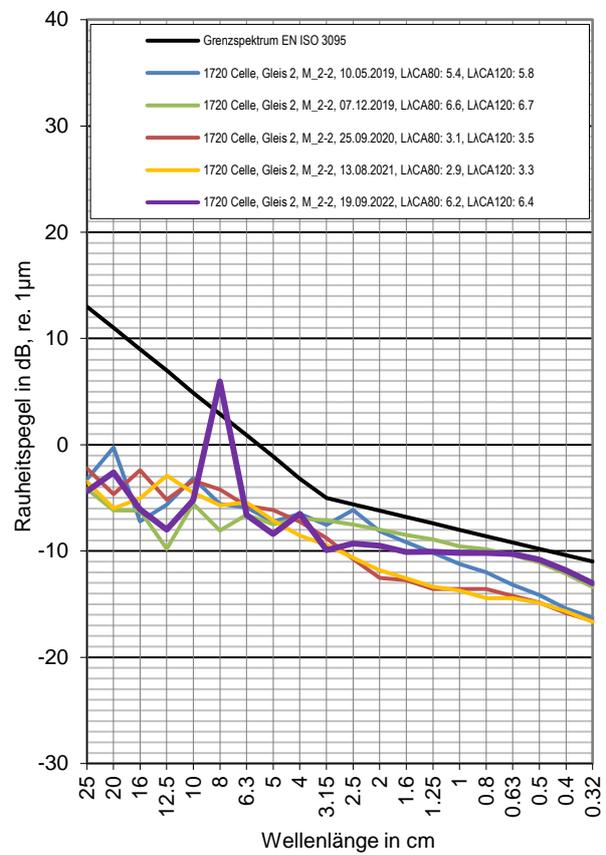
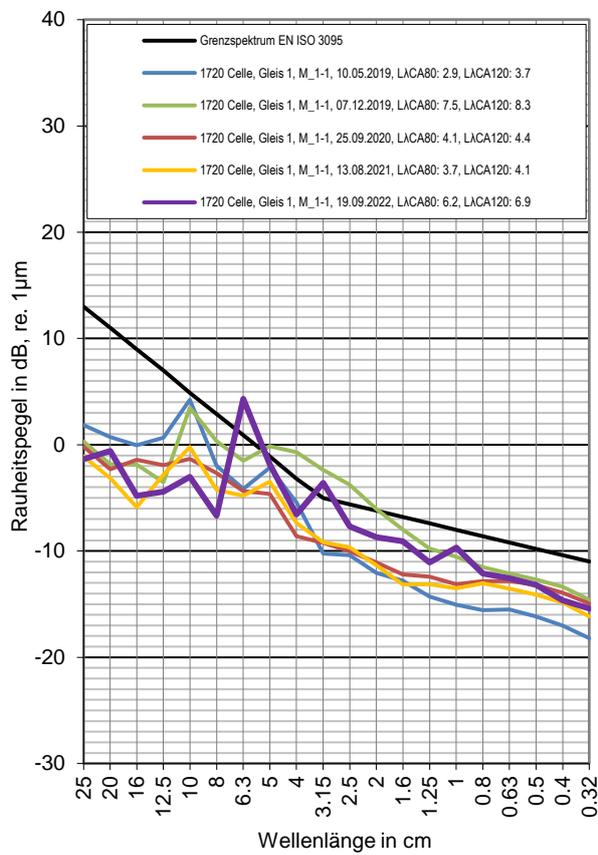
# Messstelle Celle

## Strecke 1720, km 39,8

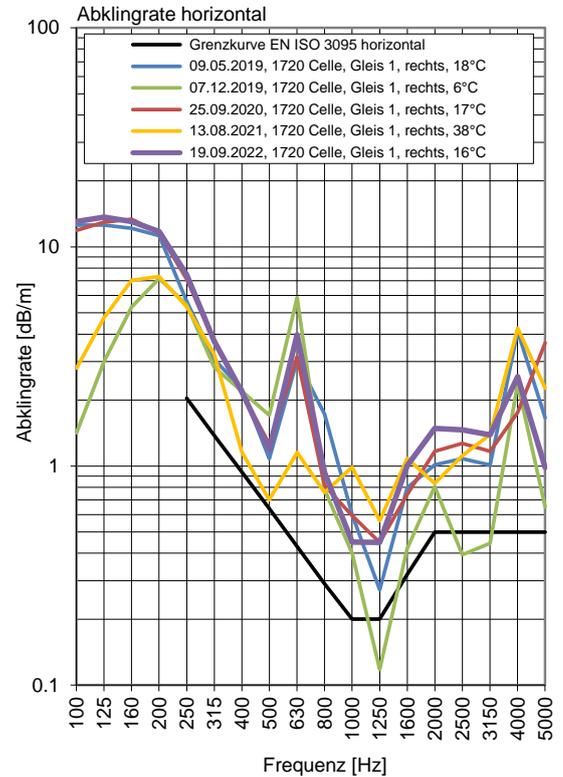
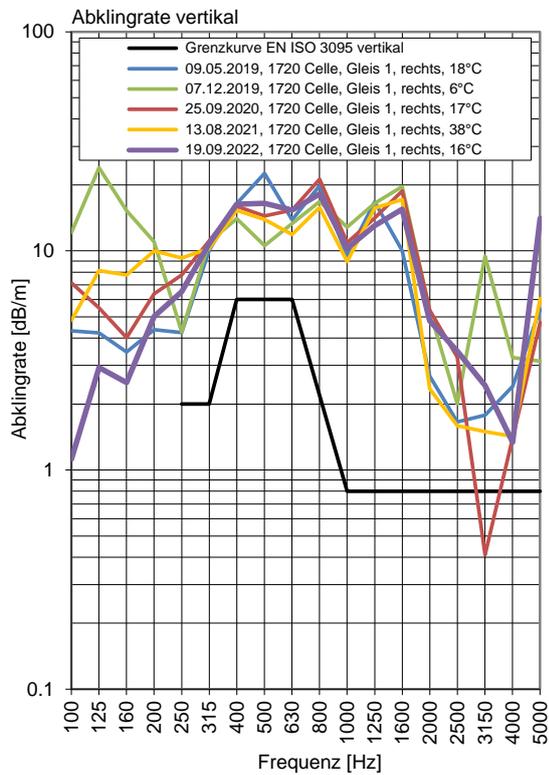
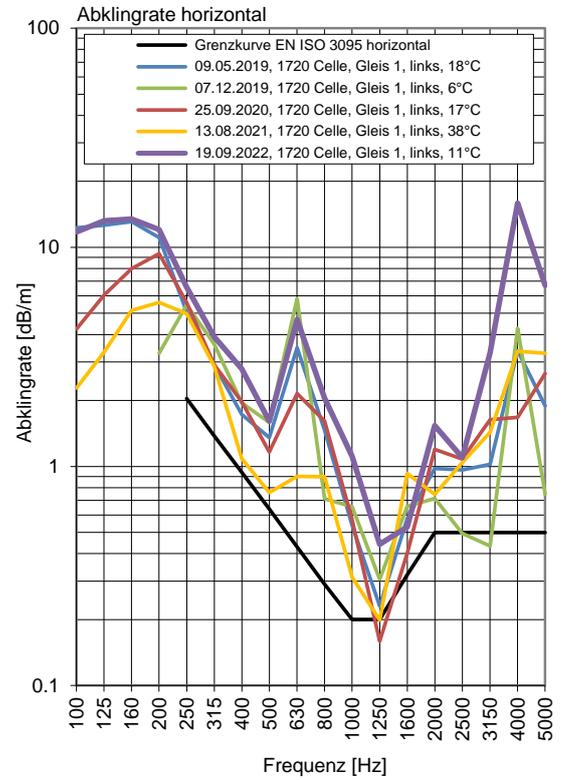
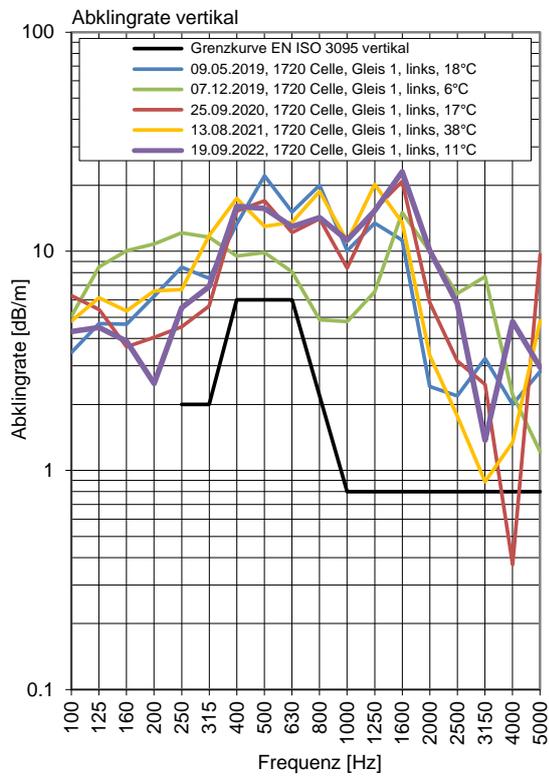
Gleis 1: Richtung Hamburg

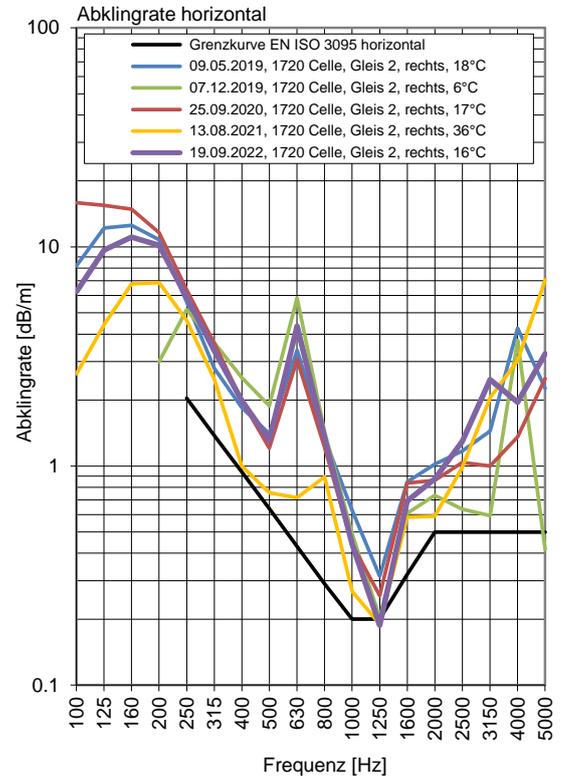
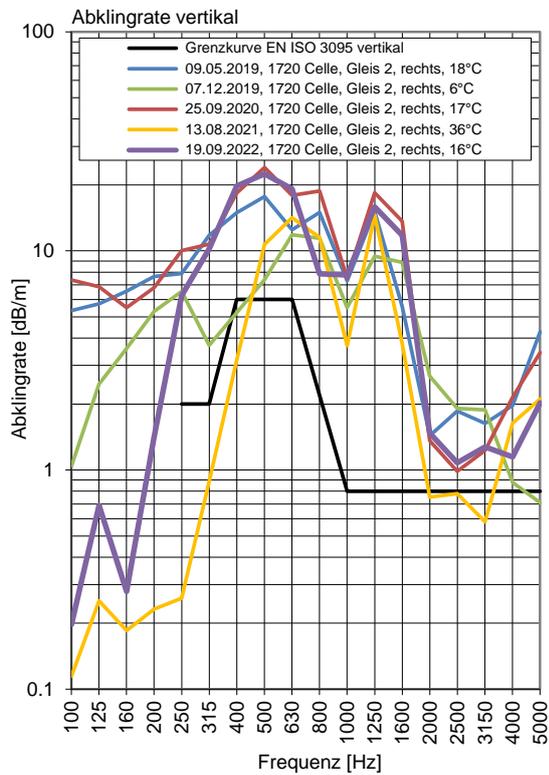
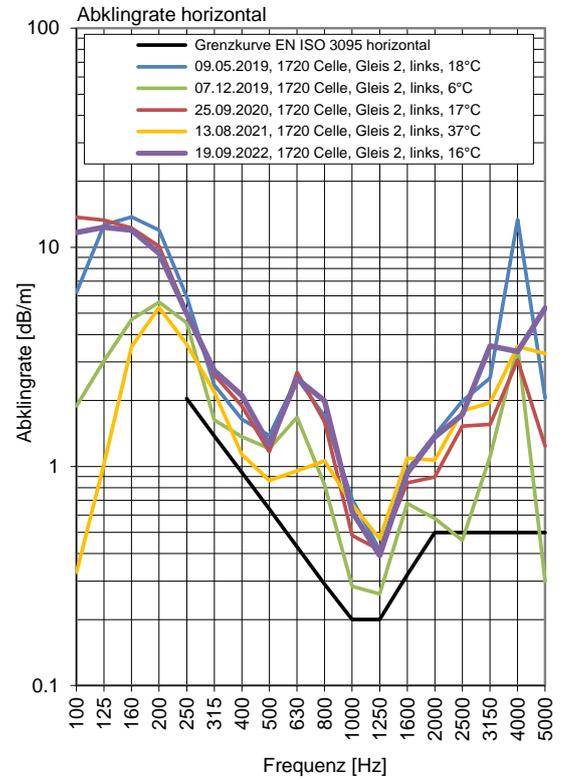
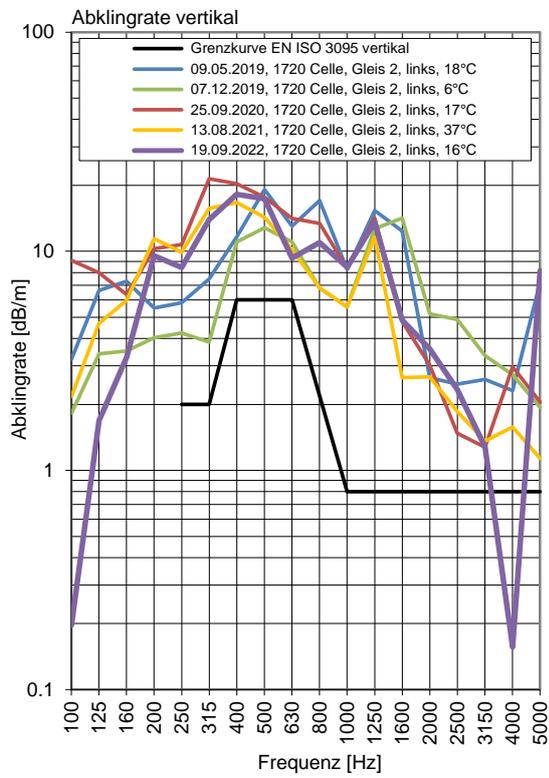
Gleis 2: Richtung Lehrte

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





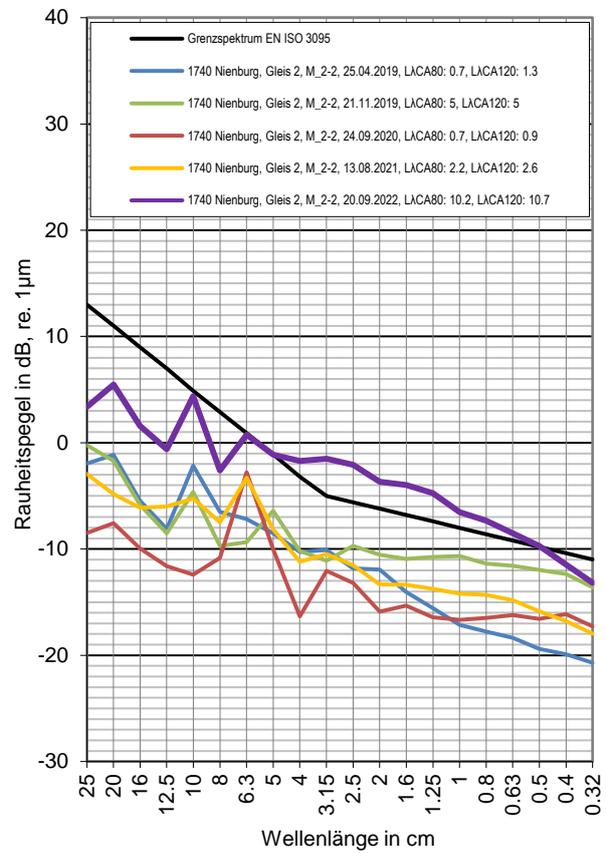
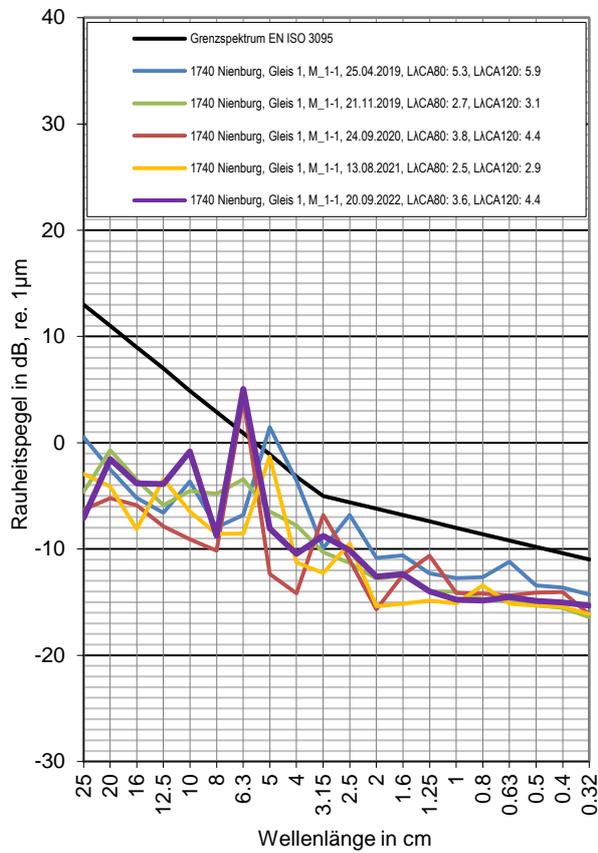
# Messstelle Nienburg

## Strecke 1740, km 65,1

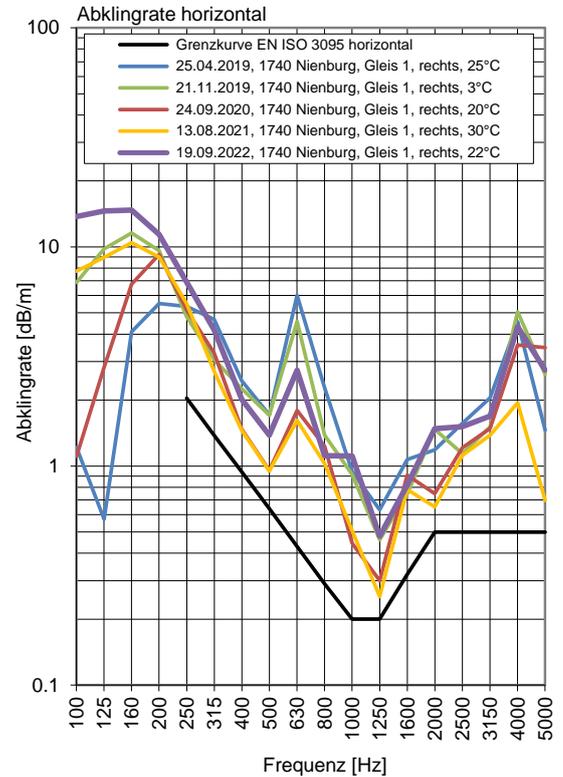
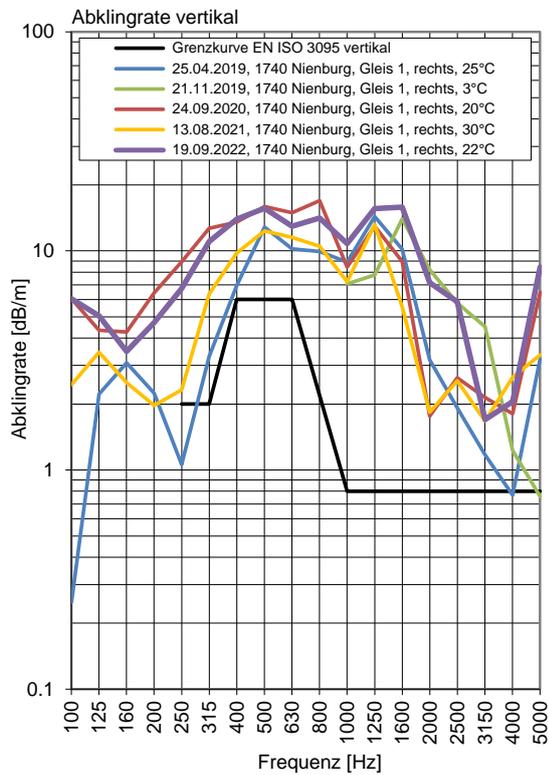
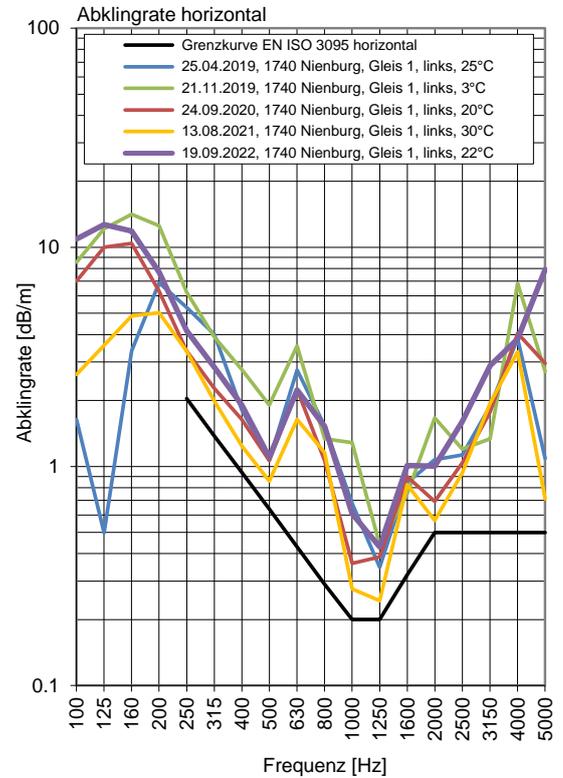
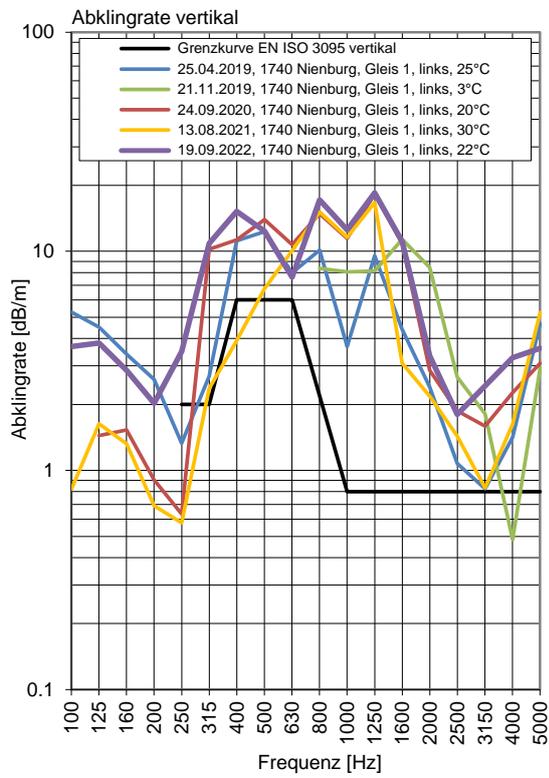
Gleis 1: Richtung Bremen

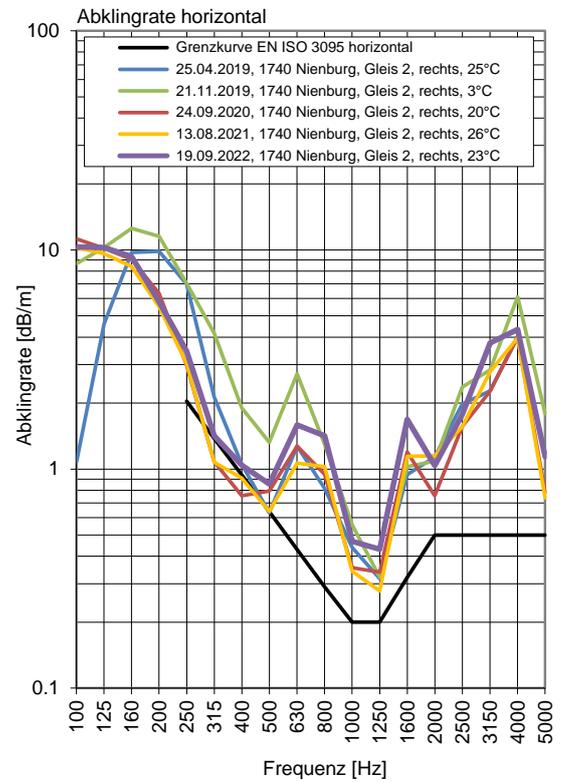
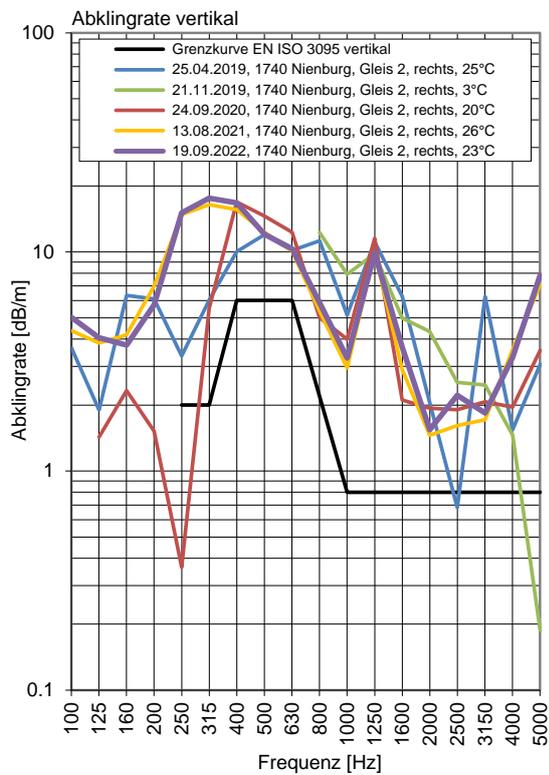
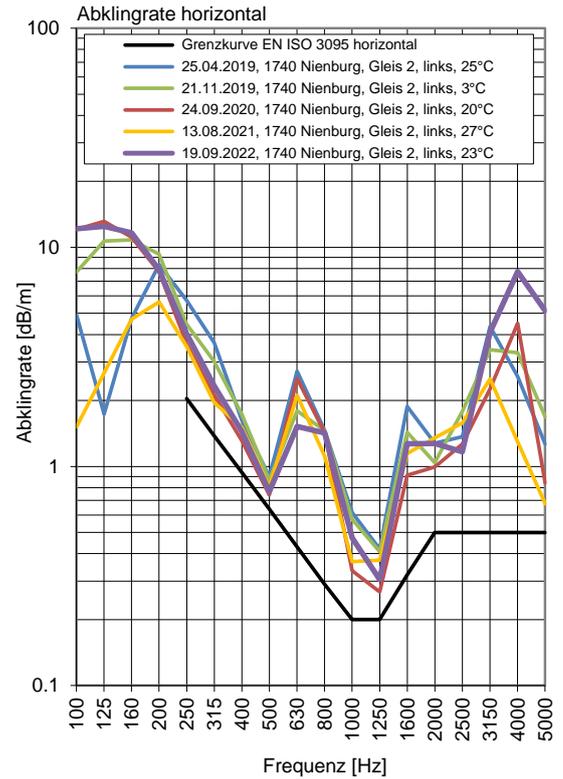
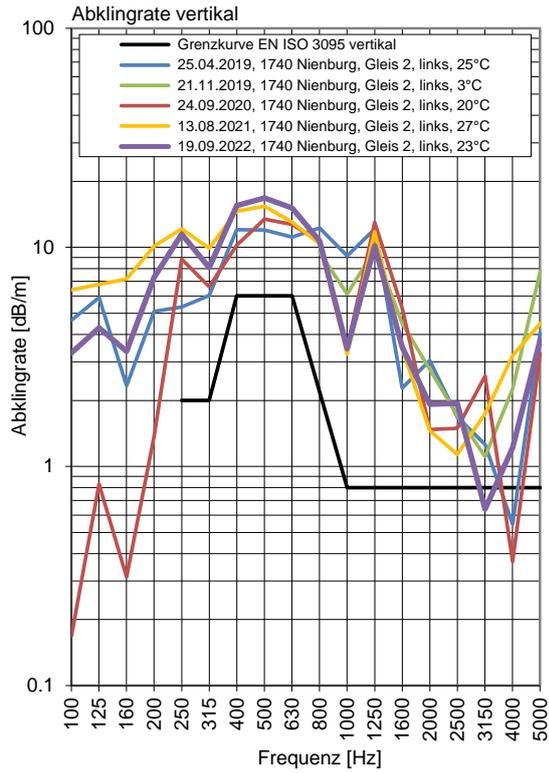
Gleis 2: Richtung Wunstorf

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





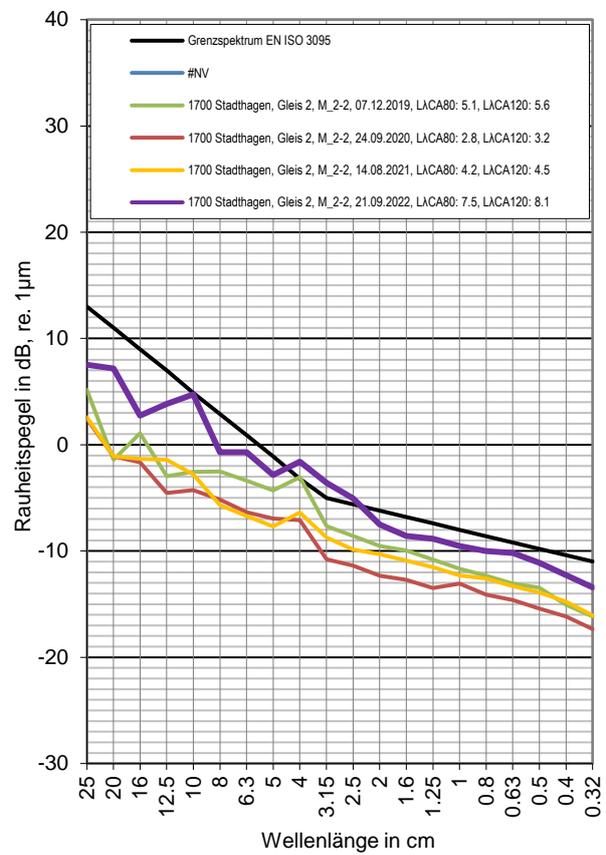
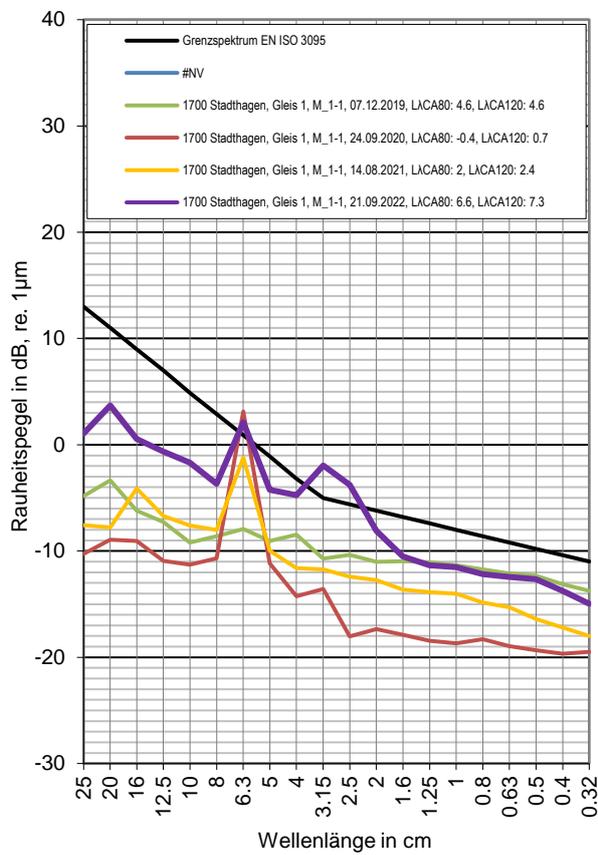
# Messstelle Stadthagen

## Strecke 1700, km 34,7

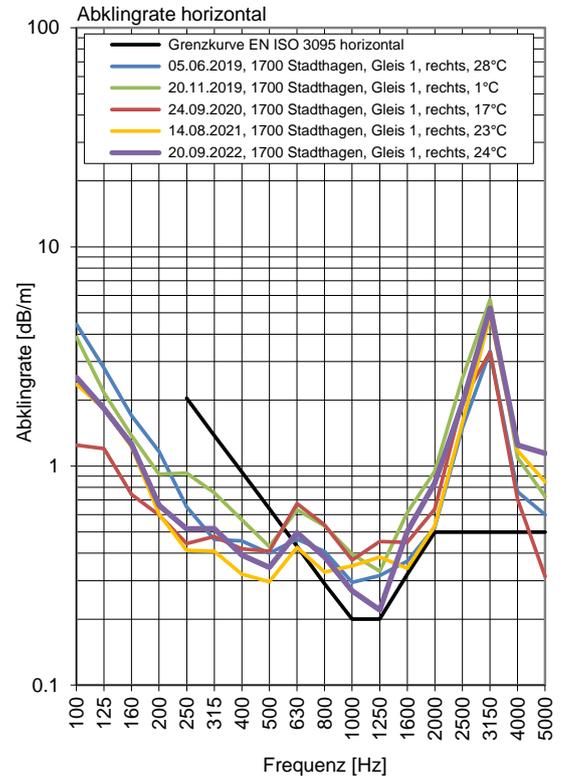
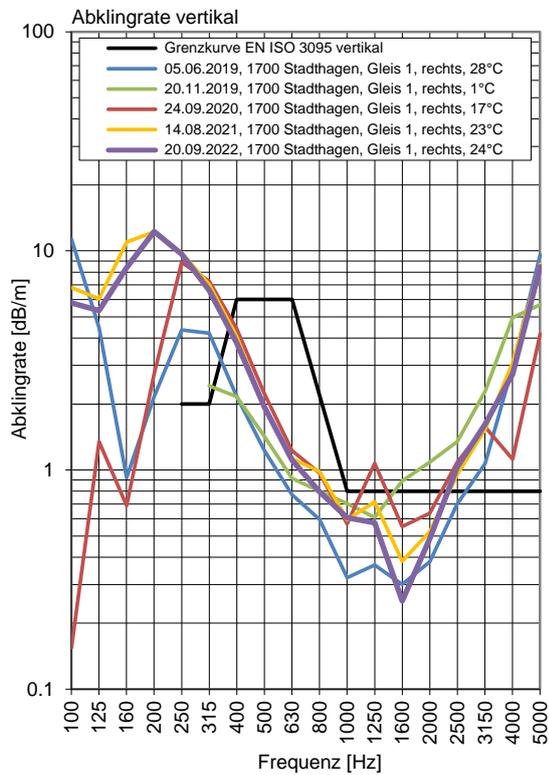
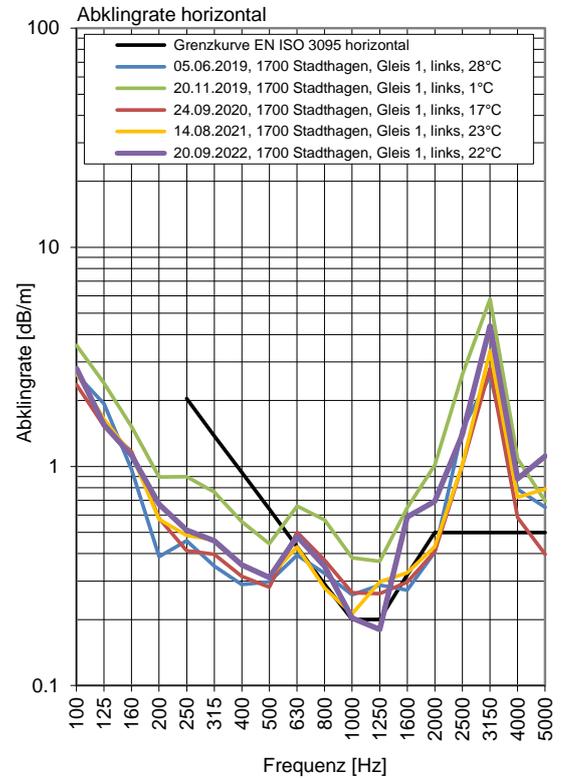
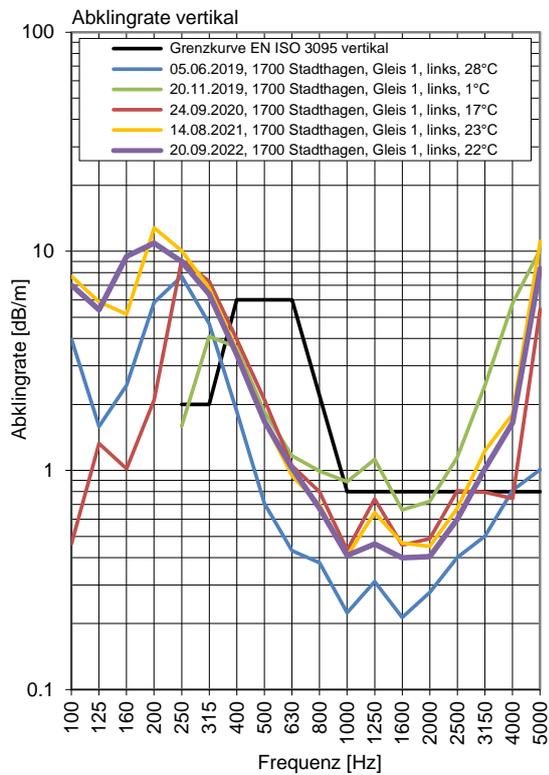
Gleis 1: Richtung Hannover

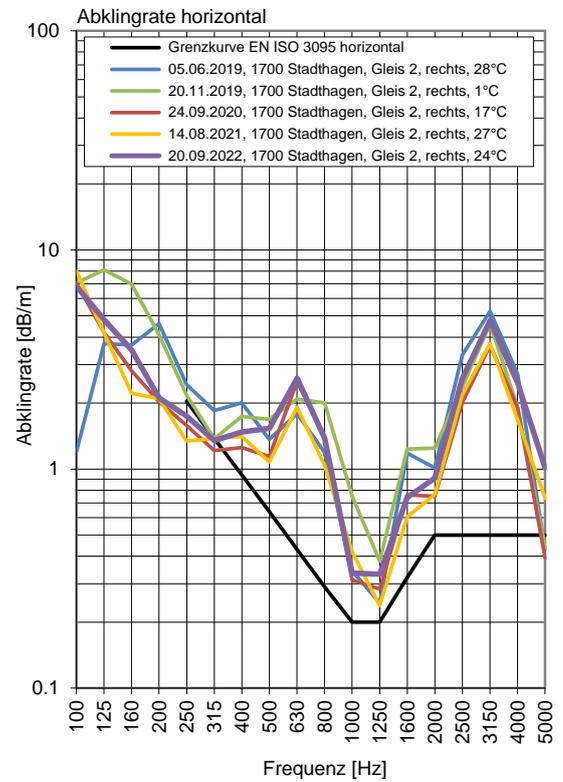
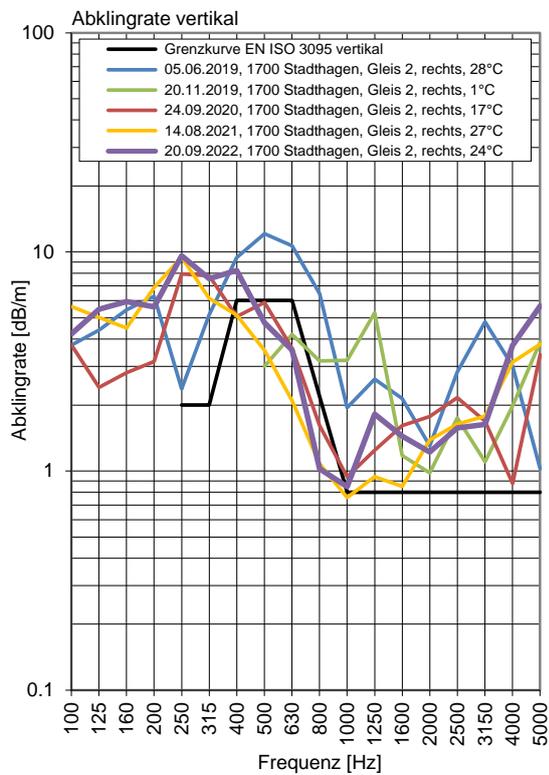
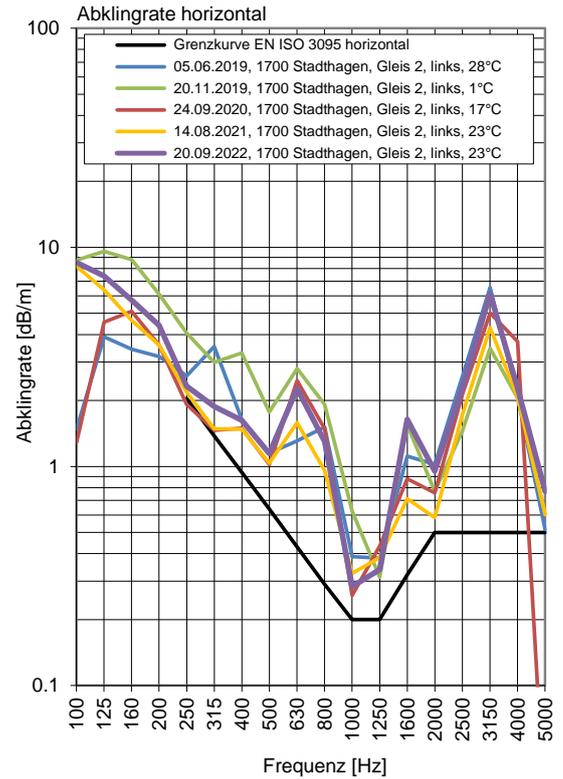
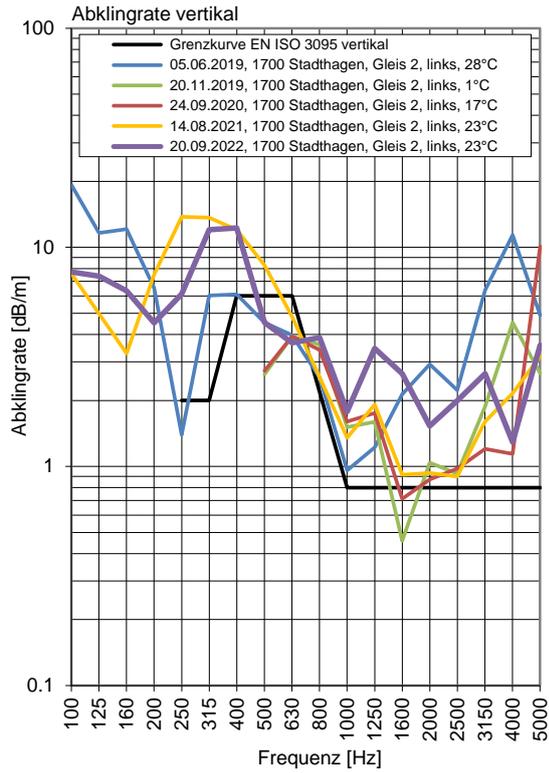
Gleis 2: Richtung Minden

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





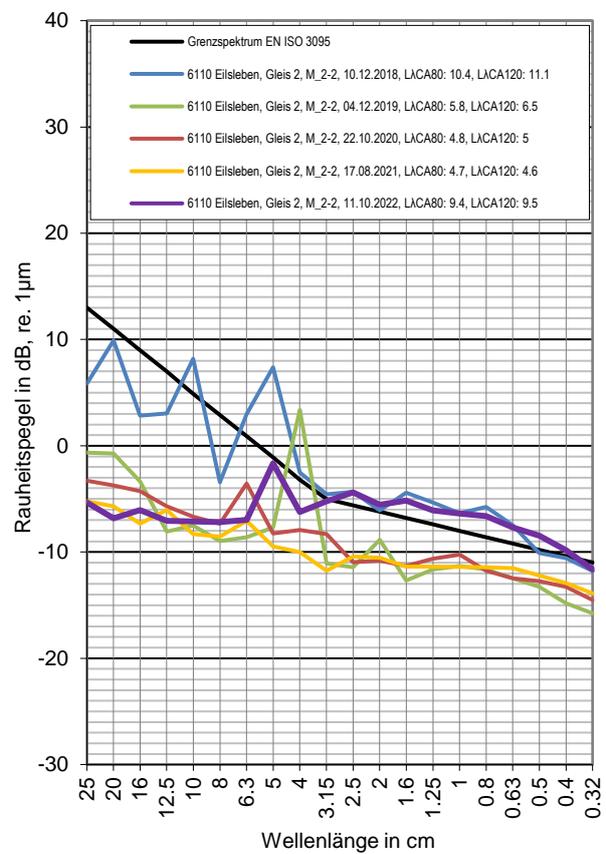
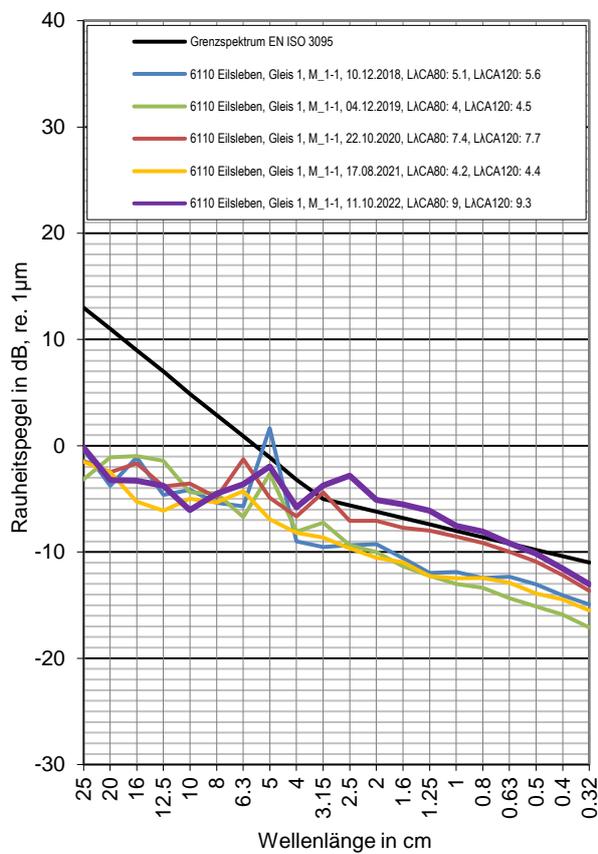
# Messstelle Eilsleben

## Strecke 6110, km 159,9

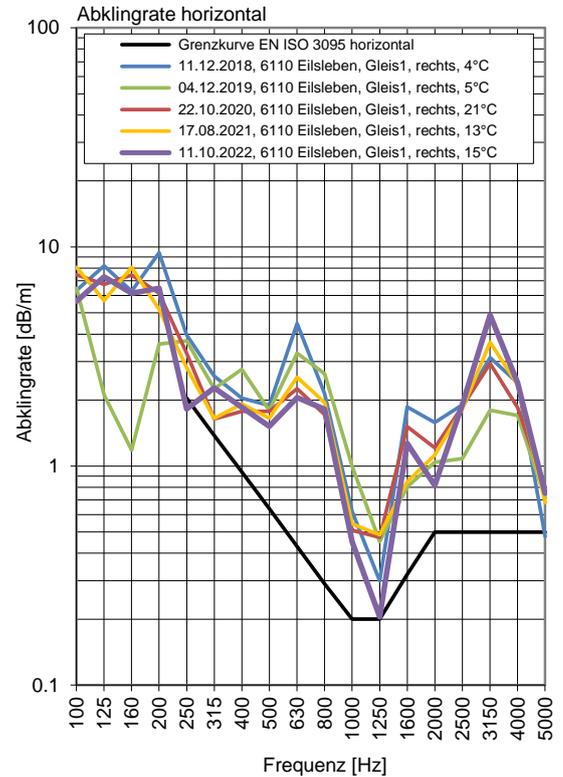
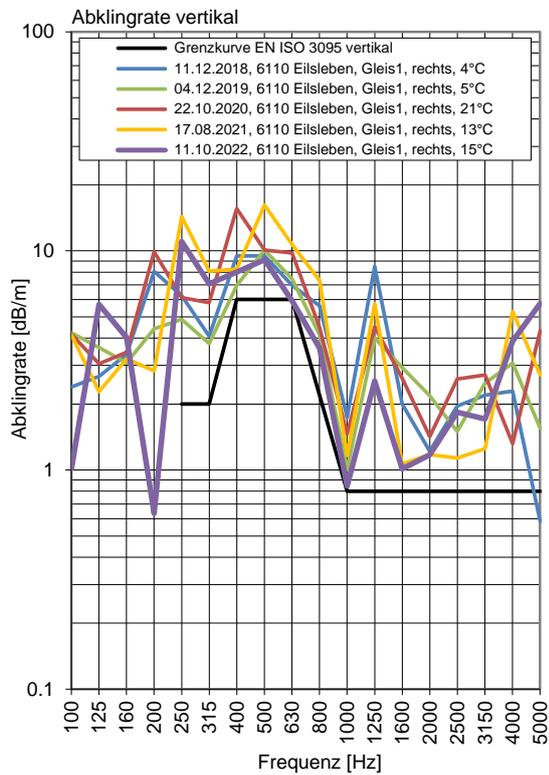
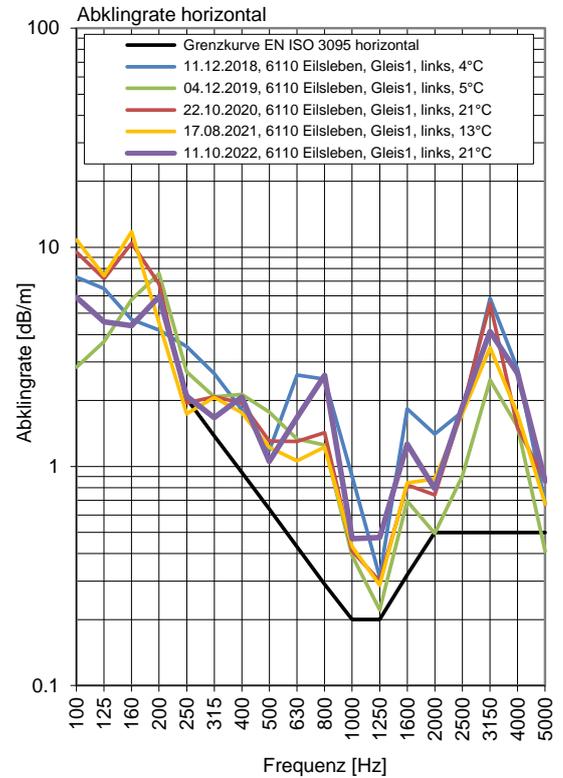
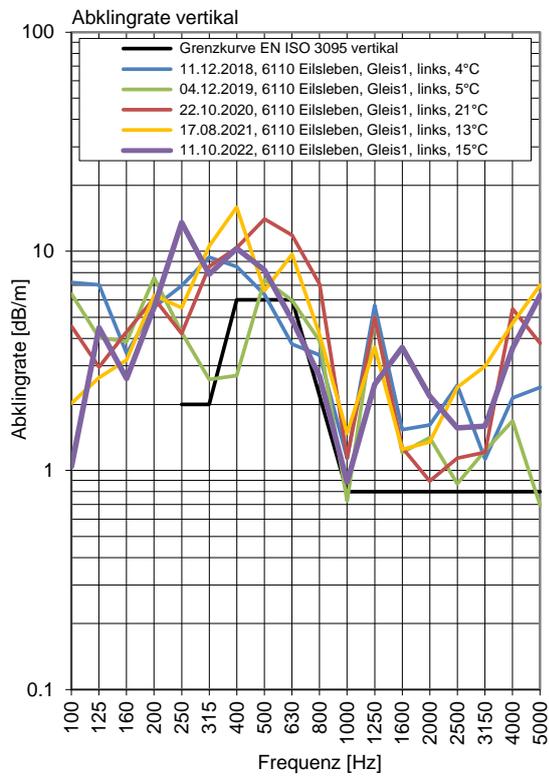
Gleis 1: Richtung Braunschweig

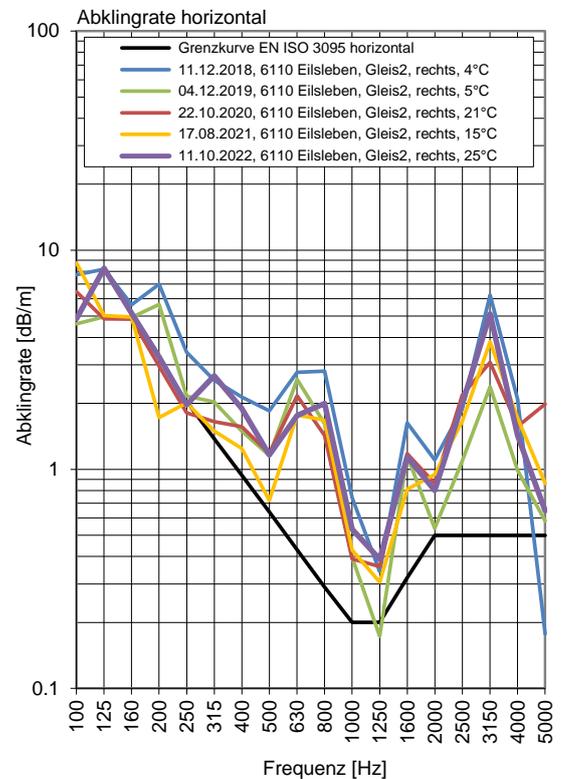
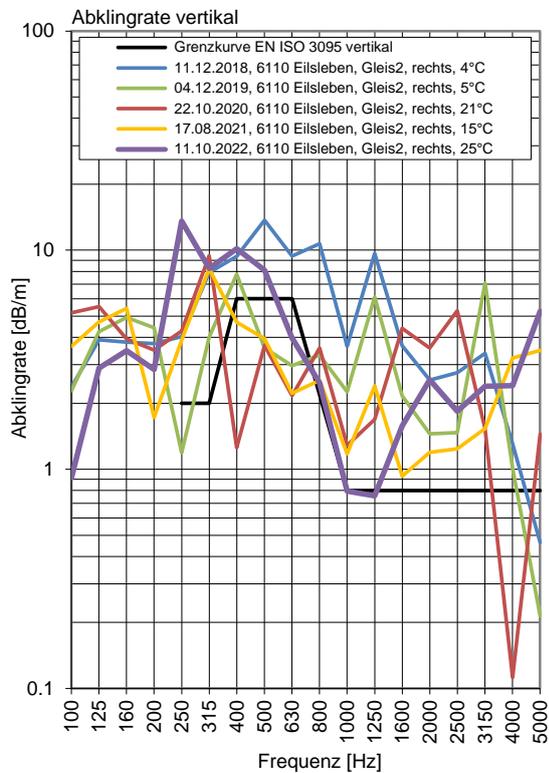
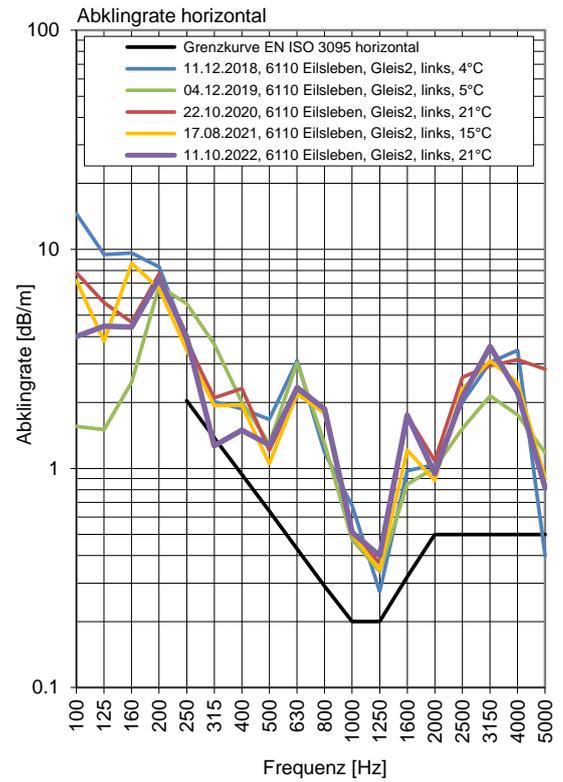
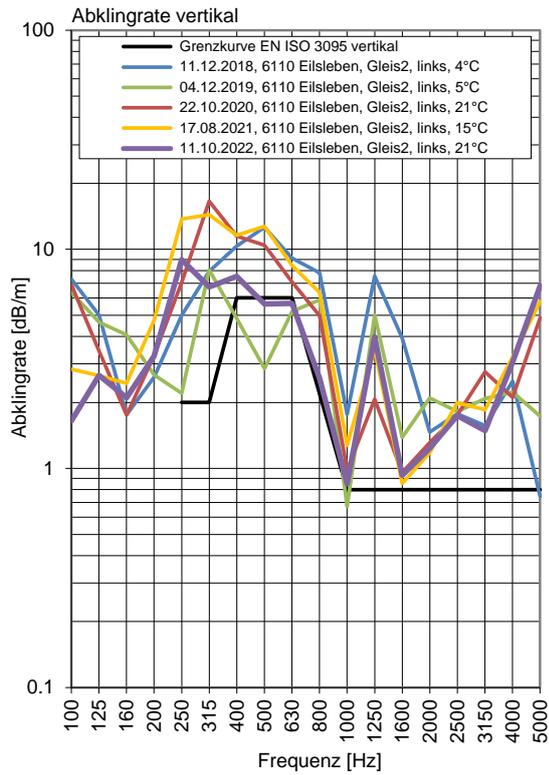
Gleis 2: Richtung Magdeburg

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





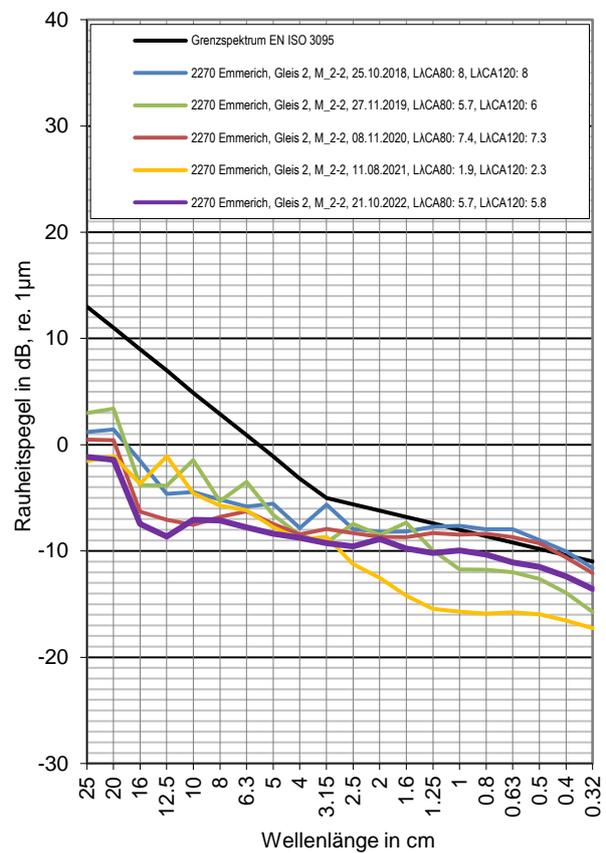
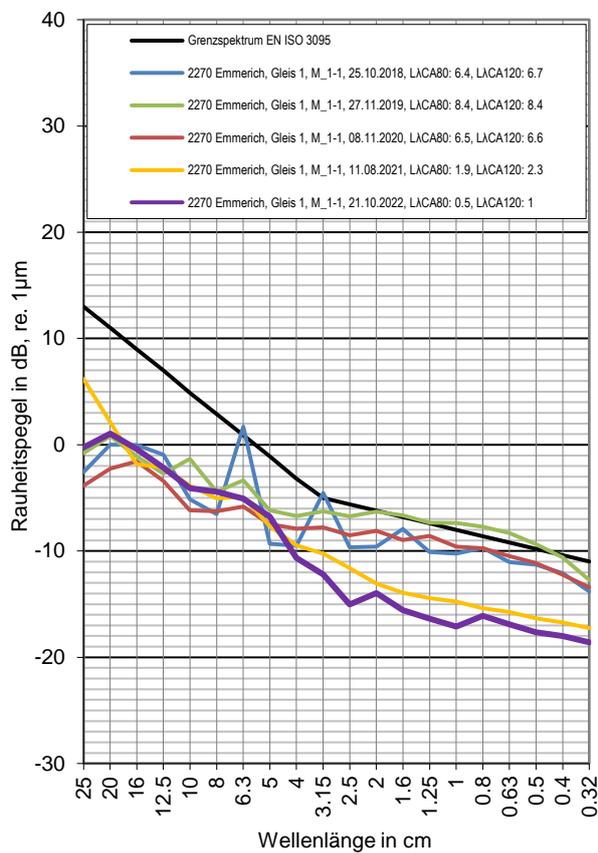
# Messstelle Emmerich

## Strecke 2270, km 45,9

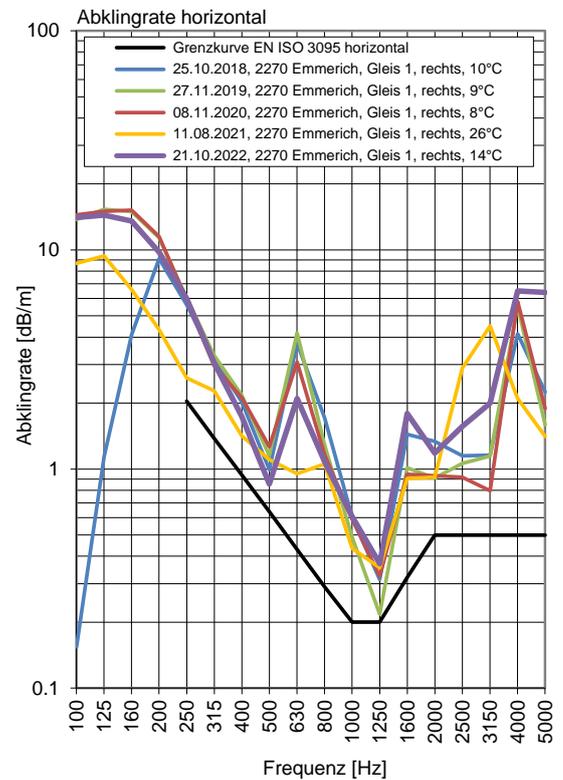
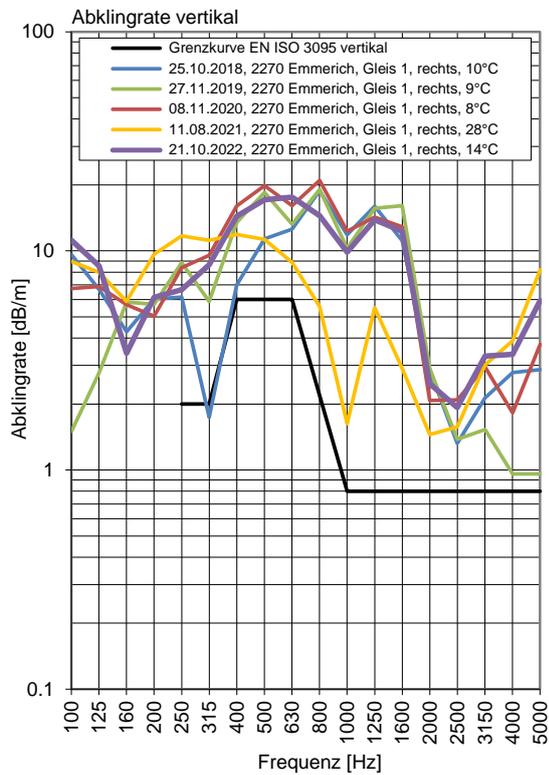
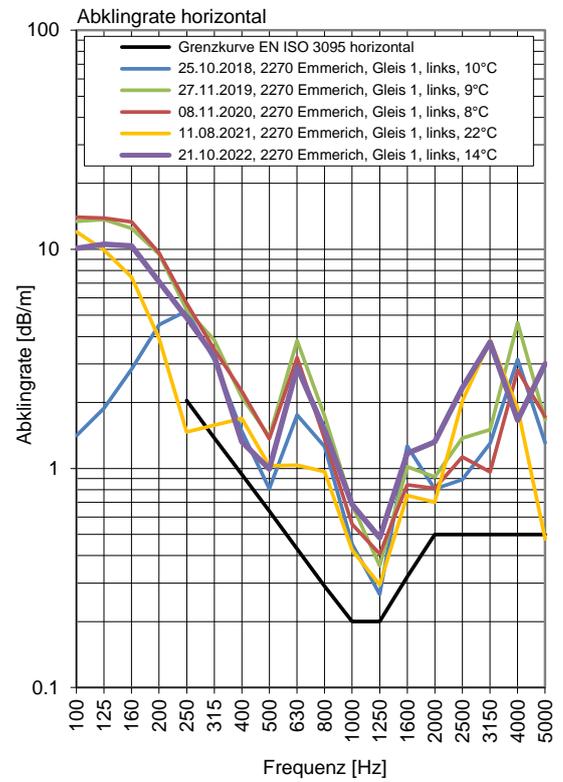
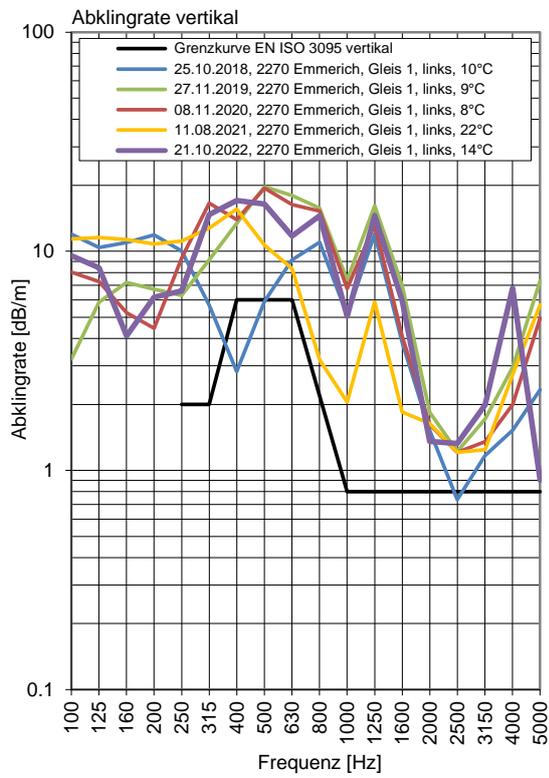
Gleis 1: Richtung Oberhausen

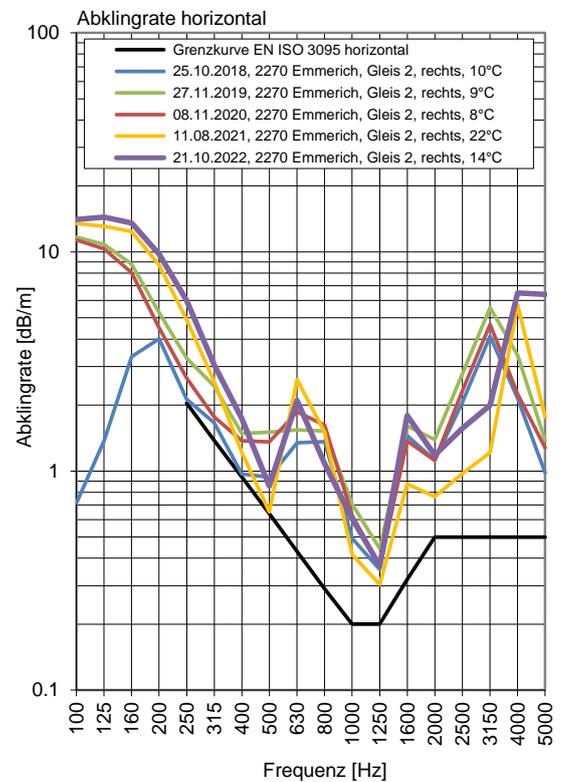
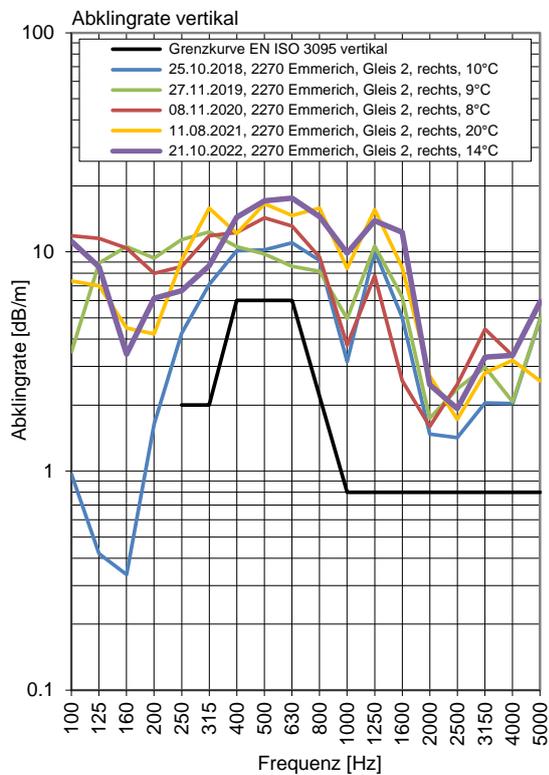
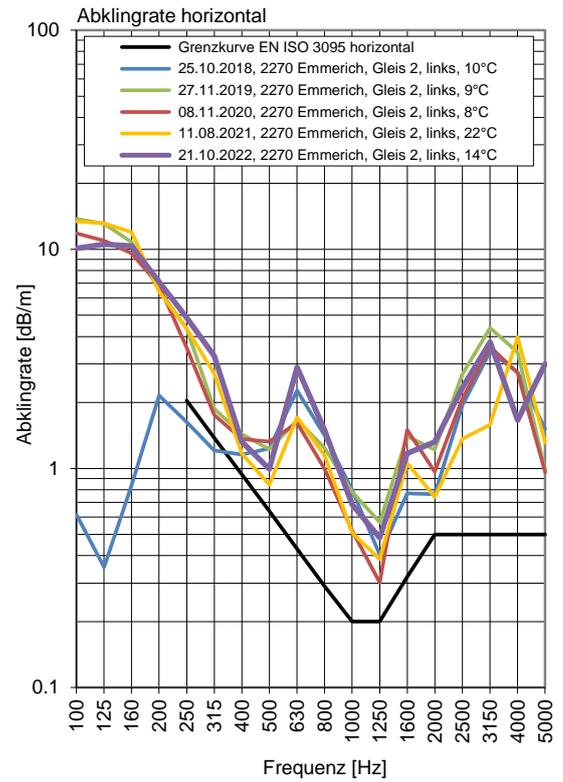
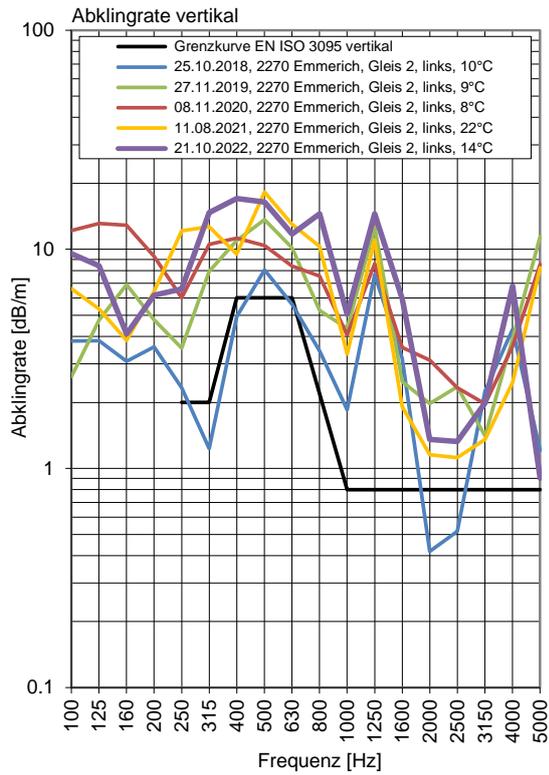
Gleis 2: Richtung Emmerich

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





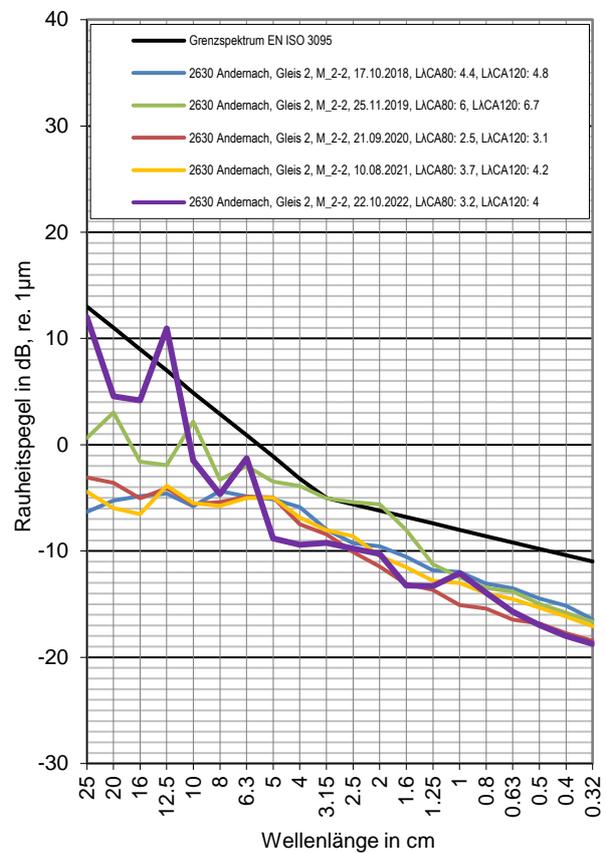
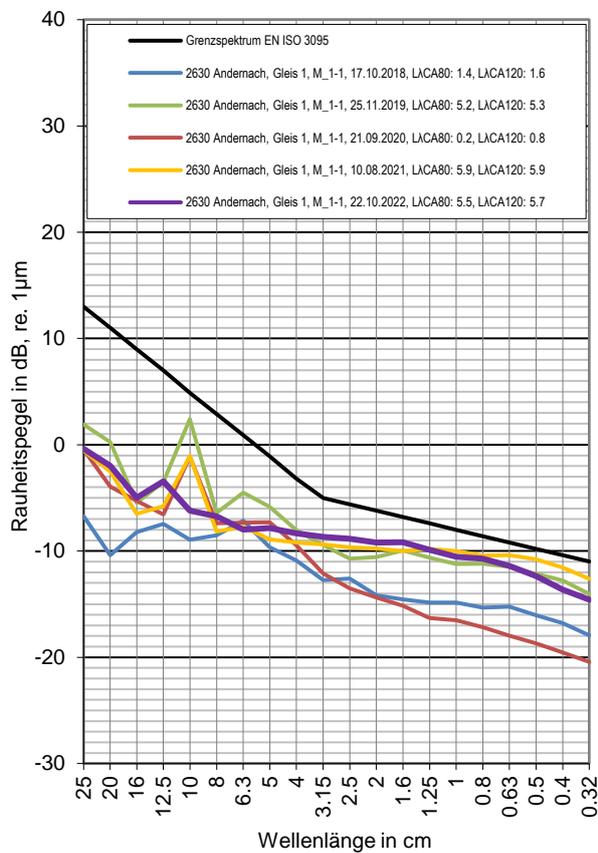
# Messstelle Andernach

## Strecke 2630, km 68,8

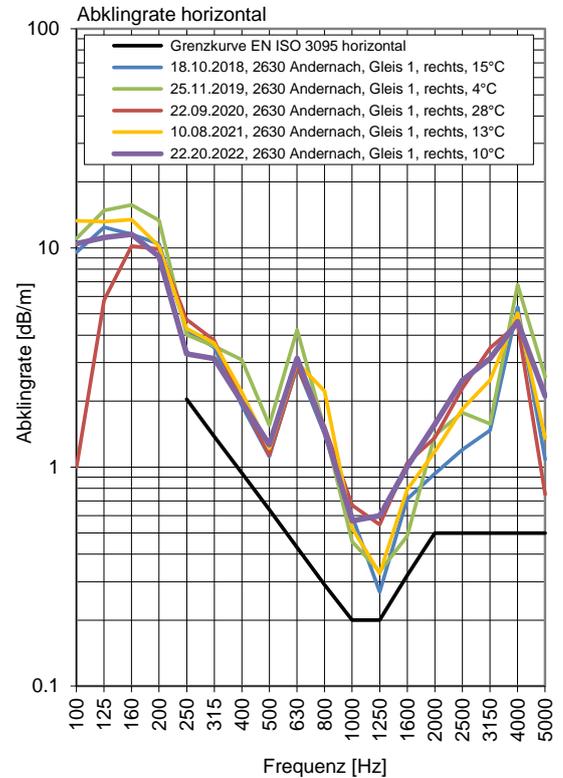
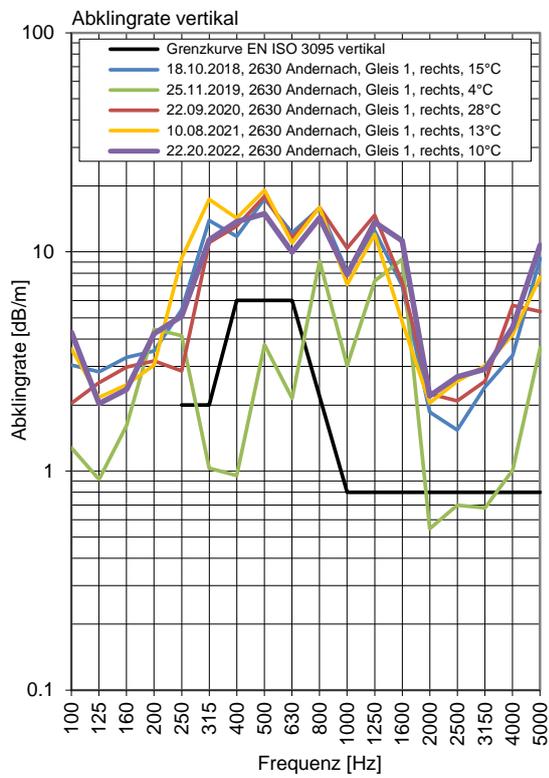
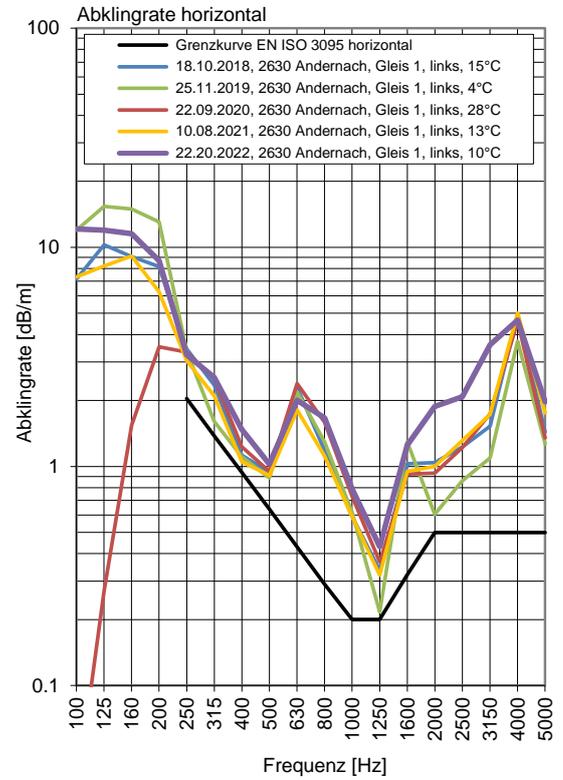
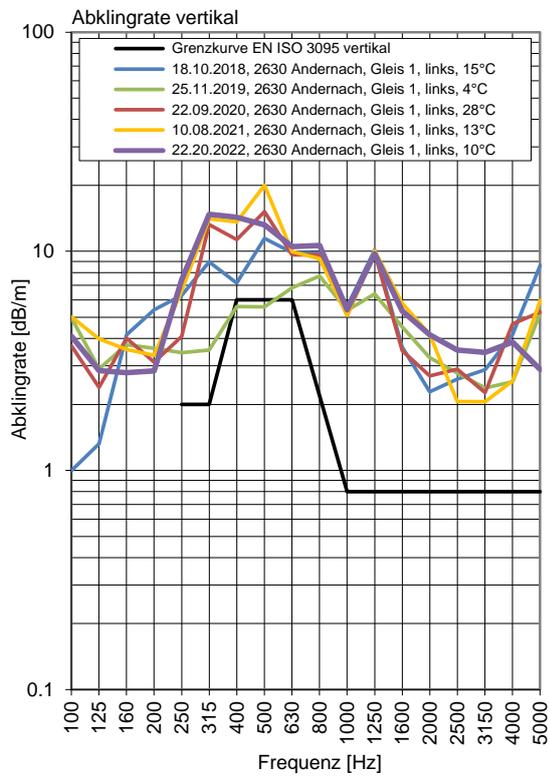
Gleis 1: Richtung Köln

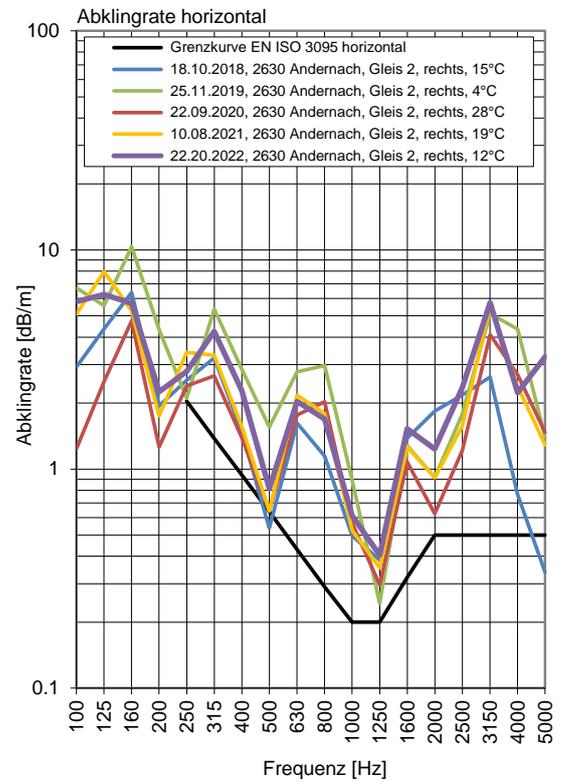
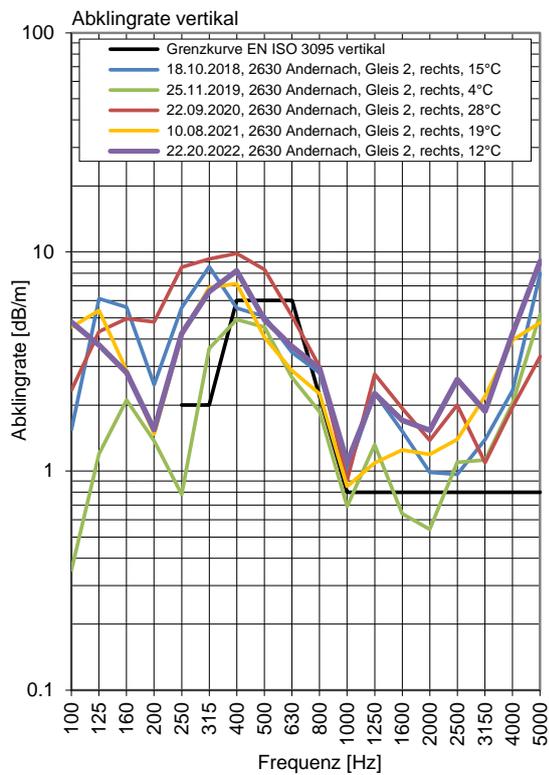
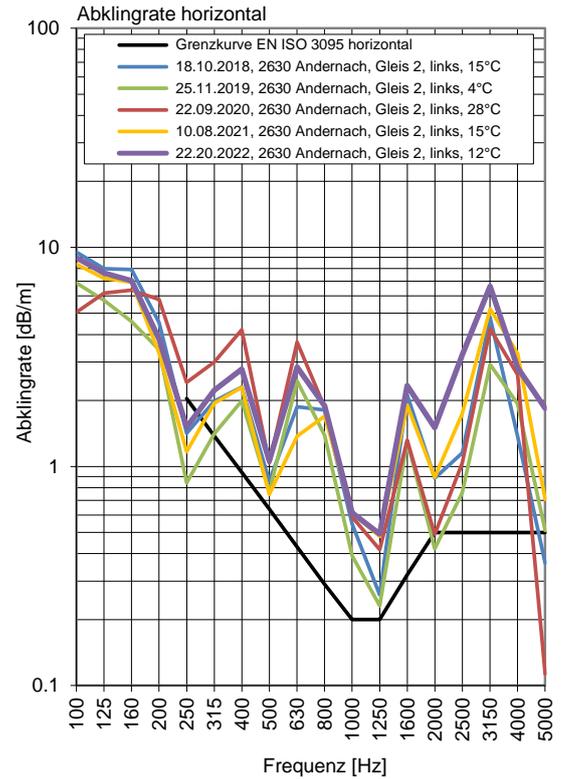
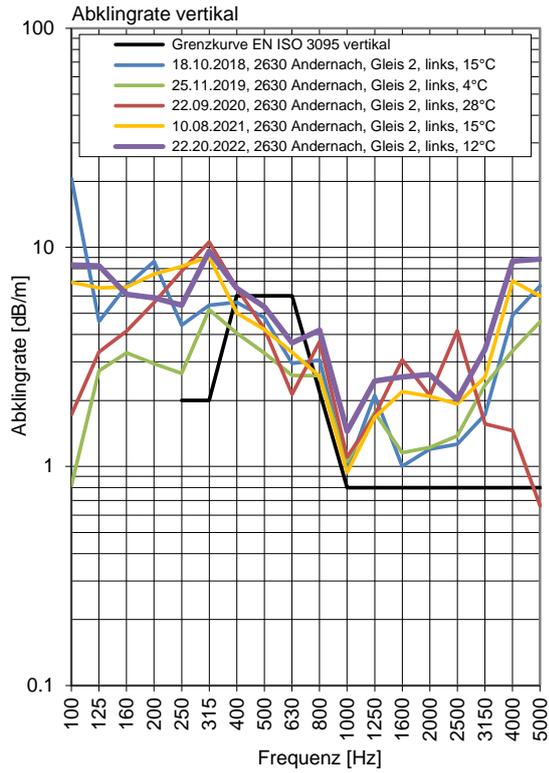
Gleis 2: Richtung Bingen

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





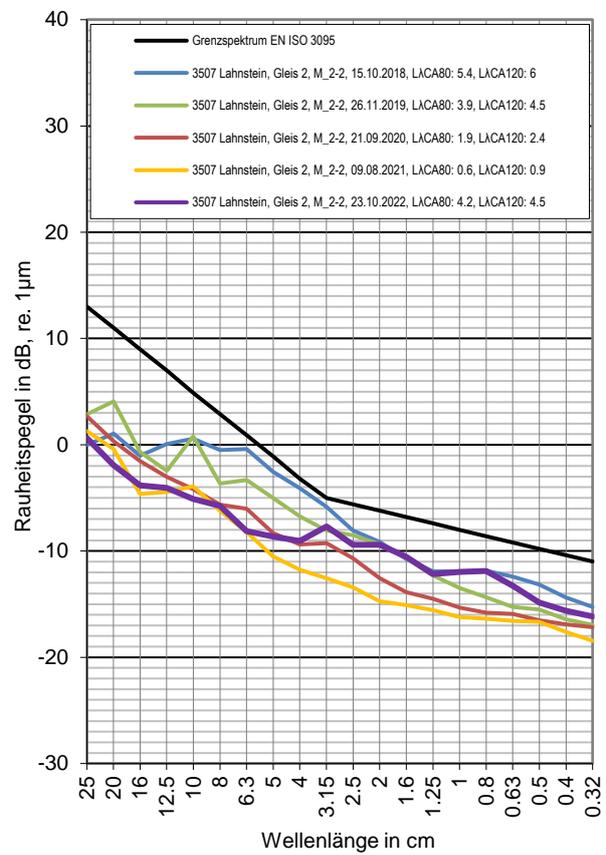
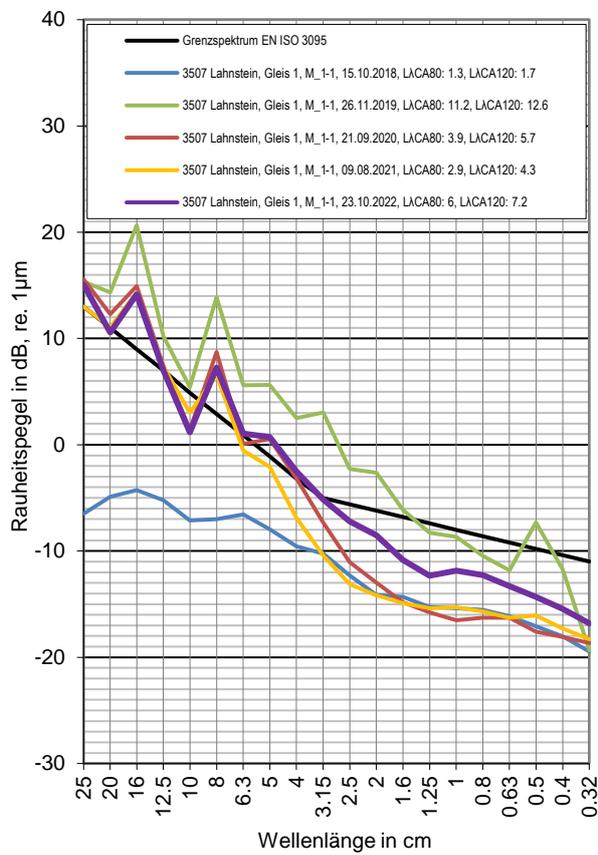
# Messstelle Lahnstein

## Strecke 3507, km 99,0

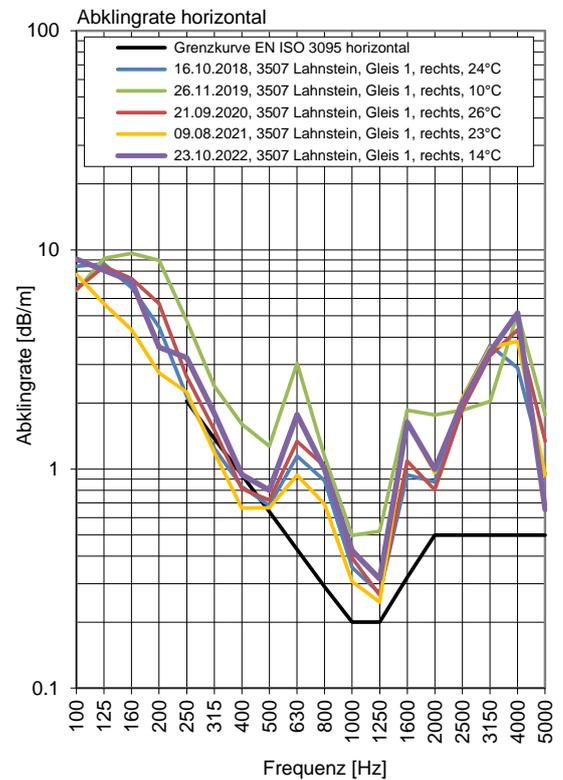
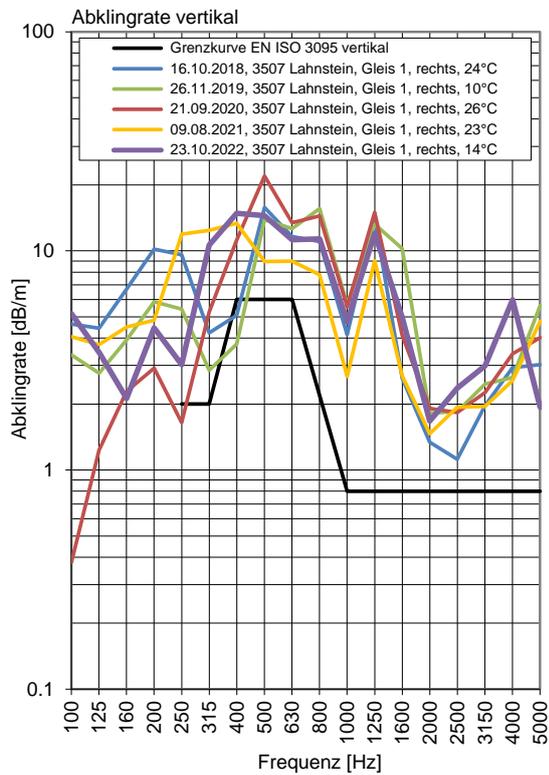
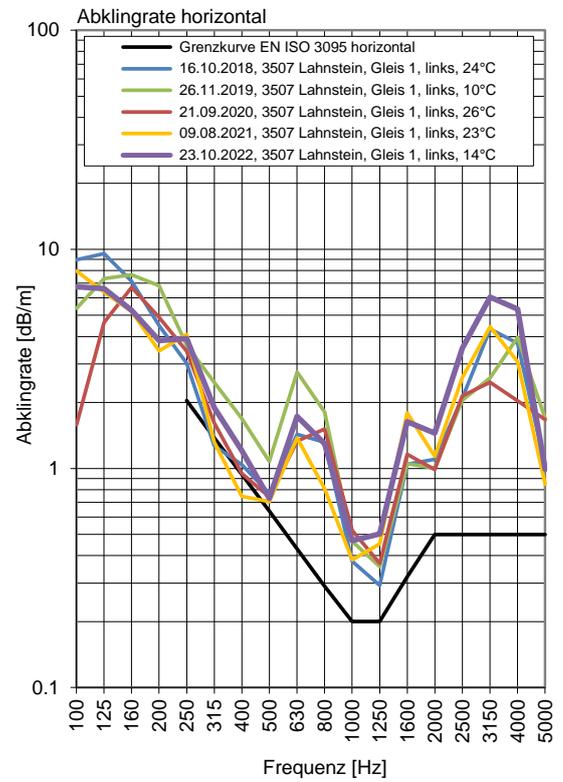
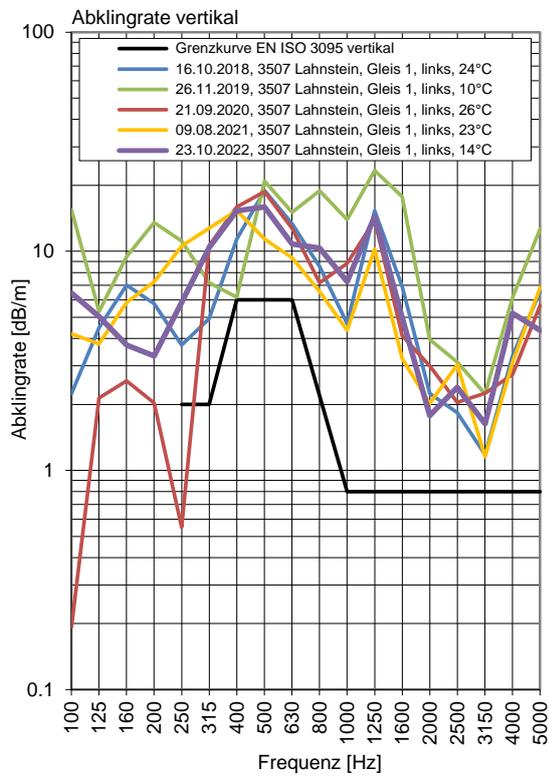
Gleis 1: Richtung Koblenz

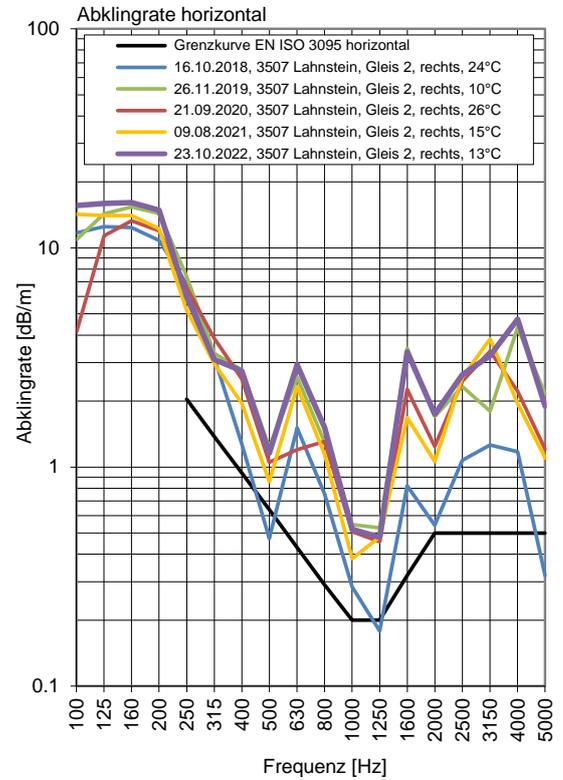
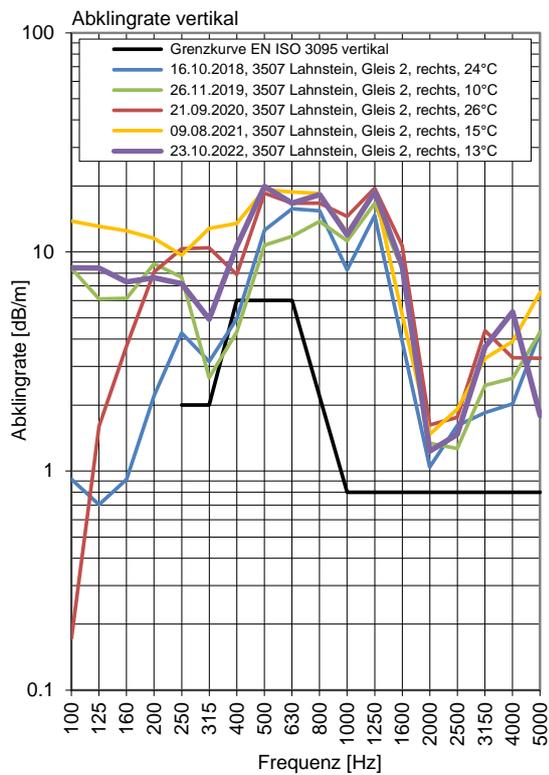
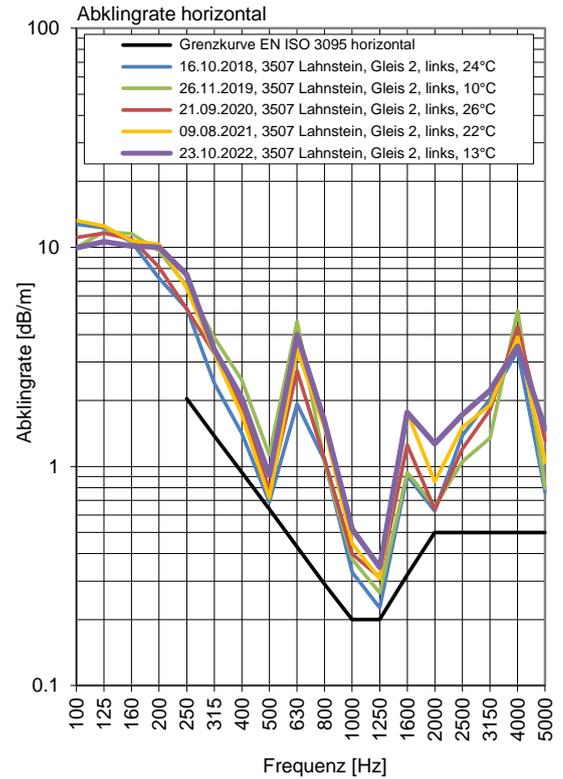
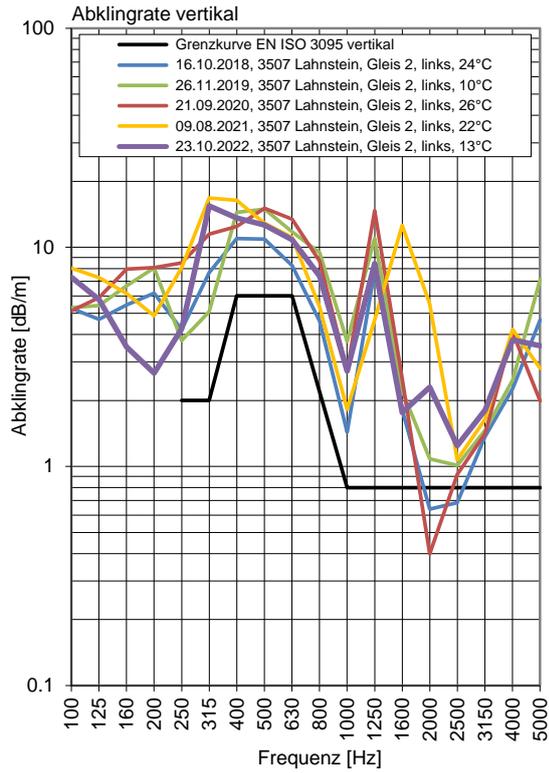
Gleis 2: Richtung Wiesbaden

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





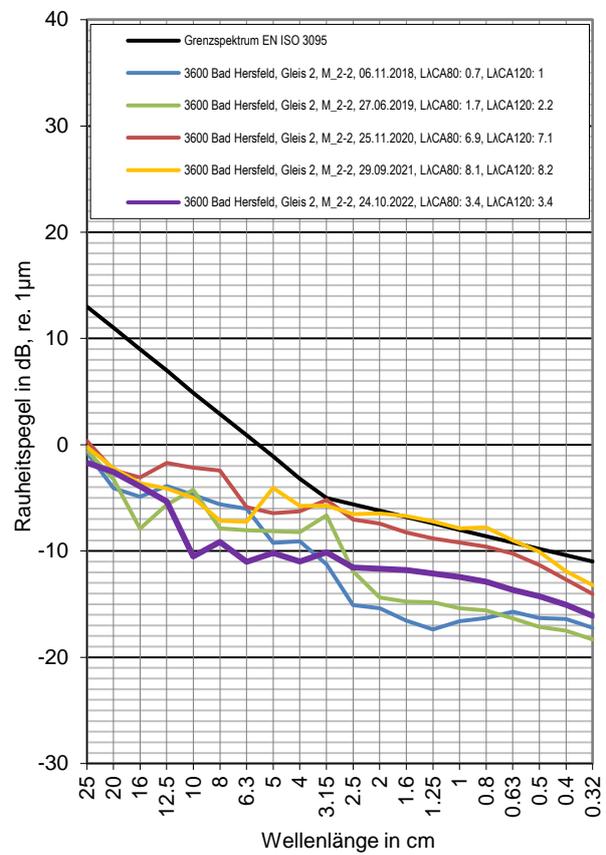
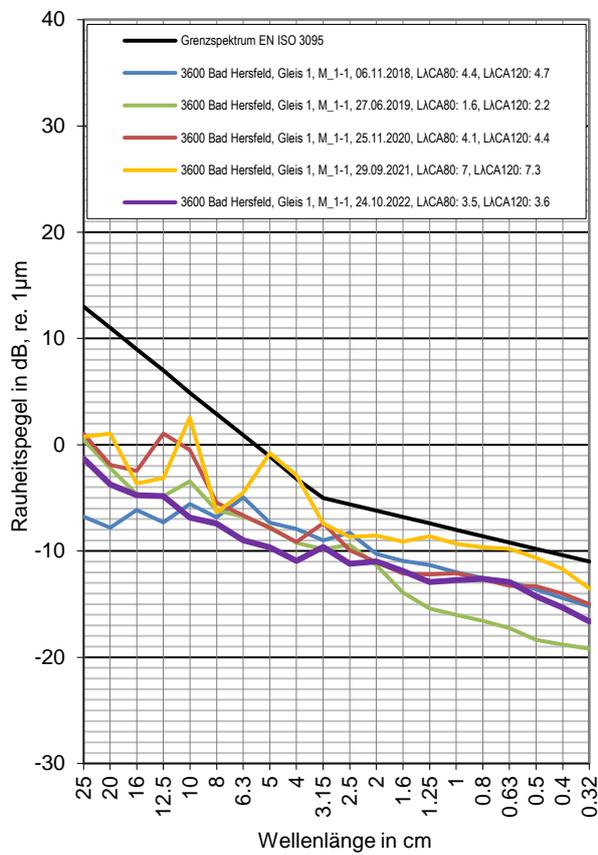
# Messstelle Bad Hersfeld

## Strecke 3600, km 158,4

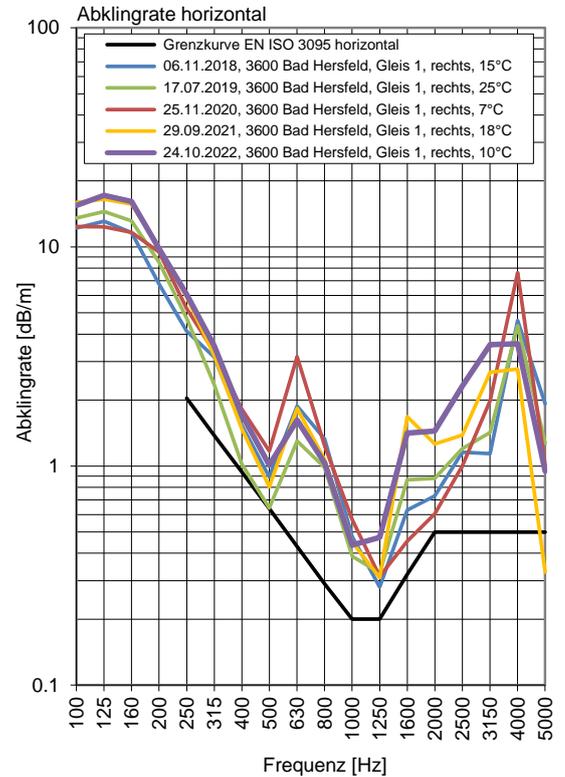
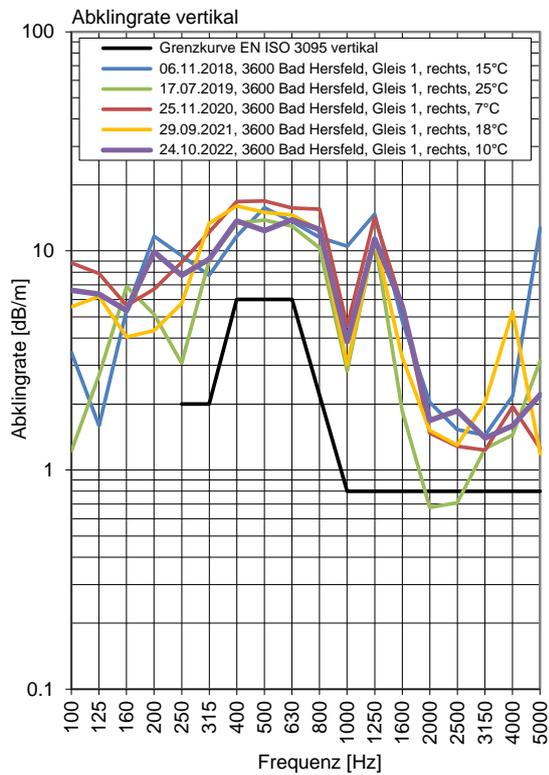
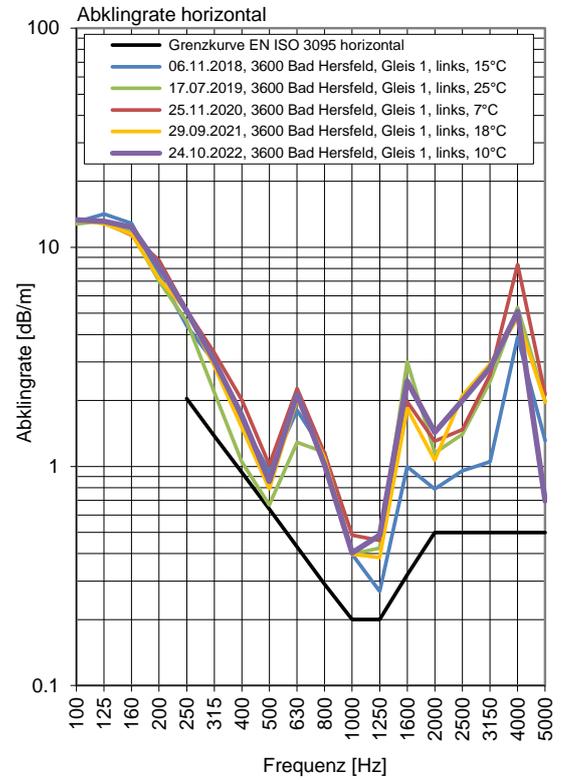
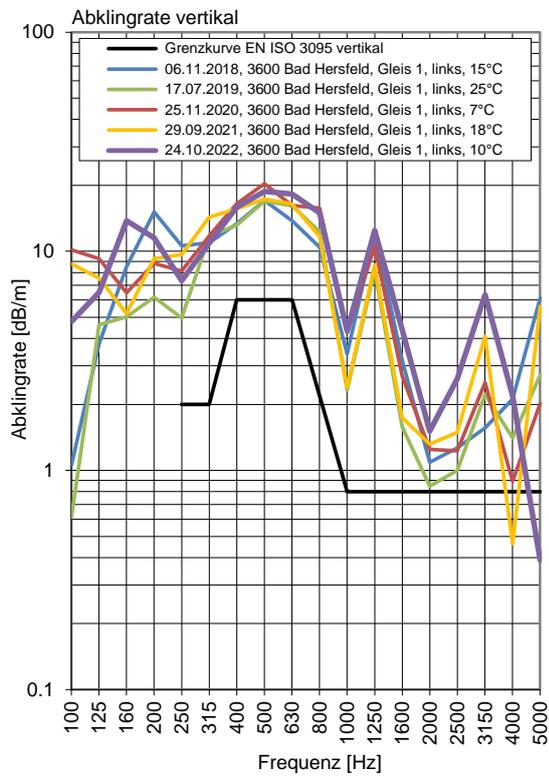
Gleis 1: Richtung Bebra

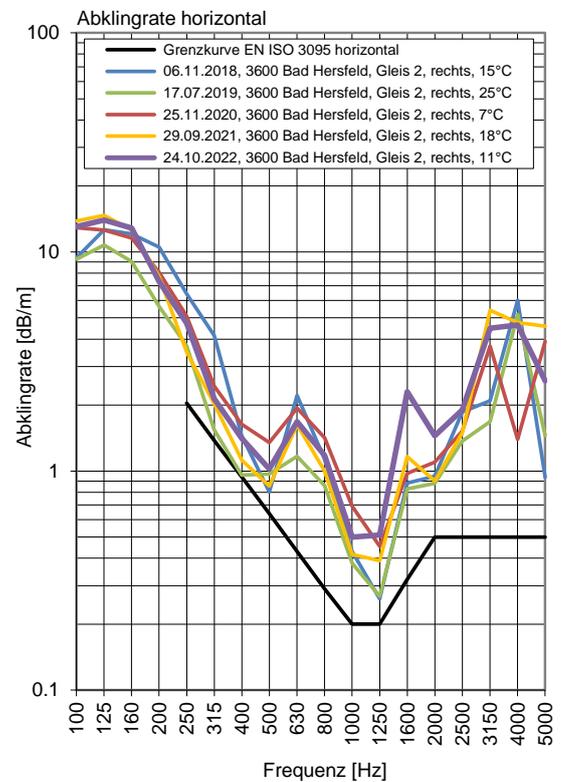
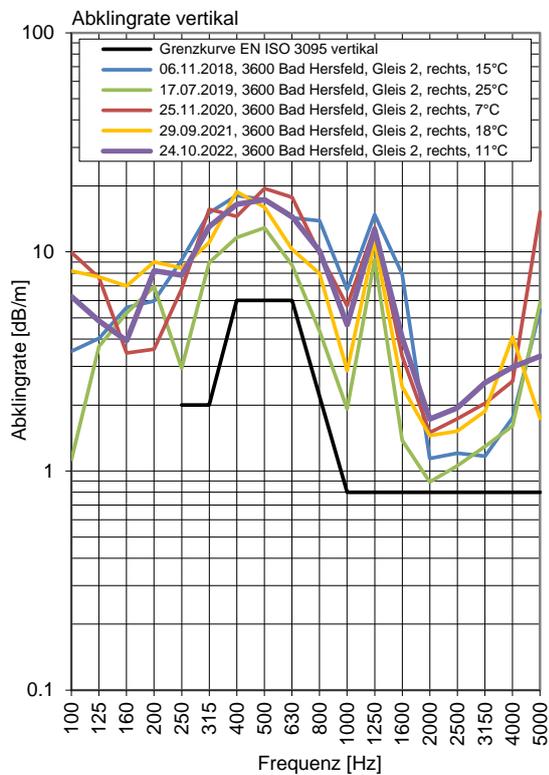
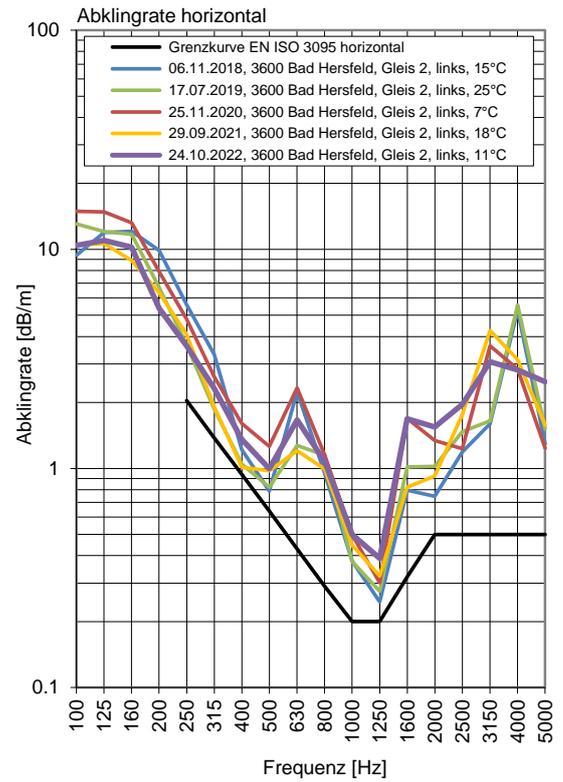
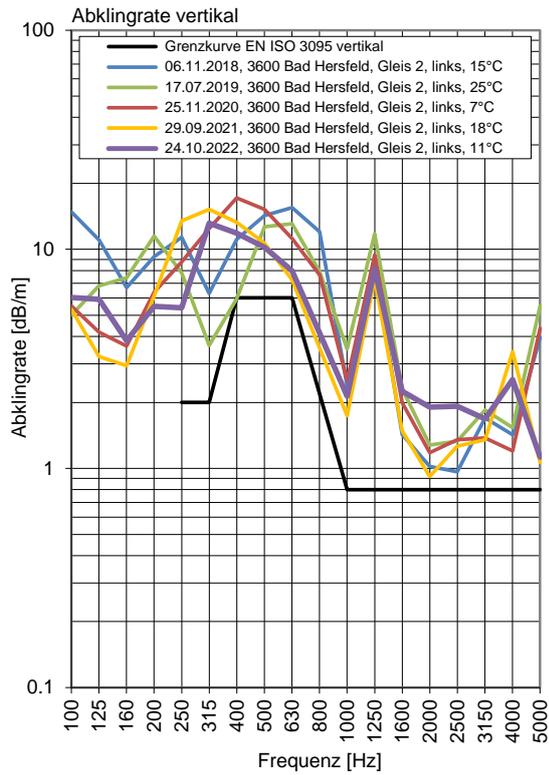
Gleis 2: Richtung Fulda

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





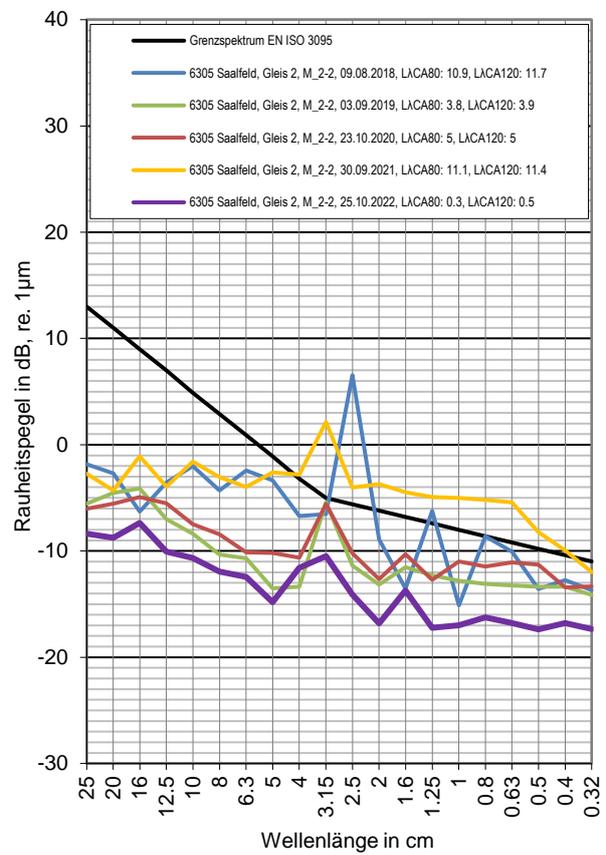
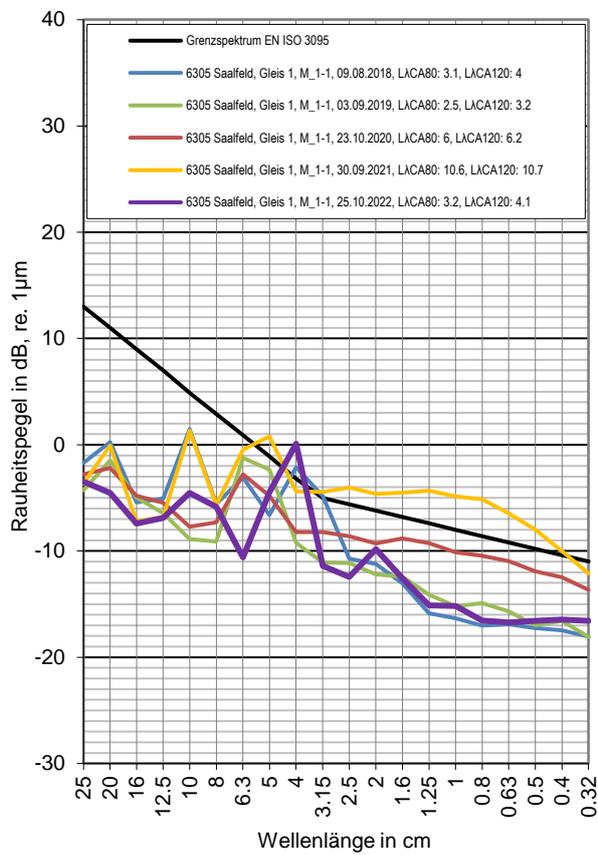
# Messstelle Saalfeld

## Strecke 6305, km 57,2

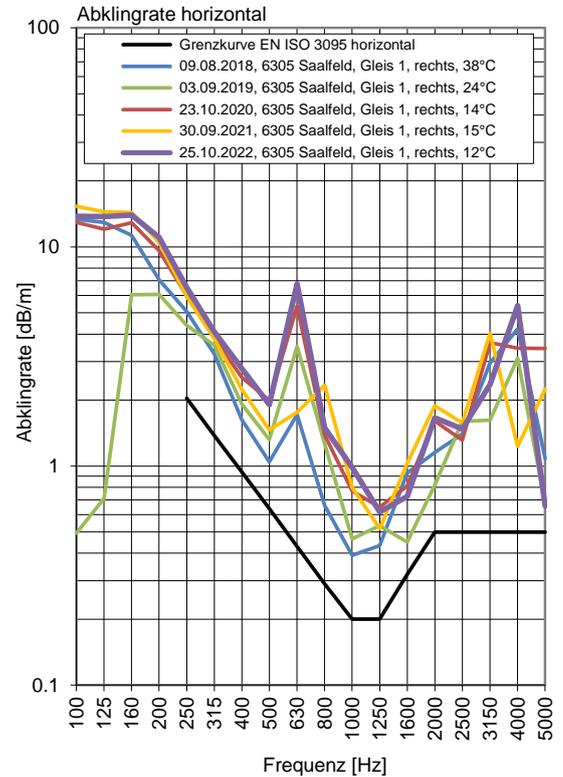
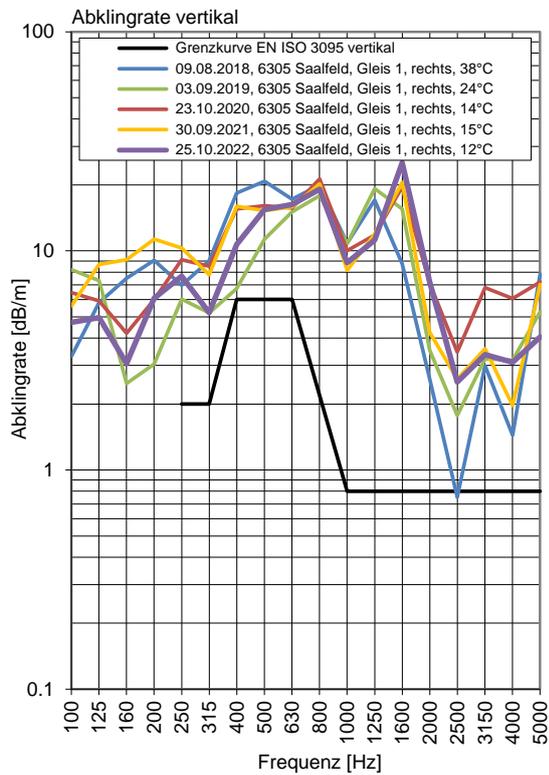
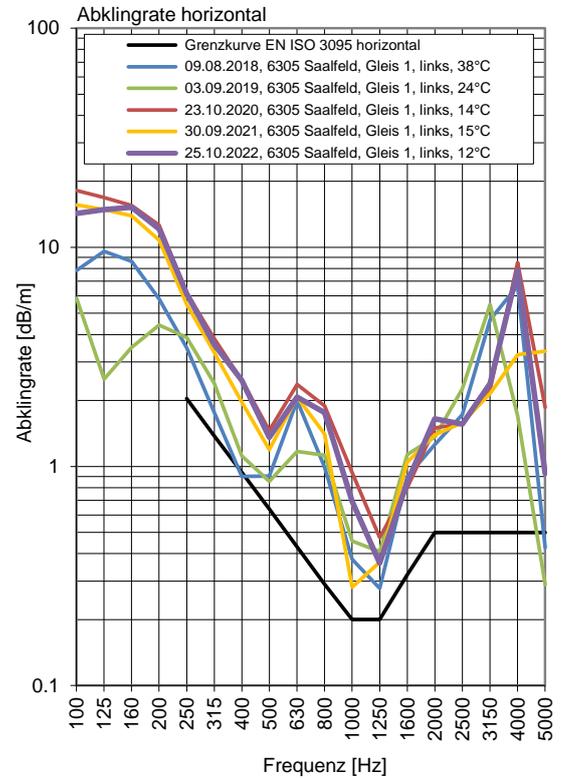
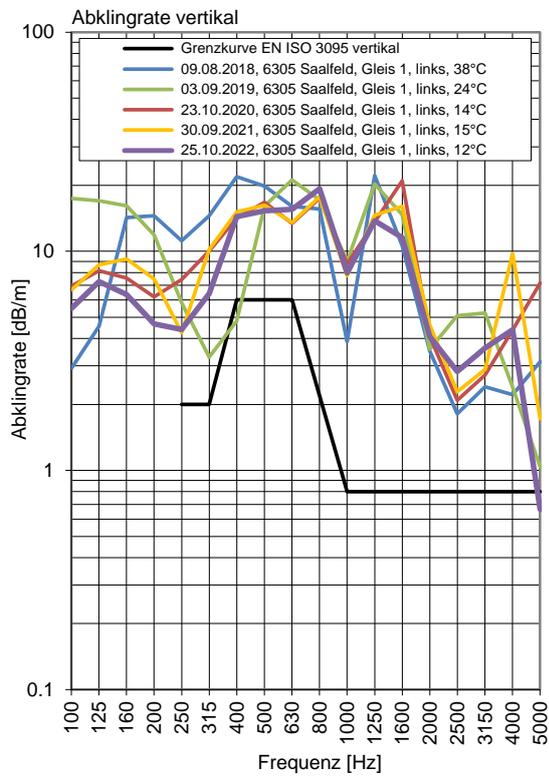
Gleis 1: Richtung Großheringen

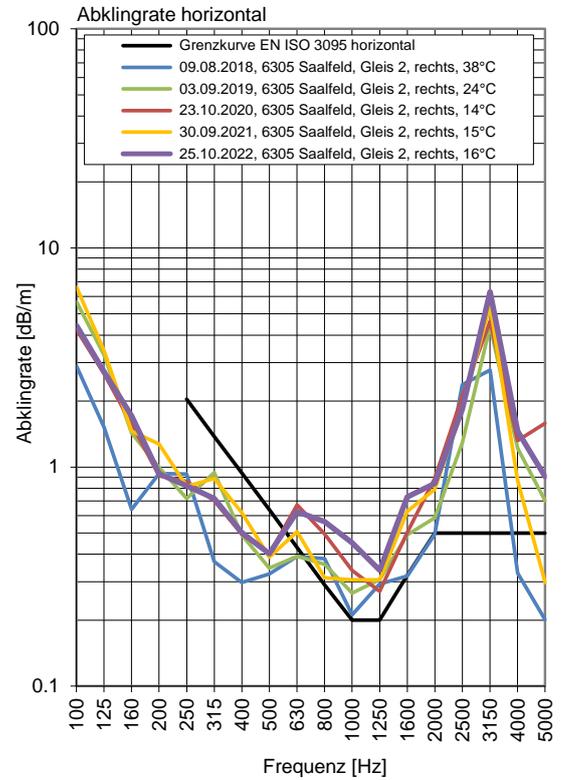
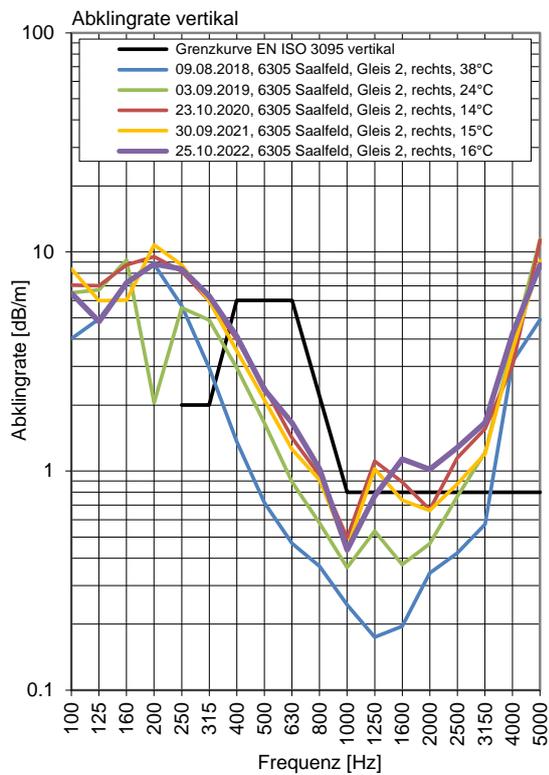
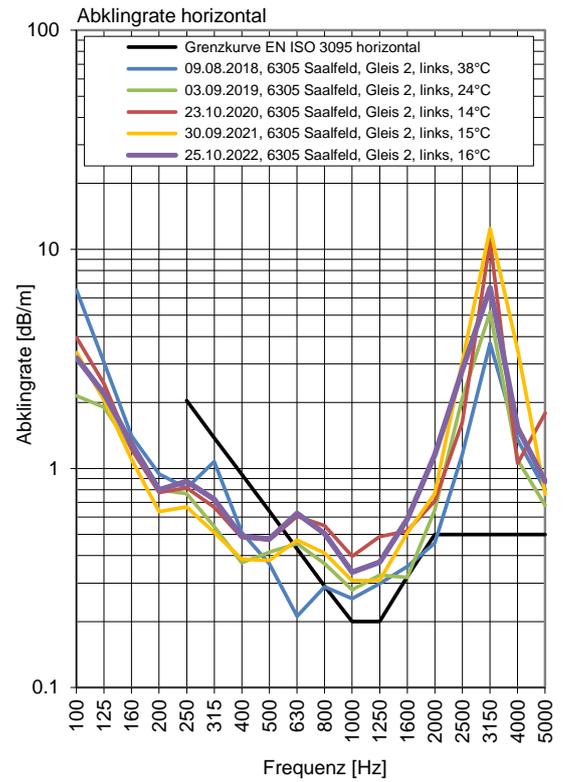
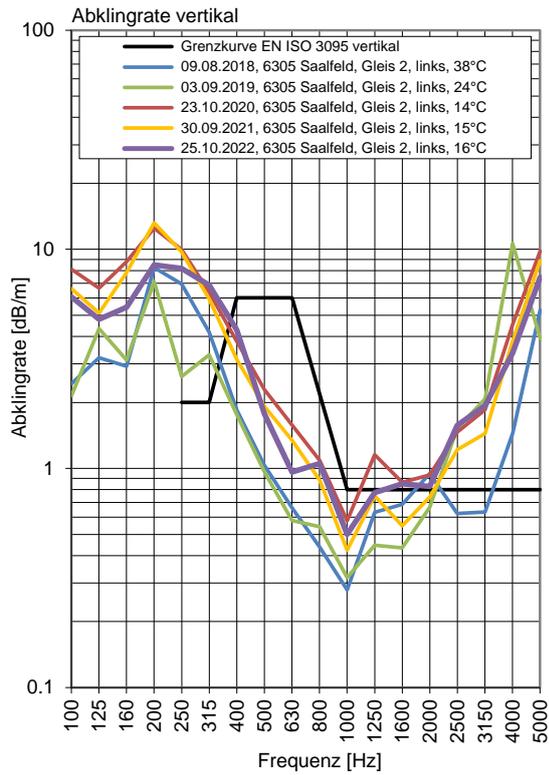
Gleis 2: Richtung Saalfeld

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





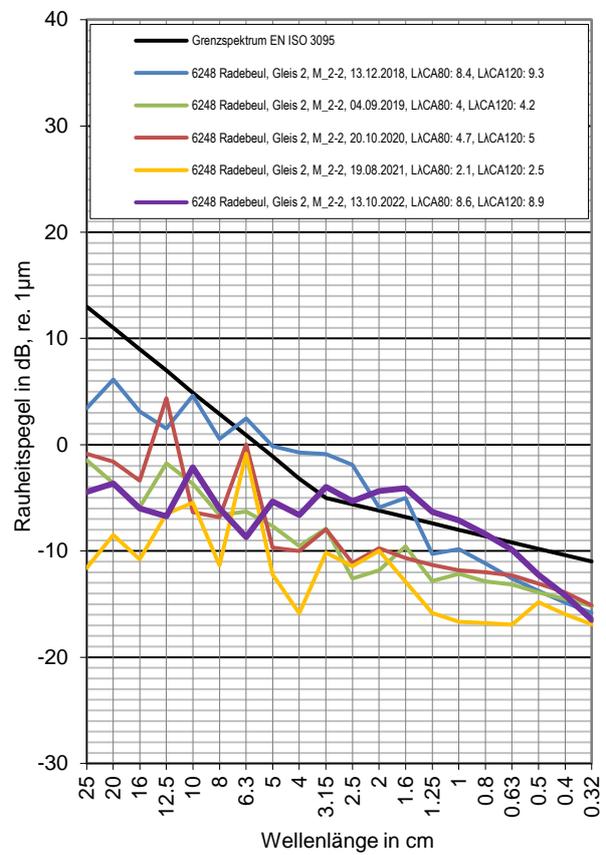
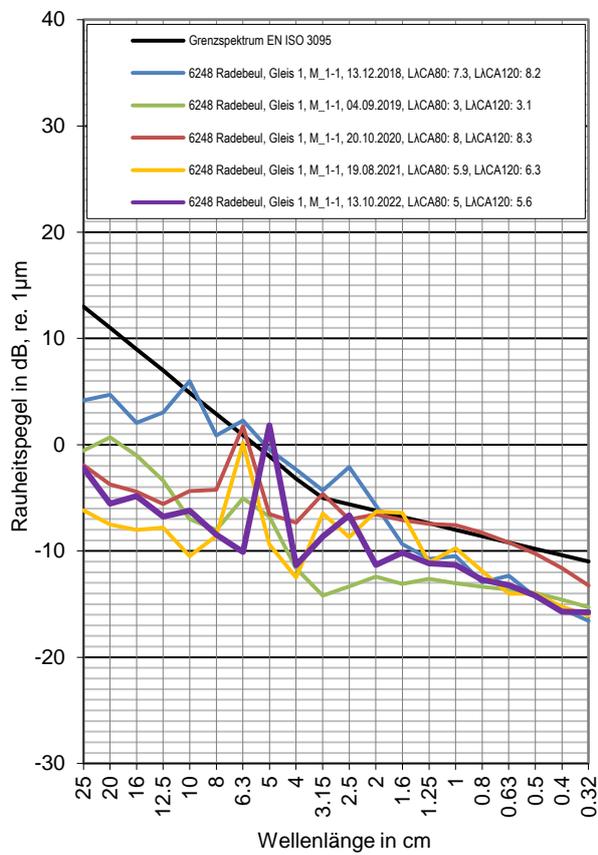
# Messstelle Radebeul

## Strecke 6248, km 18,8

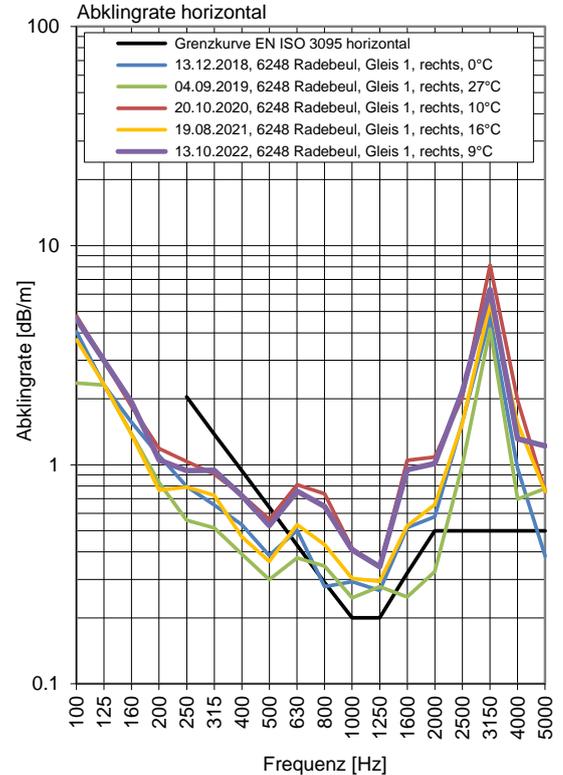
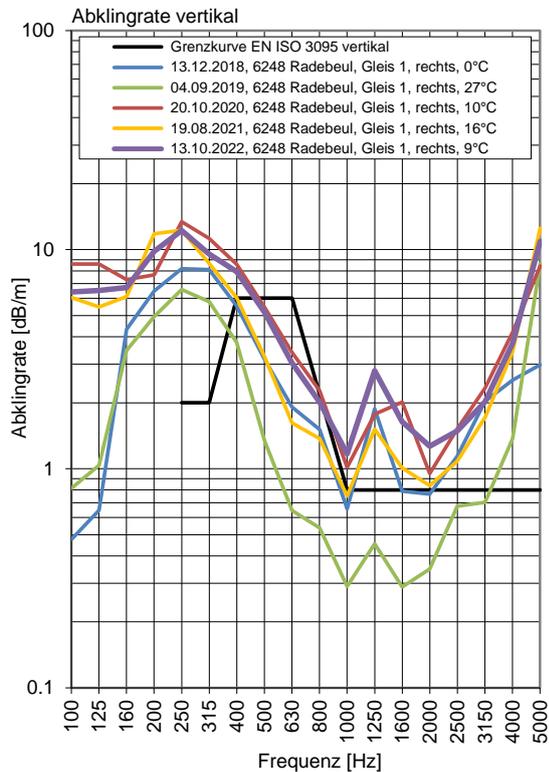
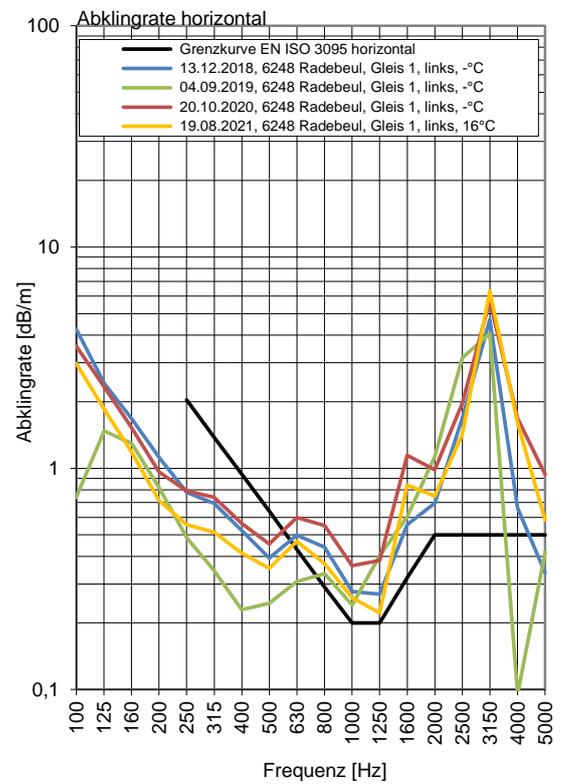
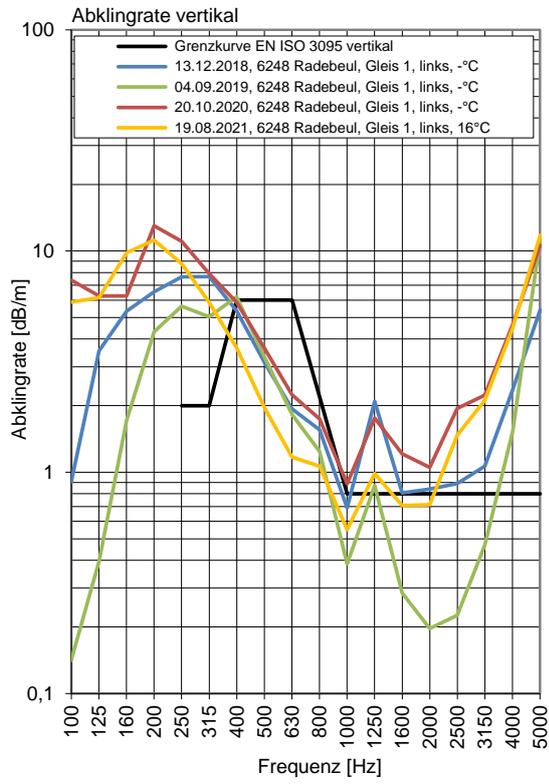
Gleis 1: Richtung Berlin

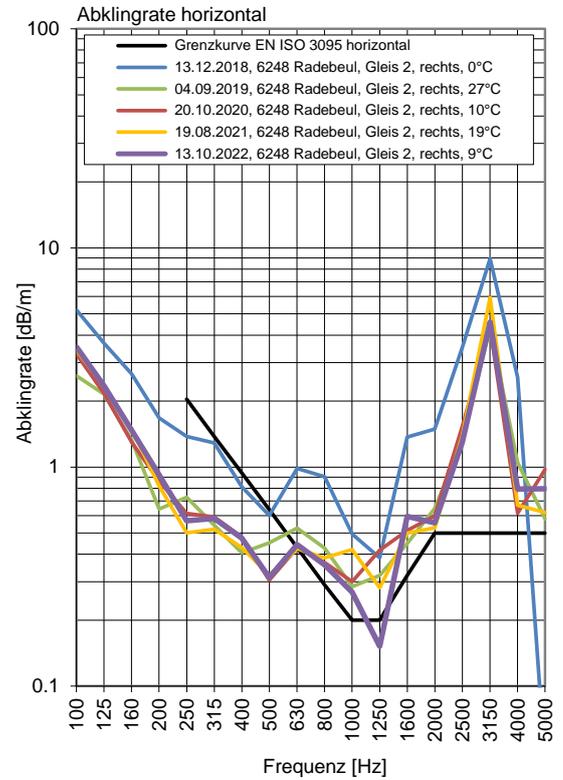
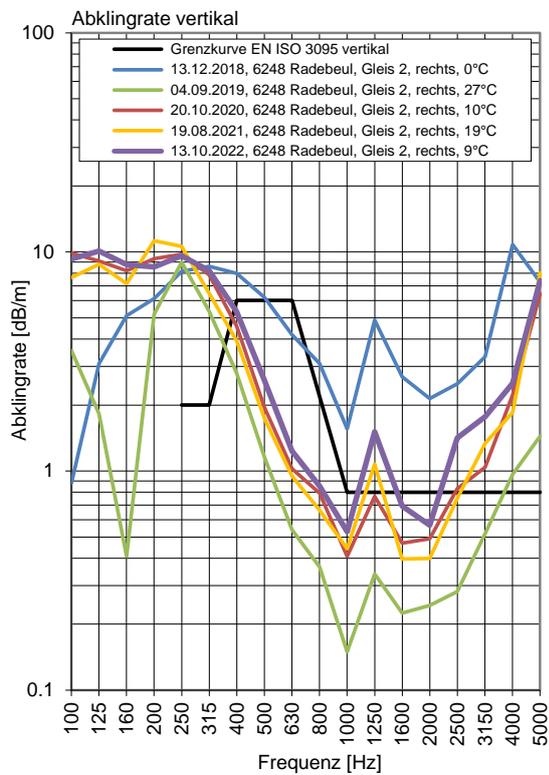
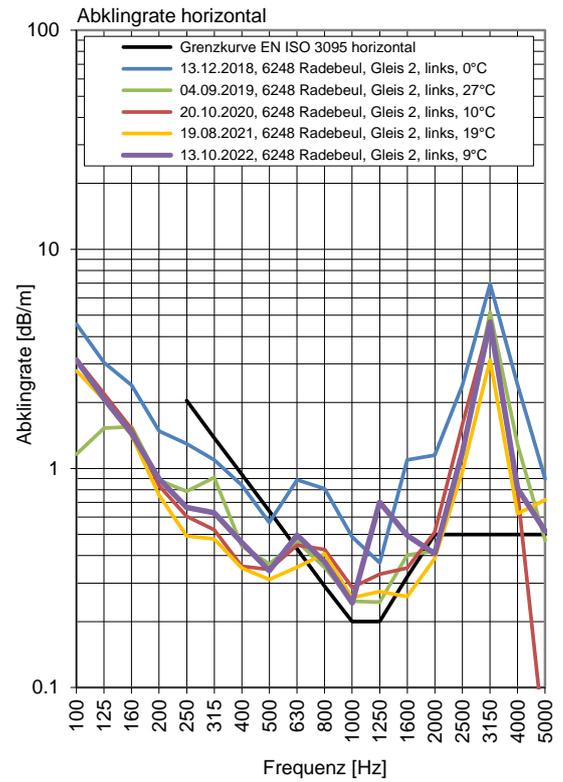
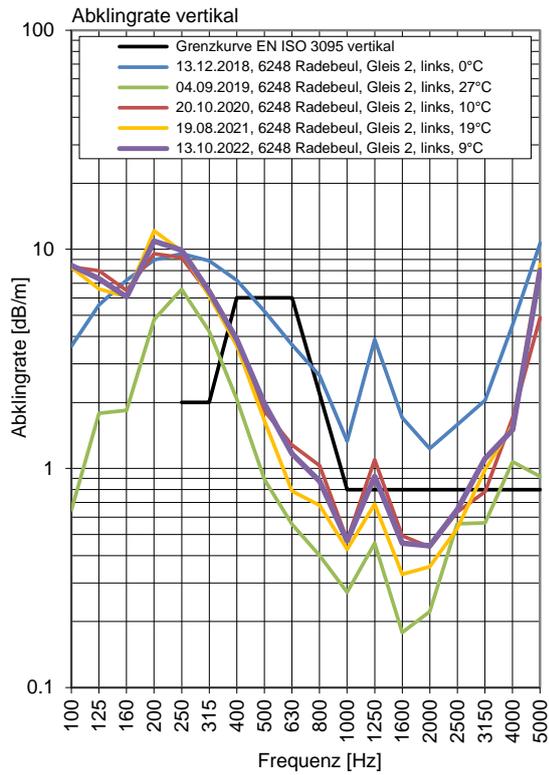
Gleis 2: Richtung Dresden

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





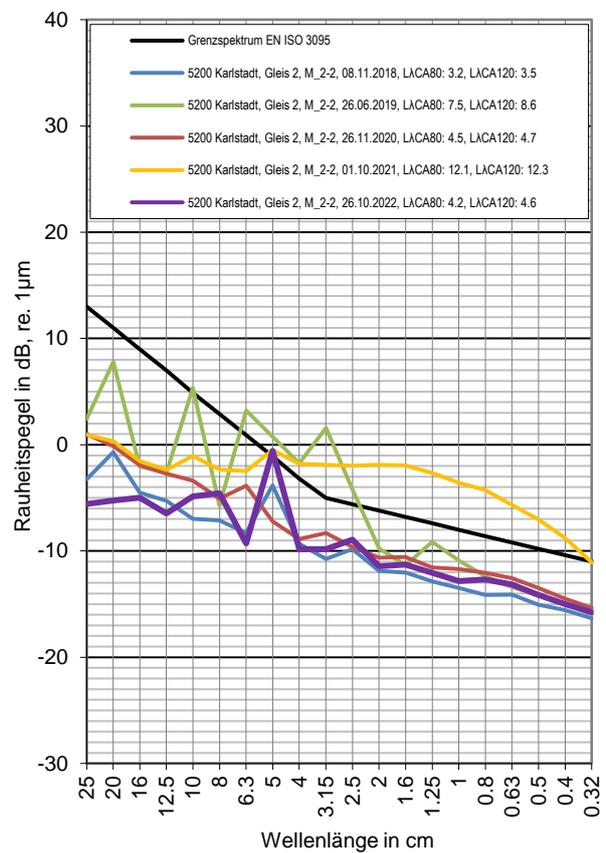
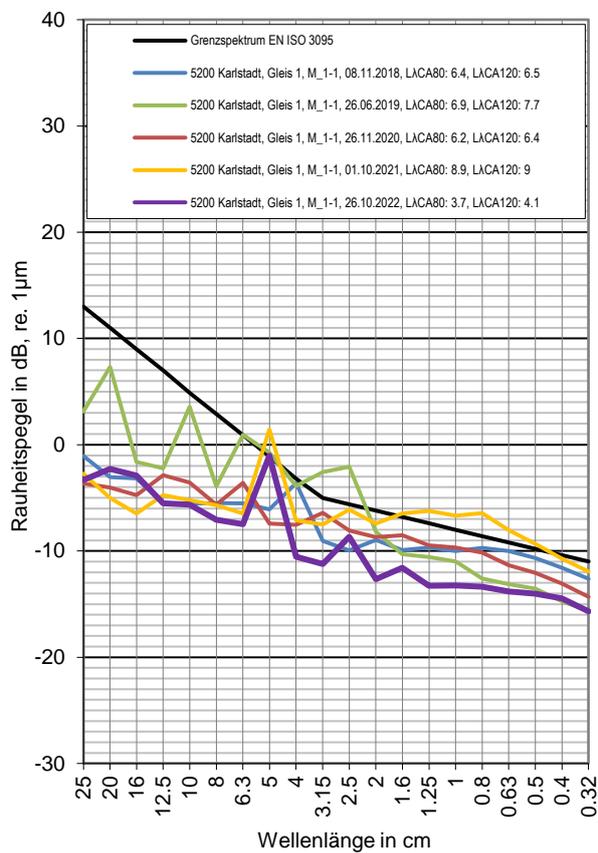
# Messstelle Karlstadt

## Strecke 5200, km 18,2

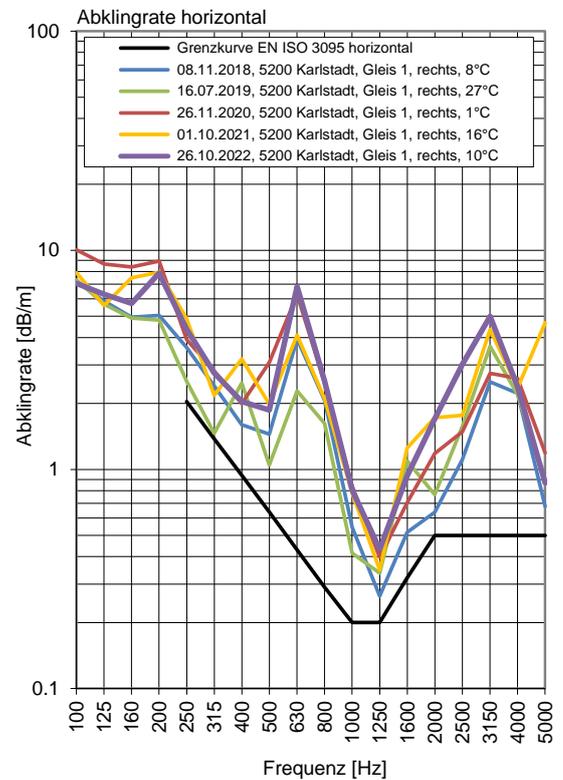
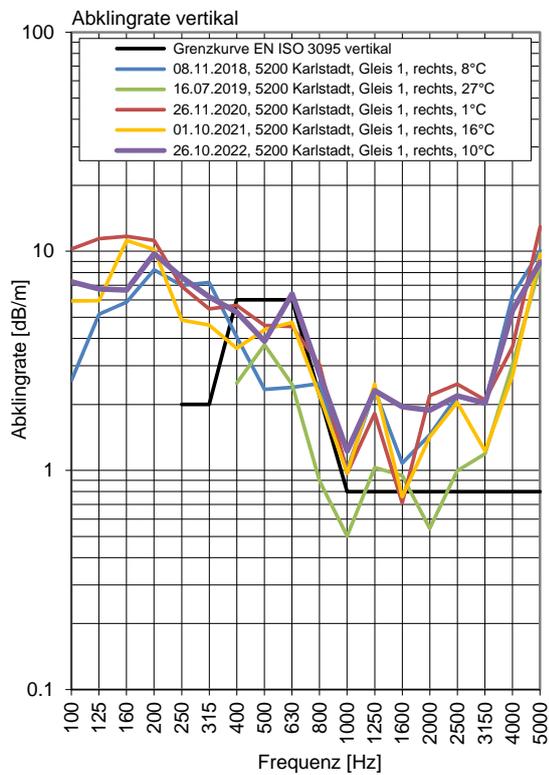
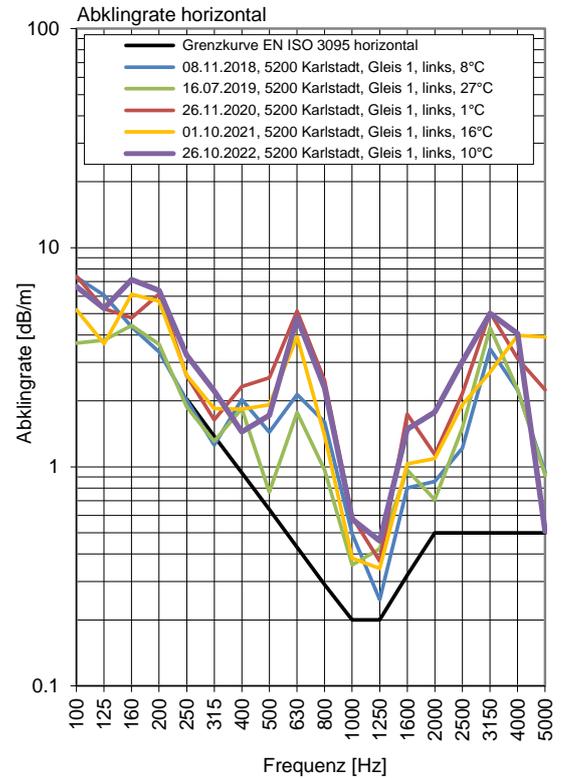
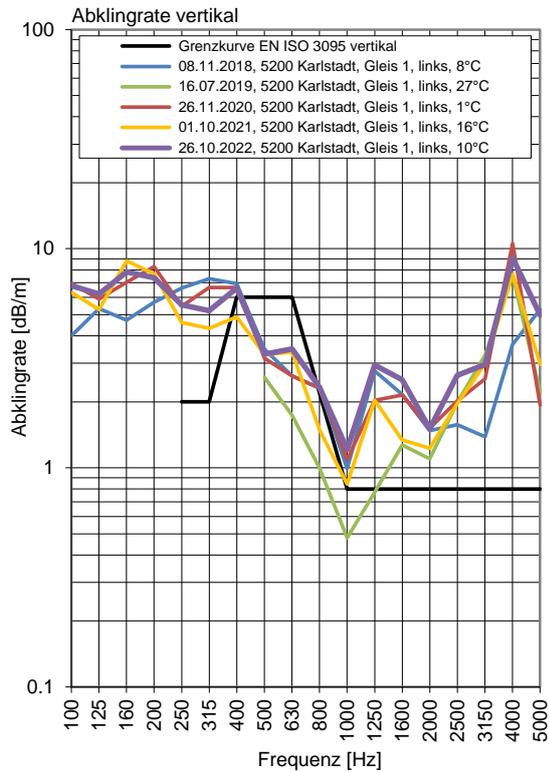
Gleis 1: Richtung Aschaffenburg

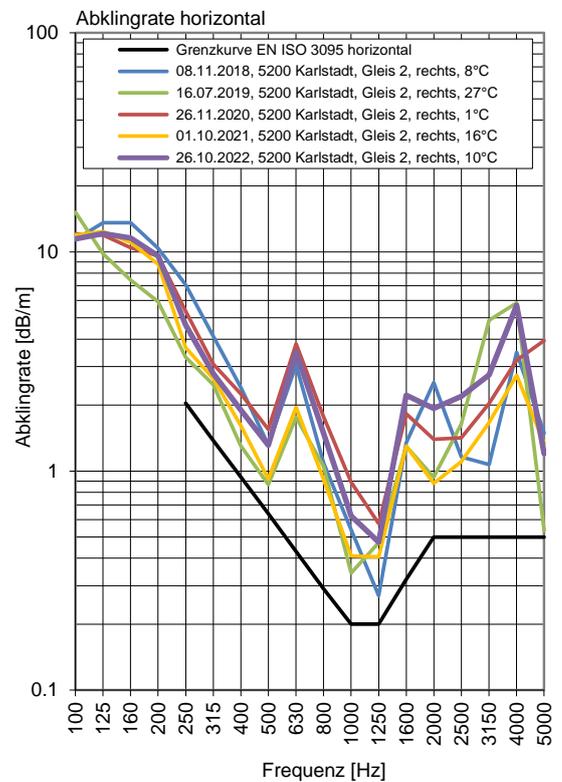
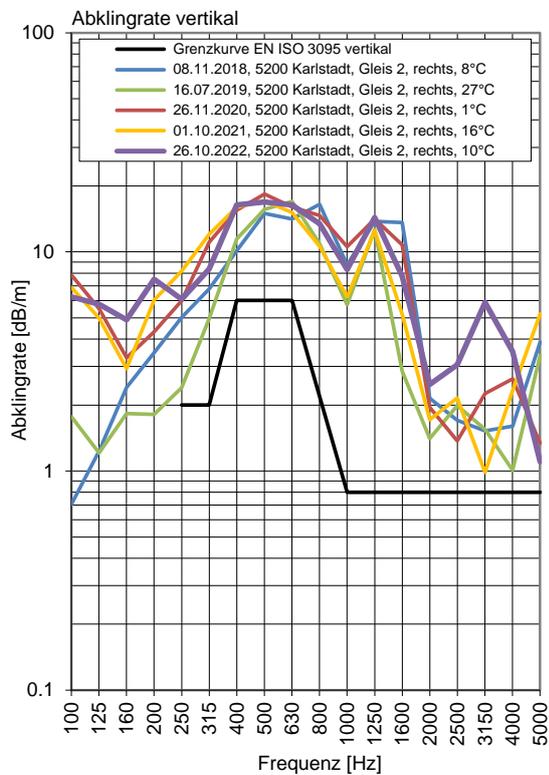
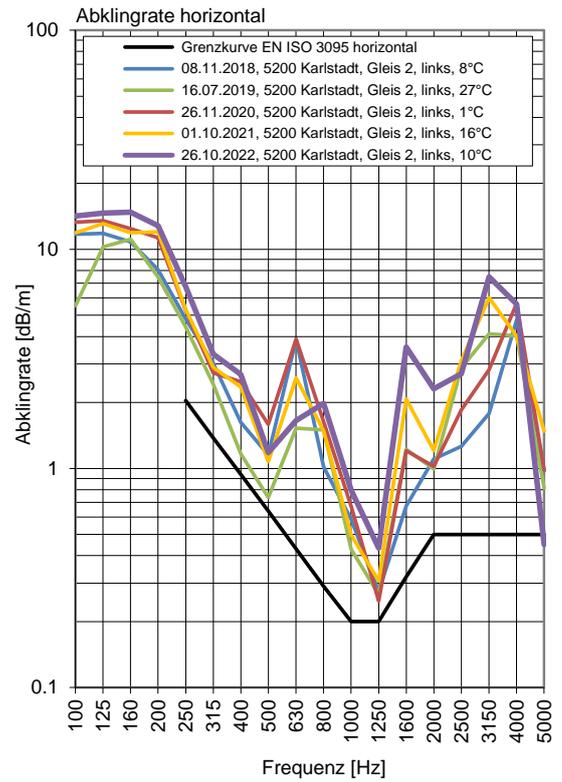
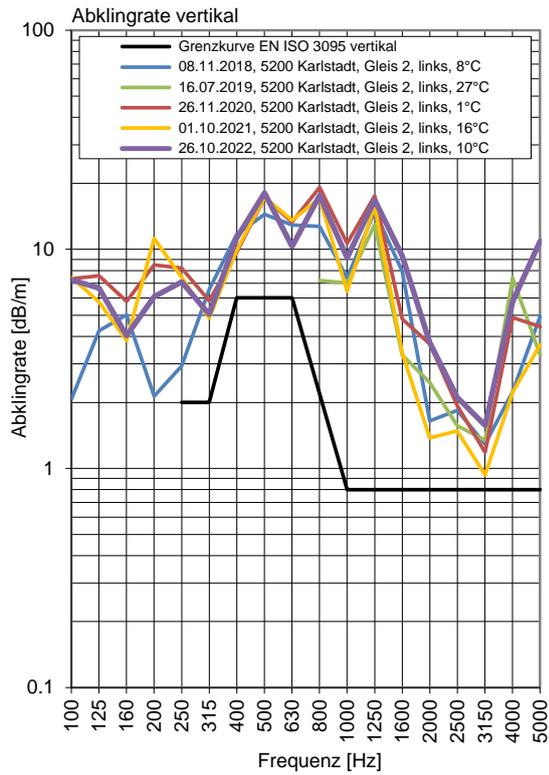
Gleis 2: Richtung Würzburg

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





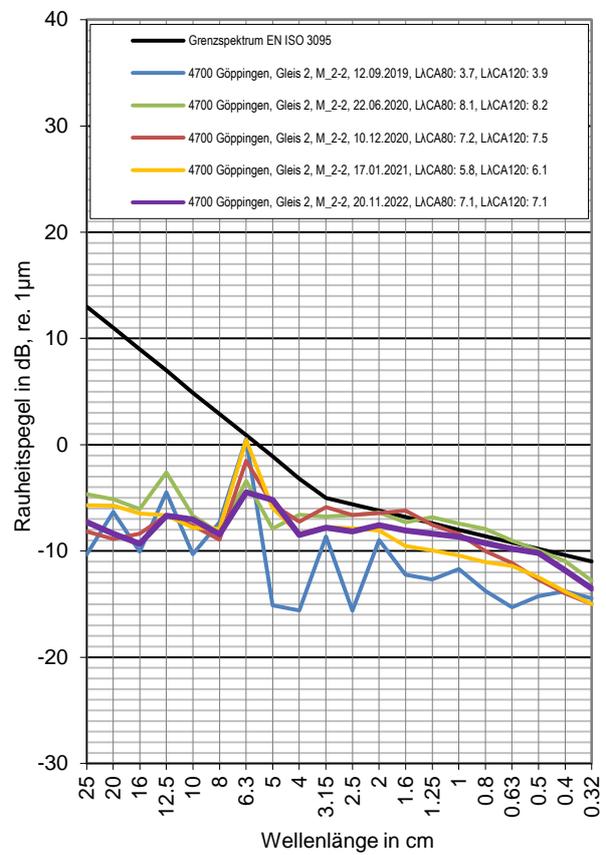
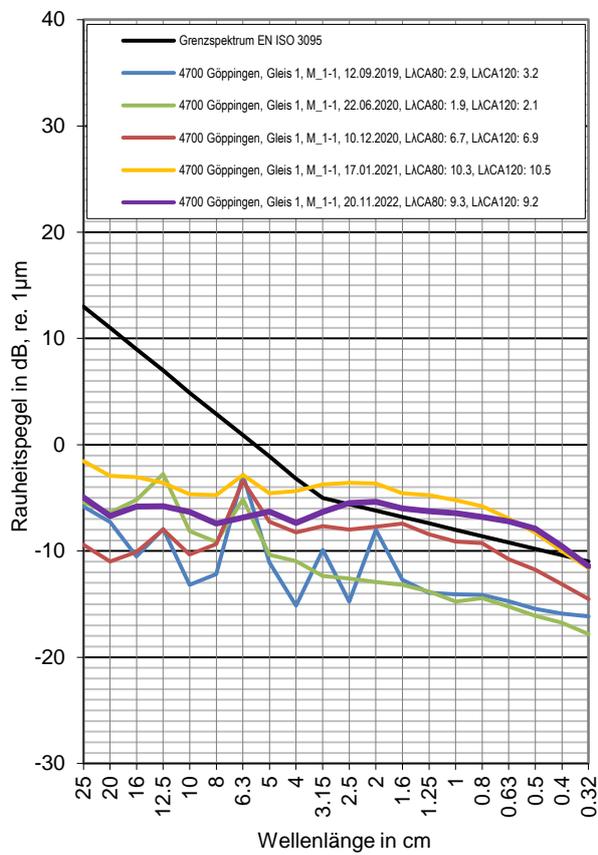
# Messstelle Göppingen

## Strecke 4700, km 51,2

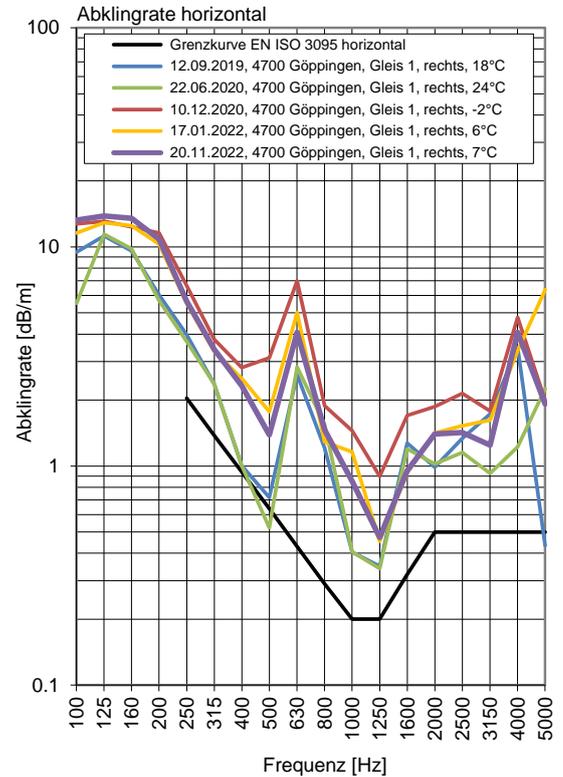
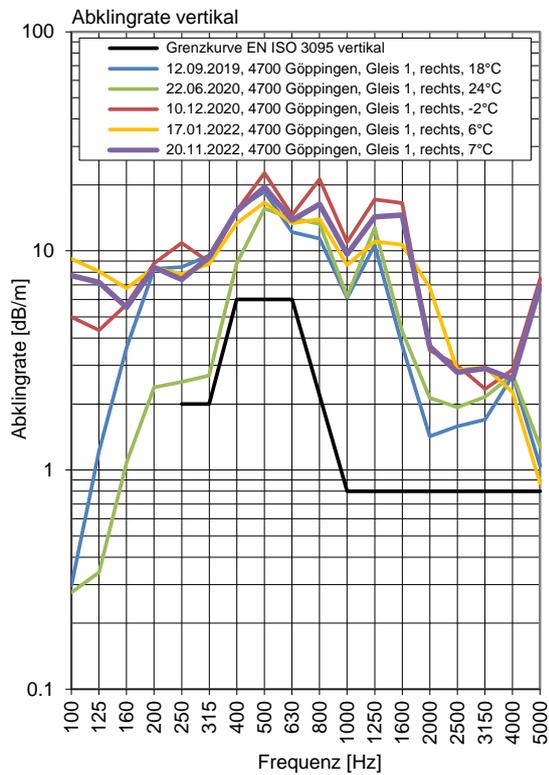
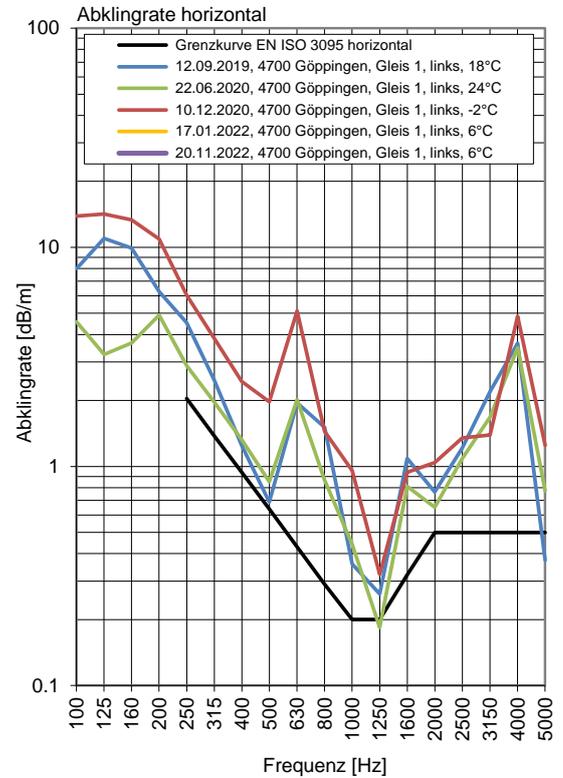
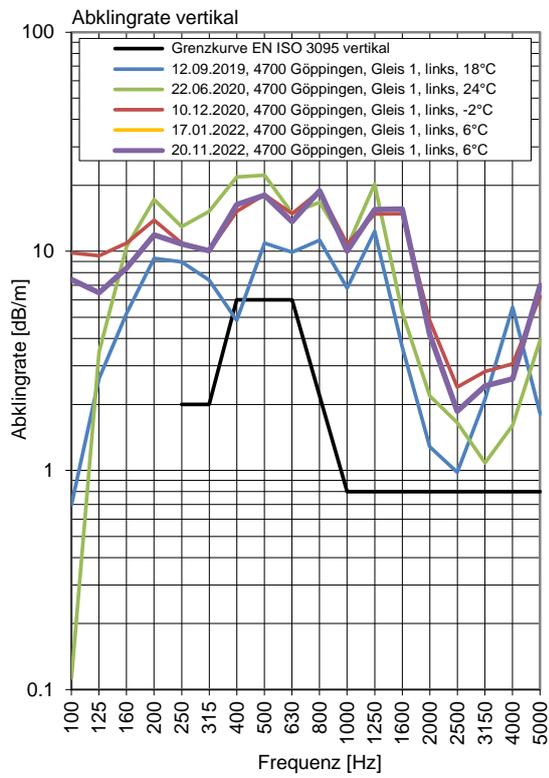
Gleis 1: Richtung Stuttgart

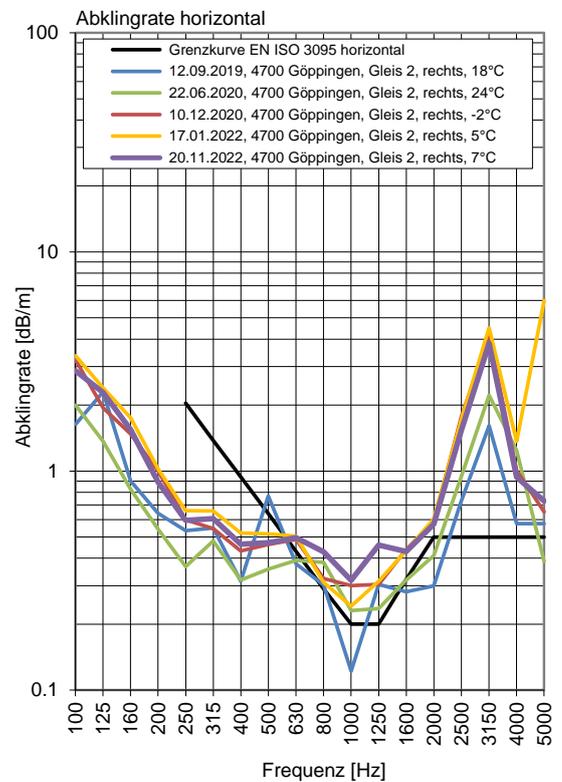
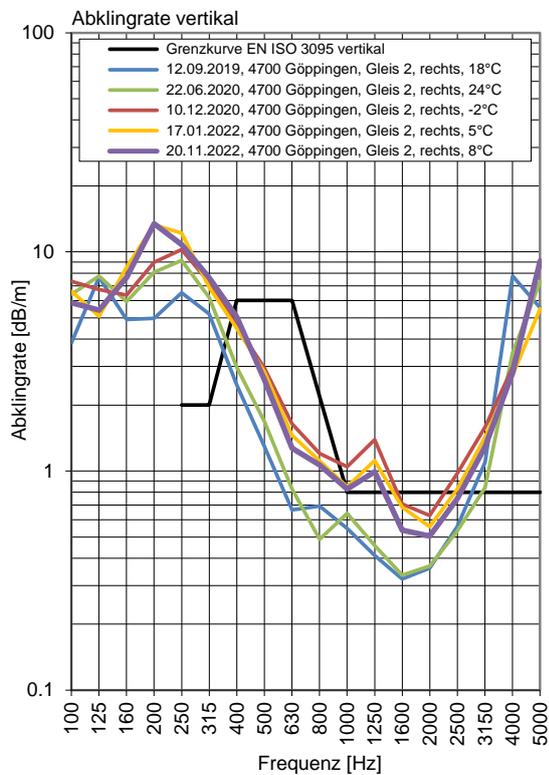
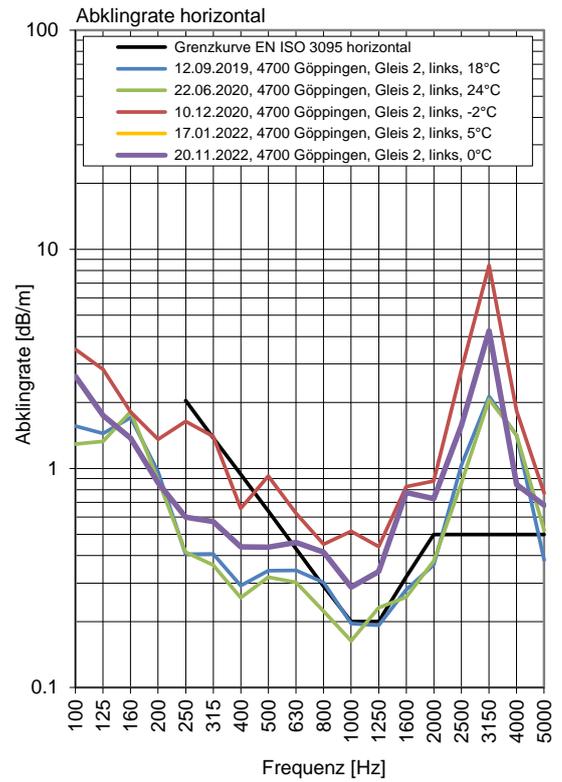
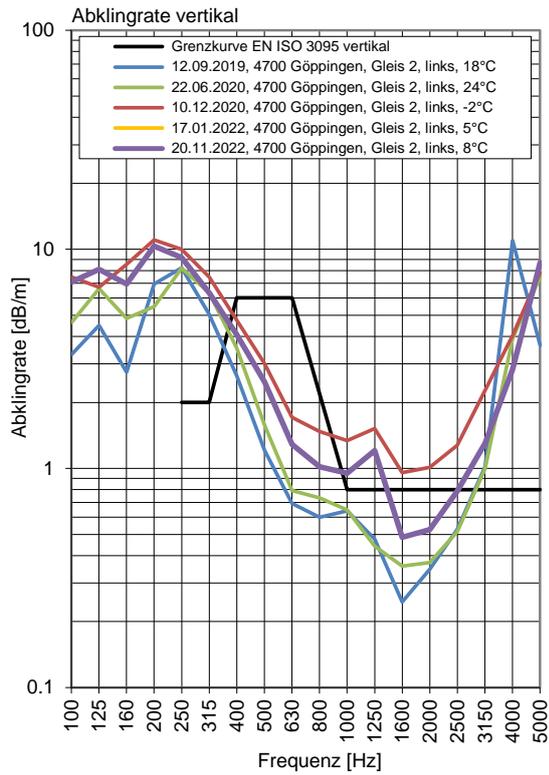
Gleis 2: Richtung Ulm

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





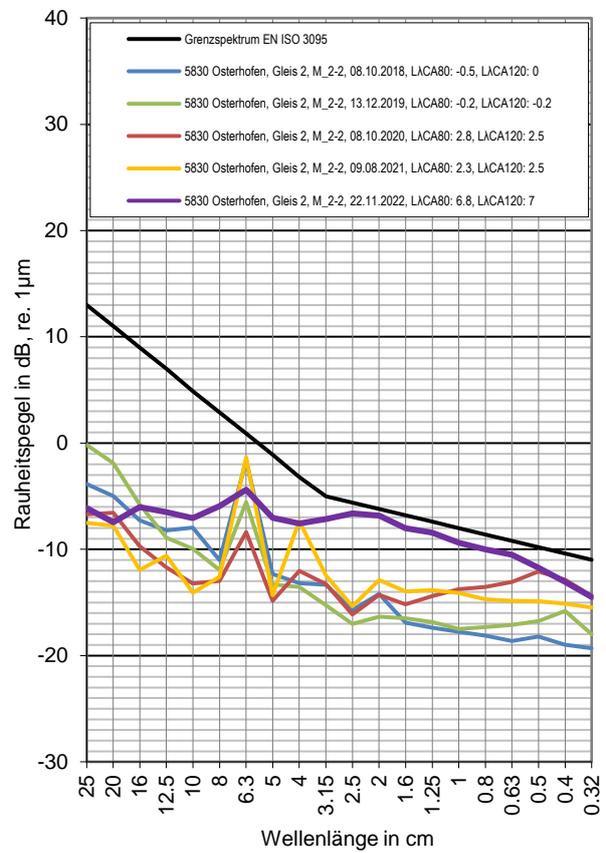
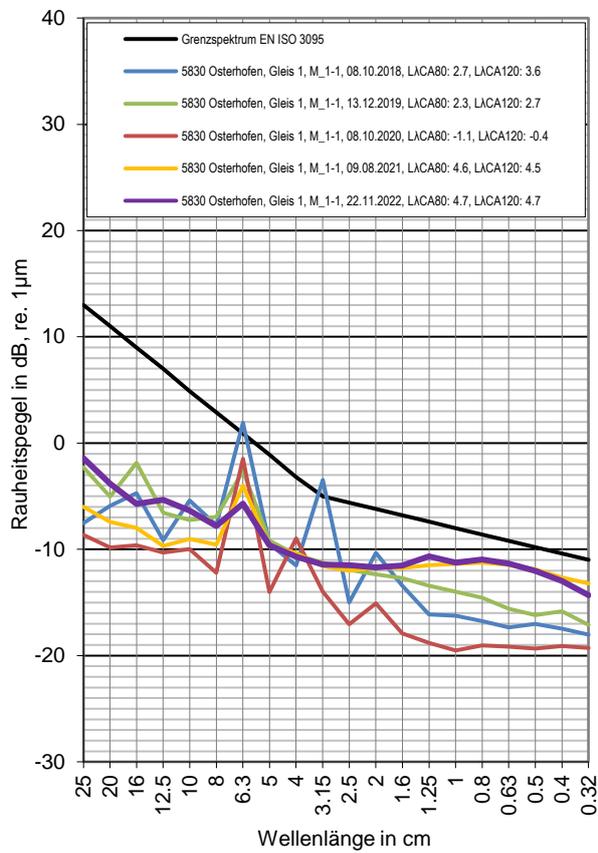
# Messstelle Osterhofen

## Strecke 5830, km 30,1

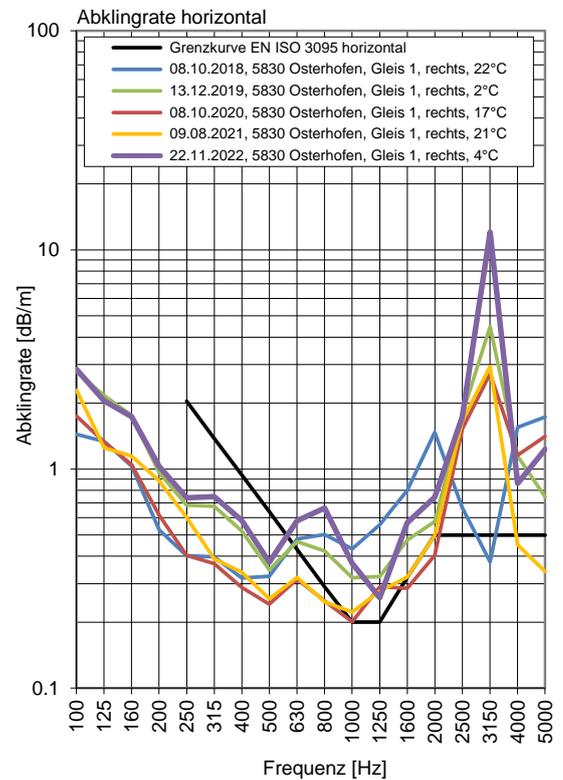
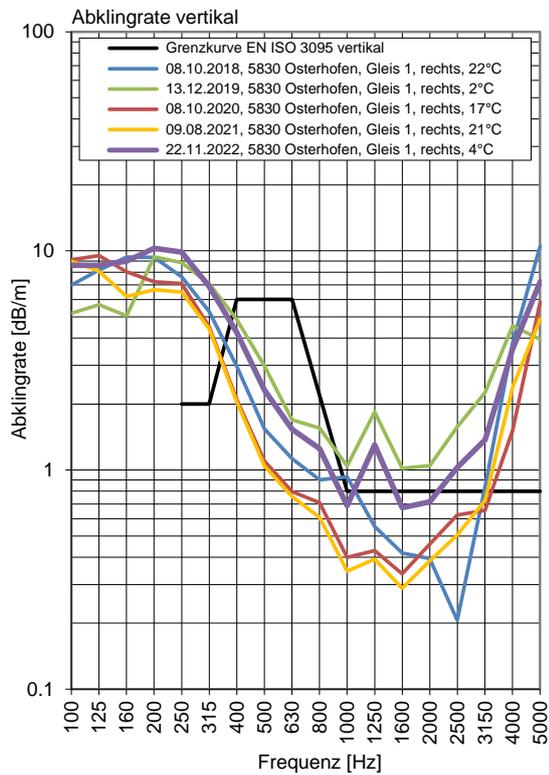
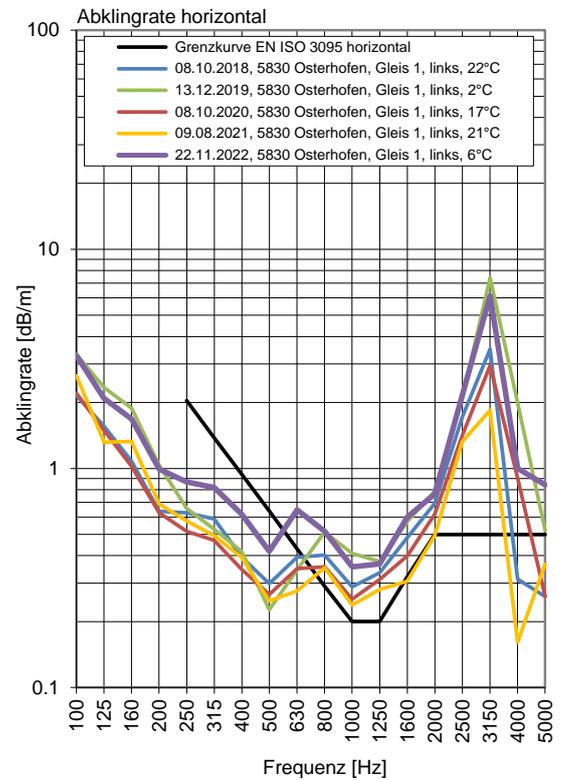
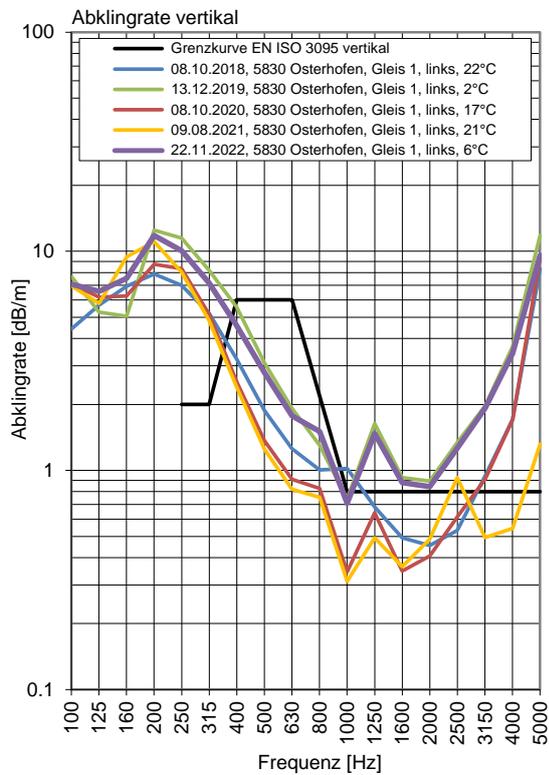
Gleis 1: Richtung Regensburg

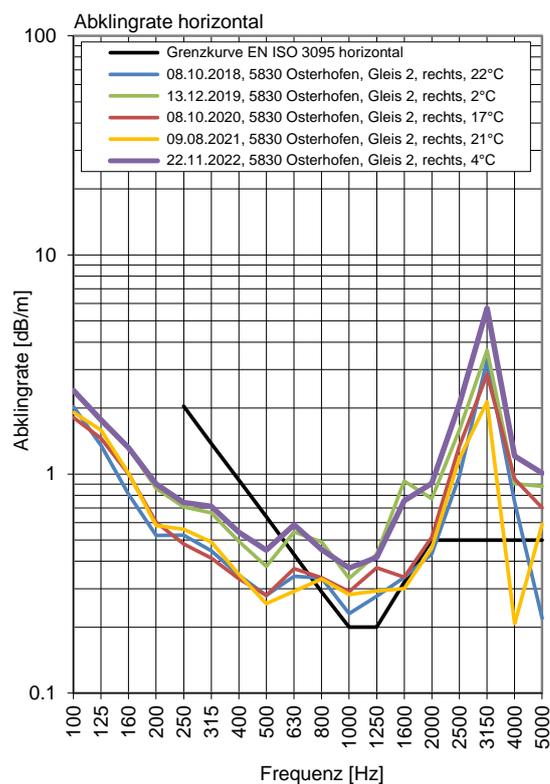
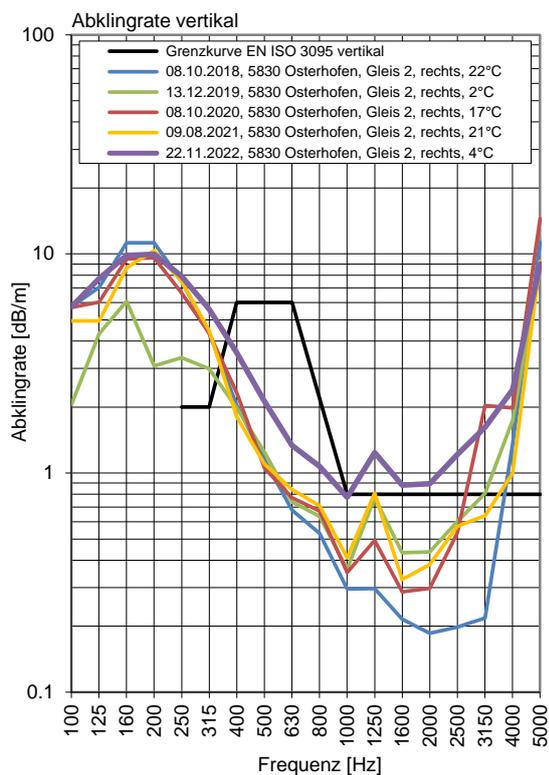
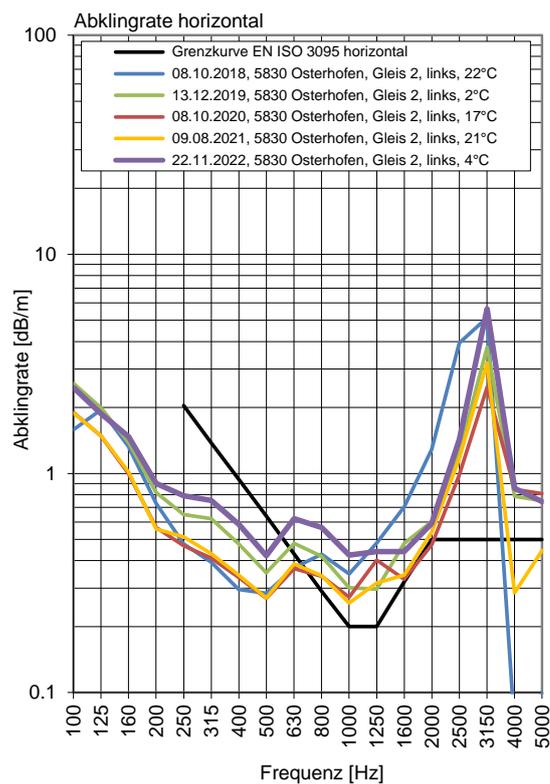
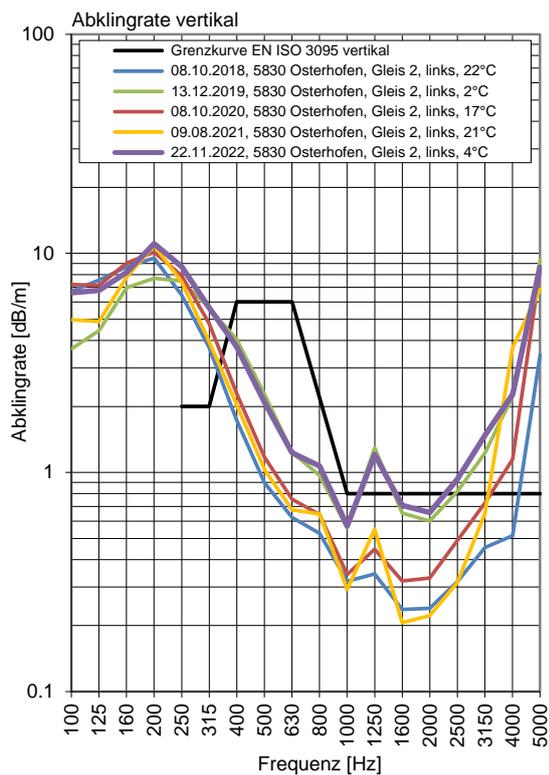
Gleis 2: Richtung Passau

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





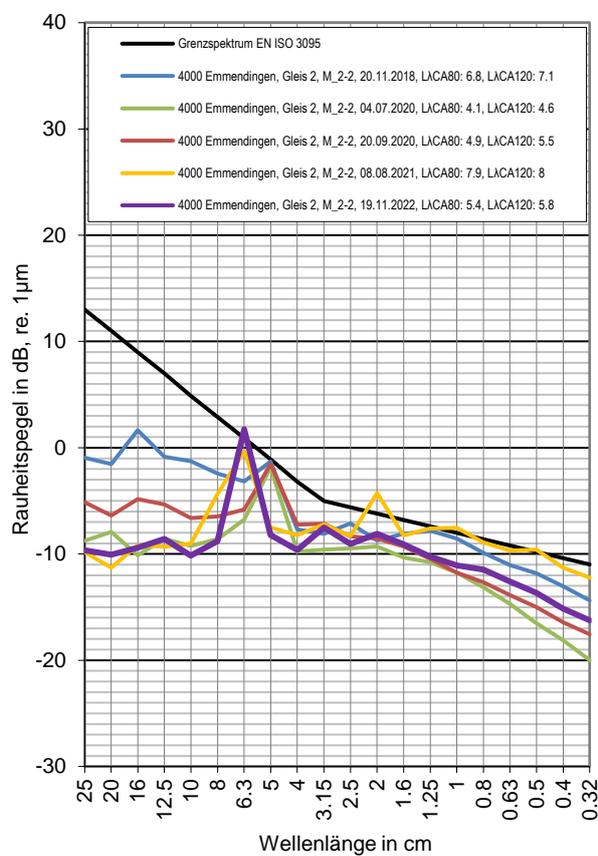
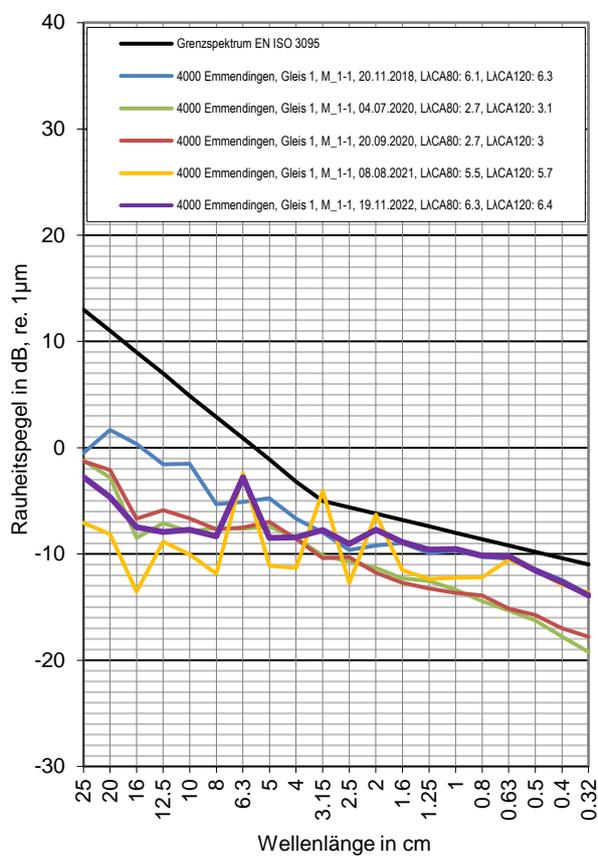
# Messstelle Emmendingen

## Strecke 4000, km 197,8

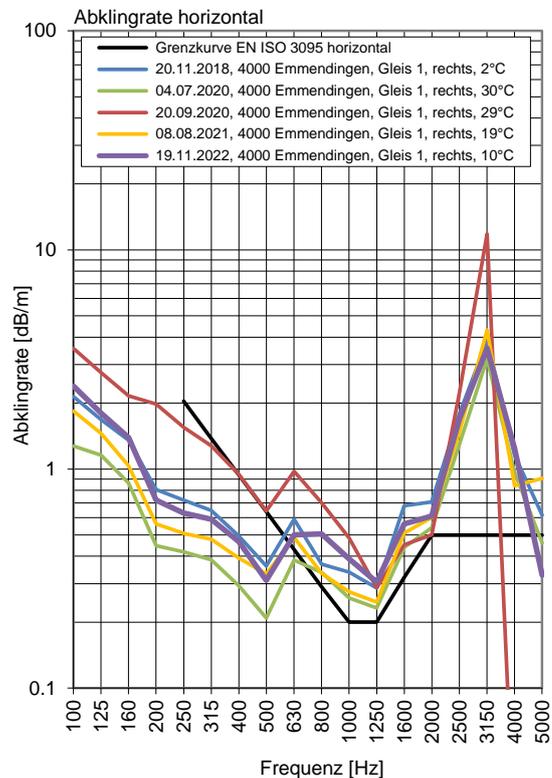
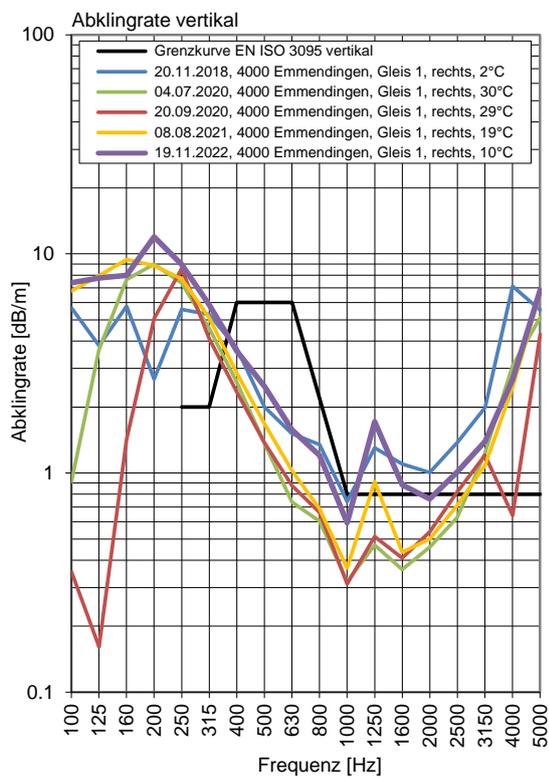
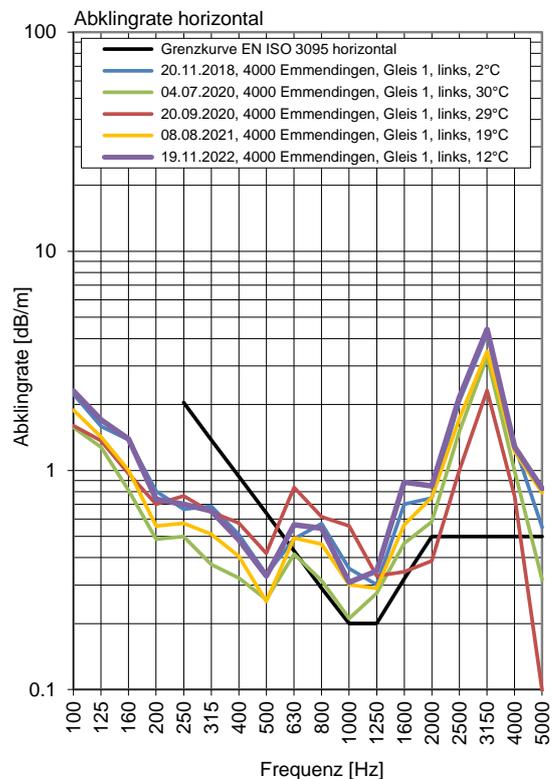
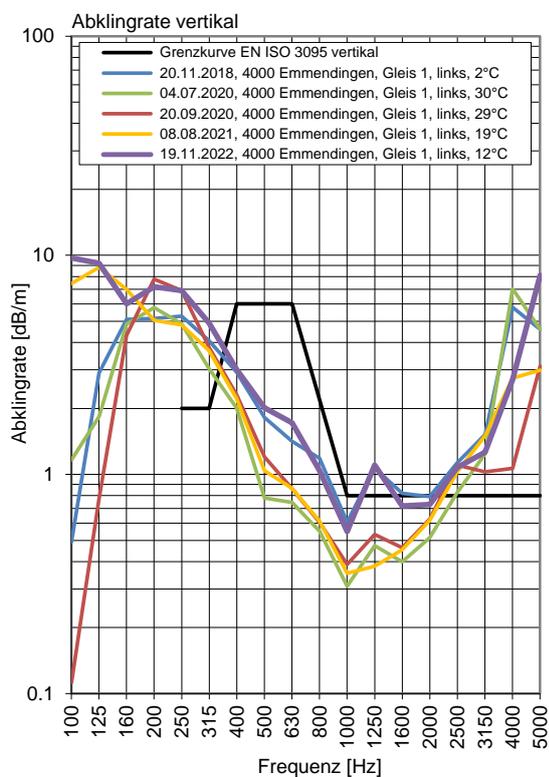
Gleis 1: Richtung Mannheim

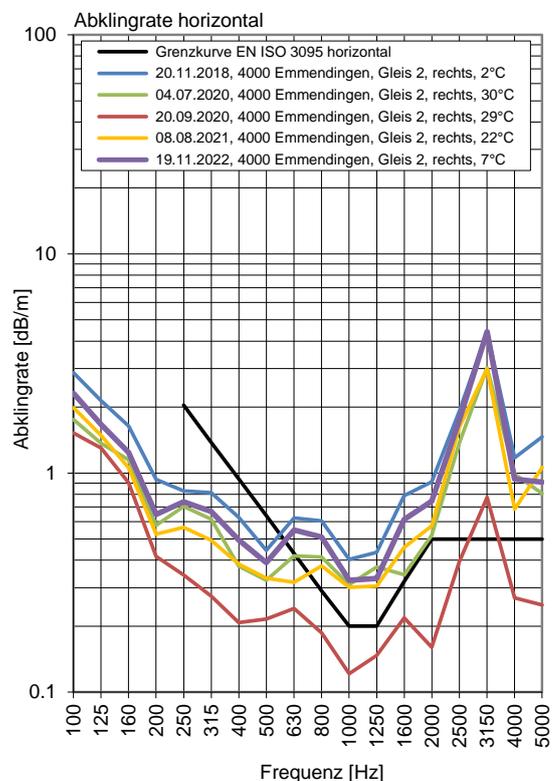
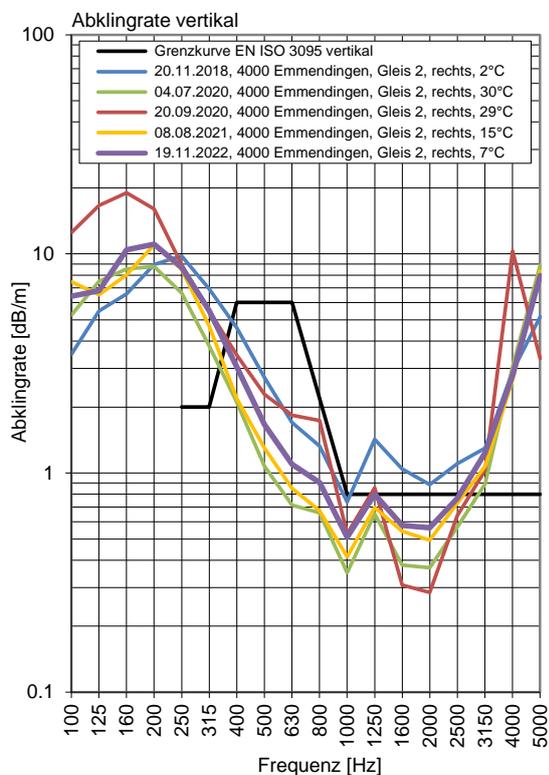
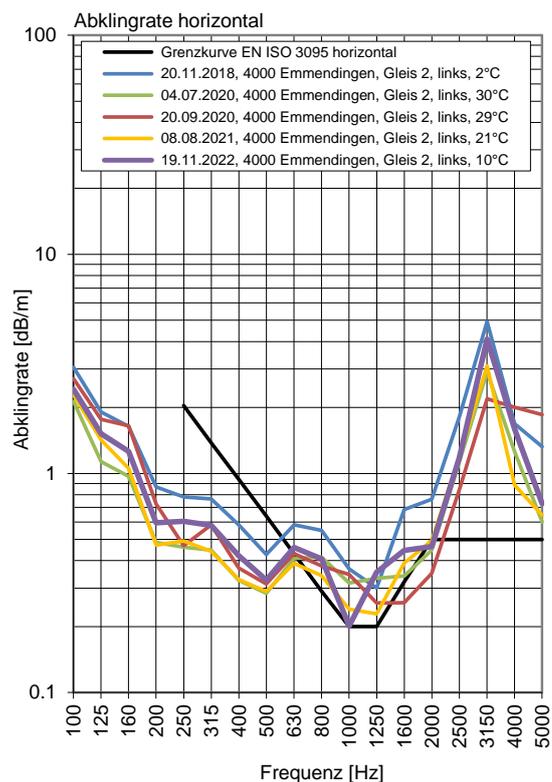
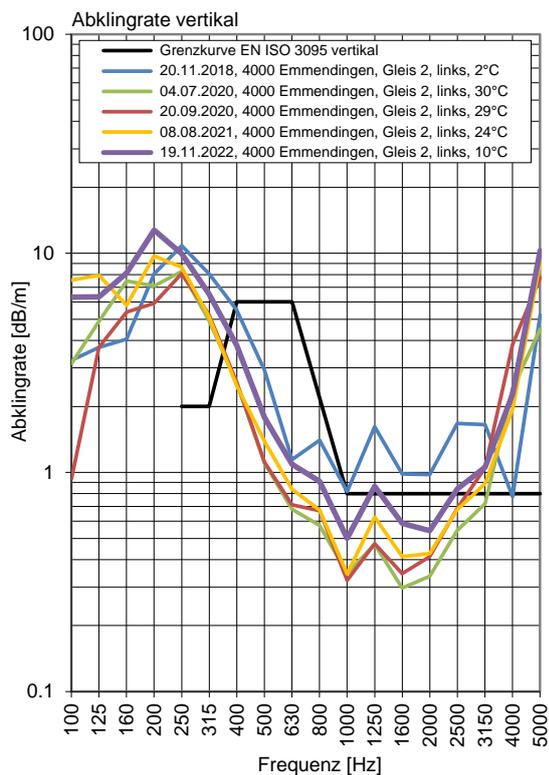
Gleis 2: Richtung Basel

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





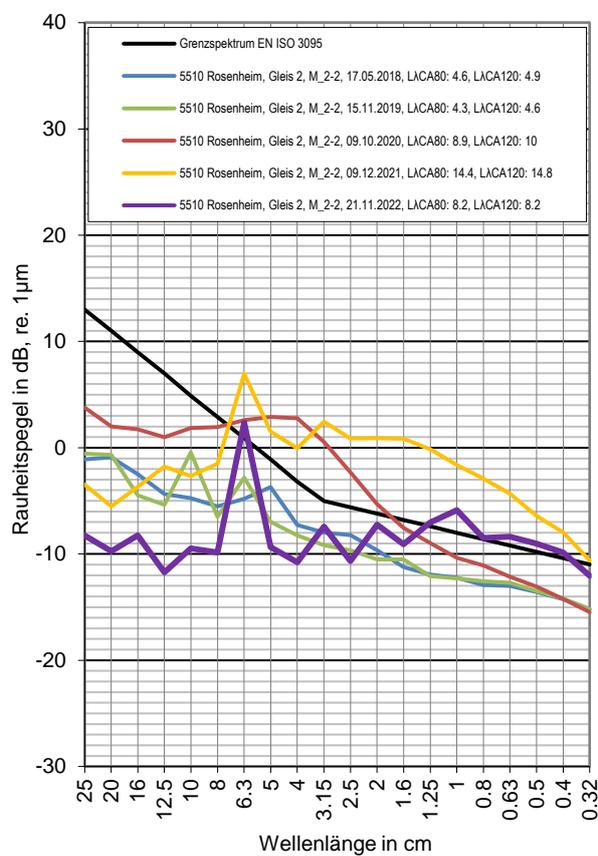
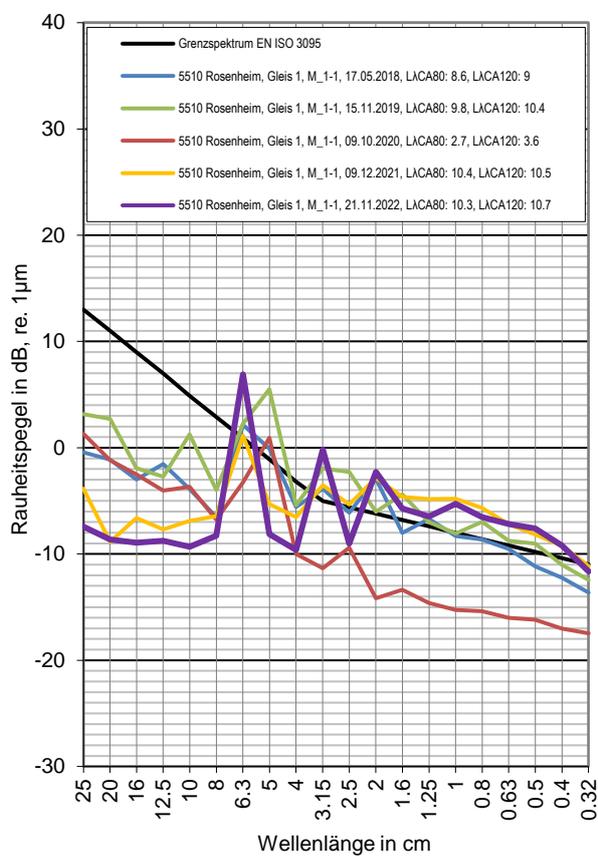
# Messstelle Rosenheim

## Strecke 5510, km 53,7

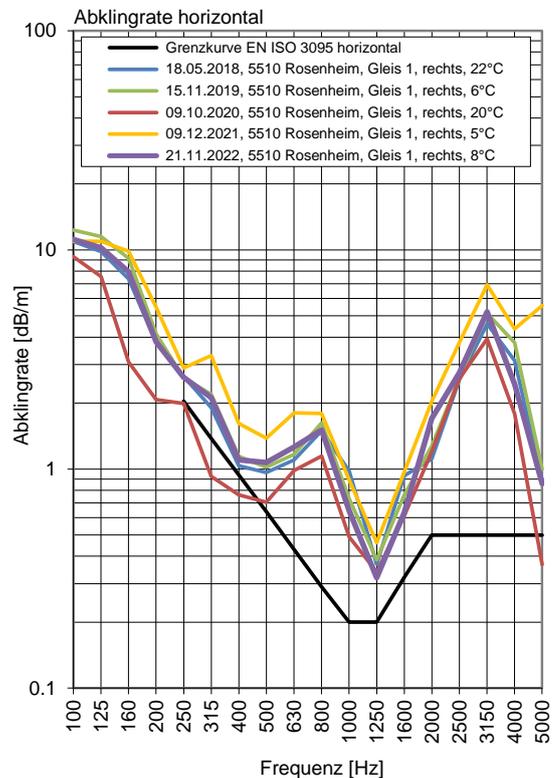
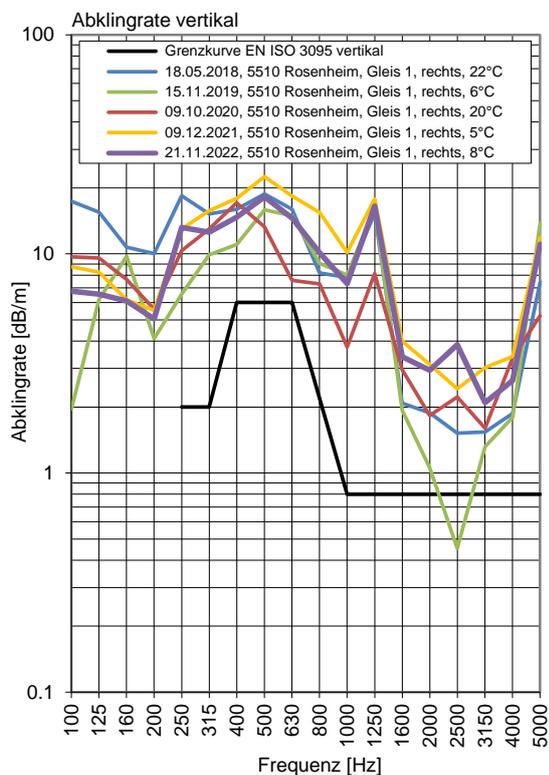
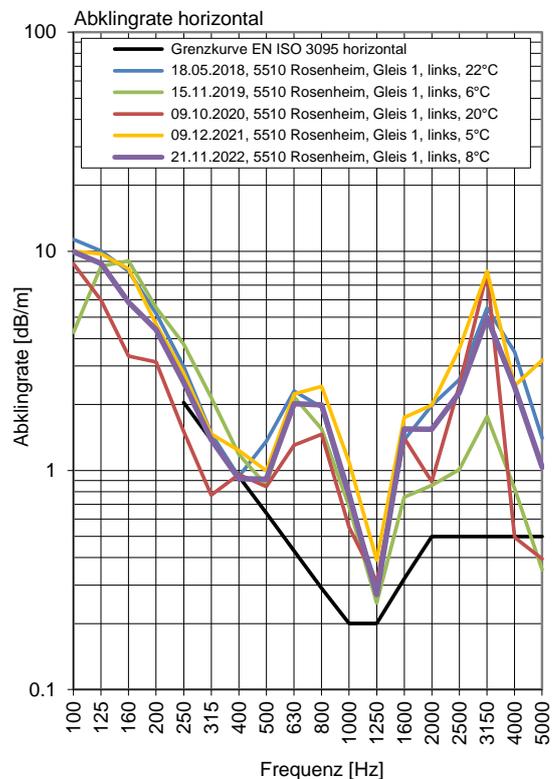
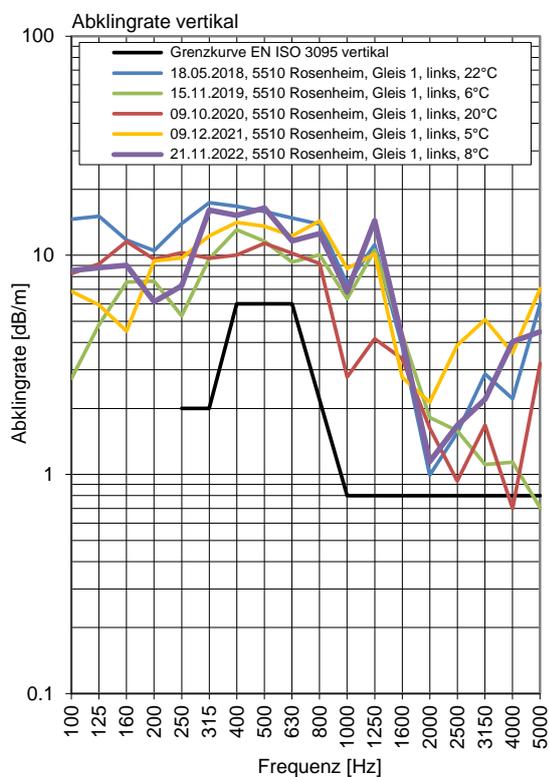
Gleis 1: Richtung Rosenheim

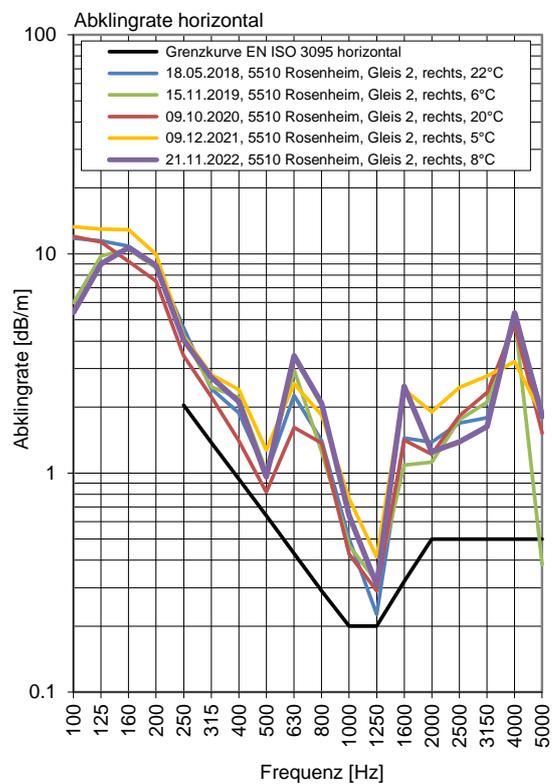
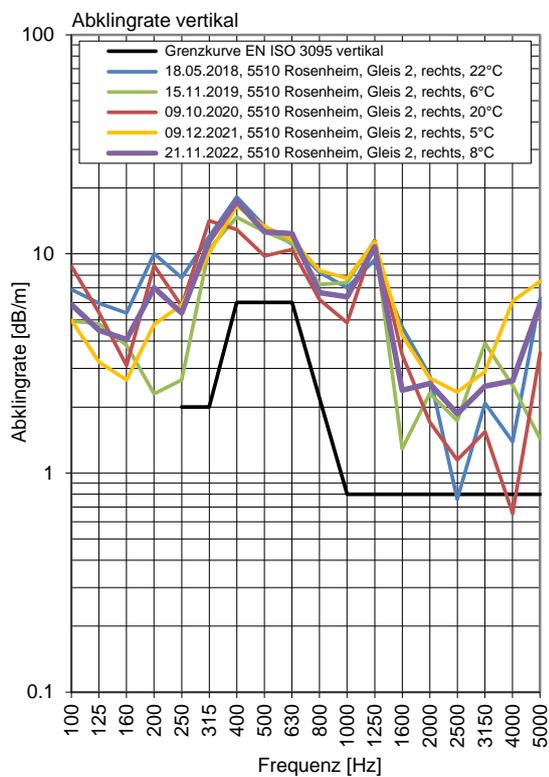
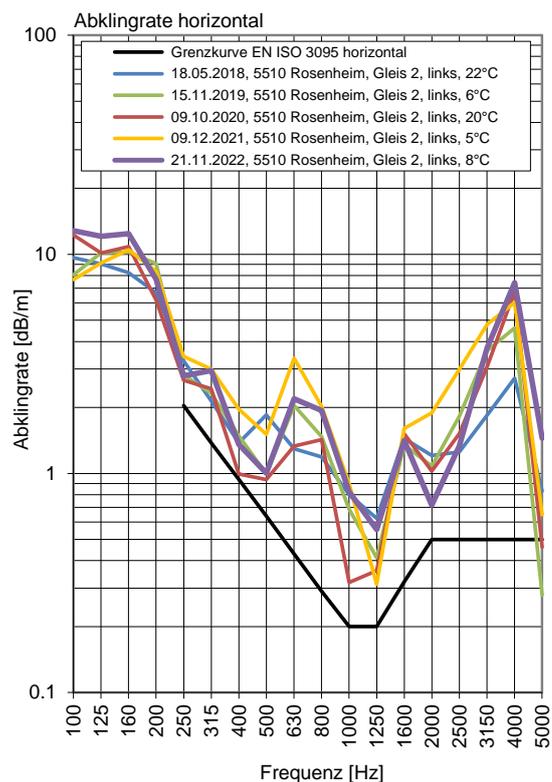
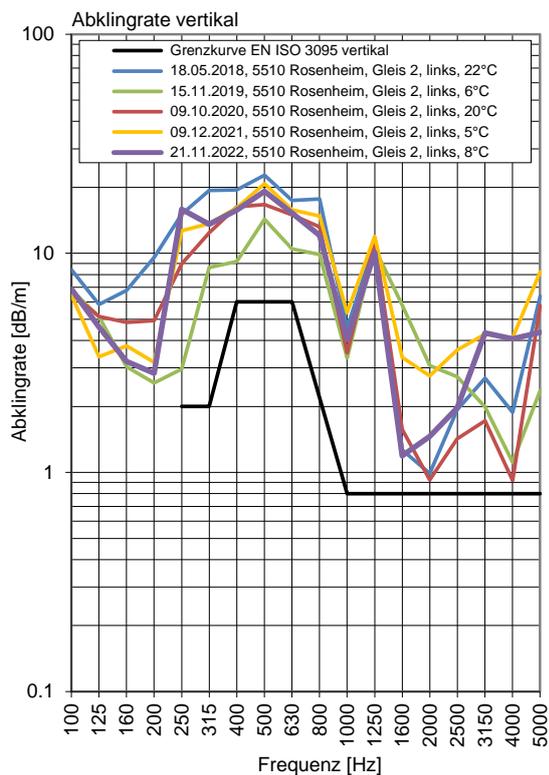
Gleis 2: Richtung München

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





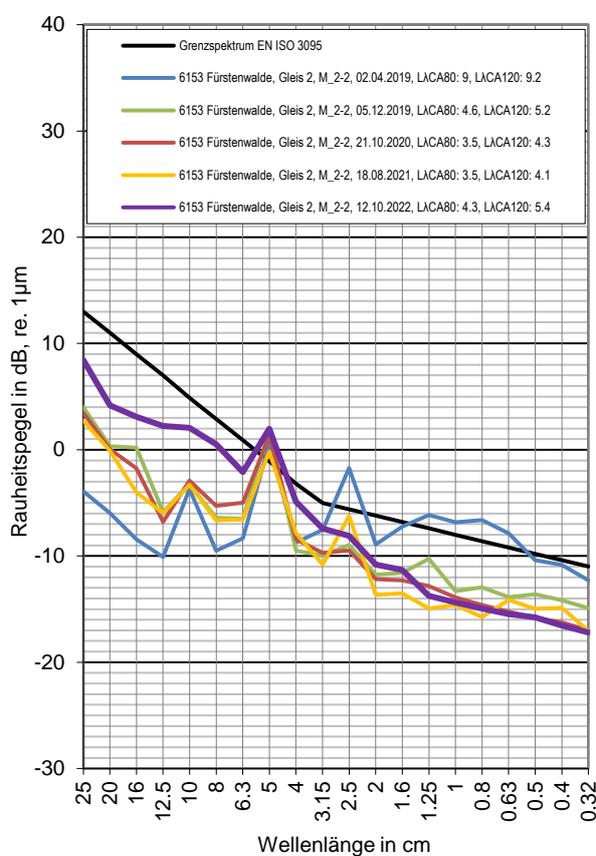
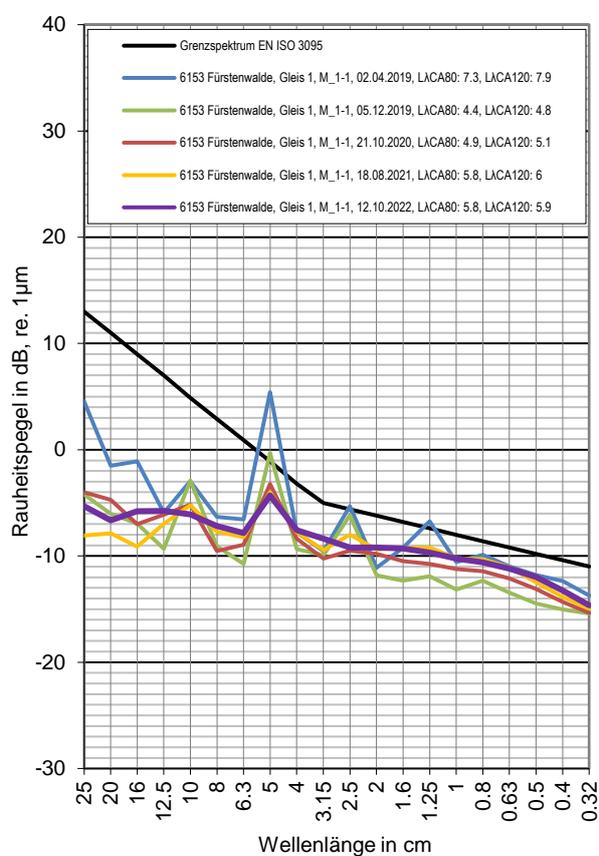
# Messstelle Fürstenwalde

## Strecke 6153, km 66,9

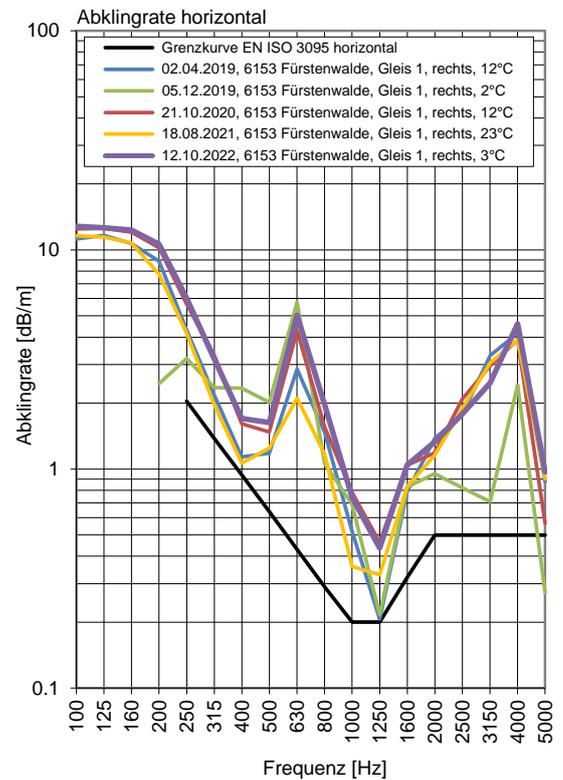
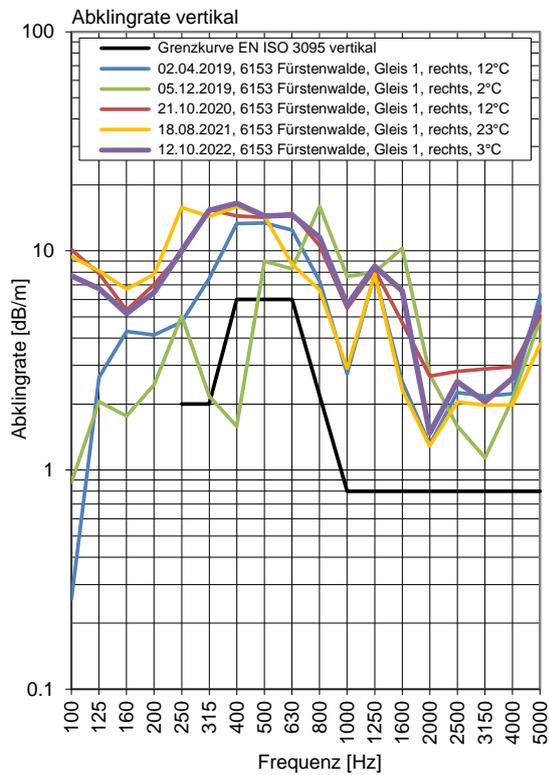
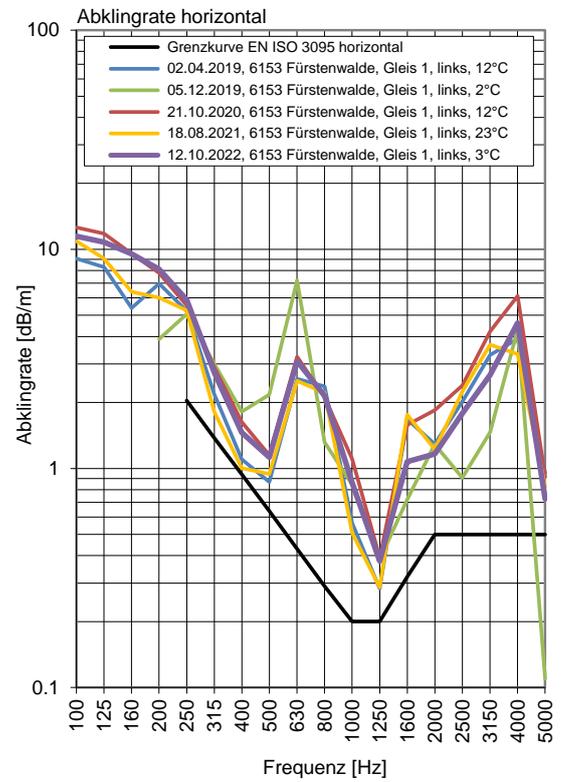
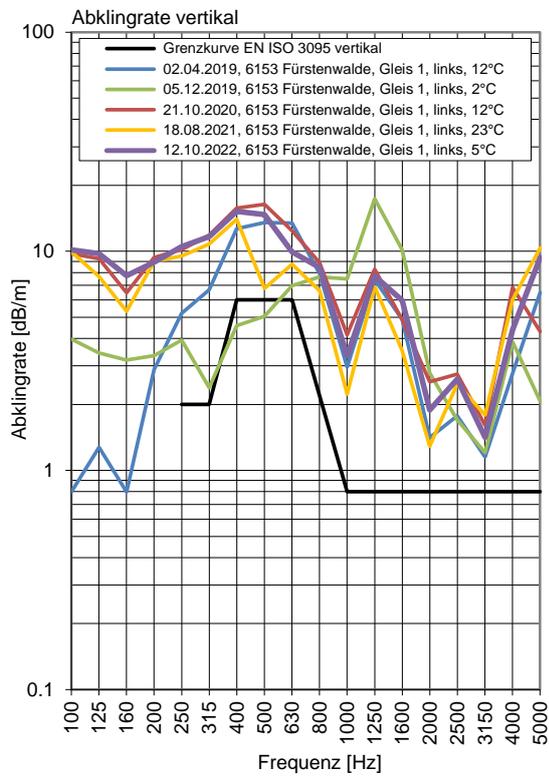
Gleis 1: Richtung Berlin

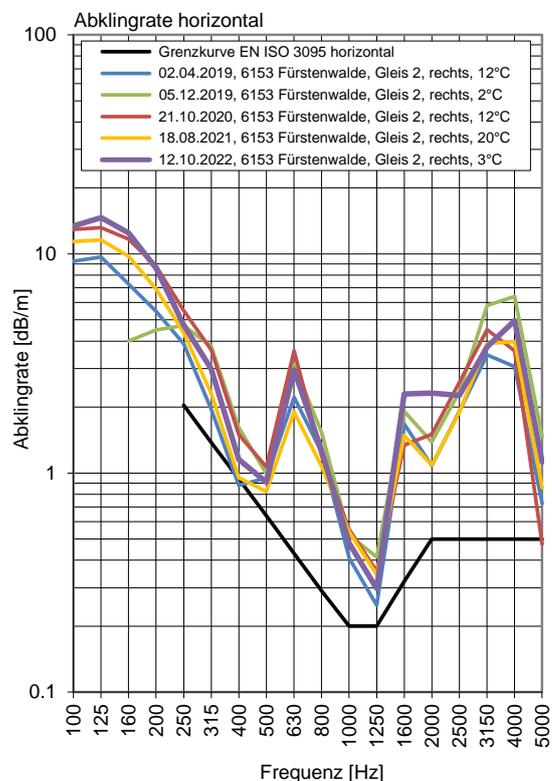
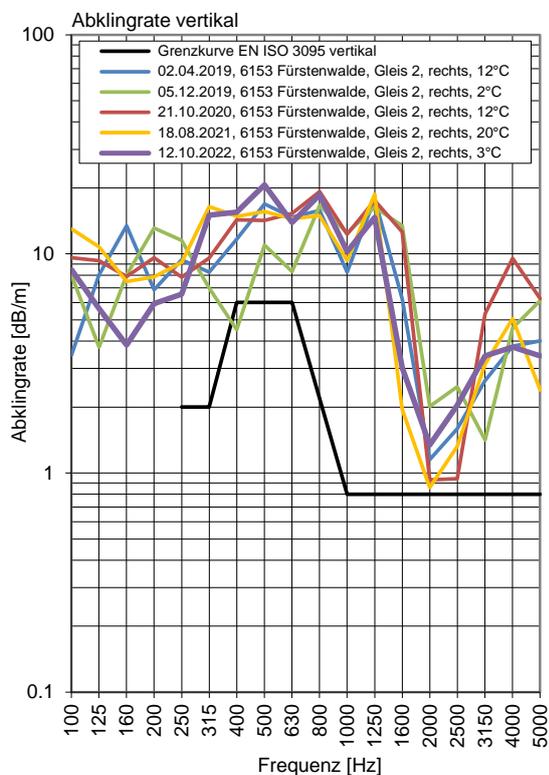
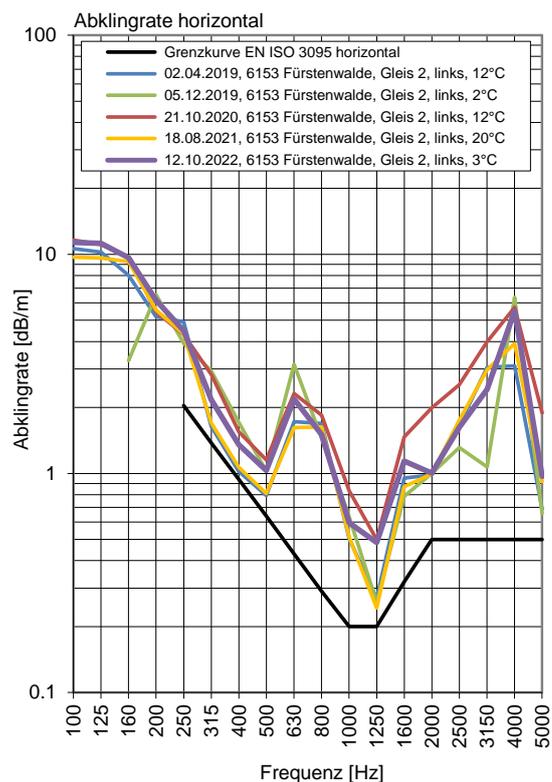
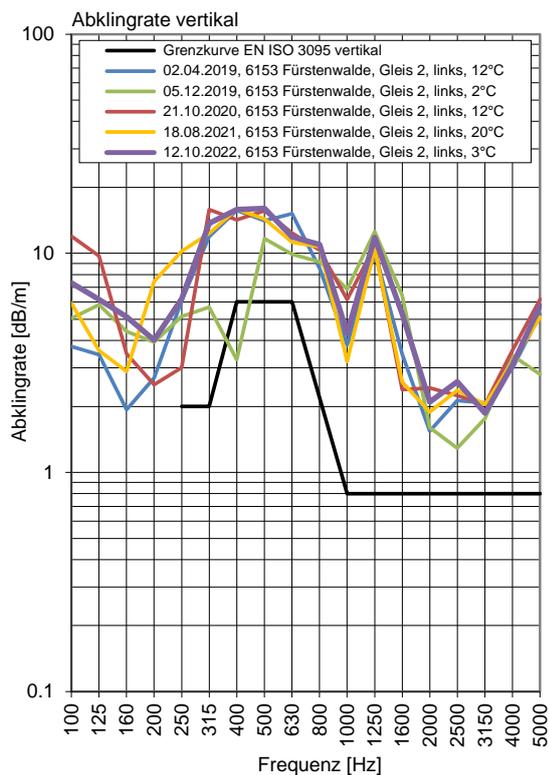
Gleis 2: Richtung Frankfurt/Oder

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





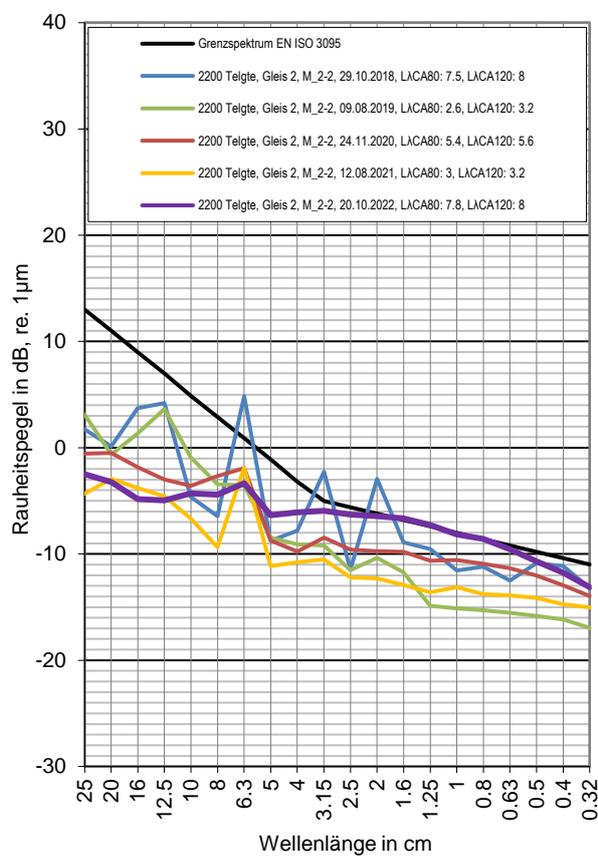
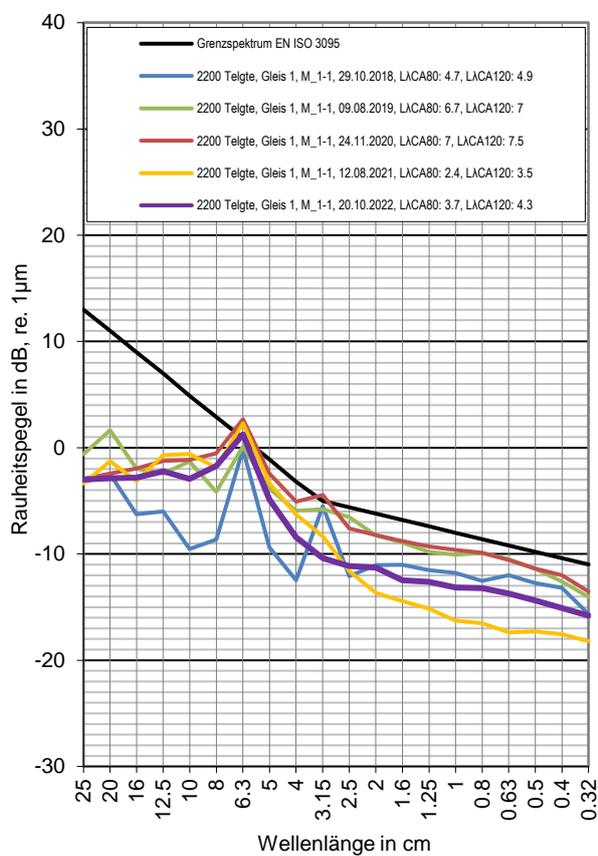
# Messstelle Telgte

## Strecke 2200, km 82,2

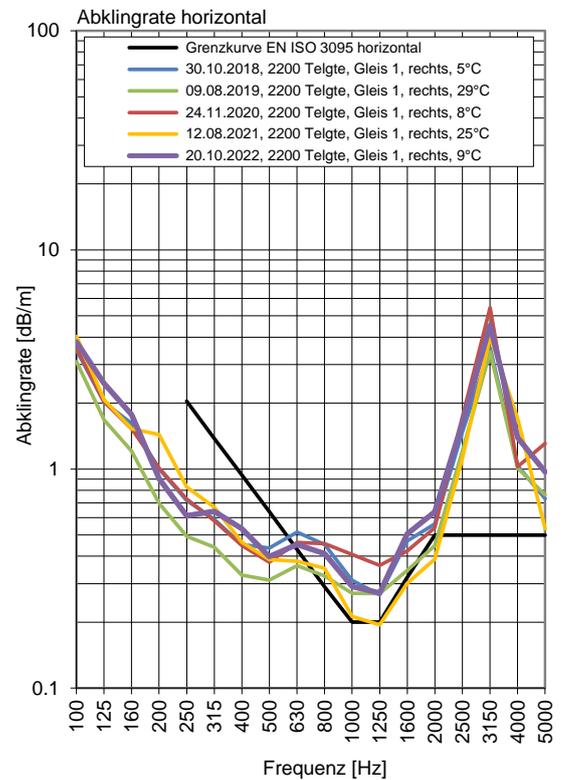
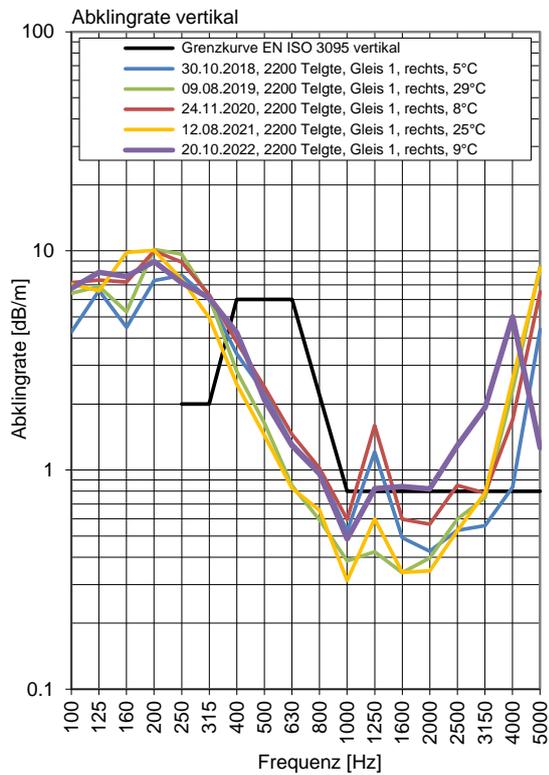
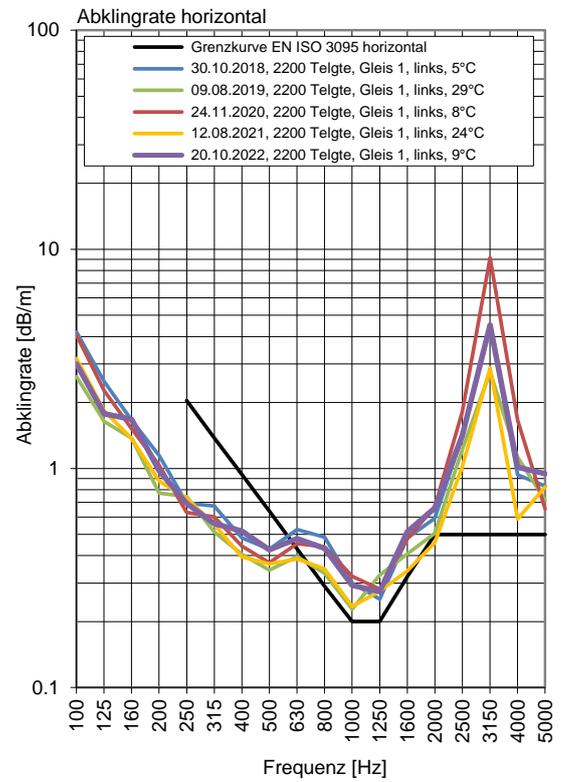
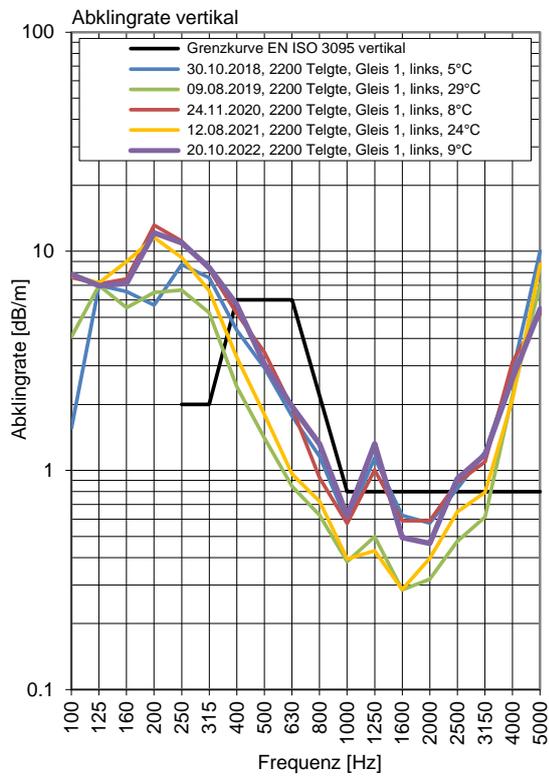
Gleis 1: Richtung Osnabrück

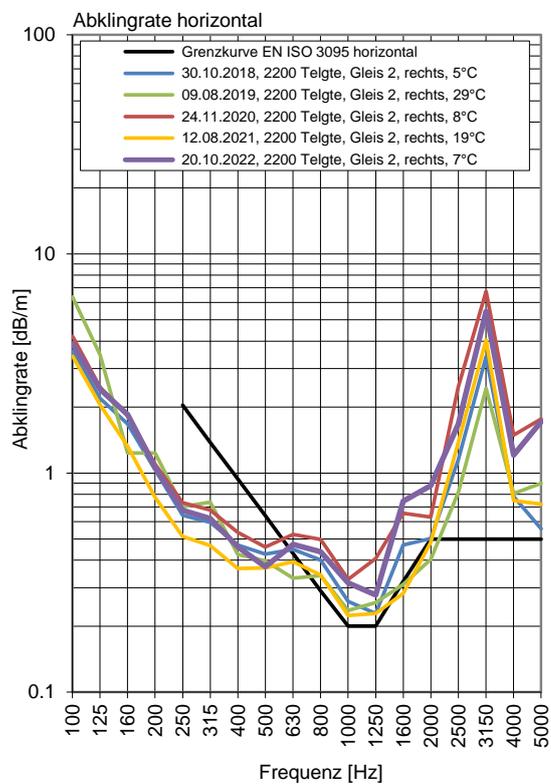
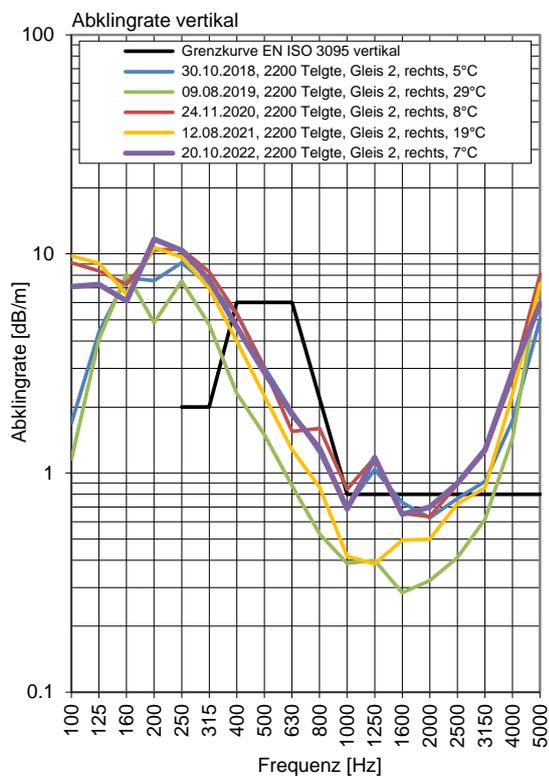
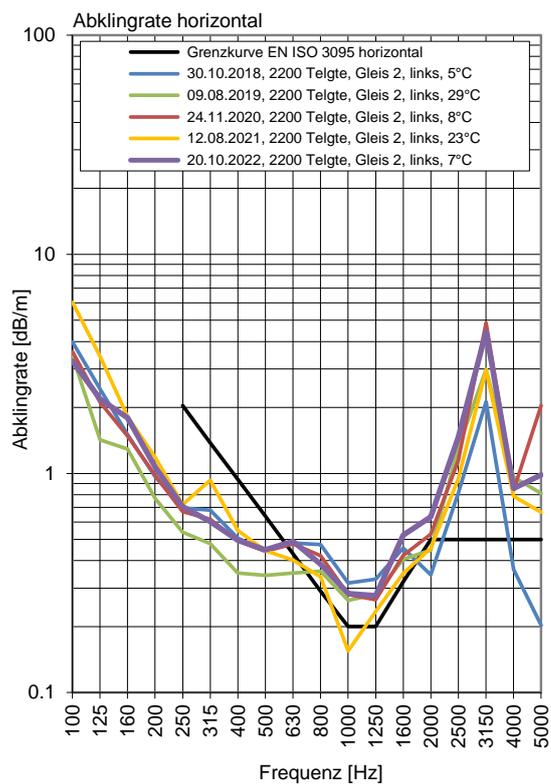
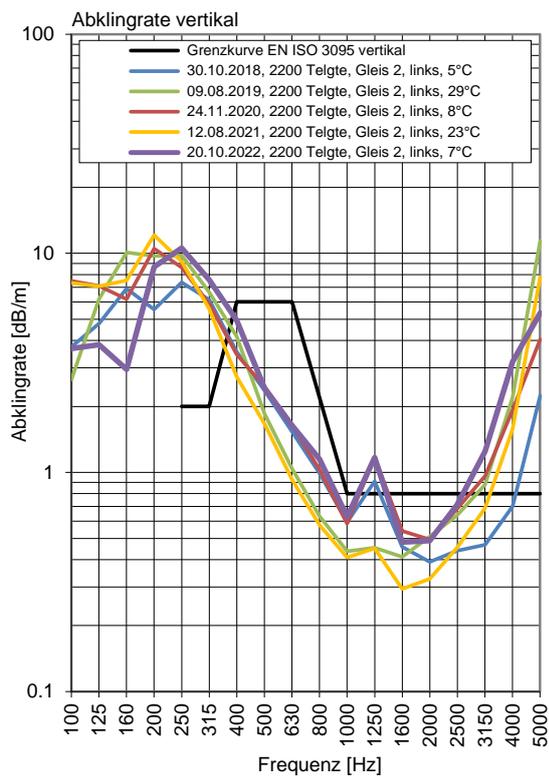
Gleis 2: Richtung Münster

### Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



## Gleisabklingrate





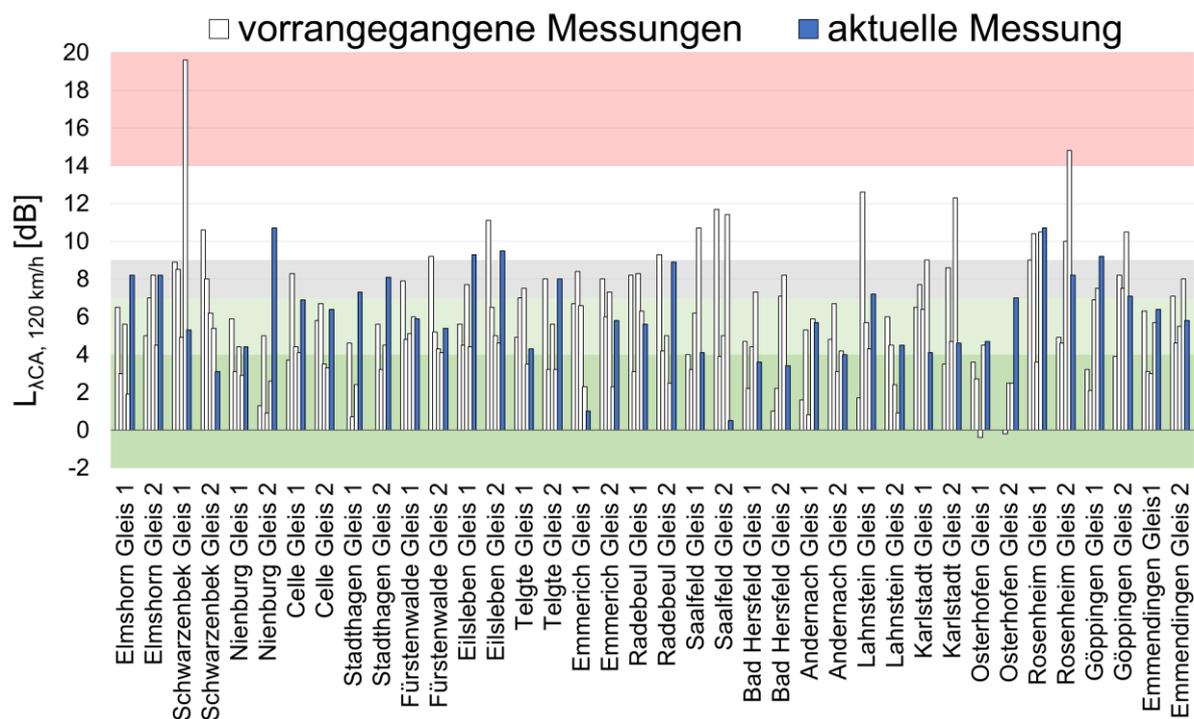


Abbildung 26. Rauheits-Einzelwerte  $L_{\lambda CA}$  in dB(A) für alle Messquerschnitte aller Messtandorte mit der Bezugs-Geschwindigkeit 120 km/h. Die grauen Balken repräsentieren die Ergebnisse der Messungen aus den Vorjahren und die blauen Balken zeigen die Ergebnisse der Messung aus 2022.



## 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] E DIN 38452-1:2020-03; Langzeitmessung von Schienenverkehrsgeräuschen – Teil 1: Emissionen; Entwurf März 2020
- [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 EI 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)



[www.laerm-monitoring.de](http://www.laerm-monitoring.de)