



Jahresbericht 2020



Lärm-Monitoring

Schallmessungen im Schienenverkehr

Impressum

HERAUSGEBER

Eisenbahn-Bundesamt
Heinemannstraße 6
53175 Bonn

www.eba.bund.de

ERSTELLUNG DES BERICHTS

Dr. rer. nat. Nathan Isert

Prof. Dr. Stefan Lutzenberger

Müller-BBM Rail Technologies GmbH
Robert-Koch-Str. 11
82152 Planegg bei München

Dr. rer. nat. Henning Brammer

Christoph Jöckle

Referat 52 - Umwelt

EDITOR

Mithat Serbest

BILDNACHWEIS

Eisenbahn-Bundesamt

PUBLIKATION ALS PDF

www.laerm-monitoring.de

KONTAKT

Telefon: 0228 / 9826 – 540

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

Bonn, Mai 2021

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	2
2	Zusammenfassung	3
3	Einleitung	4
4	Messstationen	5
5	Verwendete Messgrößen	7
6	Messergebnisse	10
1	Anhang: Messkonzept	35
2	Anhang: Messgrößen	37
3	Anhang: Fehlerbetrachtung, Genauigkeitsbetrachtung, Messunsicherheiten	40
4	Anhang: Kennzahlen 2020	44
5	Anhang: Schienenrauheit und Abklingrate 2020	49
6	Anhang: Literatur	107

2 Zusammenfassung

Mit dem Lärm-Monitoring werden Schallemissionen aus dem Schienenverkehr kontinuierlich und einheitlich erfasst. Im Jahr 2020 haben die 19 Messstationen entlang des deutschen Schienennetzes Zugvorbeifahrten mit einer Verfügbarkeit von 99,8 Prozent aufgezeichnet. Mit dem vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse des Lärm-Monitorings für das Jahr 2020 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 65,2 dB(A) und 73,4 dB(A). Im Vergleich zum Vorjahr sind die Mittelungspegel an allen Messstationen um bis zu 4 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 83 Prozent der gemessenen Gesamtemission. Im Vorjahr betrug der Anteil an der Gesamtemission jedoch 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. Im Mittel konnten 79 Prozent der im Jahr 2020 gemessenen Güterwagen als lärmarm¹ und somit als definitiv umgerüstet klassifiziert werden. Seit Juni 2019 stieg der Anteil lärmarmen Güterwagen von 59 Prozent auf 86 Prozent im Dezember 2020. Die von Güterwagen verursachte mittlere Emission ging in diesem Zeitraum um ca. 5 dB(A) zurück.
- Die als nicht lärmarm klassifizierten Güterwagen sind grundsätzlich auch mit Verbundstoffbremssohlen ausgestattet. Die Evaluierung des Umrüststandes der auf dem deutschen Netz verkehrenden Güterwagen durch das BMVI zum Ende 2020 hatte zum Ergebnis, dass 100 Prozent der Güterwagen mit Verbundstoffbremssohlen ausgestattet sind. Auch die Ergebnisse des Lärm-Monitorings belegen, dass im Dezember 2020 fast alle Güterwagen mit Verbundstoffbremssohlen ausgestattet waren (vgl. Abschnitt 6.5). Die teilweise gemessenen lauterer Pegel werden u. a. von akustisch ungünstigen Fahrzeugzuständen verursacht.

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

¹ 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 einzuhaltenen 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.

3 Einleitung

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

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

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

Die Messungen werden im Auftrag des Eisenbahn-Bundesamtes von Müller-BBM Rail Technologies GmbH durchgeführt.

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

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.

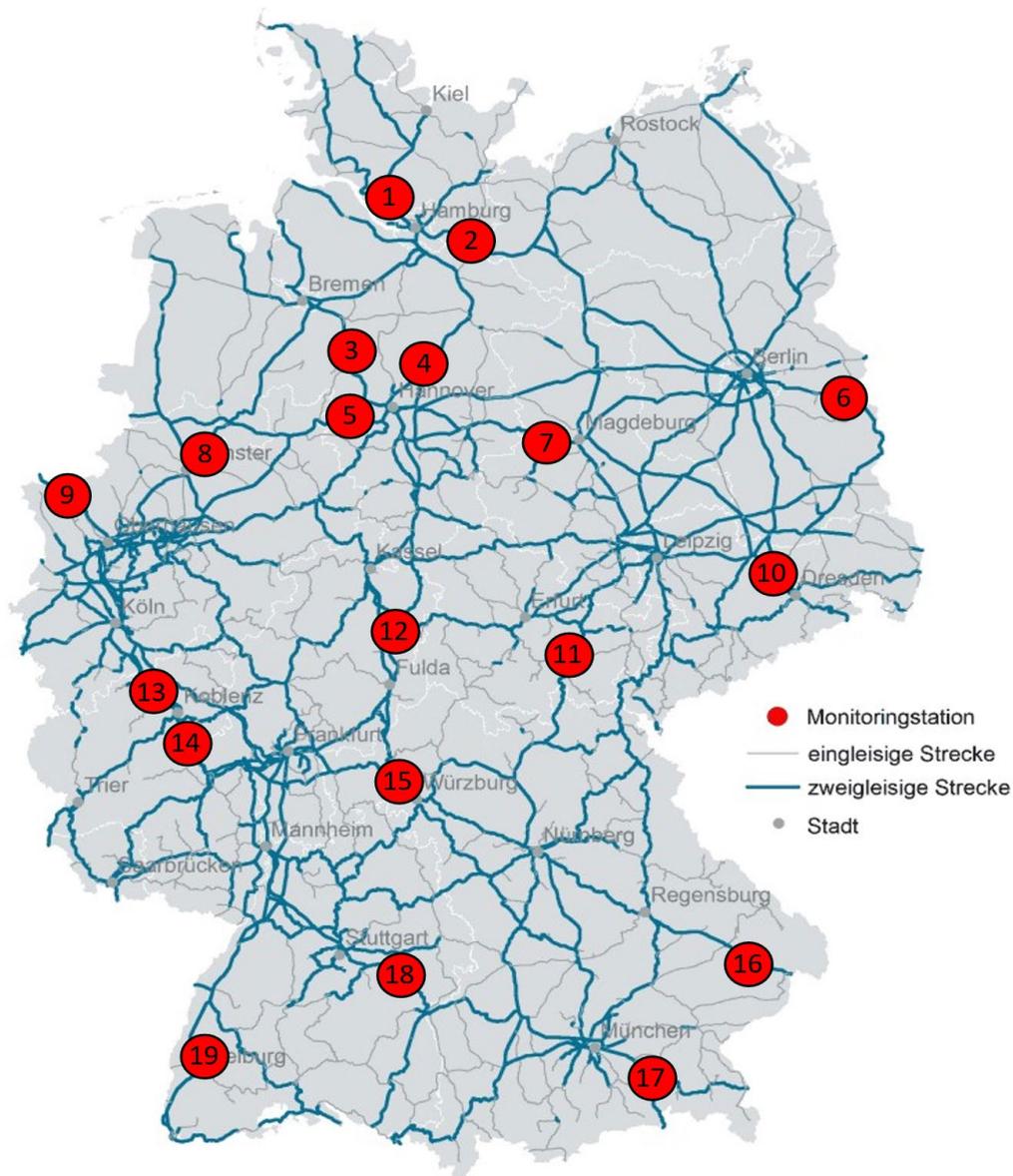


Abbildung 1: Standorte der Messstationen

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.

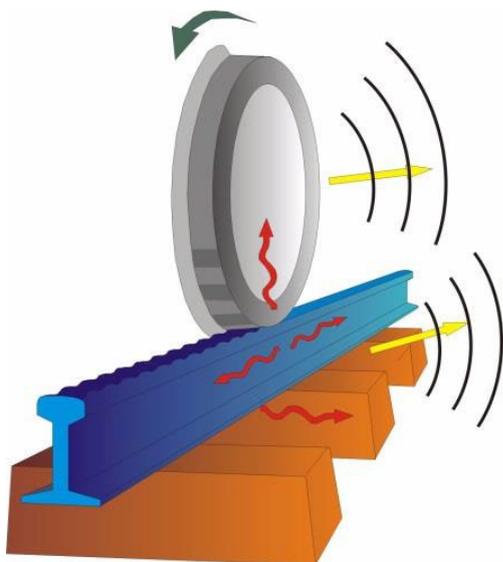


Abbildung 2: Schall- und Erschütterungserzeugung verursacht durch ein rollendes Rad auf einer Schiene mit Riffeln (Quelle: TNO)

Der Entstehungsprozess des Rollgeräuschs 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 entsprechend 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.

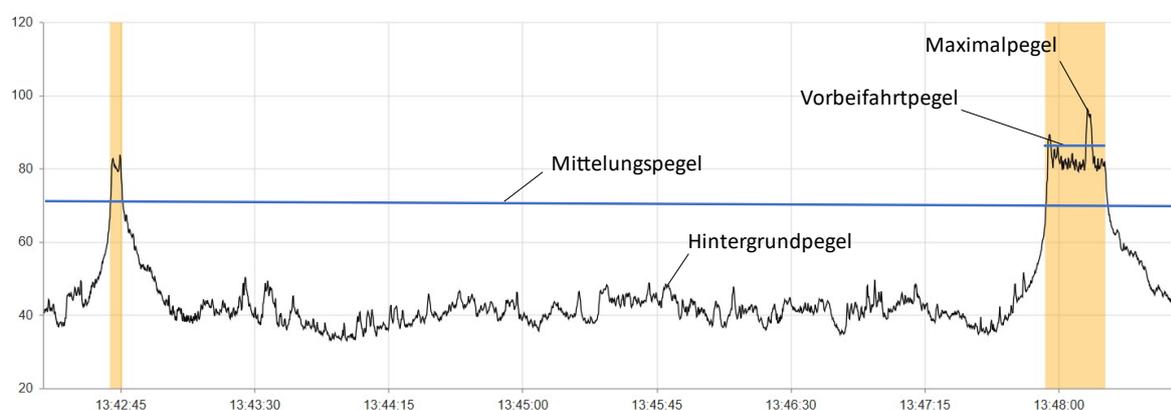


Abbildung 3: Mittelungs-, Vorbeifahrt-, Maximal- und Hintergrundpegel am Beispiel einer Zugvorbeifahrt an der Messstation Rosenheim.

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 *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 einzuhalten 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

Detaillierte 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 (hellblau) und 2020 (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.

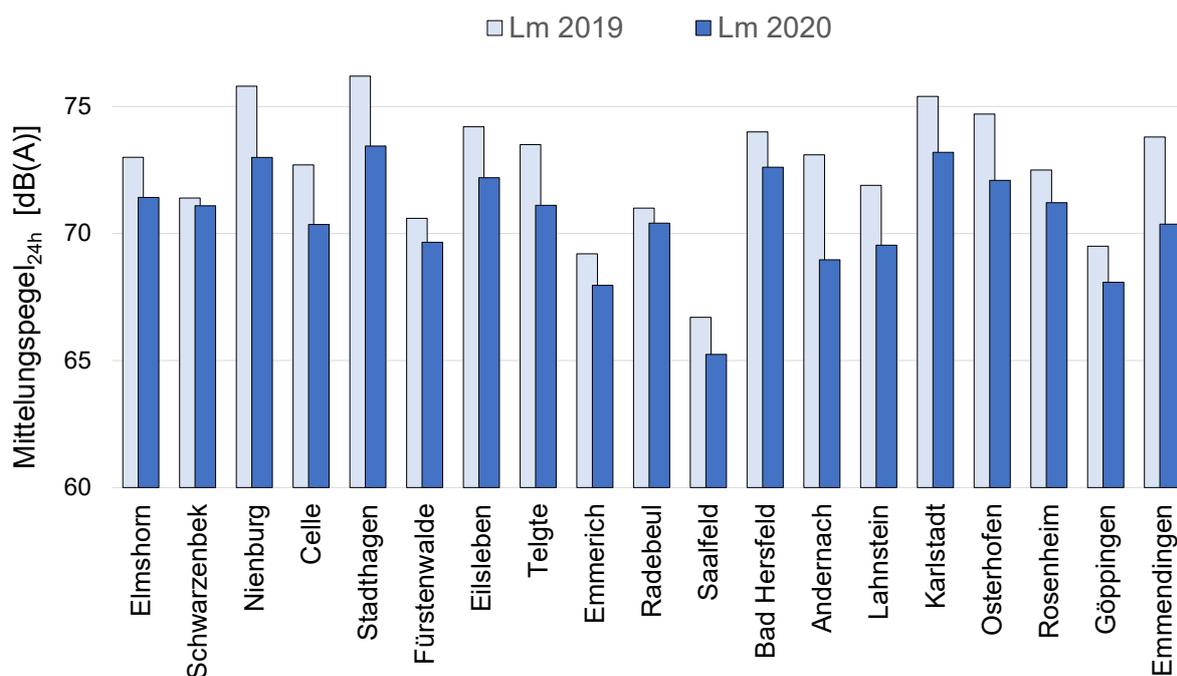


Abbildung 4: Mittelungspegel $L_{m,24h}$ an allen Messstationen im Vergleich der Jahre 2019 (hellblau) und 2020 (blau)

Im Jahr 2020 lagen die Mittelungspegel zwischen 65,2 dB(A) und 73,4 dB(A). Im Vergleich zum Vorjahr² sind die Schallemissionen aus dem Schienenverkehr an allen Messstandorten zurückgegangen. Insbesondere an Messstationen mit höheren Mittelungspegeln ist ein deutlicher Rückgang der Werte zu verzeichnen.

² 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.

Dies ist im Wesentlichen auf die Umrüstung der Güterwagen auf rollgeräuschminimierende Verbundstoffbremssohlen zurückzuführen (vgl. Kapitel 5.4).

Der Anteil des Güterverkehrs an der Gesamtemission ist entsprechend rückläufig und lag im Jahr 2020 bei 83 Prozent, 7 Prozentpunkte niedriger als noch 2019. Dessen ungeachtet blieben 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.

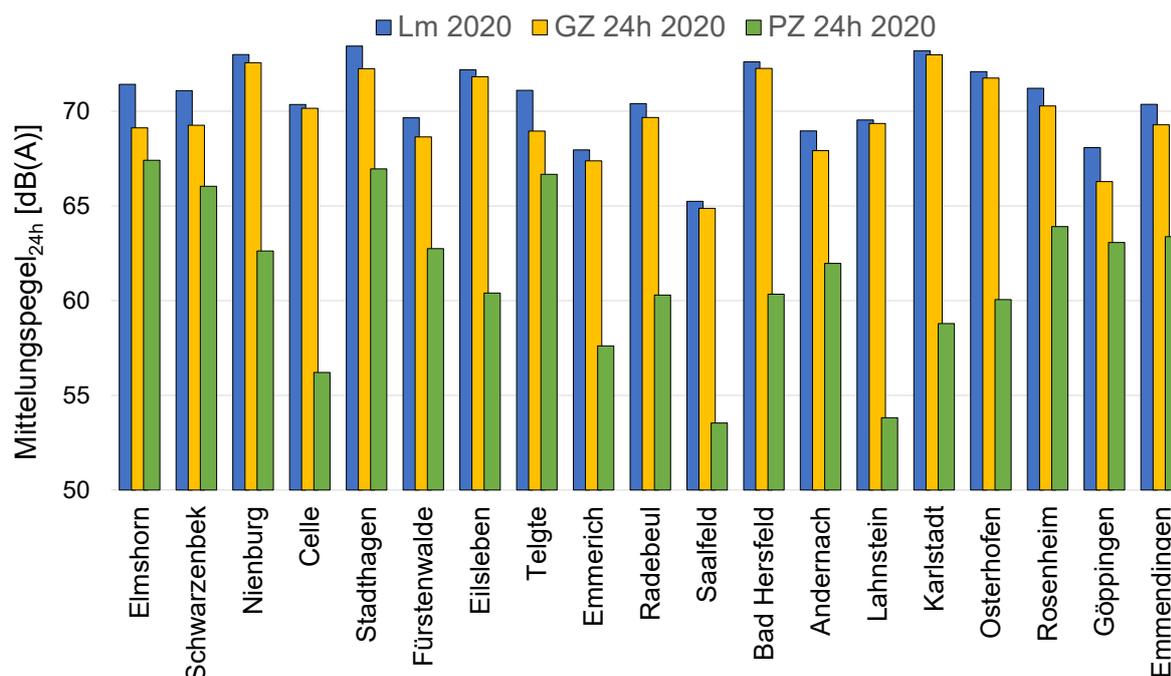


Abbildung 5: Gesamter Mittelungspegel für das Jahr 2020 $L_{m, 24h}$ (blau) pro Messstation zusammen mit den von Güter- und Personenzügen verursachten Mittelungspegeln $L_{m, GZ}$ (gelb) bzw. $L_{m, PZ}$ (grün).

In den vier nachfolgenden Abbildungen Abbildung 6 bis Abbildung 9 sind die Mittelungspegel der Jahre 2019 und 2020 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 des Vorjahres 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.

Die Mittelungspegel der Güterzüge haben hingegen in der Fläche abgenommen. Dies kann auf das leisere Rollmaterial der umgerüsteten Güterwagen zurückgeführt werden.

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

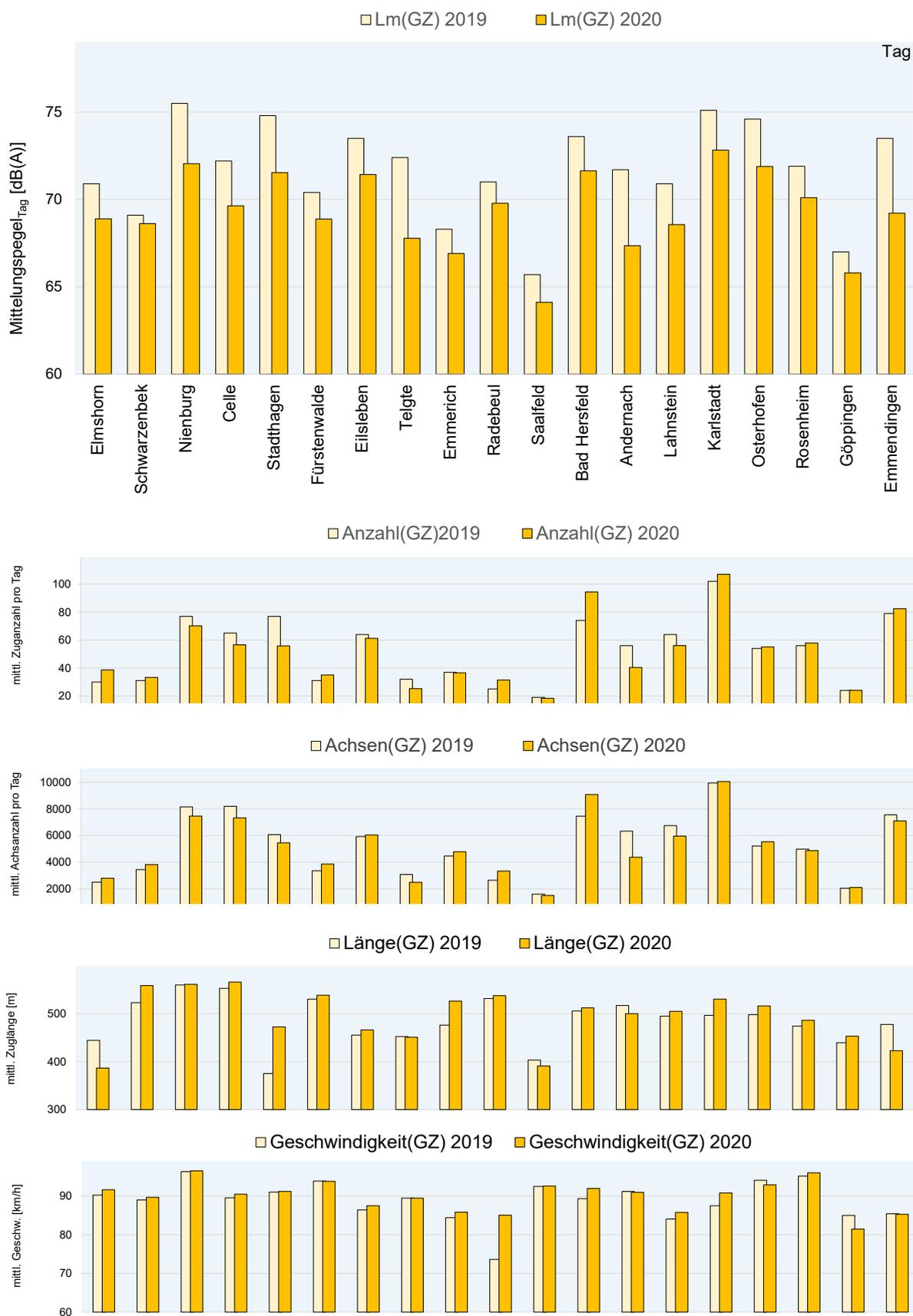


Abbildung 6: Mittelungspegel, Zuganzahl, Achszahl, Zuglänge und Geschwindigkeit für den Zeitraum Tag (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) für Güterzüge. Unterteilt für das Jahr 2019 (hellgelb) und 2020 (gelb).

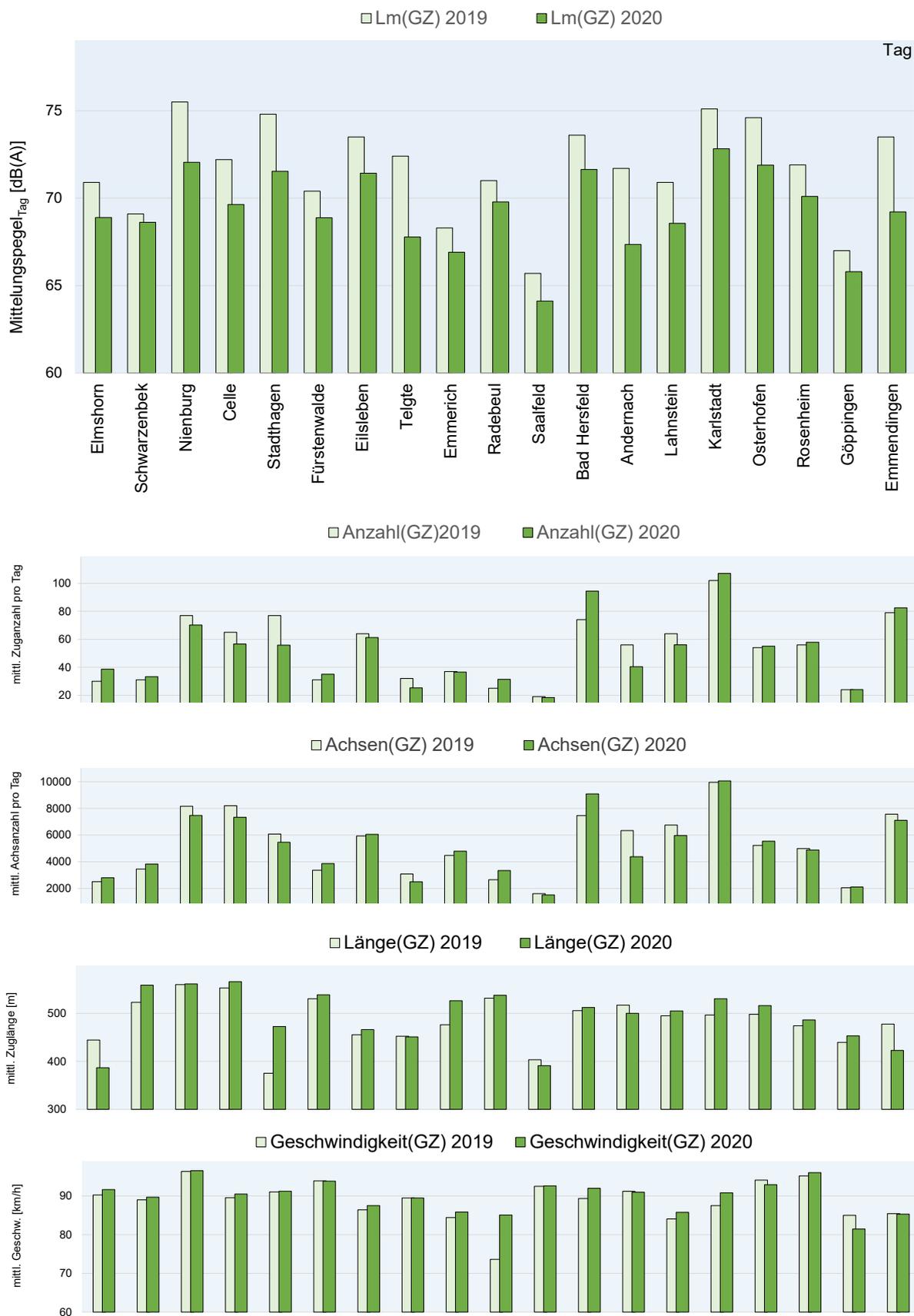


Abbildung 7: Mittelungspegel, Zuganzahl, Achsanzahl, Zuglänge und Geschwindigkeit für den Zeitraum Tag (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) für Personenzüge. Unterteilt für das Jahr 2019 (hellgrün) und 2020 (grün).

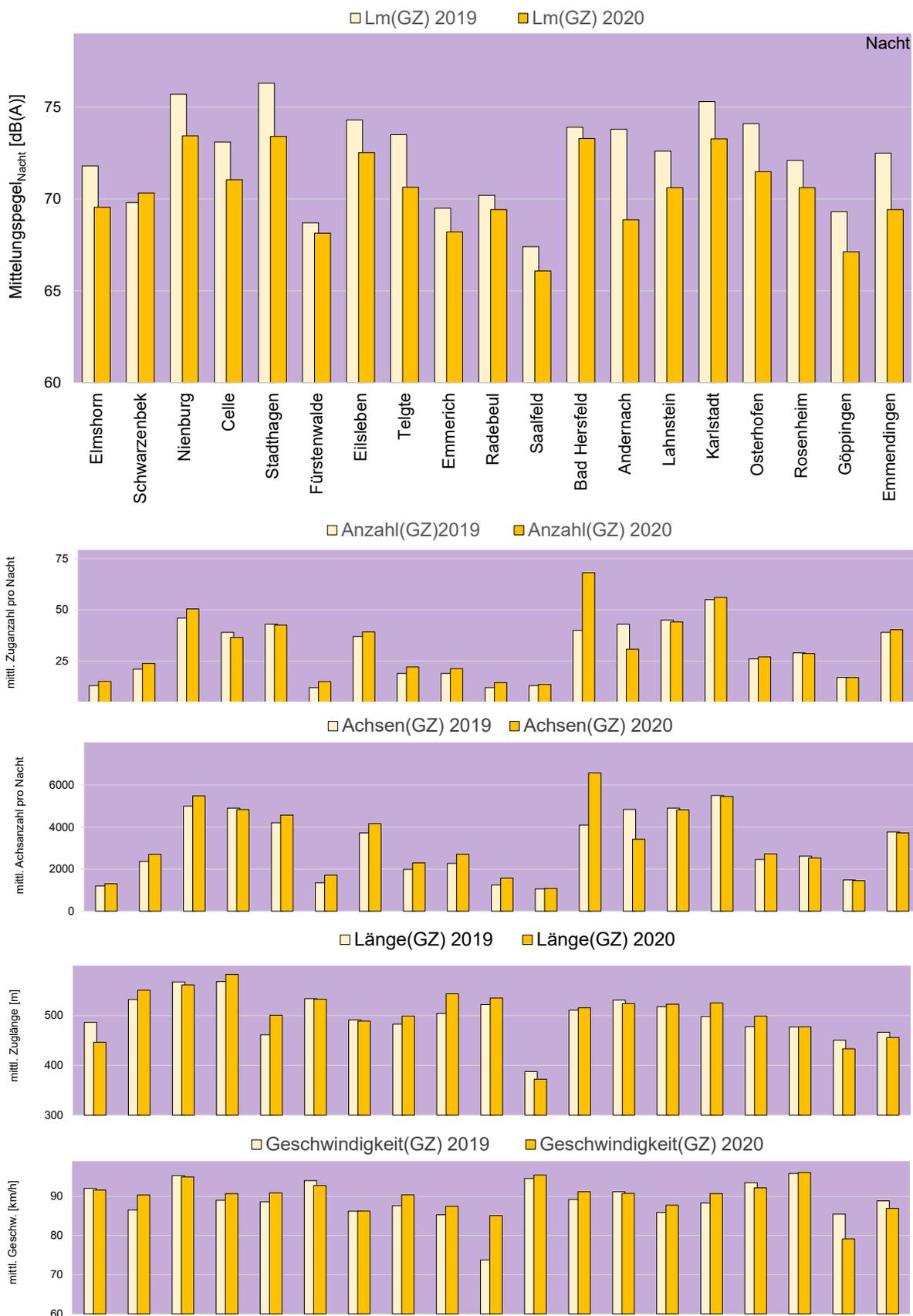


Abbildung 8: Mittelungspegel, Zuganzahl, Achsanzahl, Zuglänge und Geschwindigkeit für den Zeitraum Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) für Güterzüge. Unterteilt für das Jahr 2019 (hellgelb) und 2020 (gelb).

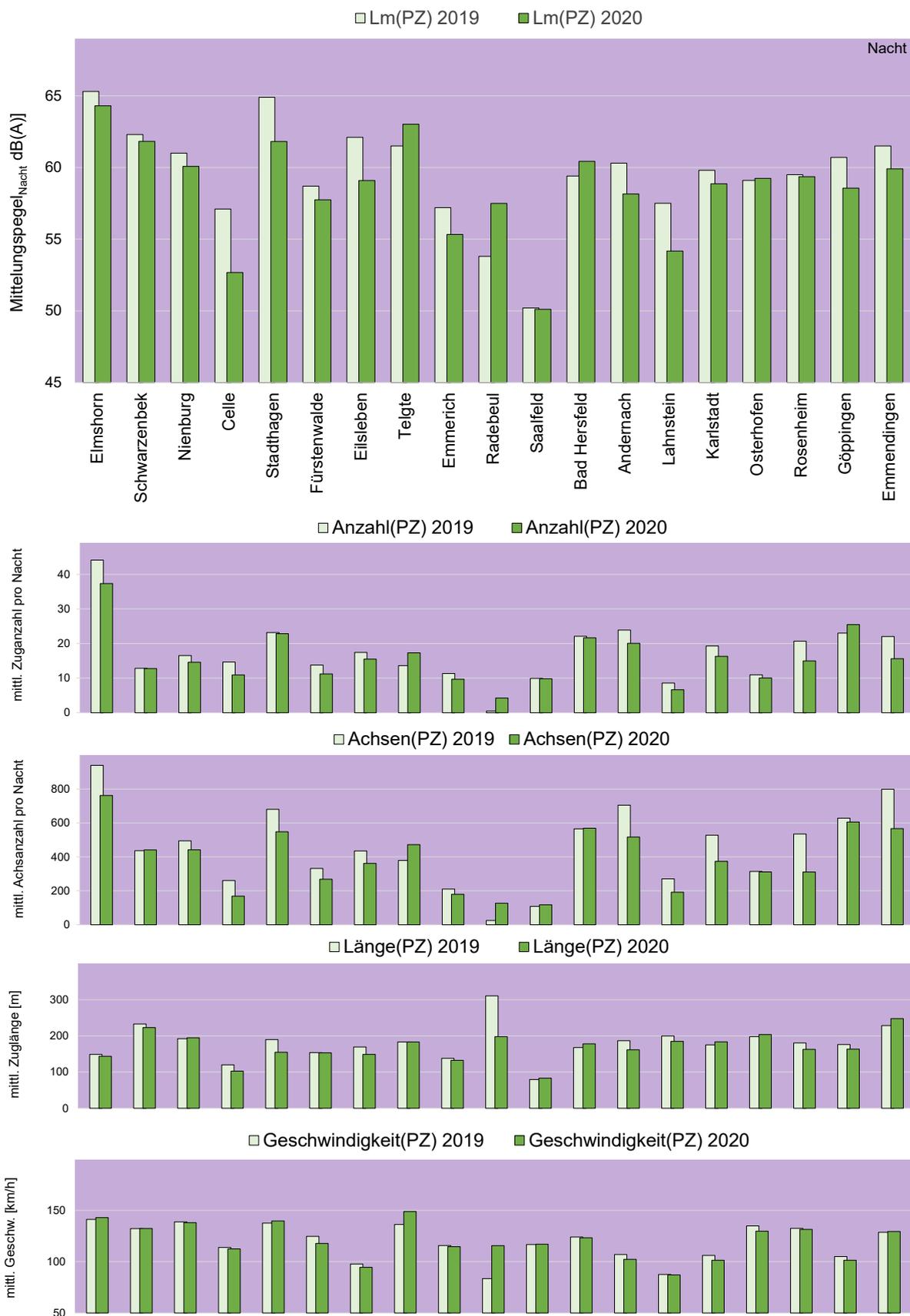


Abbildung 9: Mittelungspegel, Zuganzahl, Achsanzahl, Zuglänge und Geschwindigkeit für den Zeitraum Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) für Personenzüge. Unterteilt für das Jahr 2019 (hellgrün) und 2020 (grün).

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 2020 im Vergleich zum Vorjahr um 1,6 dB(A) reduziert. Dabei hat sich der Verkehr in Anzahl und Zusammensetzung nicht wesentlich verändert. Die Pegelreduzierung ist somit der Umrüstung der Güterwagen zuzuschreiben. An der Messstation wurden im Jahresmittel etwa 70 Prozent der verkehrenden Güterwagen als lärmarm identifiziert. Dies liegt zwar weiterhin unter dem bundesweiten Mittel von 79 Prozent. Jedoch stieg der Anteil lärmarmen Güterwagen im Vergleich zum Jahr 2019 um 17 Prozentpunkte.

SCHWARZENBEK

An der Messstation Schwarzenbek ist die Anzahl der verkehrenden Züge im Vergleich der Jahre 2019 und 2020 etwa gleich geblieben. Die Geschwindigkeit der Güterzüge, insbesondere im Nachtzeitraum, hat jedoch signifikant zugenommen, was zu höheren Schallemissionen führt. Das Rollmaterial ist hingegen leiser geworden, der Anteil von als lärmarm gemessenen Güterwagen hat sich im Vergleich zum Vorjahr um 6 Prozentpunkte erhöht. Die akustischen Gleiseigenschaften, insbesondere die Schienenrauheit haben sich leicht verbessert. In der Summe dieser Veränderungen konnte für das Jahr 2020 eine kleine Minderung des Mittelungspegels im Vergleich zum Vorjahr im Höhe von 0,3 dB(A) festgestellt werden. Insgesamt ist dies der kleinste Rückgang der Emissionen aller Messstationen. Zu beachten ist, dass die Messstation erst am 20. November 2019 in Betrieb genommen wurde und die Messdaten aus dem Jahr der Inbetriebnahme somit nur bedingt repräsentativ für das gesamte Jahr 2019 sind.

NIENBURG

An der Lärm-Monitoringstation Nienburg konnte im Jahr 2020 der Mittelungspegel im Vergleich zu 2019 um 2,8 dB(A) gemindert werden. Dies kann durch den gestiegenen Anteil lärmarmen Güterwagen am Güterwagenverkehr begründet werden. Dieser stieg um etwa 16 Prozentpunkte auf ein Jahresmittel von 79 Prozent lärmarmen Güterwagen und liegt im bundesweiten Durchschnitt. Das Verkehrsaufkommen in Anzahl und Geschwindigkeit sowie die akustischen Gleisparameter haben sich nicht wesentlich verändert.

CELLE

Der an der Lärm-Monitoringstation Celle gemessene Mittelungspegel für das Jahr 2020 liegt 2,3 dB(A) unterhalb des Werts des Vorjahres. Insbesondere kann dies auf das akustisch bessere Rollmaterial der Güterzüge zurückgeführt werden. Im Jahr 2020 konnten im Mittel 80 Prozent der Güterwagen als lärmarm registriert werden. Dies sind 9 Prozentpunkte mehr als im Jahr 2019. Ein kleiner Anteil der Emissionsminderung kann auch dem leicht reduzierten Güterverkehrsaufkommen zugeordnet werden. Die akustischen Gleisparameter blieben hingegen in etwa gleich.

STADTHAGEN

Die Minderung des Mittelungspegels für das Jahr 2020 im Vergleich zum Vorjahr beträgt an der Messstation Stadthagen 2,8 dB(A). Dies kann unter anderem mit dem dritthöchsten Anstieg des Anteils lärmarmen Güterwagen von 20 Prozentpunkten begründet werden. Auch die leicht verbesserte Schienenrauheit trägt zum niedrigeren Pegel bei.

FÜRSTENWALDE

An der Messstation Fürstenwalde konnte für das Jahr 2020 eine leichte Zunahme der Zugzahlen registriert werden. Der niedrige Mittelungspegel aus 2019 wurde nichtsdestotrotz um 0,9 dB(A) reduziert. Dies liegt insbesondere am leiseren Rollmaterial der Güterzüge. Für das Jahr 2020 nahm der Anteil der als lärmarm gemessenen Güterwagen am Gesamtverkehr um 15 Prozentpunkte zu. Die akustischen Gleiseigenschaften änderten sich nicht wesentlich.

EILSLEBEN

An der Messstation Eilsleben reduzierte sich der Mittelungspegel im Vergleich zum Vorjahr um 2,0 dB(A). Der Anteil lärmarmen Güterwagen liegt in Eilsleben bei 71,4 Prozent, dies entspricht einer Zunahme von 7,5 Prozentpunkten zum Vorjahr. Auch der mittlere *TEL80* der Personenzüge für das Jahr 2020, insbesondere auf Gleis 2, ging im Vergleich zum Vorjahr zurück.

TELGTE

Die Lärm-Monitoringstation Telgte verzeichnete im Jahr 2020 einen Rückgang der Schallemissionen (Mittelungspegel) um 2,4 dB(A) im Vergleich zum Vorjahr. Wesentlich hierfür war die Umrüstung der Güterwagen. Der Anteil der als lärmarm gemessenen Güterwagen stieg um 28 Prozentpunkte, der größte Anstieg aller Stationen. Gleichzeitig stiegen Anzahl und Geschwindigkeit der Personenzüge, was deren Mittelungspegel erhöhte. Da der durch Güterzüge verursachte Mittelungspegel jedoch größer ist, spielte dies für den Gesamtpegel eine untergeordnete Rolle.

EMMERICH

An der Messstation Emmerich konnte der Mittelungspegel im Vergleich zum Vorjahr um 1,2 dB(A) auf 68 dB(A) gesenkt werden. An dieser Messstation wurde im Jahr 2019 bereits ein vergleichsweise hoher Anteil lärmarmen Güterwagen gemessen. Daher wurde für 2020 ein vergleichsweise geringer Zuwachs des Anteils gemessener lärmarmen Güterwagen von 6,2 Prozentpunkten ermittelt. Gleichzeitig hat der Güterverkehr in Anzahl und Geschwindigkeit leicht zugenommen, was einer Pegelabnahme entgegen wirkte.

RADEBEUL

Die Messungen an der Messstation Radebeul wurden seit Beginn der Messaufzeichnungen im April 2019 bis zum Mai 2020 maßgeblich durch Bauarbeiten beeinflusst. Im Vergleich der Jahre 2019 und 2020 resultiert dies zu einer Verdopplung der mittleren Anzahl der täglichen Zugfahrten für das Jahr 2020, insbesondere der Personenverkehr war vor Mai 2020 stark eingeschränkt. Die gemessenen durchschnittlichen Geschwindigkeiten der Personen- und Güterzüge sind ebenfalls deutlich erhöht. Trotz der Zunahme von Verkehr und Geschwindigkeit reduzierte sich der gemessene Mittelungspegel um 0,6 dB. Dies resultiert aus deutlich niedrigeren Vorbeifahrtpegeln sowohl von Güter- als auch Personenzügen. Die Messungen zeigen für das Jahr 2020 etwa 68 Prozent an verkehrenden Güterwagen als lärmarm. Trotz der Zunahme um 17 Prozentpunkte ist dies zusammen mit Elmshorn der niedrigste Wert und liegt deutlich unter dem bundesweiten Durchschnitt von 79 Prozent.

SAALFELD

Mit einem gemessenen Mittelungspegel von etwa 65 dB(A) konnte an der Messstation Saalfeld der geringe Wert aus 2019 noch einmal um 1,5 dB(A) reduziert werden. Der im Vergleich zu anderen Messstationen niedrige Mittelungspegel ist auf die geringe Achszahl respektiv kurze Zuglänge und niedrige Zugzahlen zurückzuführen. Der Anteil lärmarmen Güterwagen stieg um etwa 11 Prozentpunkte auf 76,2 Prozent lärmarme Güterwagen.

BAD HERSFELD

Die Lärm-Monitoringstation Bad Hersfeld weist die zweithöchste Zugfrequentierung aller Messstation auf. Dabei stieg die Anzahl der täglich verkehrenden Güterzüge in 2020 auf 162. Zudem wurde für sie eine leicht höhere Durchschnittsgeschwindigkeit bestimmt. Trotzdem wurde im Jahr 2020 der Mittelungspegel mit 72,6 dB(A) um 1,4 dB(A) niedriger als im Vorjahr gemessen. Wesentlich dazu beigetragen hat der hohe Anteil lärmarmen Güterwagen von etwa 85 Prozent. Im Jahr 2019 lag dieser Wert noch bei 64 Prozent.

ANDERNACH

An der Messstation Andernach wurde mit 69 dB(A) der drittniedrigste Mittelungspegel gemessen. Vergleicht man die beiden Mittelungspegel aus 2019 und 2020 miteinander, kann mit 4,1 dB(A) die größte Reduktion des Schienenverkehrslärms ermittelt werden. Dies ist neben der geringeren Anzahl von Güterzugvorbeifahrten pro Tag auf das verbesserte Rollmaterial der Güterwagen zurückzuführen. Der Anteil lärmarmen Güterwagen stieg um 16,4 Prozentpunkte auf etwa 85 Prozent und liegt somit über dem bundesweiten Mittel.

LAHNSTEIN

An der Messstation Lahnstein ist der Mittelungspegel für das Jahr 2020 im Vergleich zu 2019 um 2,4 dB(A) auf 65,5 dB(A) reduziert. Im gleichen Zeitraum wurden 82 Prozent (plus 12 Prozentpunkte zum Vorjahr) der verkehrenden Güterwagen als lärmarm gemessen, ein Wert über dem bundesweiten Mittel. Ebenso führte ein besserer Gleiszustand zu niedrigeren Vorbeifahrtspegeln.

KARLSTADT

An der Lärm-Monitoringstation Karlstadt wurden die meisten Güterzüge pro Tag registriert. Erwartungsgemäß lag der Mittelungspegel mit 73,2 dB(A) höher als der bundesweite Durchschnitt von 70,6 dB(A). Nichtsdestotrotz ist der Mittelungspegel im Vergleich zu 2019 um 2,2 dB(A) niedriger. Dies liegt an der Zunahme des Anteils lärmarmen Güterwagen um 17 Prozentpunkte auf 80 Prozent. Eine Zunahme der durchschnittlichen Geschwindigkeit der Güterzüge verhinderte eine stärkere Pegelminderung.

OSTERHOFEN

Der Mittelungspegel liegt an der Messstation Osterhofen bei 72,1 dB(A) und ist im Vergleich zu 2019 um 2,6 dB(A) reduziert. Da sich die Randbedingungen, wie z. B. mittlere Zuganzahl oder mittlere Vorbeifahrtsgeschwindigkeit zum Jahr 2019 nicht wesentlich geändert haben, kann die Minderung der Mittelungspegel der Umrüstung der Güterwagen zugeschrieben werden. Der Anteil gemessener lärmarmen Güterwagen liegt mit etwa 71 Prozent unter dem bundesweiten Mittel, konnte aber zum Jahr 2019 um 14 Prozentpunkte gesteigert werden. Weiterhin sind die Schienenoberflächen sehr glatt, was zu niedrigeren Pegeln führt, und die Abklingrate des Gleises sehr niedrig, was pegelerhöhend wirkt.

ROSENHEIM

An der Lärm-Monitoringstation Rosenheim lag der durch den Güterverkehr dominierte Mittelungspegel im Jahr 2020 bei 71,2 dB(A). Dies ist 1,3 dB(A) weniger als im Jahr 2019. Die Minderung des Mittelungspegels kann auf den höheren Umrüstgrad zurück geführt werden. Der Anteil lärmarmen Güterwagen lag bei etwa 77 Prozent, im Vergleich zu 2019 konnte der Anteil lärmarmen Güterwagen um 14 Prozentpunkte gesteigert werden. Die Vorbeifahrtpegel der Personenzüge haben sich erhöht, was durch einen etwas schlechteren akustischen Gleiszustand oder akustisch schlechtere Personenzüge in 2020 verursacht sein kann.

GÖPPINGEN

Mit einem Mittelungspegel von etwa 68 dB(A) konnte an der Messstation Göppingen der drittniedrigste Mittelungspegel ermittelt werden, eine Minderung von 1,4 dB(A) zum Vorjahr. Im Jahr 2020 wurden 74,4 Prozent (plus 10 Prozentpunkte) der verkehrenden Güterwagen als lärmarm gemessen. Zudem verkehrten die Güterzüge im Mittel langsamer als im Vorjahr. Neben Elmshorn passieren die Station in Göppingen die meisten Personenzüge, so dass hier auch diese einen Einfluss auf den Mittelungspegel haben. Die Vorbeifahrtexpositionspegel der Personenzüge gingen in 2020 ebenfalls leicht zurück. Dies könnte auch durch die etwas höheren Abklingraten der Gleise verursacht sein.

EMMENDINGEN

Mit einer Reduktion des Mittelungspegels um etwa 3,4 dB(A) zum Jahr 2019 wurde an der Messstation Emmendingen die zweithöchste Minderung erzielt. Dabei wurde in Emmendingen der mit Abstand höchste Anteil an lärmarmen Güterwagen registriert. Der Jahresmittelwert lag an der Messstation bei etwa 90 Prozent und konnte zu 2019 um 19 Prozentpunkte gesteigert werden. Der hohe Anteil an lärmarmen Güterwagen lässt sich auch mit dem seit 1.1.2020 geltenden Verbot lauter Güterwagen in der Schweiz in Verbindung bringen, da die Messstation sich auf einer Zufahrtsstrecke zur Schweiz befindet. Die Vorbeifahrtpegel auf Gleis 1 gingen besonders deutlich zurück, während die Minderung auf Gleis 2 nicht so stark ausfiel.

6.3 Akustische Eigenschaften der Gleise

6.3.1 Schienenrauheit

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

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

Für eine bessere Übersicht und Vergleichbarkeit sind die Rauheits-Einzahlwerte L_{CA} in dB für die Bezugs-Geschwindigkeit 80 km/h angegeben. Die Bestimmung der Rauheits-Einzahlwerte erfolgte entsprechend „*Deliverable 12 part 1 of the HARMONOISE project*“ [5]. Je kleiner der Rauheits-Einzahlwert, desto kleiner ist die akustische Rauheit der Schienenoberfläche. Die Unterschiede der Rauheitseinzahlwerte können als Schätzwerte 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 bestimmt.

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

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

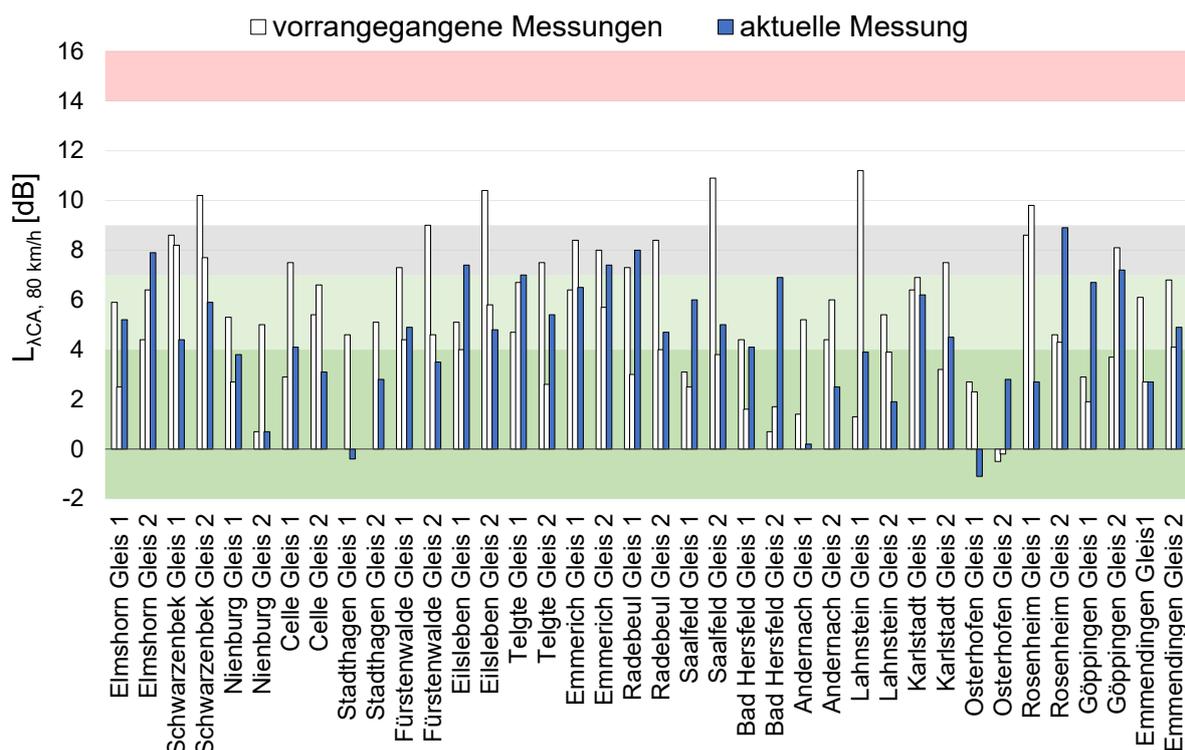


Abbildung 10: Rauheits-Einzahlwerte L_{ACA} in dB für alle Messquerschnitte aller Messstandorte mit der Bezugsgeschwindigkeit 80 km/h. Die grauen Balken repräsentieren die Ergebnisse der Initialmessung und die blauen Balken zeigen die Ergebnisse der aktuellen Messung (Messzeitraum Ende September 2020 bis Dezember 2020).

Die Rauheits-Einzahlwerte der jüngsten Messung variieren signifikant zwischen -1 und 9 dB.

An fast allen 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.

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

Rauheits-Einzahlwerte für die Bezugsgeschwindigkeit 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 hat die Gleisabklingrate auch bei Rädern mit rauen Radlaufflächen einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf die Schallemission.

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.)

Die Abklingrate ist an den Messstandorten sehr unterschiedlich. Referenzgleiseigenschaften werden an vielen Standorten zumindest annähernd erreicht. Auffällig sind Standorte mit sehr geringen Abklingraten wie Schwarzenbek (Gleis 1), Stadthagen (Gleis 1), Saalfeld (Gleis 2), Radebeul, Göppingen (Gleis 2), Osterhofen, Emmendingen und Telgte, an denen von einer verstärkten Schallabstrahlung durch das Gleis auszugehen ist.

Im Vergleich zum Vorjahr haben sich die Abklingraten in der Regel nicht signifikant verändert.

Detaillierte Darstellungen der Abklingrate für alle Messstandorte finden sich in Anhang 5.

6.4 Akustische Eigenschaften des Rollmaterials

6.4.1 Vorbeifahrtexpositionspegel der Züge

Der *TEL80* gibt den auf 80 km/h normierten Vorbeifahrtexpositionspegel einer Zugvorbeifahrt an. Dieser ist größtenteils unabhängig von der Länge und der Geschwindigkeit eines Zuges. Bei gleichen akustischen Ausbreitungsbedingungen gehen Unterschiede in den Werten auf unterschiedliche Eigenschaften des Rollmaterials (v. a. Rauheit der Räder) und des Gleises (Rauheit und Abklingrate) zurück.

In Abbildung 11 wird die Häufigkeitsverteilung aller im Jahre 2020 gemessenen Vorbeifahrtexpositionspegel für die Bezugsgeschwindigkeit 80 km/h, getrennt nach Güter- und Personenzügen im Vergleich zum Vorjahr dargestellt.

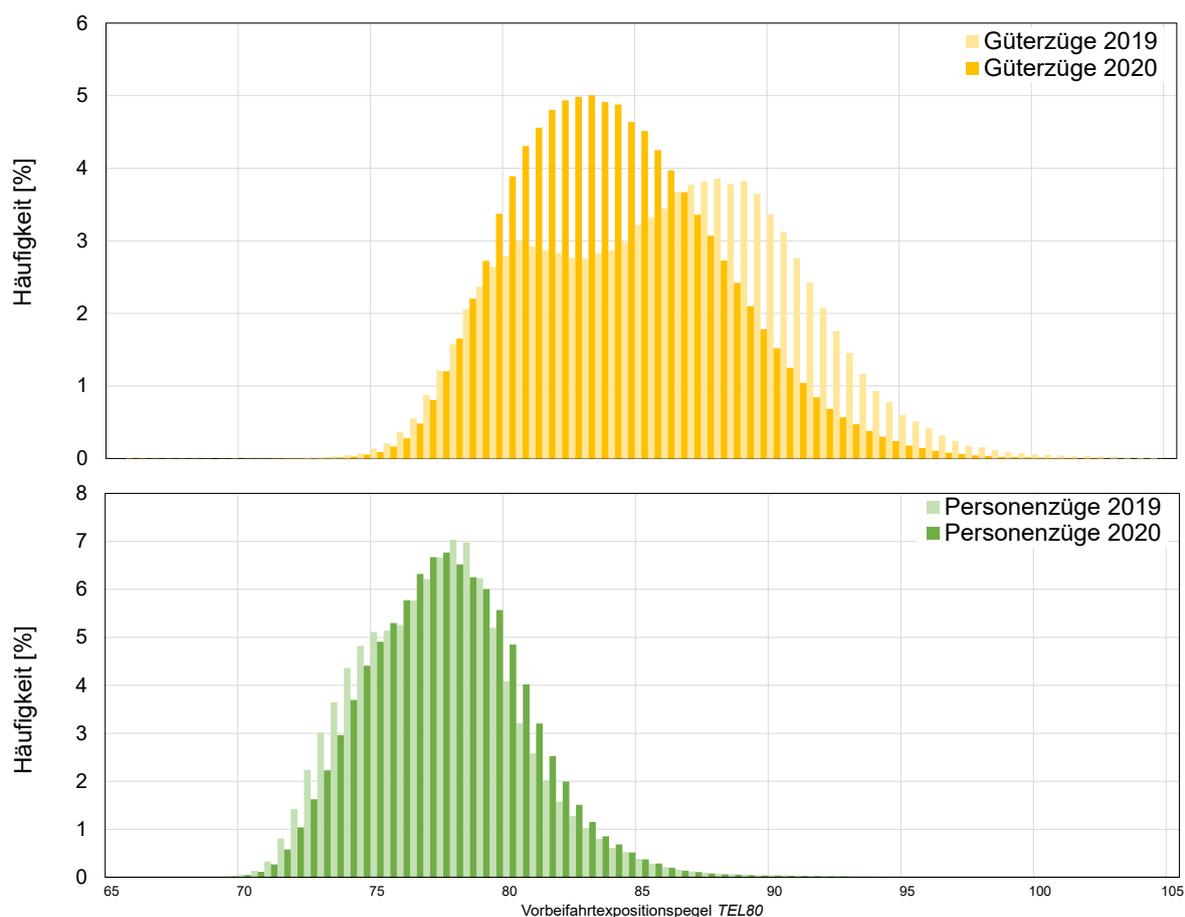


Abbildung 11: Häufigkeitsverteilung des Vorbeifahrtexpositionspegel für 80 km/h (*TEL80*). In der oberen Häufigkeitsverteilung werden die Güterzüge aus dem Jahr 2019 (hellgelb) mit dem Jahre 2020 (gelb) verglichen. In der unteren Häufigkeitsverteilung werde die Personenzüge aus dem Jahr 2019 (hellgrün) und 2020 (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 4-5 dB(A) niedriger als das Maximum der Verteilung der Güterzüge.

Der Vergleich der Jahre 2019 und 2020 zeigt für die Güterzugvorbeifahrten, dass sich das Maximum der Verteilung um über 5 dB(A) in Richtung leiserer Vorbeifahrtexpositionspegel 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 2020 nicht mehr erkennen. Stattdessen ist der lautere Gipfel verschwunden. Dies ist auf die Umrüstung der Güterwagen auf Verbundstoff-Bremssohlen sowie die Modernisierung des Rollmaterials zurückzuführen.

Der Vergleich der Vorbeifahrtexpositionspegel der Personenzüge zwischen 2019 und 2020 lässt erkennen, dass sich die akustischen Eigenschaften in der Fläche nicht wesentlich geändert haben. Ob die leichte Verschiebung der Verteilung um etwa ein halbes dB(A) einen Trend anzeigt, oder dies auf andere Ursachen wie z. B. saisonale Effekte³ zurückzuführen ist, bleibt in der Zukunft abzuwarten.

In Abbildung 12 ist der mittlere längengewichtete TEL_{80} der Güterzüge für jede Station, getrennt für die Jahre 2019 und 2020 sowie für jeweils beide Gleise dargestellt.

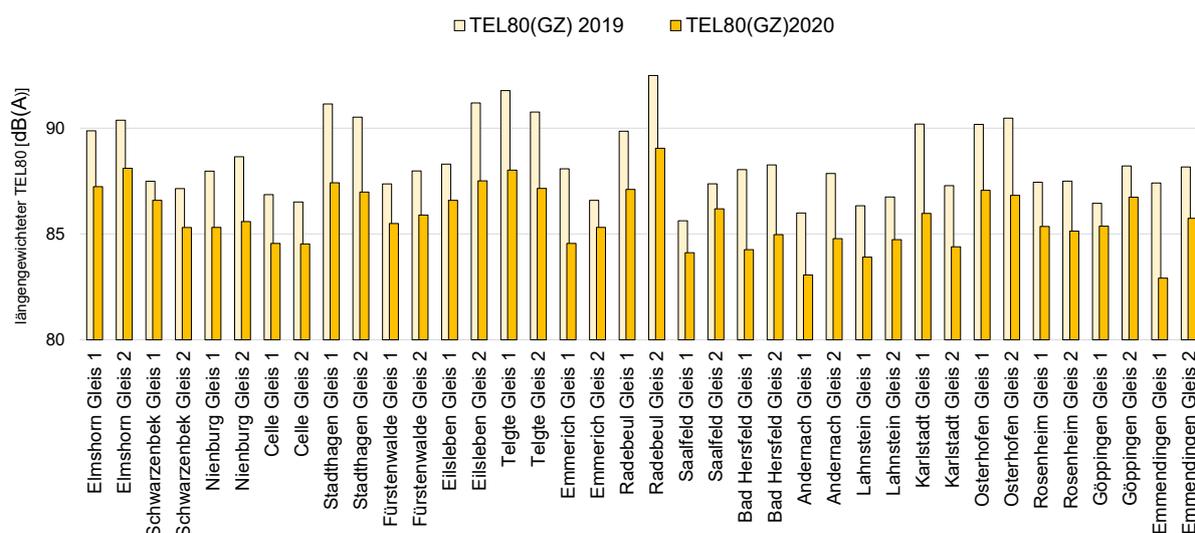


Abbildung 12: mittlerer längengewichteter Vorbeifahrtsexpositionspegel TEL_{80} an allen Stationen für Güterzüge in den Jahren 2019 (hellgelb) und 2020 (gelb).

Der längengewichtete TEL_{80} der Güterzüge reicht von 82,5 dB(A) in Emmendingen auf Gleis 1 bis zu 89,0 dB(A) in Radebeul auf Gleis 2. Die Werte haben sich im Mittel um etwa 2,5 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.

In der folgenden Abbildung 13 ist der mittlere längengewichtete TEL_{80} der Personenzüge für jede Station, getrennt für die Jahre 2019 und 2020 und für jeweils beide Gleise dargestellt.

³ 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 gegen Ende des Jahres 2019 ab. Saisonale Einflüsse werden somit in den Jahren unterschiedlich gewichtet.

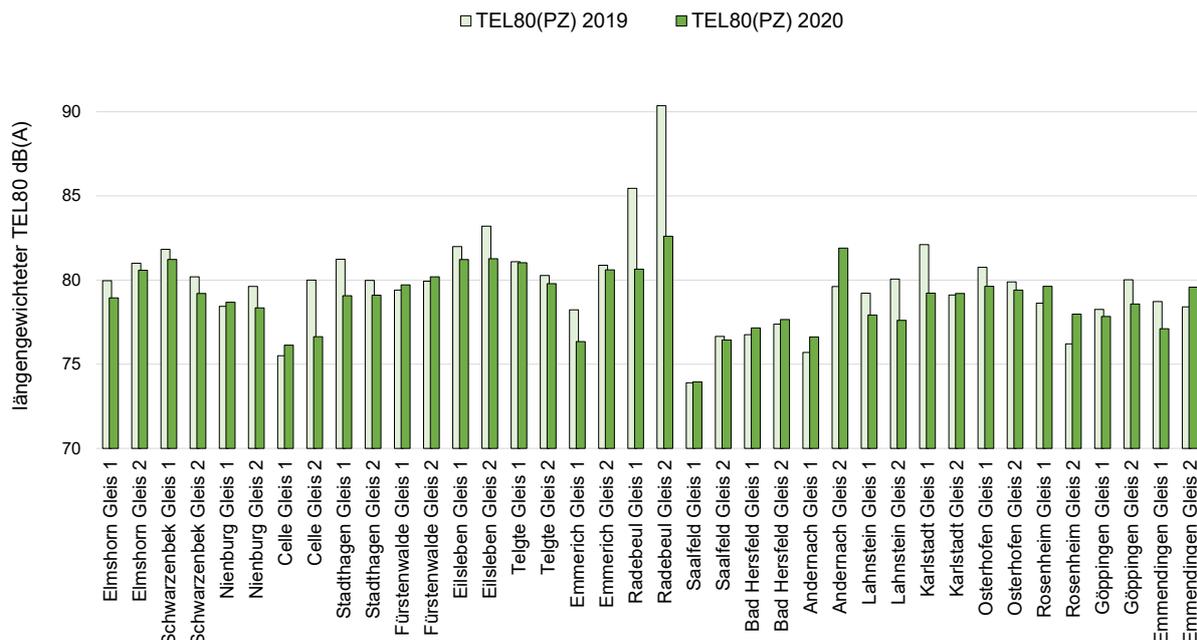


Abbildung 13: mittlerer längengewichteter Vorbeifahrtsexpositionspegel TEL_{80} an allen Stationen für Personenzüge in den Jahren 2019 (hellgrün) und 2020 (grün).

Die Werte der längengewichteten TEL_{80} für Personenzüge reichen zwischen 73,9 dB(A) in Saalfeld auf Gleis 1 bis 82,6 dB(A) in Radebeul auf Gleis 2. In Radebeul auf Gleis 2 konnte der mittlere längengewichtete TEL_{80} um 8 dB(A) reduziert werden. Der Wert des Jahres 2019 ist 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 Vorbeifahrtsexpositionspegel

Zusätzlich zum Vorbeifahrtsexpositionspegel 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 Vorbeifahrtsexpositionspegel sind oft einzelne Wagen mit akustisch schlechten Rädern für die hohen Maximalpegel verantwortlich.

Um zu dokumentieren, inwieweit sich der bei einer Zugvorbeifahrt auftretende maximale Schalldruckpegel L_{Amax} von dem mittleren Vorbeifahrtsexpositionspegel TEL unterscheidet, wurde für alle gültigen, registrierten Zugvorbeifahrten die Differenz aus den beiden Schallpegeln gebildet. Für 2020 (Abbildung 14) sind die Differenzen in einem Histogramm getrennt für Güter- und Personenzüge dargestellt.

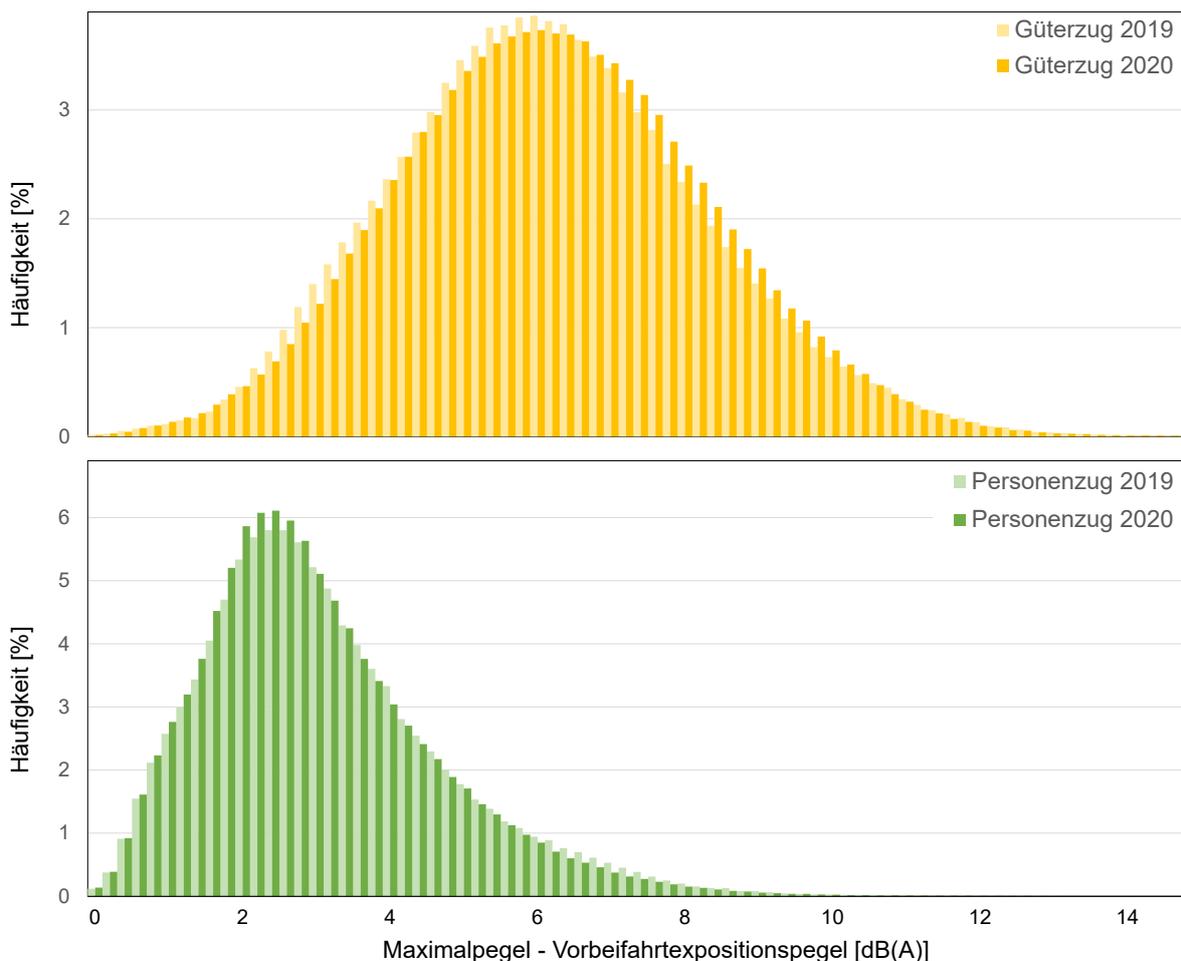


Abbildung 14: Die Häufigkeitsverteilungen stellen die Differenz zwischen Maximal- und Vorbeifahrtsexpositionspegel dar. Im oberen Teil der Abbildung sind die Häufigkeitsverteilungen für Güterzüge aus dem Jahr 2019 (hellgelb) mit dem Jahre 2020 (gelb) dargestellt. Im unteren Teil sind die Häufigkeitsverteilungen der Personenzüge aus dem Jahr 2019 (hellgrün) und 2020 (grün) gegenüber gestellt.

Abbildung 14 zeigt, wie häufig es im Jahr 2020 vorkam, dass der Maximalpegel den mittleren Vorbeifahrtsexpositionspegel 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 aus dem Jahresbericht 2019 hat sich keine signifikante Veränderung in der Differenz zwischen Maximal- und Vorbeifahrtsexpositionspegel ergeben. Während dies für Personenzüge so zu erwarten war, ist dies gerade für die Güterzüge ein interessantes Ergebnis, da durch die fortschreitende Umrüstung insgesamt weniger laute Güterwagen in den Zügen verkehrten. Die Messungen ergeben, dass mit den sinkenden Vorbeifahrtsexpositionspegeln auch die Maximalpegel der Züge gesunken sind.

6.4.3 Schallemission einzelner Wagen

Abbildung 15 zeigt für Personenwagen die Häufigkeitsverteilung der Schallpegel $L_{pAeq,Tp,80}$ umgerechnet auf 80 km/h 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 verwendet⁴. 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.

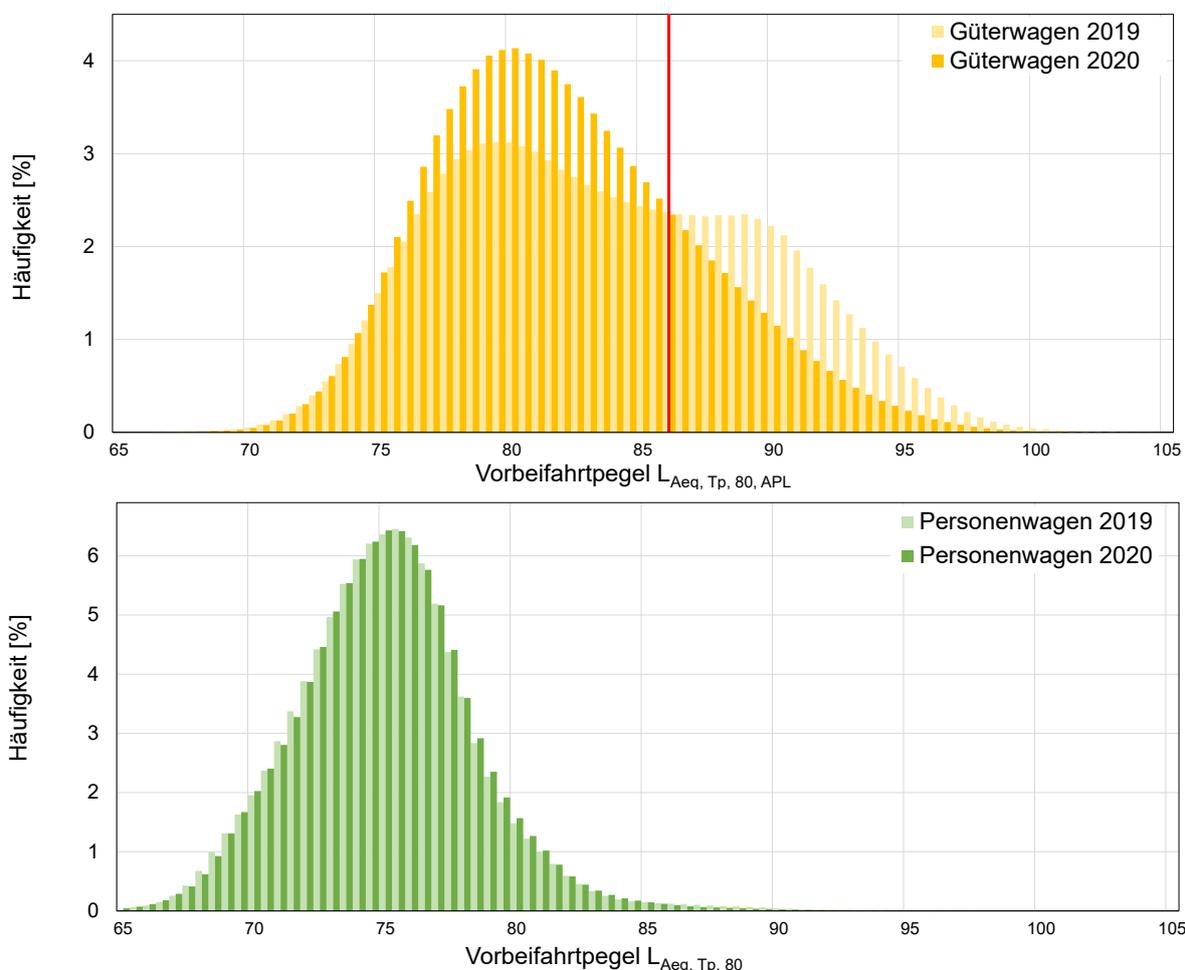


Abbildung 15: Schallpegelverteilung aller Güterwagen korrigiert auf ihren auf Achsen pro Länge bezogenen Schallpegel $L_{pAeq,Tp,APL,80}$ für 80 km/h für die Jahre 2020 (gelb) und 2019 (hellgelb) und der aller Personenwagen für den Schallpegel $L_{pAeq,Tp,80}$ umgerechnet auf 80 km/h für die Jahre 2020 (grün) und 2019 (hellgrün). Die rote Linie bei 86 dB(A) dient der Trennung lauter von lärmarmen Güterwagen. Im Jahr 2020 wurden rund 79 Prozent aller Güterwagen als lärmarm gemessen.

Im Vergleich der Jahre 2019 und 2020 lässt sich für die Personenwagen erkennen, dass sich die akustischen Eigenschaften der Fahrzeuge nicht wesentlich geändert haben.

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 das Jahr 2020 nicht mehr erkennen. Stattdessen hat die Verteilung nun ein einziges

⁴ 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.

Maximum bei etwa 80 dB(A), welches den umgerüsteten Güterwagen zugeordnet werden kann. An der langen Flanke hin zu lautereren Werten kann man jedoch erkennen, dass weiterhin auch Graugussgebremste Güterwagen verkehrten.

Für Neuzulassungen von Güterwagen nach TSI Lärm (2014) [1] liegt der bei Abnahmemessungen einzuhalten Grenzwert bei 83 dB(A) – und wird bei den Abnahmemessungen durch die Verwendung von Verbundstoff-Bremssohlen bzw. Scheibenbremsen eingehalten. Bei Messungen im realen Betrieb können Güterwagen mit Verbundstoffbremssohlen diesen Wert jedoch übersteigen, ohne dabei den Vorgaben der TSI Lärm zu widersprechen, z. B. wenn der akustische Gleiszustand nicht den hohen Vorgaben der Abnahmemessung entspricht. Da mit Grauguss-Bremssohlen ausgestattete Güterwagen grundsätzlich einen Vorbeifahrtpegel von mehr als 86 dB(A) aufweisen, werden Güterwagen mit einem Vorbeifahrtpegel von 86 dB(A) oder kleiner als lärmarm bezeichnet. Die in Abbildung 15 eingezeichnete vertikale Trennlinie bei 86 dB(A) grenzt lärmarme Güterwagen von lautereren Güterwagen ab.

In der Summe können 79 Prozent der im Jahr 2020 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), so dass im Dezember 2020 etwa 86 Prozent der ermittelten Güterwagen als lärmarm detektiert wurden (siehe Abbildung 21).

Nicht lärmarme Güterwagen sind jedoch nicht zwingend mit Grauguss-Bremssohlen ausgestattet. Auch umgerüstete Güterwagen, die in einem akustischen ungünstigen Zustand sind, können diesen Wert überschreiten. Besonders ungünstige akustische Gleiseigenschaften an einzelnen Messstationen verstärken den Effekt. Wie in Kapitel 6.5 erläutert kann für den Dezember 2020 davon ausgegangen werden, dass der Großteil der als nicht lärmarm klassifizierten Güterwagen mit Verbundstoffbremssohlen ausgestattet war.

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 Güterwagen bzw. Personenwagen in Abbildung 16 und Abbildung 17 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 breit und lassen an einigen Orten Doppelverteilungen erkennen. An einigen Messorten liegt das Maximum der Verteilung hin zu geringeren Schalldruckpegeln, was für einen höheren Anteil umgerüsteter Güterwagen an dieser Messstation spricht.

Weiterhin kann auch der Effekt der akustischen Gleisqualität auf die Vorbeifahrtpegel veranschaulicht werden. In Saalfeld sind die Rauheiten beider Gleise etwa gleich, die Abklingraten der Gleise unterscheiden sich jedoch deutlich. Da dies jede Wagnvorbeifahrt etwa gleich beeinflusst, sind die gesamten Verteilungen der Gleise zueinander verschoben.

In Lahnstein hingegen sind die Werte der Abklingraten der beiden Gleise vergleichbar, während sich die Rauheiten deutlich unterscheiden. Dies beeinflusst die lautereren Vorbeifahrten nicht, da für diese die großen Rauheiten der Räder maßgeblich für die Anregung sind. Die Maxima der leiseren Vorbeifahrten fallen hingegen auseinander.

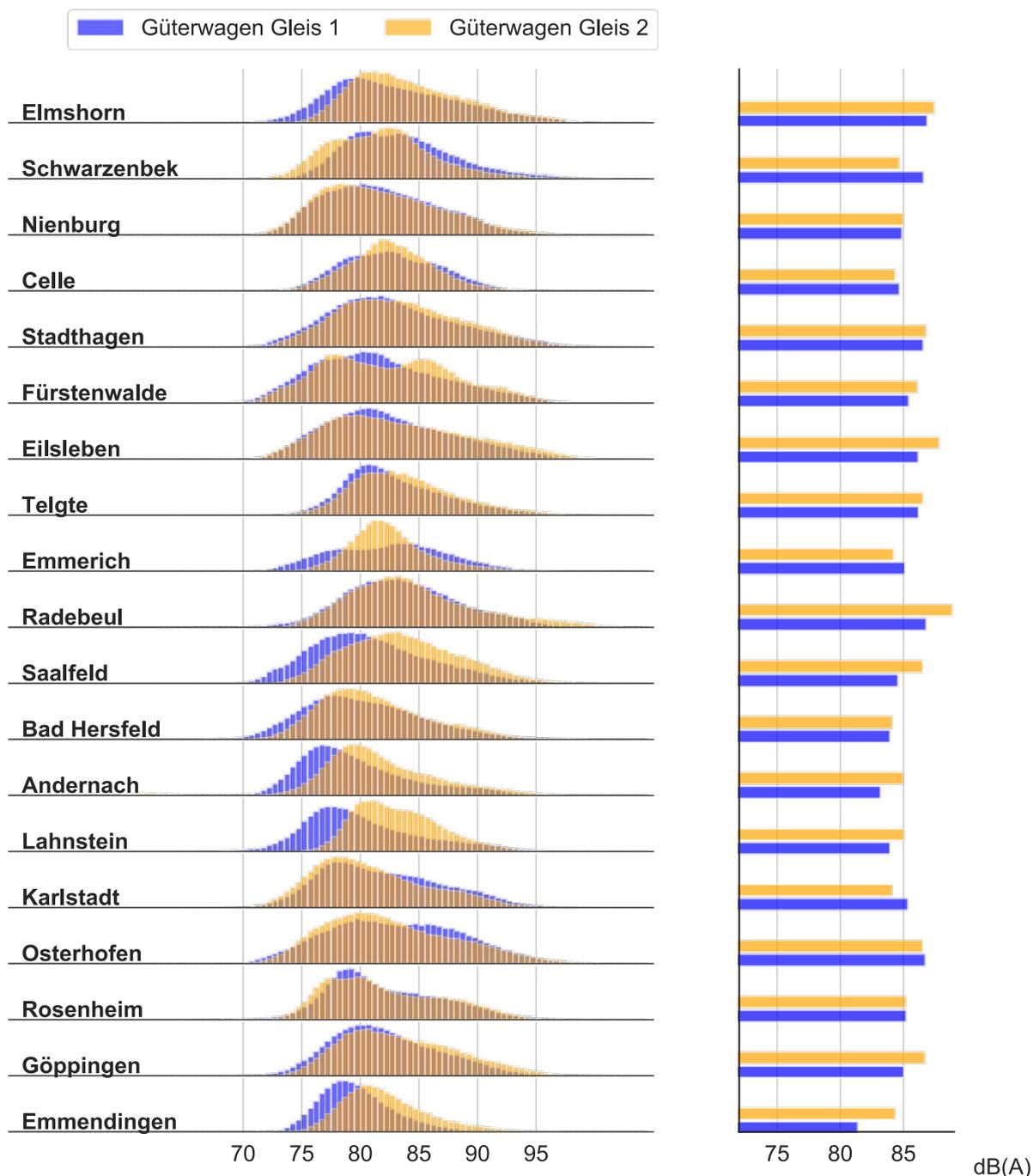


Abbildung 16: Äquivalenter Dauerschalldruckpegel $L_{pAeq,T,APL,80}$ korrigiert auf Achsen pro Länge für Güterwagen mit 80 km/h an allen Stationen und für beide Gleise getrennt dargestellt. Links als Häufigkeitsverteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

Für Personenzugwagen kann, wie bereits anhand Abbildung 17 gezeigt, ein akustisch guter Zustand der Radlaufflächen angenommen werden. Die Unterschiede in den Schallemissionen werden also durch den Zustand der Gleise stark beeinflusst. Zu sehen ist dies beispielsweise an der Messstation Emmerich, wo Gleis 1 im Abschnitt der Messstelle insgesamt in einem deutlich besseren Zustand ist als das andere. Die Verteilungen für Schallpegelemissionen von Personenzugwagen sind an der Messstation Emmerich dadurch deutlich zueinander verschoben.

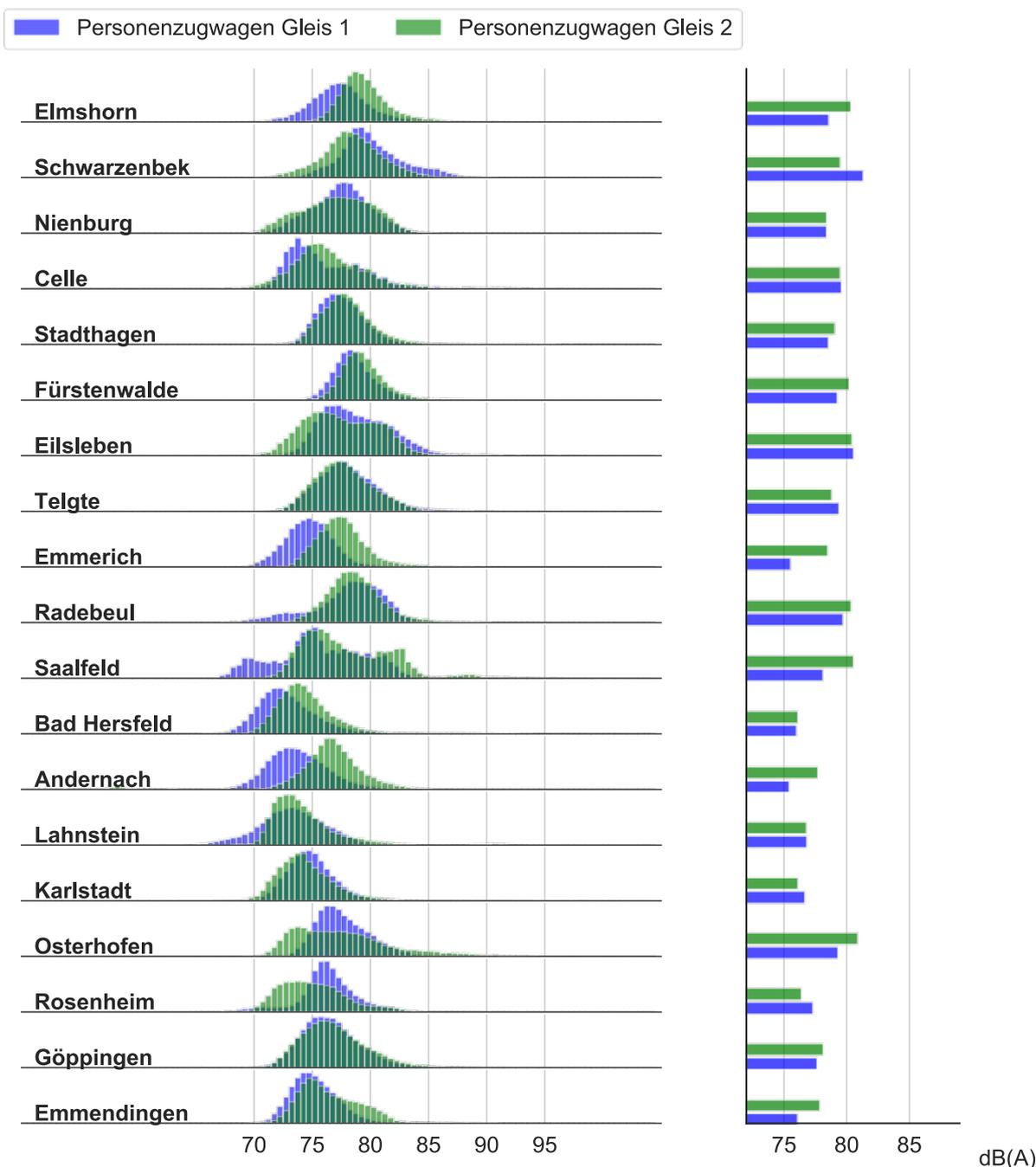


Abbildung 17: Äquivalenter Dauerschalldruckpegel $L_{pAeq,T,80}$ bezogen auf 80 km/h an allen Stationen und für beide Gleise getrennt dargestellt. Links als Häufigkeitsverteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

Der Trennwert von 86 dB(A) auf die Achsen pro Länge bezogenen Schallpegel $L_{pAeq,Tp,APL,80}$ bei 80 km/h wird auch verwendet um an den einzelnen Messstandorten den Anteil lärmarmen Güterwagen zu bestimmen. Das Ergebnis dieser Analyse ist in Abbildung 18 im Vergleich zum Jahr 2019 dargestellt. Güterwagen ungültiger Zugfahrten (z. B. wenn es zu Zugbegegnungen kam) flossen nicht mit ein. Auch wurden keine Güterwagen mit einer Geschwindigkeit kleiner 50 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 ein bundesweites Mittel für das Jahr 2020 von 79 Prozent.

Wie Abbildung 18 zu entnehmen, ist der Anteil lärmarmen Güterwagen an allen Messstationen gewachsen. Die unterschiedlichen akustischen Gleiseigenschaften beeinflussen die Ergebnisse der Stationen.

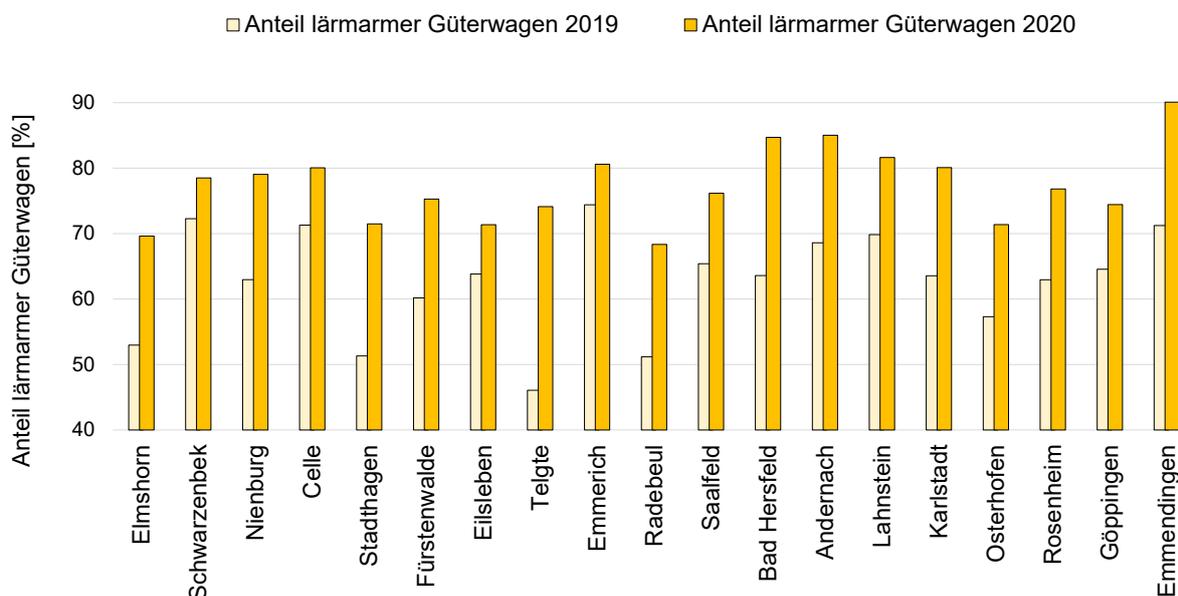


Abbildung 18: Anteil der als lärmarm registrierten Güterwagen an den einzelnen Messstationen im Jahr 2019.

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 19 ist dafür der auf 80 km/h und auf die Achsen pro Länge bezogene Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq, Tp, APL, 80}$ für jeweils alle registrierten Güterwagen eines Monats als Häufigkeitsverteilung und energetischer Mittelungspegel dargestellt. Es wurden nur Fahrten mit mehr als 50 km/h ausgewertet.

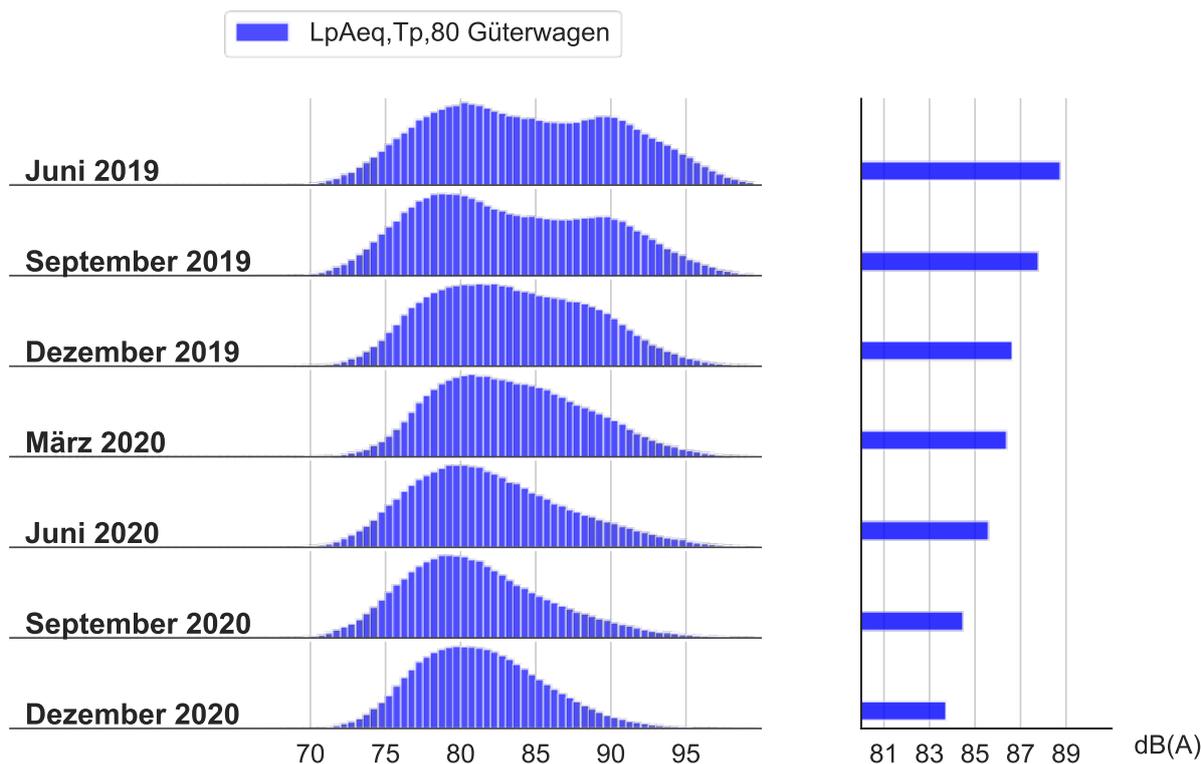


Abbildung 19: Zeitliche Entwicklung des auf 80 km/h bezogenen Vorbeifahrtpegel für Güterwagen, links als Häufigkeitsverteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

Sowohl in den Häufigkeitsverteilungen in Abbildung 19 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 die 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 20). Hier wandert der rechte (lautere) Gipfel der Verteilung zu niedrigeren Schallpegeln hin. Dabei findet die Verschiebung hin zu kleineren Pegel 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.

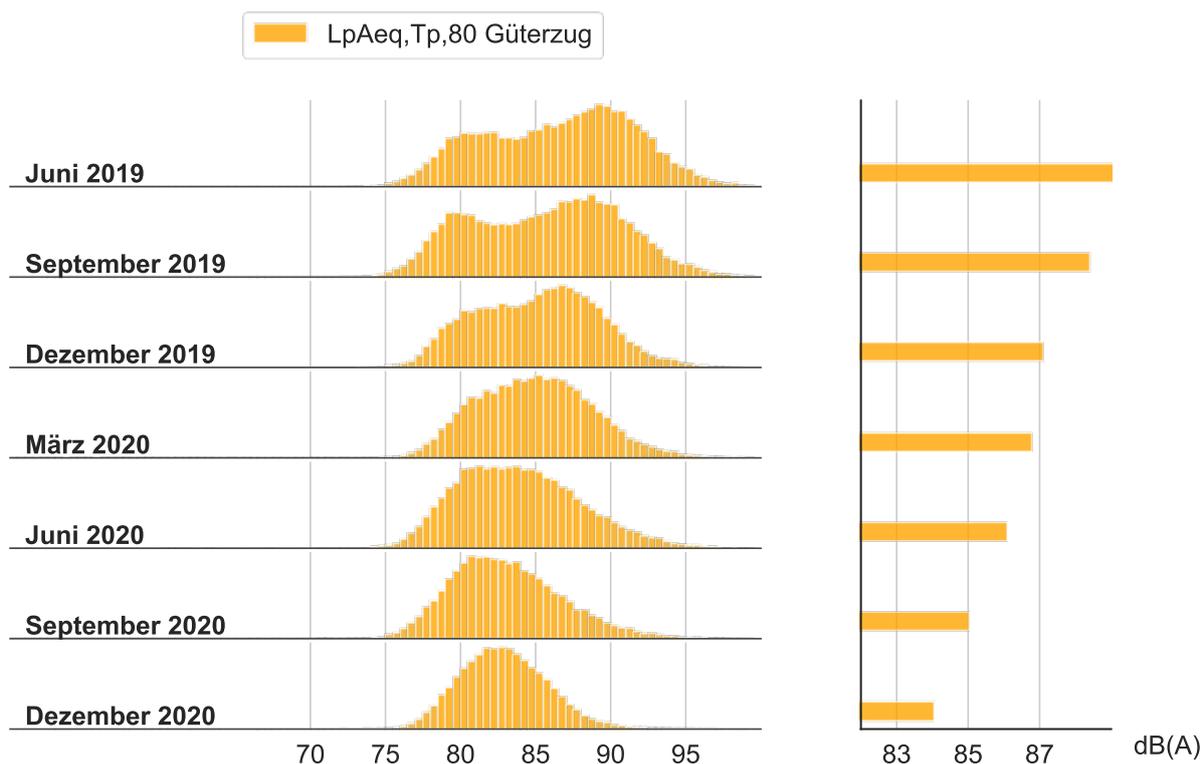


Abbildung 20: Zeitliche Entwicklung des auf 80 km/h bezogenen Vorbeifahrtpegel für Güterzüge, links als Verteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

Aus Abbildung 19 wurde der Anteil der lärmarmen Güterwagen mit einem Vorbeifahrtpegel von unter 86 dB(A) extrahiert und in Abbildung 21 dargestellt. Während im Mai 2019 nur 57 Prozent der gemessenen Güterwagen als lärmarm klassifiziert werden konnten, waren es im Dezember 2020 knapp 86 Prozent.

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 nicht zwingend mit Grauguss-Bremssohlen ausgestattet. Auch umgerüstete Güterwagen, die in einem akustischen ungünstigen Zustand sind, können diesen Wert überschreiten. Ungünstige akustische Gleiseigenschaften an einzelnen Messstationen verstärken den Effekt. Die Häufigkeitsverteilungen in Abbildung 19 zeigen, wie im Rahmen der fortschreitenden Umrüstung der Gipfel bei etwa 90 dB(A), der den Grauguss-gebremsten Güterwagen zugeordnet werden kann, nahezu verschwindet. Daher kann davon ausgegangen werden, dass im Dezember ein großer Anteil der nicht lärmarmen Fahrzeuge von Güterwagen mit Verbundstoffbremse herrührt. Dafür spricht auch, dass der Vorbeifahrtpegel vieler nicht lärmarmen Güterwagen den Wert von 86 dB(A) nur leicht überschreitet.

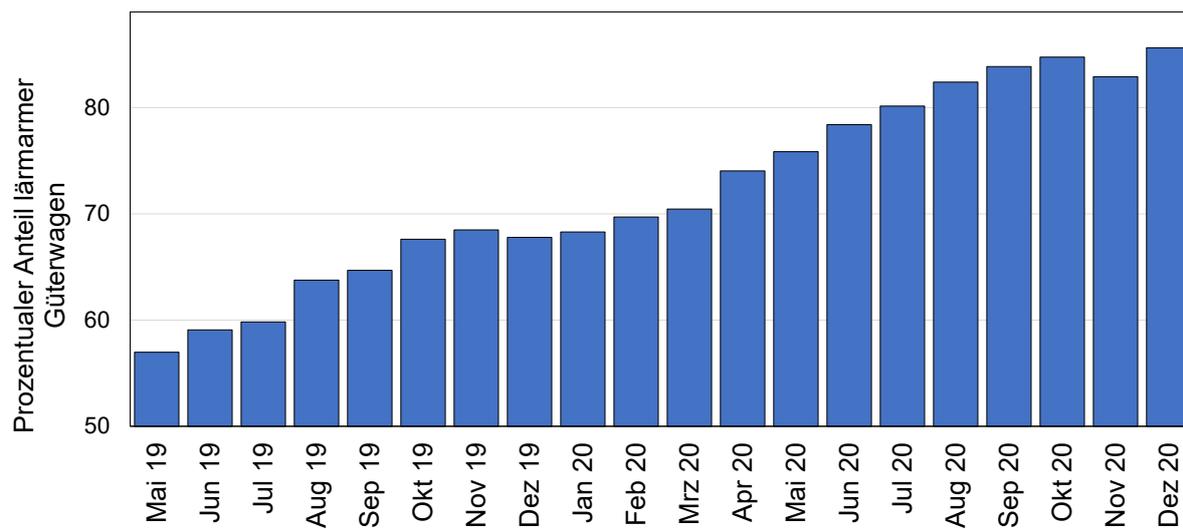


Abbildung 21: Prozentualer Anteil als lärmarm klassifizierter Güterwagen mit einem Vorbeifahrtpegel von unter 86 dB(A) dargestellt über die Monate seit im Betriebnahme Mai 2019 bis Dezember 2020.

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.

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.

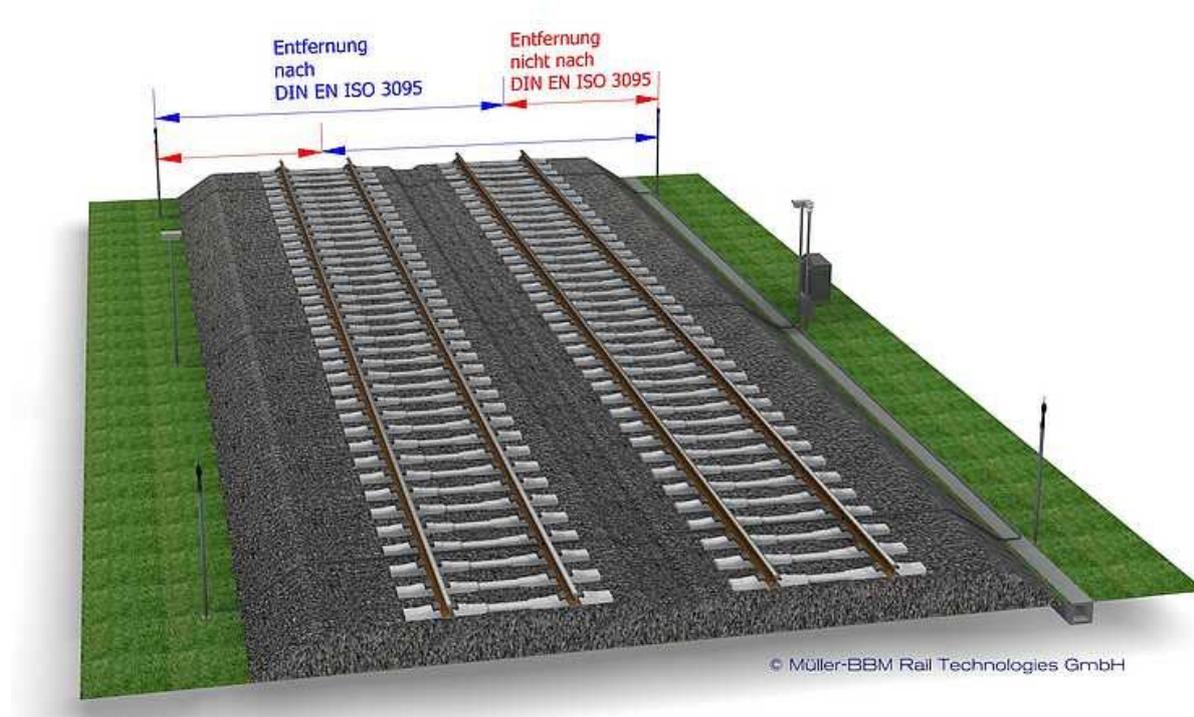


Abbildung 22: Messaufbau (schematisch).

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 Starkregen 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: $T < 6:00:00 \mid \mid T \geq 22:00:00$

$A1 = 10 \cdot \log(24 \cdot 3600)$ 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 2: Bestimmung der Unsicherheiten auf den $TEL/L_{pAeq,TP}$.

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

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

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

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 3: Bestimmung der Unsicherheiten auf den Monatsmittelungspegel L_m .

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

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

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

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.

3.4 Besondere Vorkommnisse

Bei der Bestimmung der Geschwindigkeit der Züge sind für einige Messstationen im Nachgang zu Instandhaltungsarbeiten an der Gleissensorik kleine systematische Fehler aufgetreten. Die Geschwindigkeit wurde dabei um maximal 7 Prozent überschätzt. Für den vorliegenden Bericht

wurde der Fehler korrigiert. Bei geschwindigkeitsabhängigen Werten dieses Berichts kann es daher zu leichten Abweichungen im Vergleich zum Jahresbericht 2019 kommen.

4 Anhang: Kennzahlen 2020

Nachfolgend sind eine Reihe der graphisch dargestellten Kennzahlen tabellarisch aufgeführt.

Tabelle 4: Mittelungspegel und mittlere Zugkennzahlen für den Zeitraum von 24h.

Standort	Zeitraum	Mittelungspegel 2020	Mittlere Anzahl Züge	Anzahl Güterzüge	Mittlere Achsanzahl	Mittlere Zuglänge	Mittlere Geschwindigkeit
Elmshorn	24h	71,4	287	54	33	201	128
Schwarzenbek	24h	71,1	165	57	63	341	121
Celle	24h	70,4	170	93	80	369	101
Nienburg	24h	73,0	206	121	75	409	115
Stadthagen	24h	73,4	258	98	58	306	125
Eilsleben	24h	72,2	178	101	68	340	96
Emmerich	24h	68,0	117	58	75	355	109
Andernach	24h	69,0	197	71	58	296	103
Lahnstein	24h	69,5	155	100	77	401	92
Bad Hersfeld	24h	72,6	273	162	67	382	109
Saalfeld	24h	65,2	106	32	32	170	109
Radebeul	24h	70,4	96	46	66	346	101
Karlstadt	24h	73,2	254	163	67	383	95
Göppingen	24h	68,1	211	41	38	226	102
Osterhofen	24h	72,1	145	82	67	352	110
Emmendingen	24h	70,4	241	123	63	346	113
Rosenheim	24h	71,2	219	87	49	305	118
Fürstenwalde	24h	69,7	137	50	55	291	118
Telgte	24h	71,1	161	47	51	297	144

Tabelle 5: 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	70,7	55	15	38	220	125
	Tag	71,7	233	39	32	197	129
Schwarzenbek	Nacht	71,1	38	24	85	430	105
	Tag	71,1	127	33	56	314	125
Celle	Nacht	71,1	48	37	104	470	96
	Tag	69,9	122	57	70	329	104
Nienburg	Nacht	73,6	66	50	89	476	106
	Tag	72,6	140	70	68	377	120
Stadthagen	Nacht	73,8	67	43	77	374	107
	Tag	73,3	191	56	51	282	132
Eilsleben	Nacht	72,8	56	39	82	400	91
	Tag	71,9	122	61	61	312	99
Emmerich	Nacht	68,5	32	21	92	437	102
	Tag	67,6	85	37	68	325	112
Andernach	Nacht	69,3	52	31	76	372	95
	Tag	68,8	145	40	51	268	106
Lahnstein	Nacht	70,8	52	44	98	505	93
	Tag	68,8	103	56	66	349	91
Bad Hersfeld	Nacht	73,6	93	68	78	438	102
	Tag	72,0	180	94	62	353	112
Saalfeld	Nacht	66,2	25	14	49	239	104
	Tag	64,6	82	18	27	149	111
Radebeul	Nacht	69,9	21	14	86	430	93
	Tag	70,6	75	31	61	322	103
Karlstadt	Nacht	73,5	74	56	80	444	93
	Tag	73,1	180	107	62	359	96
Göppingen	Nacht	67,8	44	17	47	263	92
	Tag	68,2	167	24	35	216	105
Osterhofen	Nacht	71,8	38	27	80	408	103
	Tag	72,2	107	55	62	333	112
Emmendingen	Nacht	70,0	58	40	75	402	102
	Tag	70,6	184	82	59	328	116
Rosenheim	Nacht	71,0	45	29	64	363	108
	Tag	71,3	175	58	45	290	120
Fürstenwalde	Nacht	68,5	28	15	71	348	105
	Tag	70,1	109	35	52	277	121
Telgte	Nacht	71,4	41	22	69	381	124
	Tag	70,9	120	25	45	268	151

Tabelle 6: 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	$L_{A_{fmax}}$	TEL80
Elmshorn	Nacht	64,3	87,0	87,3	91,0	80,5
	Tag	68,4	86,5	86,8	90,6	80,0
Schwarzenbek	Nacht	61,8	87,2	87,3	91,4	81,2
	Tag	67,2	87,1	87,3	91,4	80,2
Celle	Nacht	52,7	81,0	81,4	83,4	77,3
	Tag	57,3	80,4	80,8	83,3	76,2
Nienburg	Nacht	60,1	85,6	85,8	89,8	78,6
	Tag	63,5	85,7	85,9	90,0	78,3
Stadthagen	Nacht	61,8	86,3	86,6	88,8	79,8
	Tag	68,2	87,4	87,7	91,0	79,0
Eilsleben	Nacht	59,1	83,5	83,7	88,0	82,0
	Tag	60,9	83,3	83,6	88,5	80,5
Emmerich	Nacht	55,3	83,1	83,4	86,1	79,6
	Tag	58,4	82,9	83,2	85,7	78,0
Andernach	Nacht	58,2	81,2	82,2	87,2	80,8
	Tag	63,1	82,2	83,0	87,7	79,9
Lahnstein	Nacht	54,2	81,6	81,7	83,4	79,8
	Tag	53,6	77,6	77,9	79,6	76,0
Bad Hersfeld	Nacht	60,4	83,9	84,2	89,6	79,1
	Tag	60,3	81,9	82,3	86,8	76,1
Saalfeld	Nacht	50,1	80,1	80,5	82,6	76,1
	Tag	54,6	79,7	80,2	82,5	75,4
Radebeul	Nacht	57,5	87,5	87,6	90,3	83,9
	Tag	61,2	85,6	85,8	88,9	81,4
Karlstadt	Nacht	58,9	82,7	83,0	86,7	80,1
	Tag	58,8	81,7	82,1	84,2	78,9
Göppingen	Nacht	58,6	80,9	81,2	85,5	78,1
	Tag	64,3	82,5	82,7	87,6	78,3
Osterhofen	Nacht	59,2	85,6	85,9	90,1	80,9
	Tag	60,4	84,6	85,0	88,4	79,0
Emmendingen	Nacht	59,9	83,6	83,8	87,7	78,7
	Tag	64,4	83,9	84,1	87,7	77,8
Rosenheim	Nacht	59,4	85,3	85,4	88,4	80,3
	Tag	65,1	84,5	84,7	88,1	78,7
Fürstenwalde	Nacht	57,7	84,7	85,0	89,5	79,9
	Tag	64,0	86,5	86,7	91,2	79,9
Telgte	Nacht	63,0	88,2	88,5	91,7	80,4
	Tag	67,8	88,9	89,2	92,7	79,3

Tabelle 7: 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	69,5	89,7	89,7	95,3	88,5
	Tag	68,9	88,5	88,6	94,5	87,6
Schwarzenbek	Nacht	70,3	87,5	87,6	94,2	86,1
	Tag	68,6	87,3	87,3	93,9	85,9
Celle	Nacht	71,0	86,2	86,3	92,8	84,4
	Tag	69,6	86,0	86,1	92,7	84,5
Nienburg	Nacht	73,4	87,6	87,7	94,1	85,3
	Tag	72,0	87,9	87,9	94,4	85,3
Stadthagen	Nacht	73,4	88,6	88,6	94,9	87,0
	Tag	71,5	88,8	88,9	95,0	87,4
Eilsleben	Nacht	72,5	87,9	88,0	94,2	86,7
	Tag	71,4	88,2	88,3	94,3	86,7
Emmerich	Nacht	68,2	85,8	85,9	92,7	84,3
	Tag	66,9	85,2	85,3	92,3	84,0
Andernach	Nacht	68,9	85,2	85,3	92,4	83,7
	Tag	67,4	85,8	85,8	92,6	84,2
Lahnstein	Nacht	70,6	85,4	85,4	92,1	83,4
	Tag	68,6	85,3	85,3	91,9	83,7
Bad Hersfeld	Nacht	73,3	86,2	86,4	93,5	84,3
	Tag	71,6	86,3	86,4	93,4	84,2
Saalfeld	Nacht	66,1	87,7	87,8	94,2	85,6
	Tag	64,1	87,1	87,2	93,8	85,3
Radebeul	Nacht	69,4	88,6	88,6	95,0	88,1
	Tag	69,8	88,5	88,6	95,0	88,1
Karlstadt	Nacht	73,3	87,0	87,0	94,1	85,4
	Tag	72,8	86,6	86,7	94,0	85,2
Göppingen	Nacht	67,1	86,0	86,0	93,0	86,2
	Tag	65,8	86,2	86,2	93,1	86,1
Osterhofen	Nacht	71,5	88,7	88,8	95,0	86,9
	Tag	71,9	88,9	89,0	95,4	87,0
Emmendingen	Nacht	69,4	85,0	85,1	91,1	84,1
	Tag	69,2	84,9	85,0	91,1	84,2
Rosenheim	Nacht	70,6	88,0	88,0	94,7	85,6
	Tag	70,1	87,4	87,4	94,3	85,0
Fürstenwalde	Nacht	68,1	87,6	87,6	94,3	85,6
	Tag	68,9	87,7	87,7	94,6	85,6
Telgte	Nacht	70,6	88,7	88,7	95,5	86,5
	Tag	67,8	88,5	88,6	94,9	86,9

Tabelle 8: Mittelungspegel, mittlere Vorbeifahrtpegel/ Vorbeifahrtexpositionspegel und mittlerer Vorbeifahrtexpositionspegel bezogen auf 80 km/h, sowie Zugkennzahlen für Personen- (PZ) und Güterzüge (GZ) an allen Stationen.

Standort	Tage in Betrieb	Zug-kategorie	L_m	L_{Aeq}	TEL	L_{max}	TEL80	Züge pro Tag	Achsen pro Zug	Mittlere Zuglänge	mittlere Geschwindigkeit
Elmshorn	366	PZ	67,4	86,6	86,9	90,7	80,1	222	23	160	139
		GZ	69,1	88,9	89,0	94,7	87,9	54	77	397	90
Schwarzenbek	366	PZ	66,0	87,1	87,3	91,4	80,3	104	35	228	138
		GZ	69,3	87,4	87,4	94,0	86,0	57	114	556	90
Celle	366	PZ	56,2	80,5	80,9	83,4	76,3	74	18	121	115
		GZ	70,2	86,1	86,2	92,7	84,5	93	130	576	91
Nienburg	366	PZ	62,6	85,7	85,9	89,9	78,4	80	30	196	143
		GZ	72,6	87,8	87,8	94,2	85,3	121	107	567	97
Stadthagen	366	PZ	67,0	87,3	87,5	90,7	79,1	153	31	200	149
		GZ	72,2	88,7	88,8	95,0	87,2	98	102	483	91
Eilsleben	366	PZ	60,4	83,3	83,6	88,4	80,9	72	23	144	106
		GZ	71,8	88,1	88,2	94,2	86,7	101	102	488	89
Emmerich	366	PZ	57,6	82,9	83,2	85,8	78,3	55	19	142	129
		GZ	67,4	85,5	85,5	92,5	84,1	58	129	567	92
Andernach	366	PZ	62,0	82,0	82,9	87,6	80,1	122	28	178	111
		GZ	67,9	85,5	85,6	92,5	84,0	71	109	508	90
Lahnstein	366	PZ	53,8	78,7	78,9	80,3	77,0	51	18	132	92
		GZ	69,4	85,3	85,4	92,0	83,6	100	108	543	92
Bad Hersfeld	366	PZ	60,3	82,5	82,8	87,6	77,0	99	25	172	132
		GZ	72,3	86,3	86,4	93,4	84,2	162	96	530	95
Saalfeld	366	PZ	53,5	79,8	80,2	82,5	75,5	71	11	81	117
		GZ	64,9	87,4	87,4	93,9	85,4	32	81	380	93
Radebeul	366	PZ	60,3	85,8	86,1	89,0	81,8	42	26	171	118
		GZ	69,7	88,6	88,6	95,0	88,1	46	107	537	85
Karlstadt	366	PZ	58,8	82,0	82,4	84,8	79,3	85	15	122	104
		GZ	73,0	86,8	86,8	94,0	85,3	163	95	528	91
Göppingen	366	PZ	63,1	82,2	82,5	87,3	78,2	165	26	176	108
		GZ	66,3	86,1	86,2	93,1	86,2	41	87	444	80
Osterhofen	366	PZ	60,1	84,9	85,2	88,7	79,5	58	23	154	134
		GZ	71,8	88,9	88,9	95,3	87,0	82	101	510	93
Emmendingen	366	PZ	63,4	83,8	84,0	87,7	77,9	111	36	245	141
		GZ	69,3	84,9	85,0	91,1	84,2	123	88	447	88
Rosenheim	366	PZ	63,9	84,6	84,8	88,2	78,9	128	26	193	133
		GZ	70,3	87,6	87,6	94,5	85,2	87	86	484	96
Fürstenwalde	366	PZ	62,7	86,3	86,5	91,0	79,9	81	24	156	133
		GZ	68,6	87,7	87,7	94,5	85,6	50	111	540	94
Telgte	366	PZ	66,7	88,8	89,1	92,5	79,5	108	30	209	167
		GZ	69,0	88,6	88,7	95,2	86,7	47	101	508	96

5 Anhang: Schienenrauheit und Abklingrate 2020

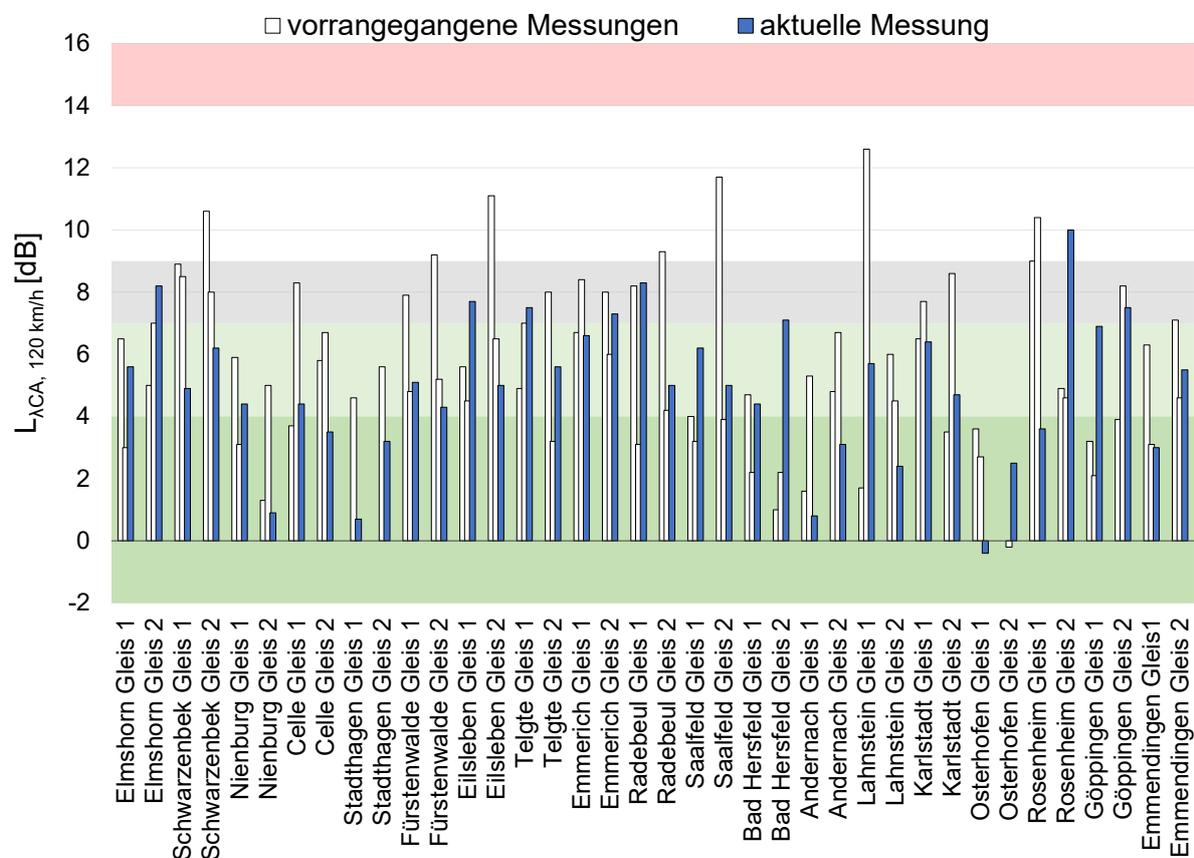


Abbildung 23. Rauheits-Einzelwerte L_{ACA} in dB(A) für alle Messquerschnitte aller Messstandorte mit der Bezugs-Geschwindigkeit 120 km/h. Die grauen Balken repräsentieren die Ergebnisse der Initialmessung und die blauen Balken zeigen die Ergebnisse der zweiten Messung.

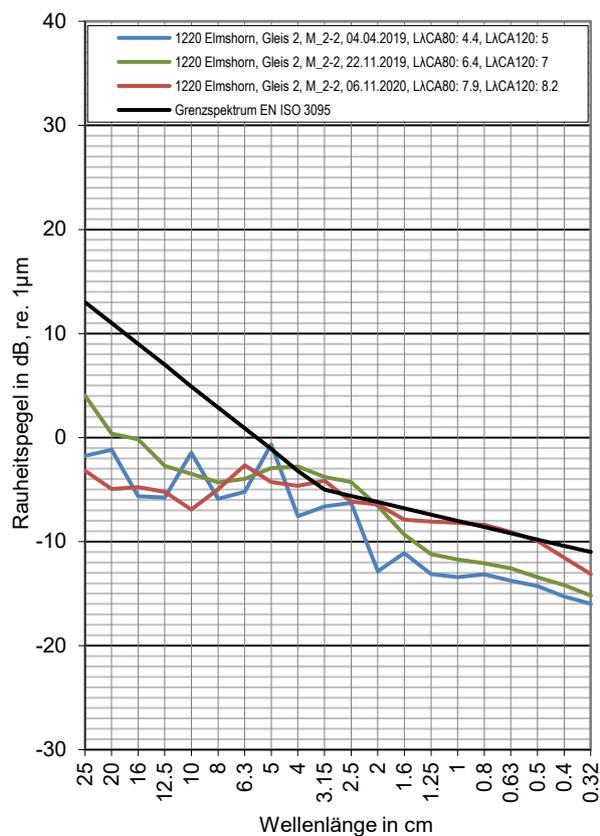
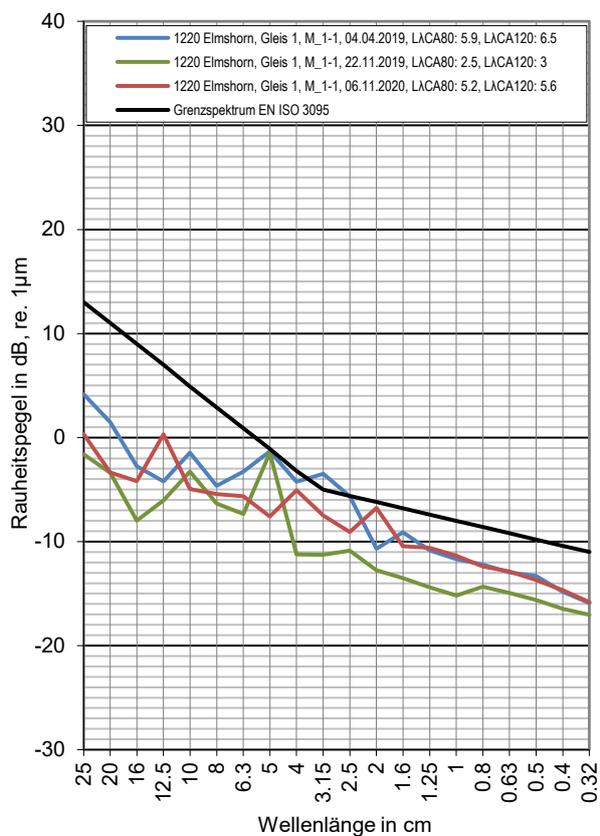
Messtelle Elmshorn

Strecke 1220, km 27,4

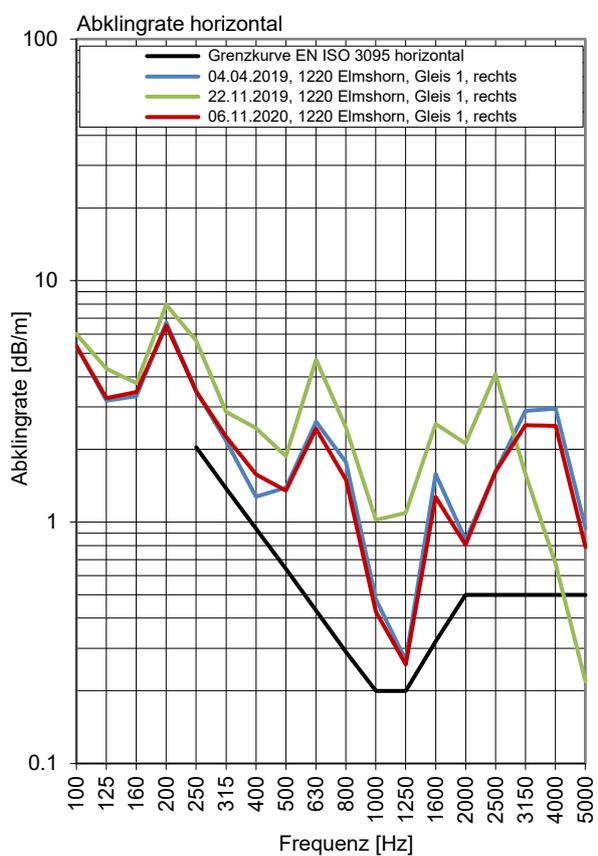
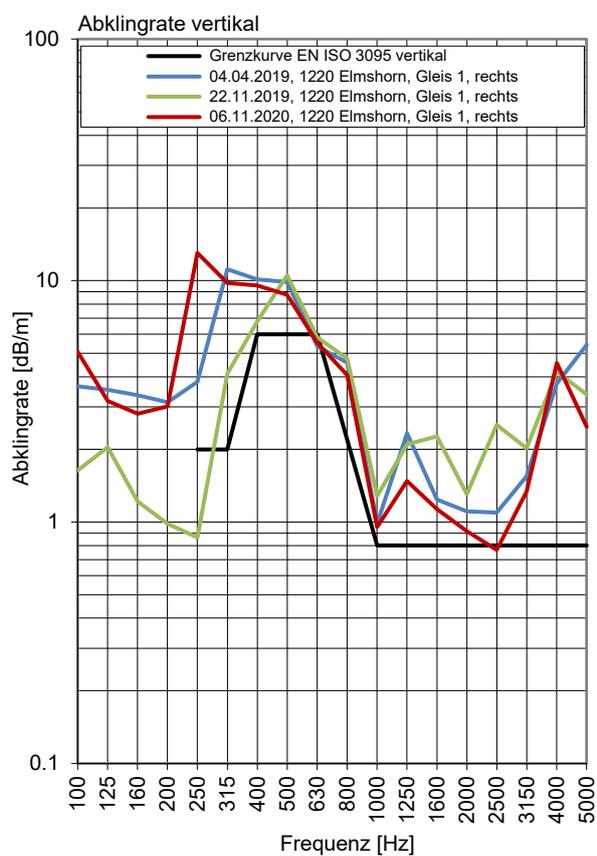
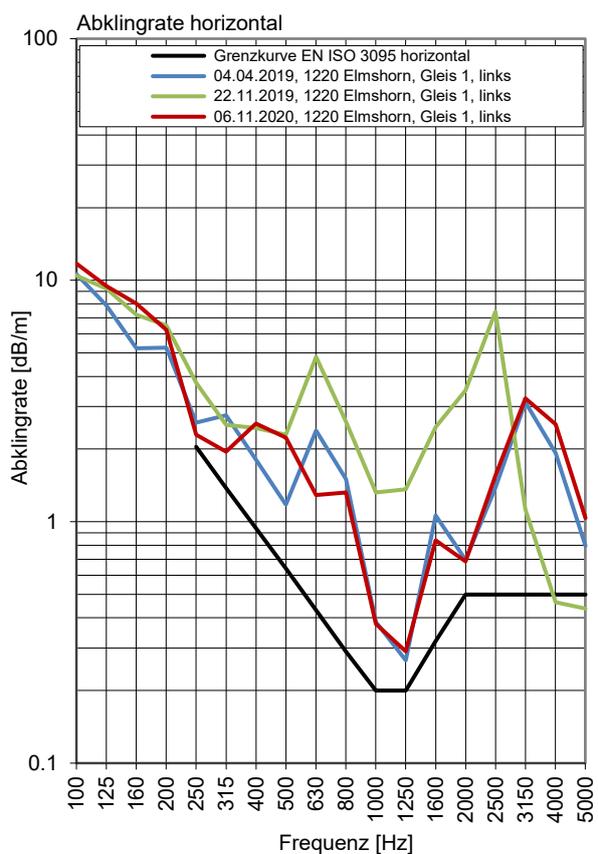
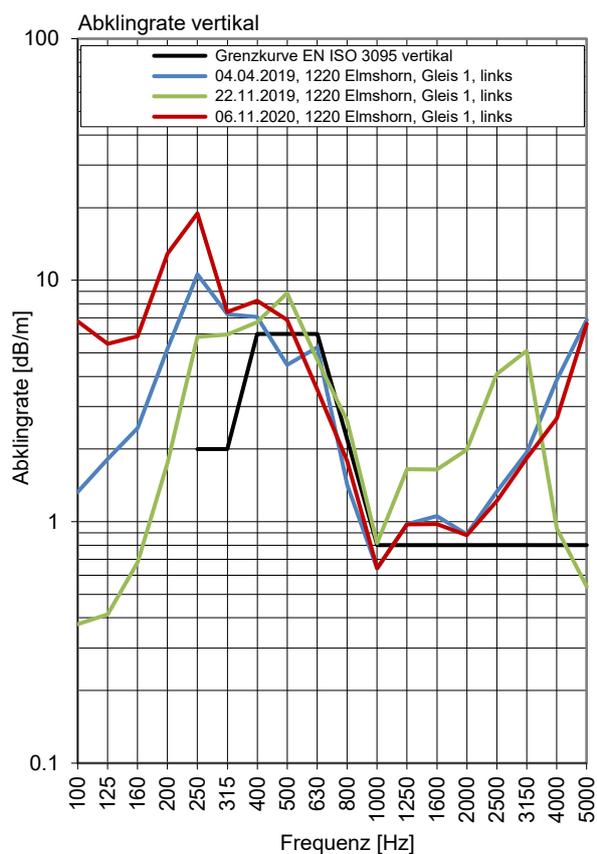
Gleis 1: Richtung Kiel

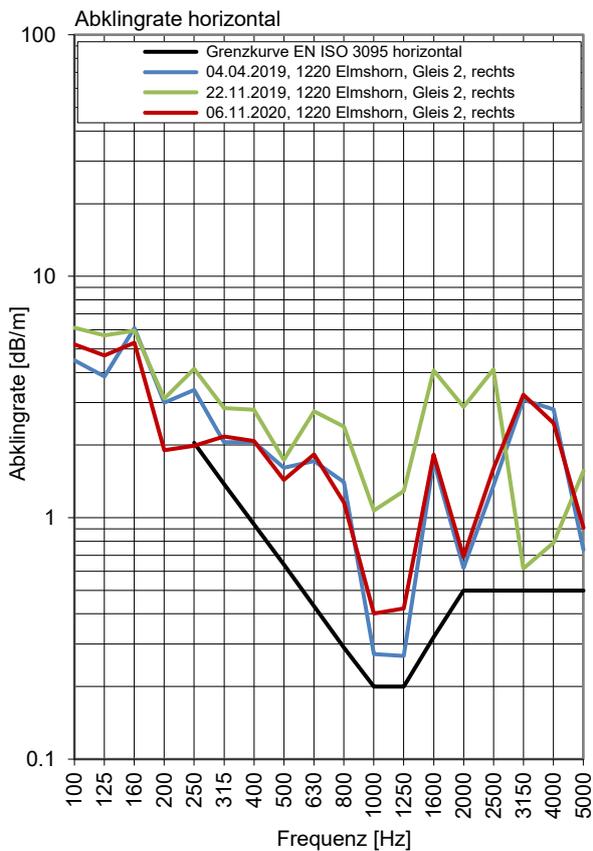
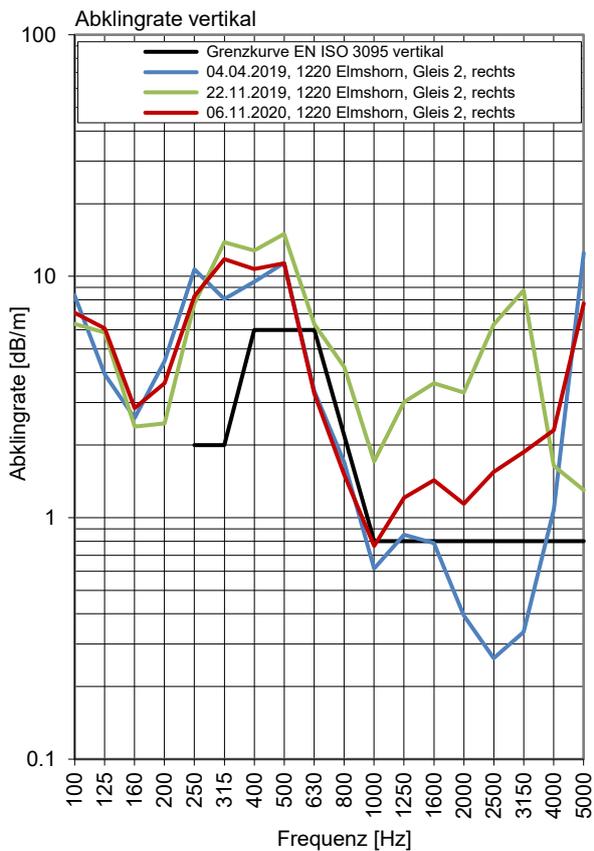
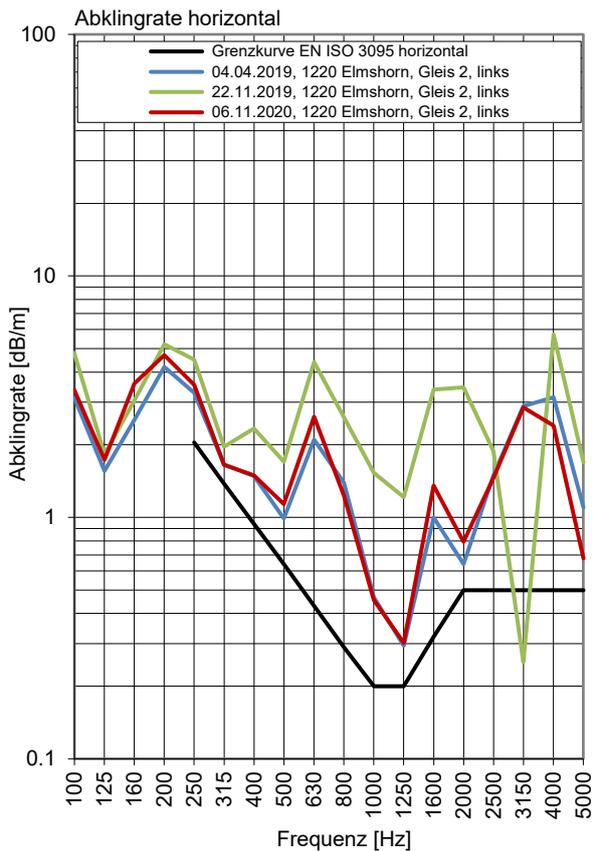
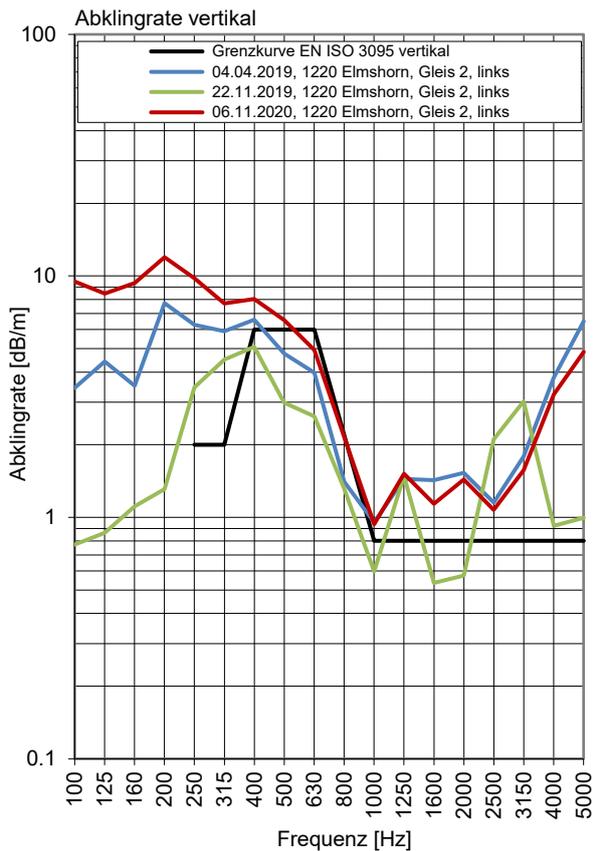
Gleis 2: Richtung Hamburg

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





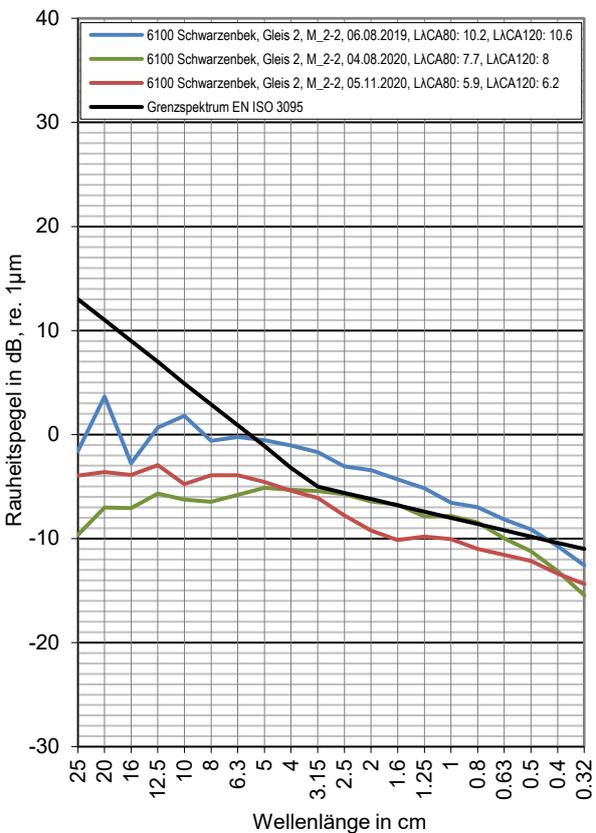
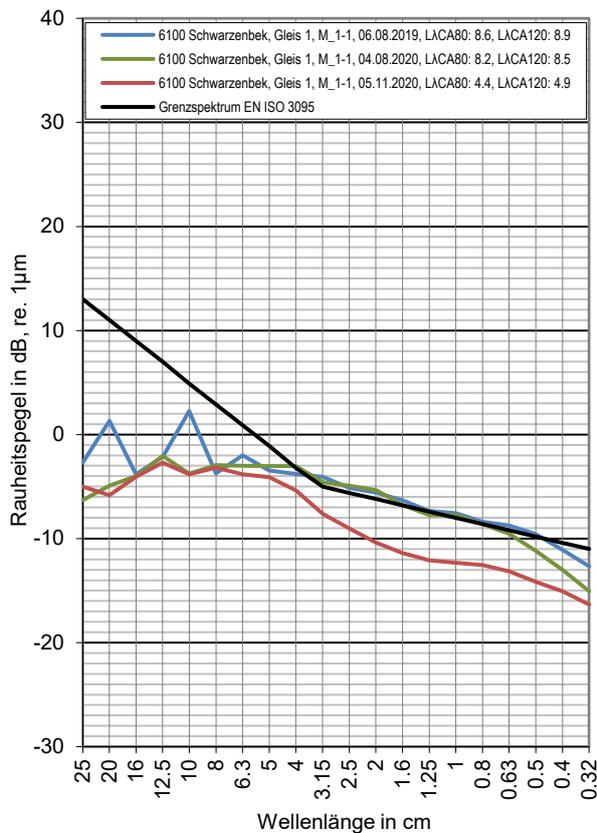
Messtelle Schwarzenbek

Strecke 6100, km 242,1

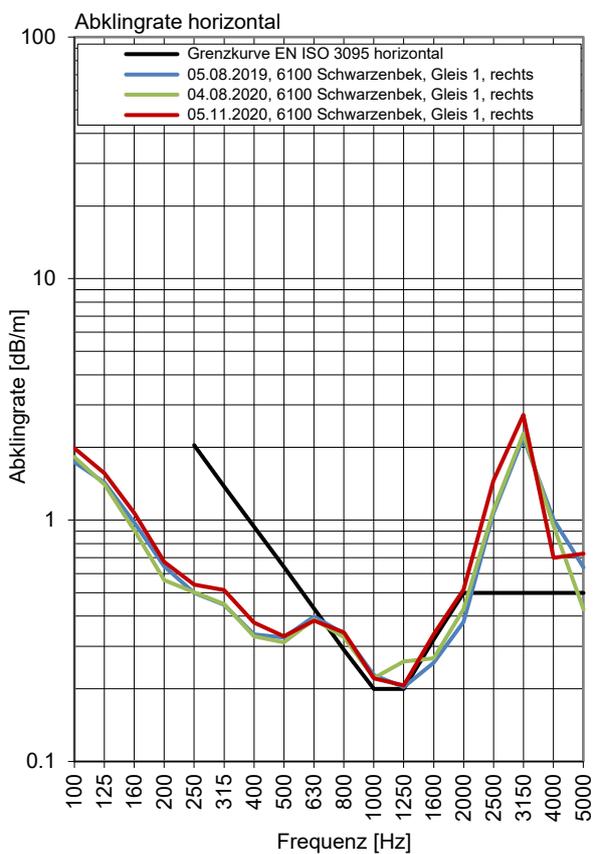
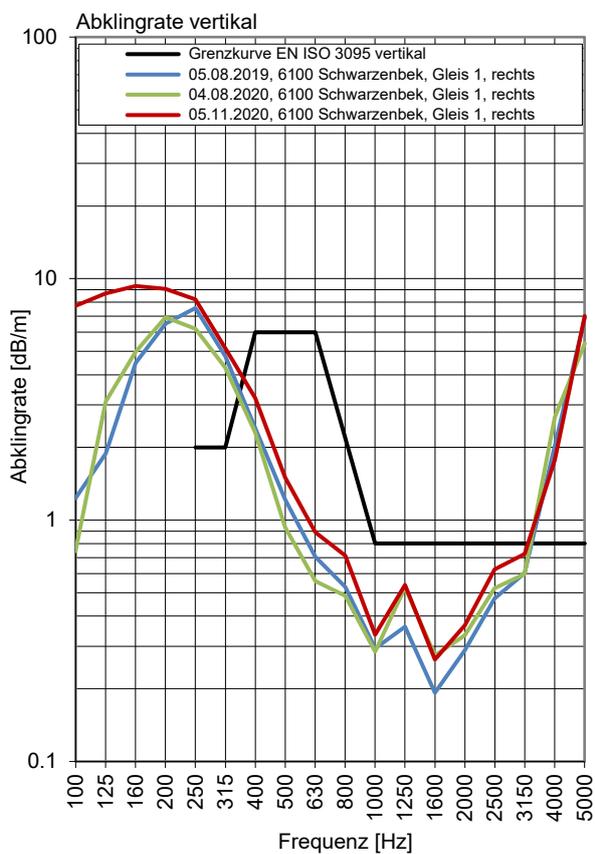
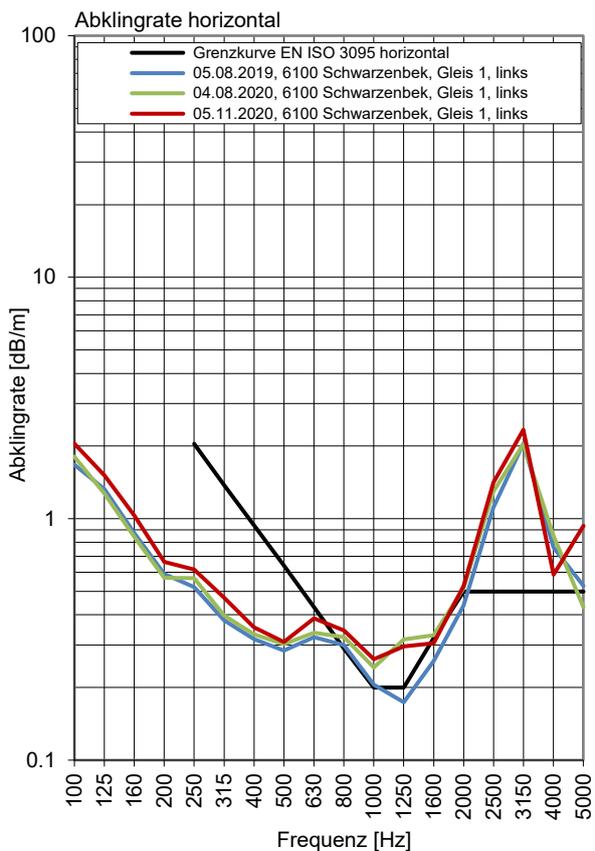
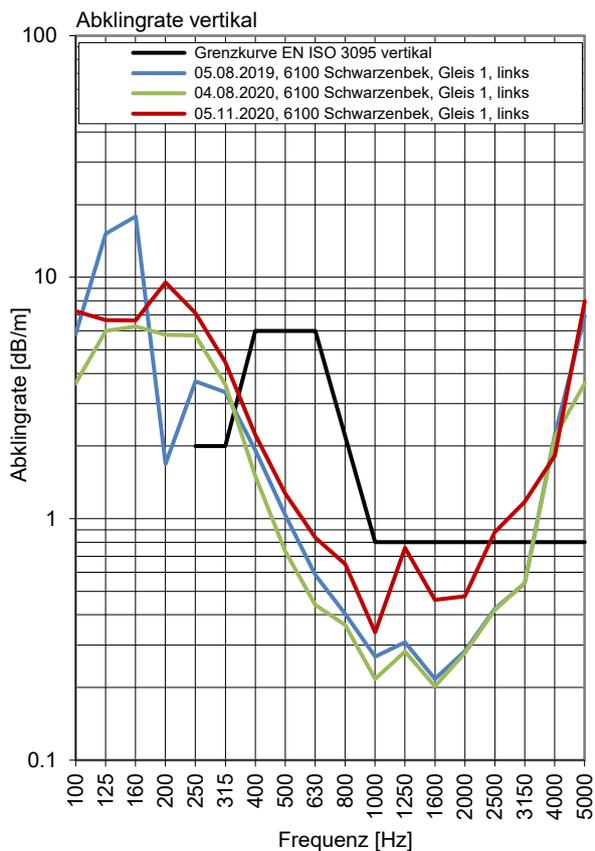
Gleis 1: Richtung Hamburg

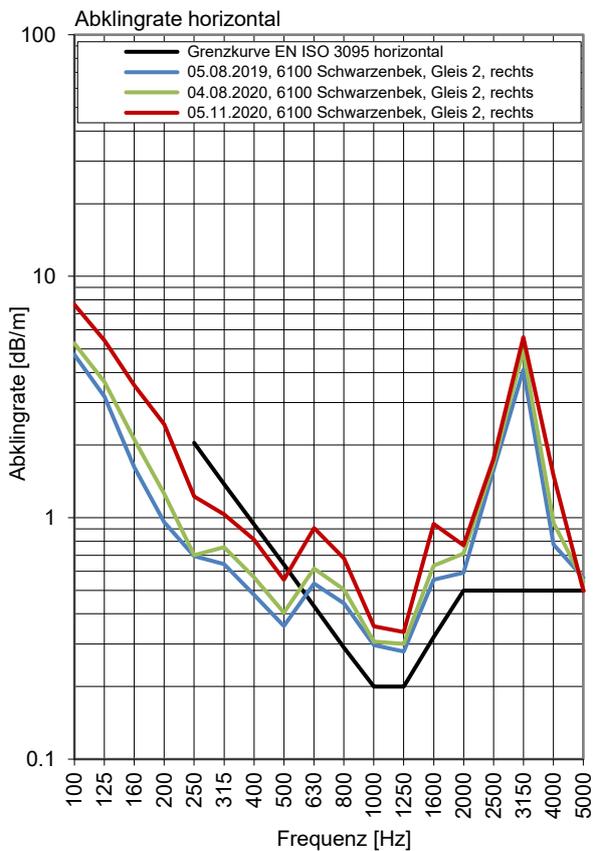
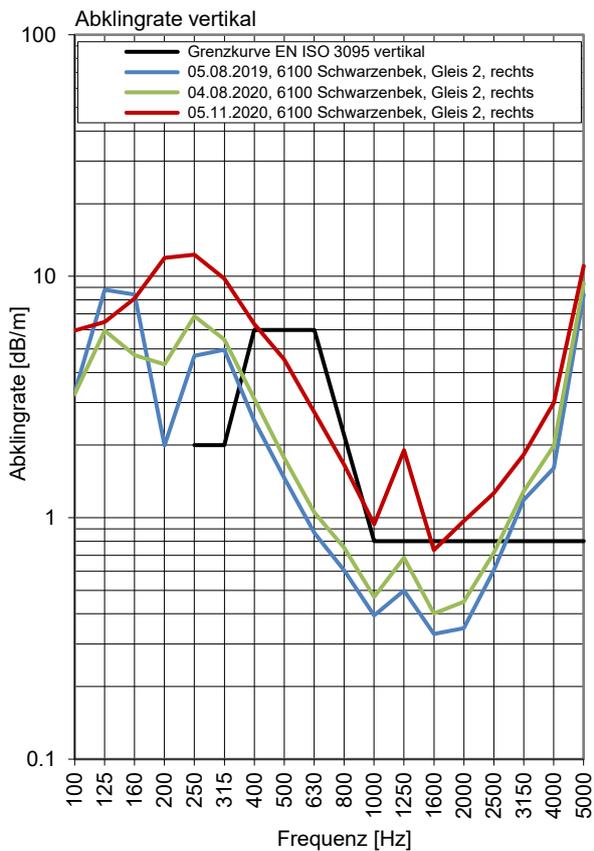
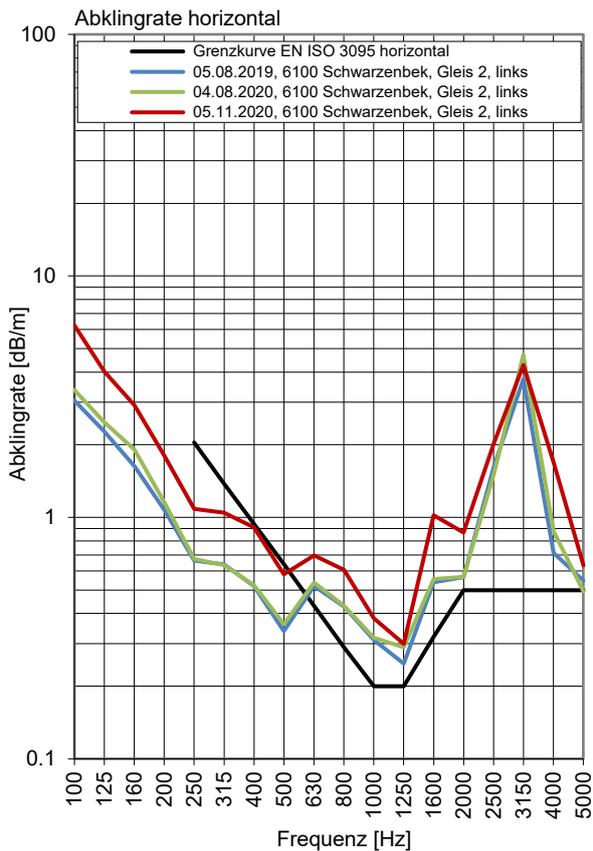
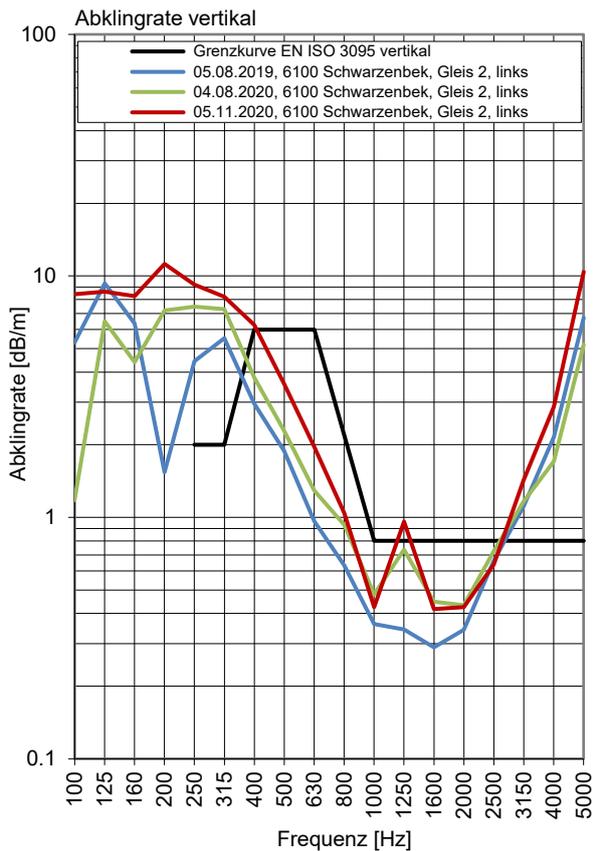
Gleis 2: Richtung Berlin

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





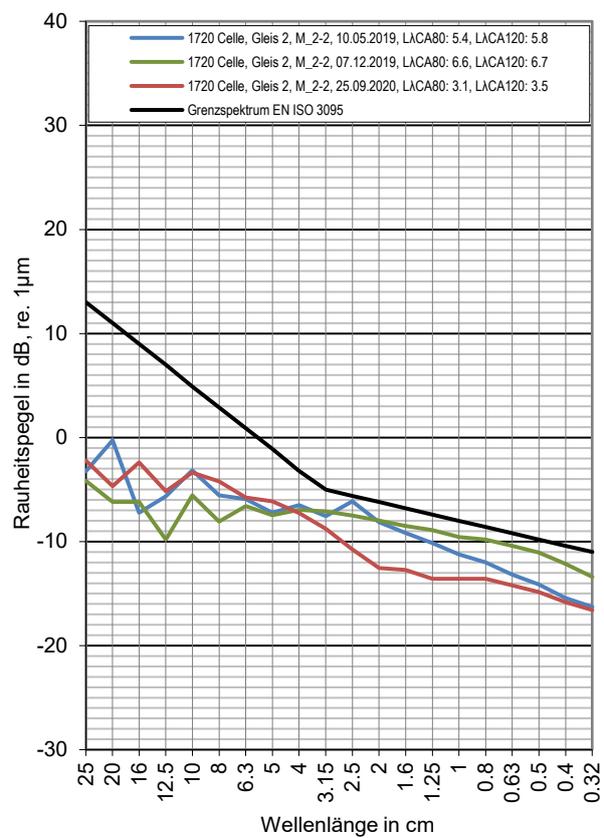
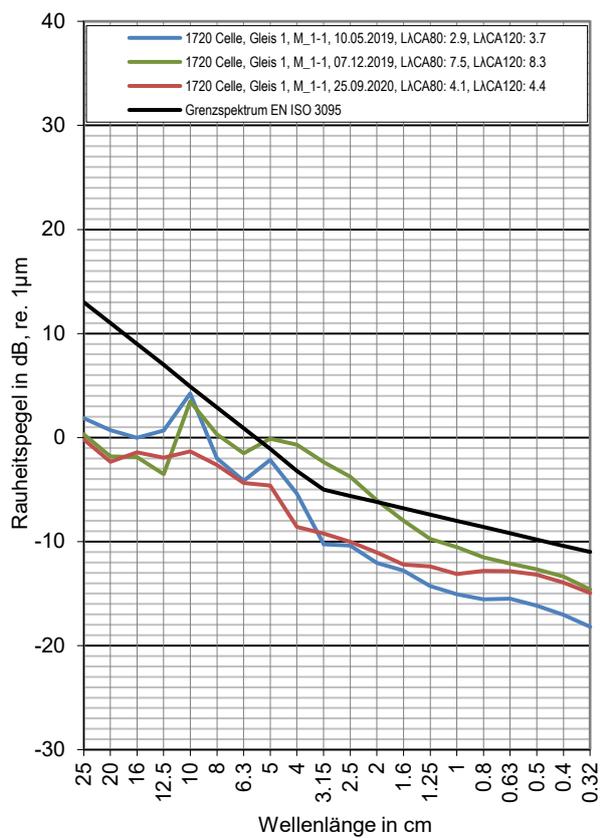
Messtelle Cella

Strecke 1720, km 39,8

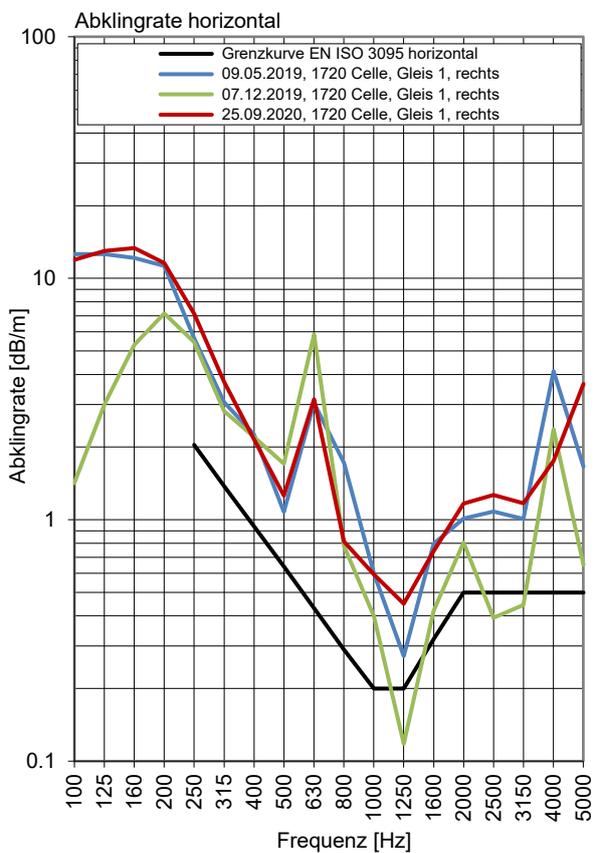
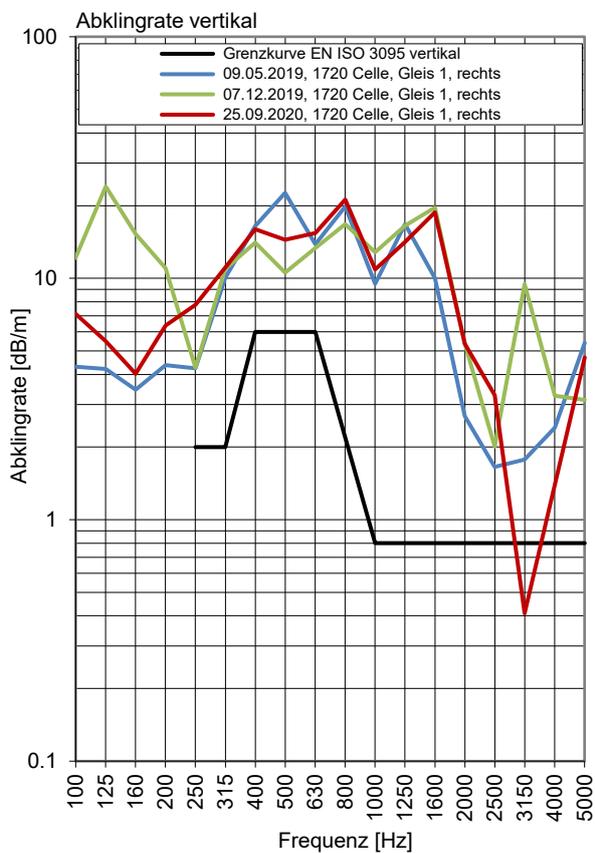
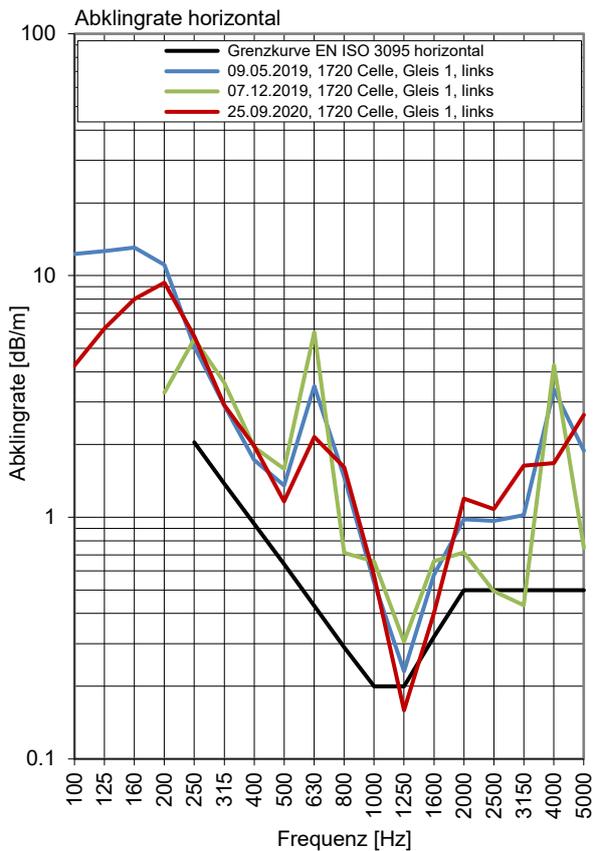
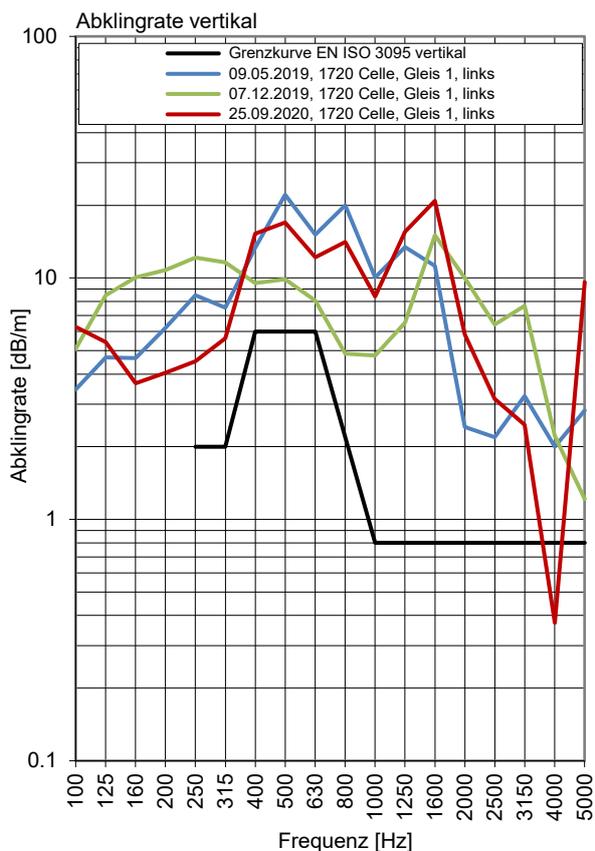
Gleis 1: Richtung Hamburg

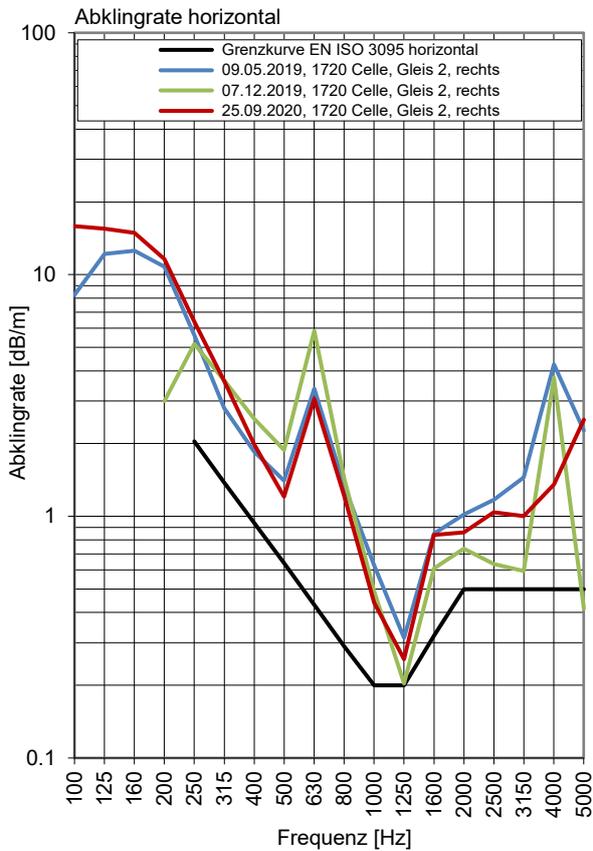
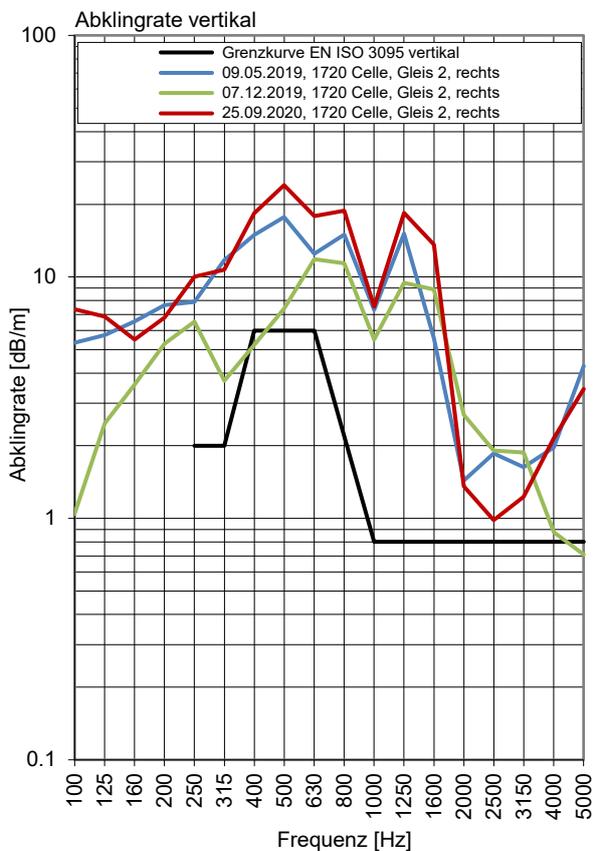
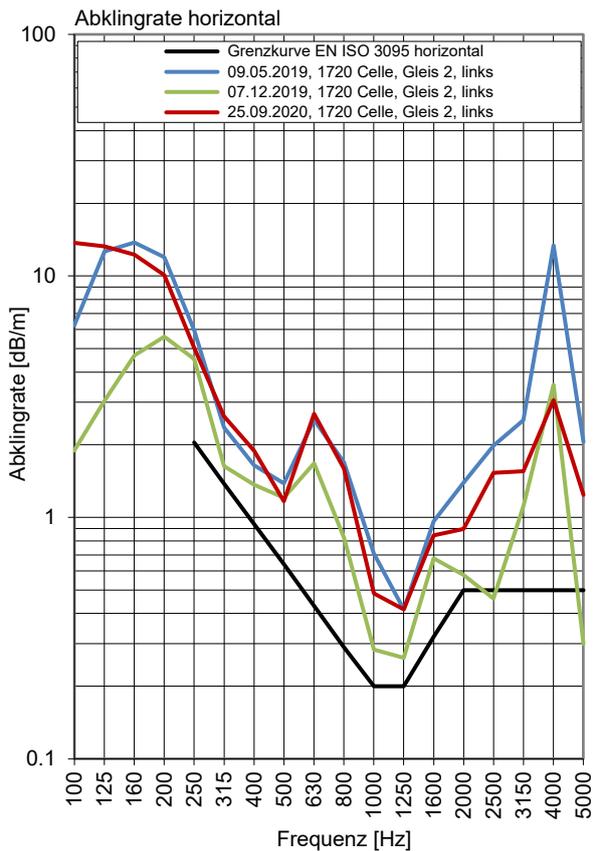
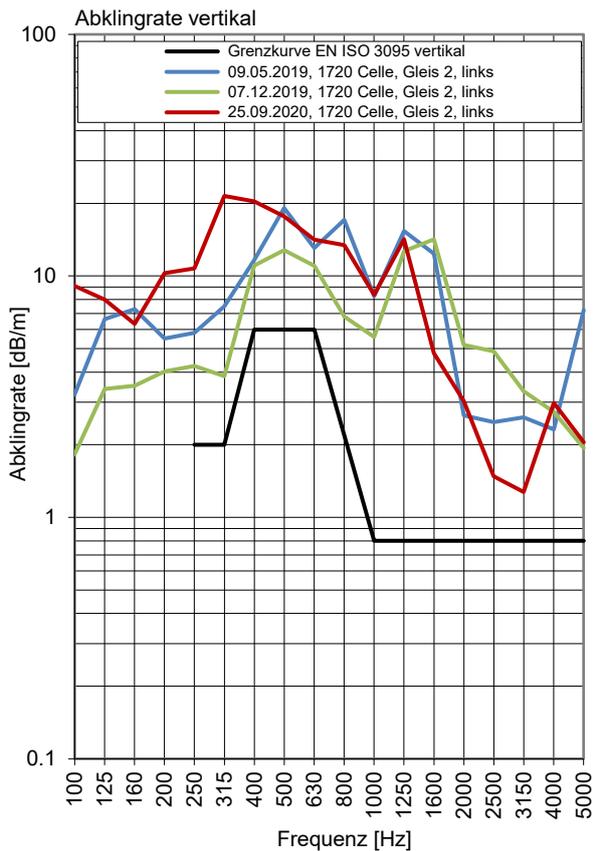
Gleis 2: Richtung Lehrte

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





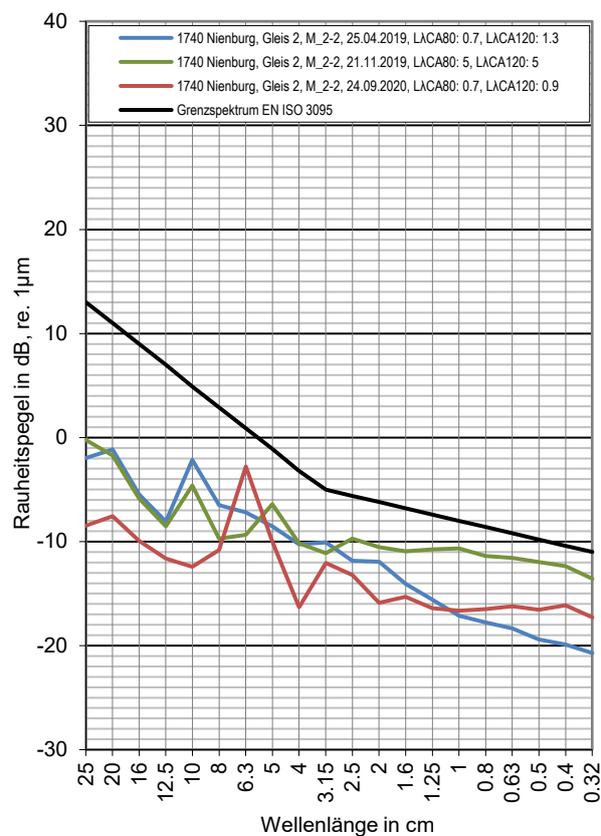
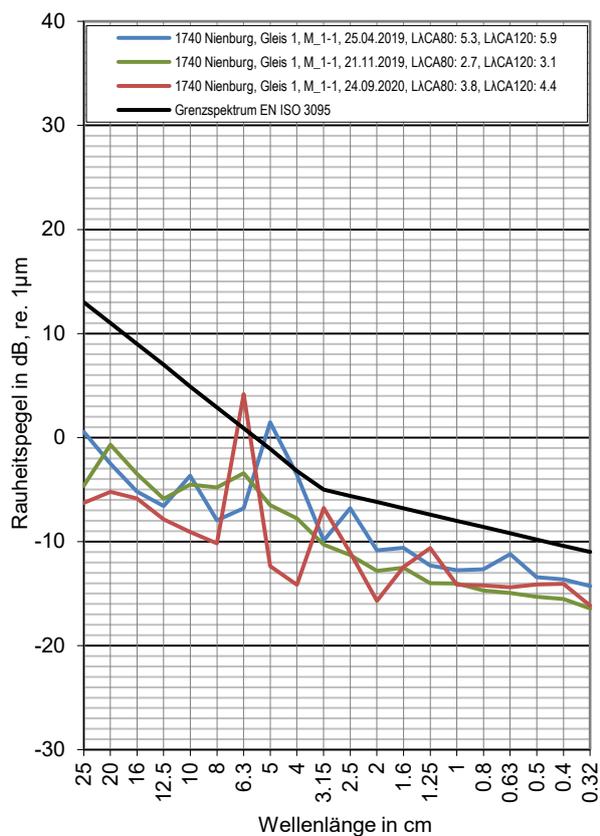
Messtelle Nienburg

Strecke 1740, km 65,1

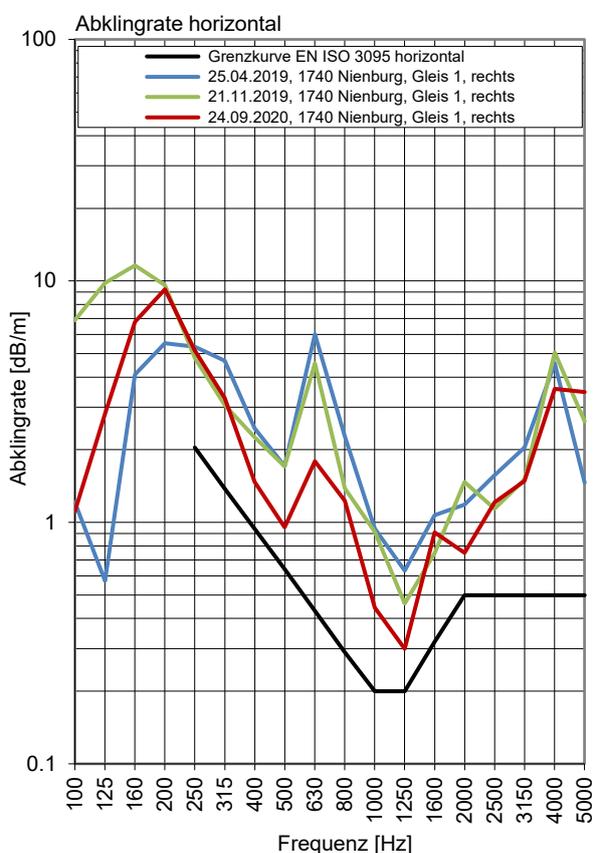
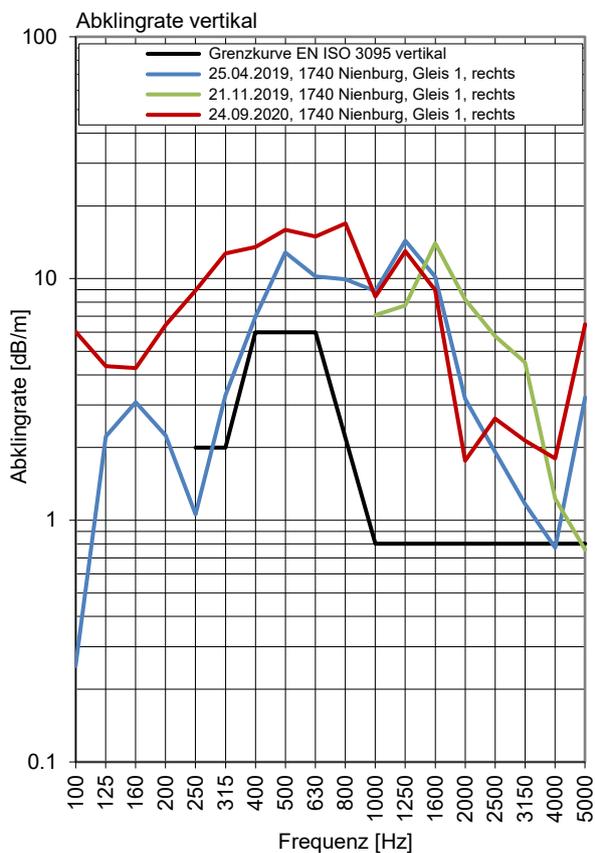
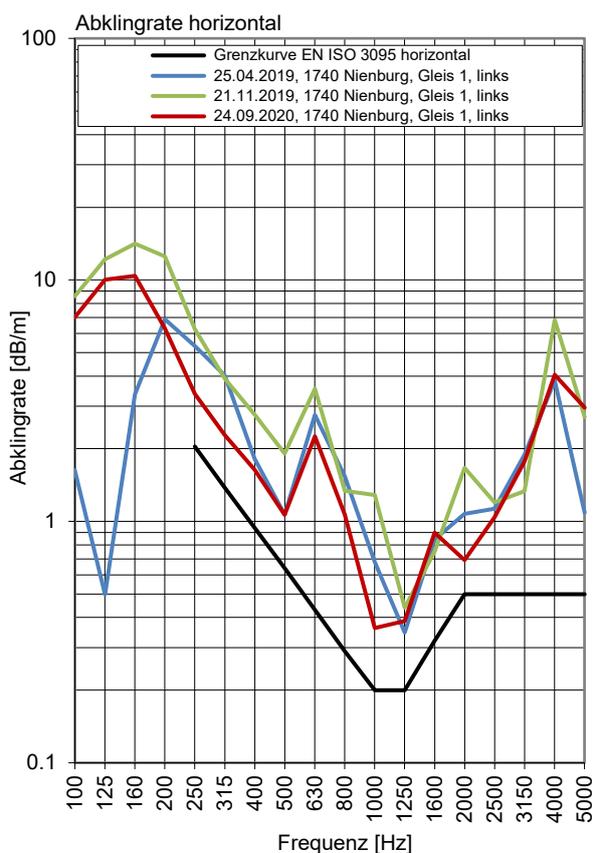
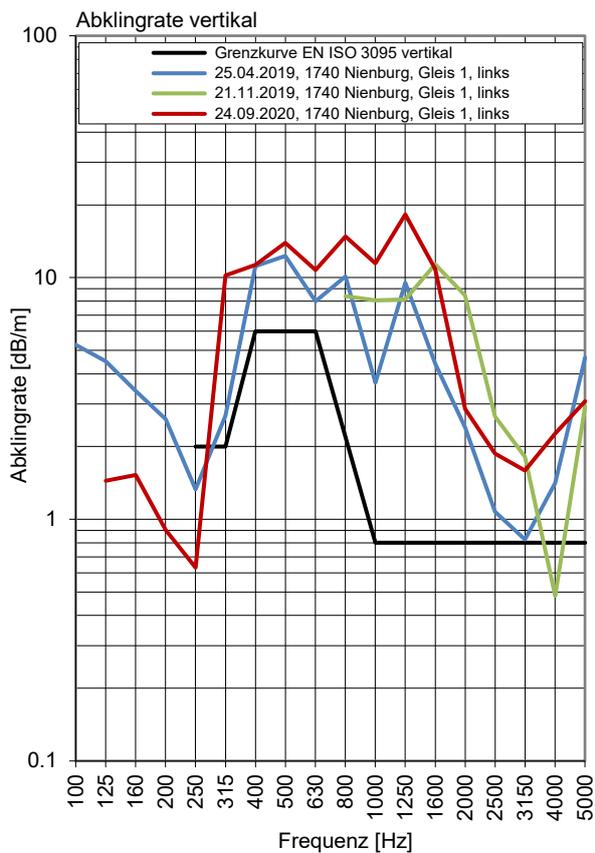
Gleis 1: Richtung Bremen

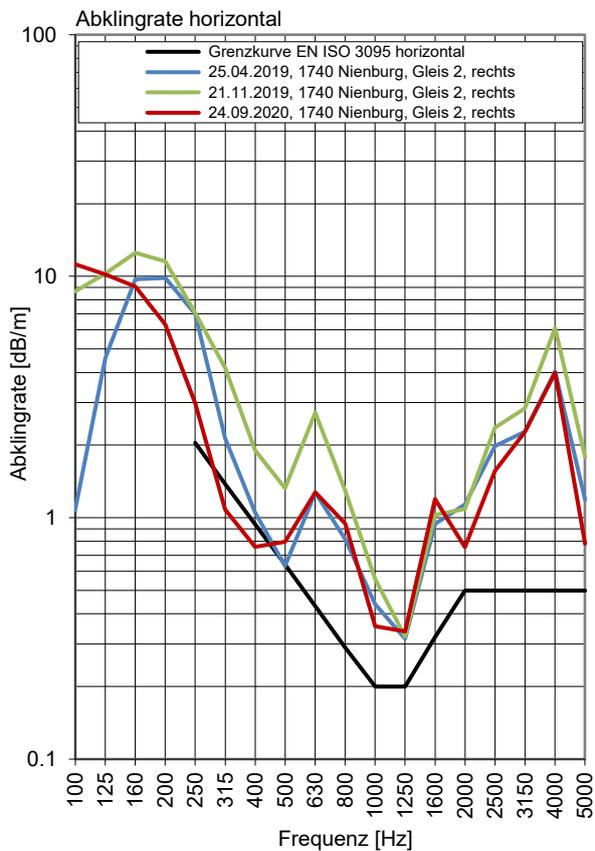
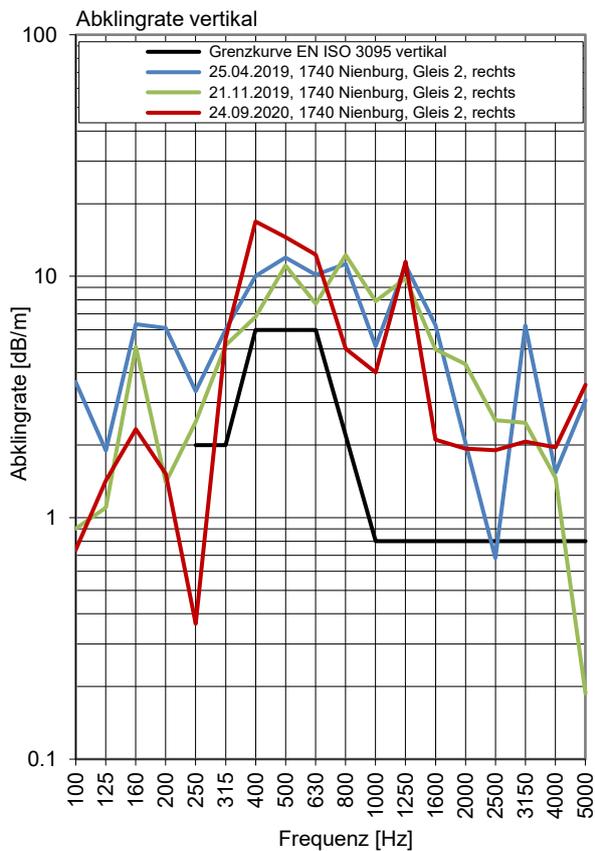
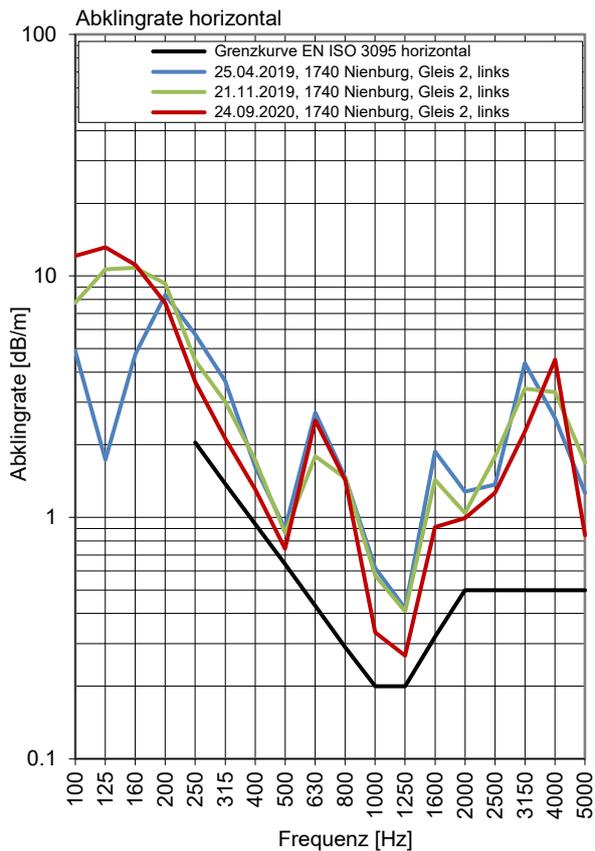
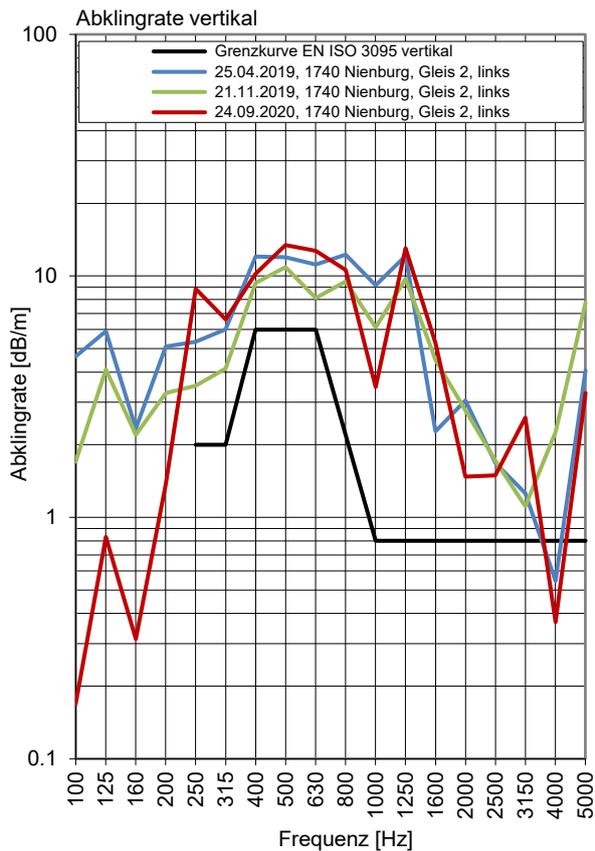
Gleis 2: Richtung Wunstorf

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





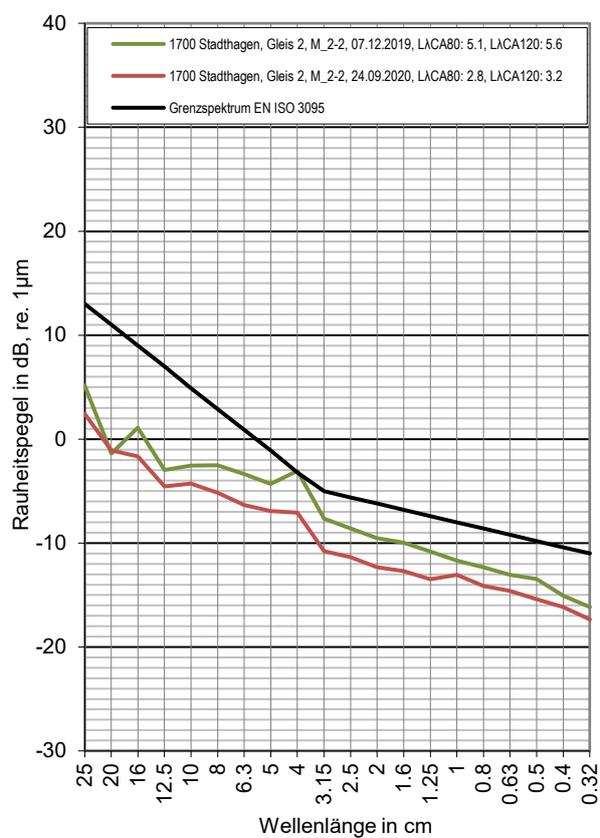
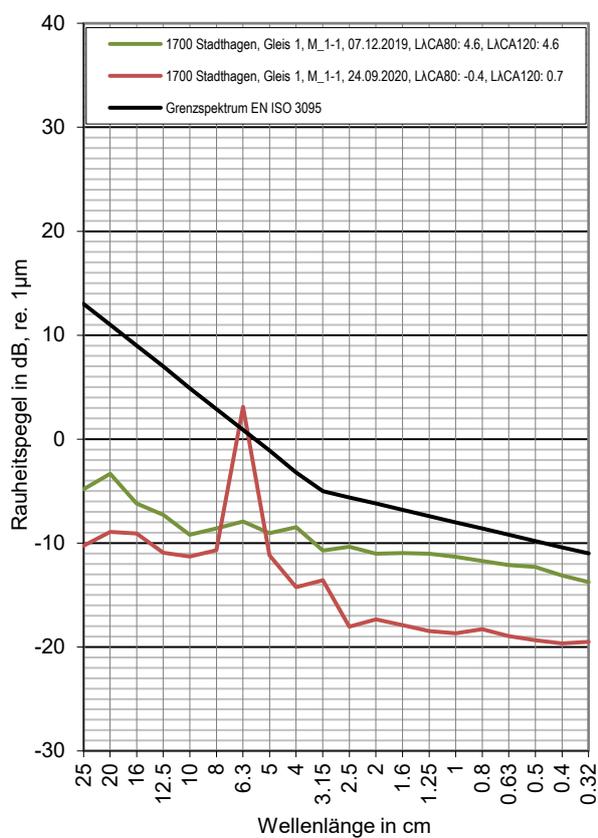
Messtelle Stadthagen

Strecke 1700, km 34,7

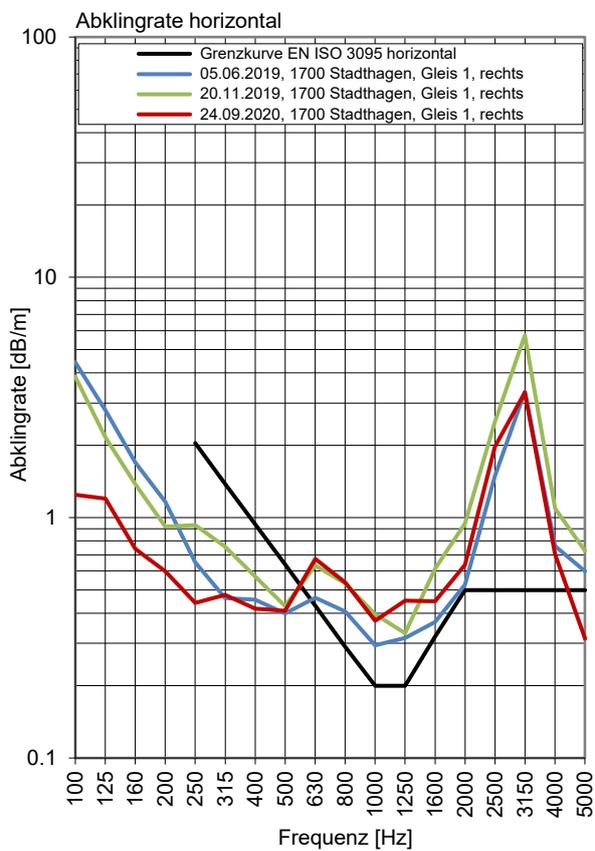
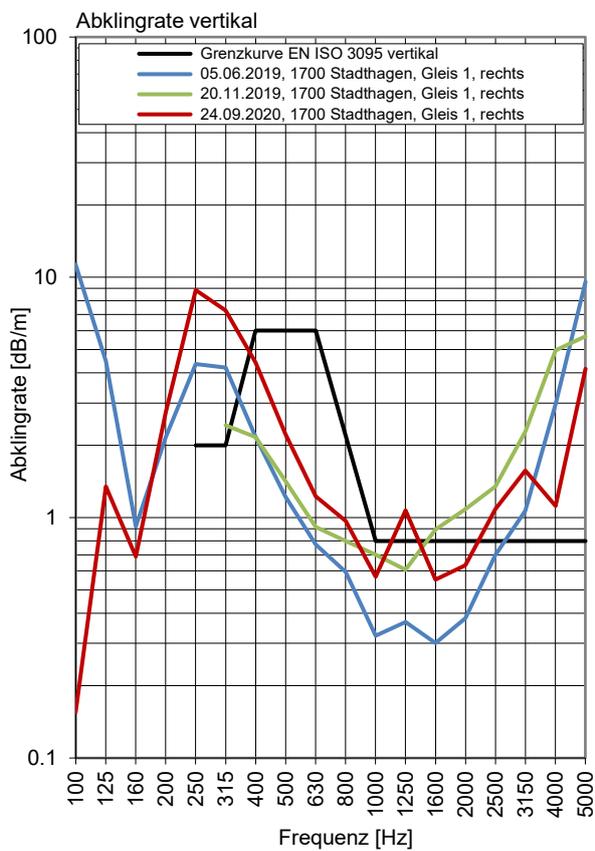
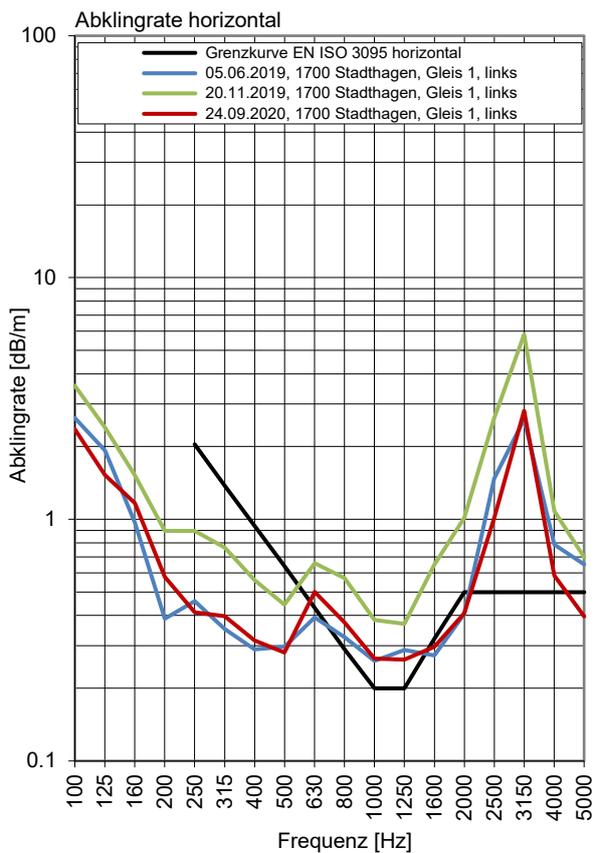
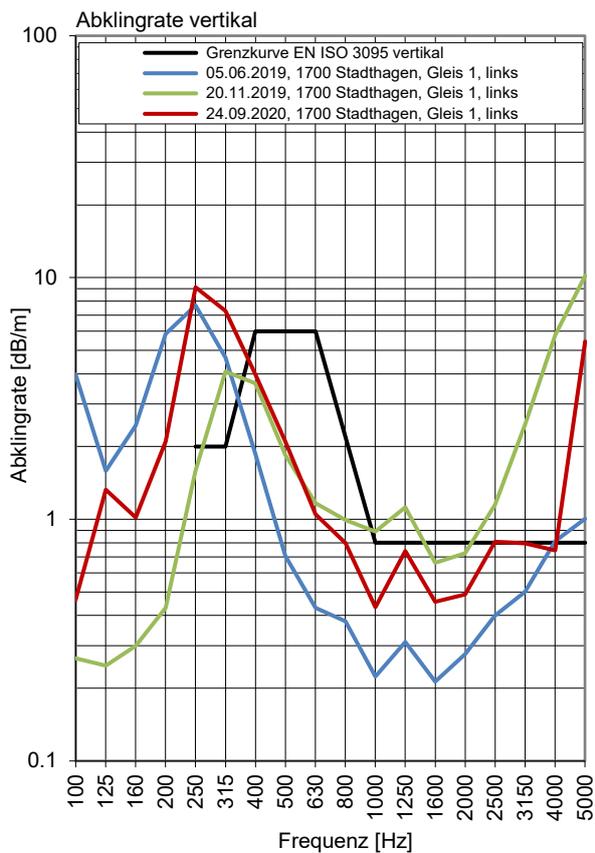
Gleis 1: Richtung Hannover

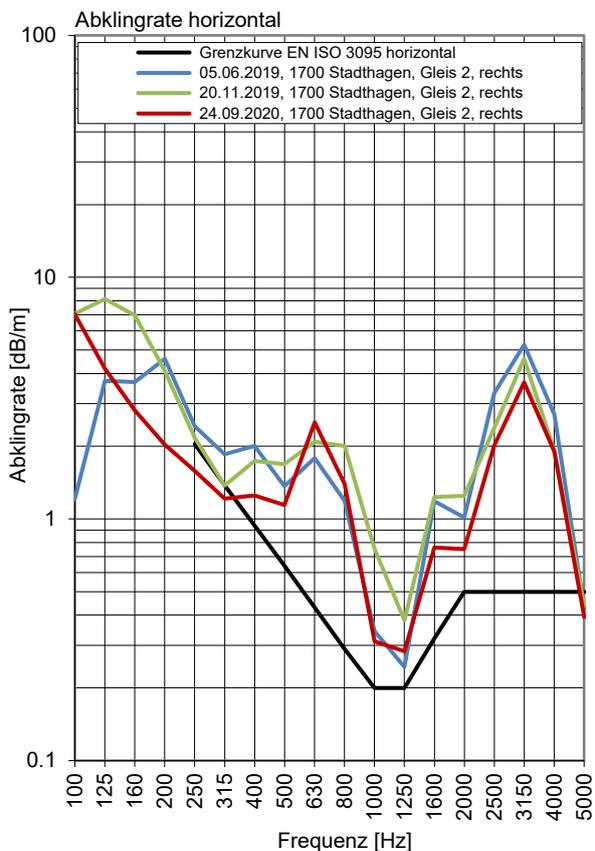
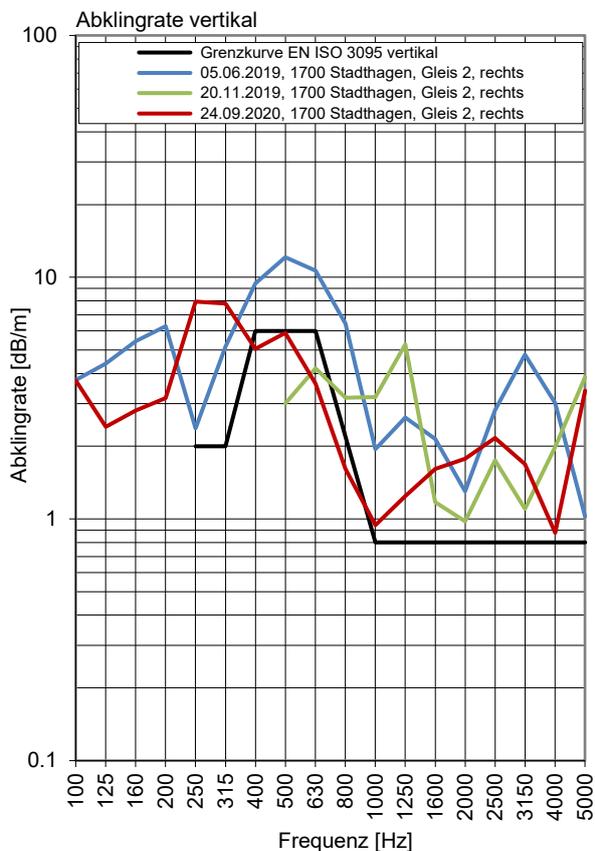
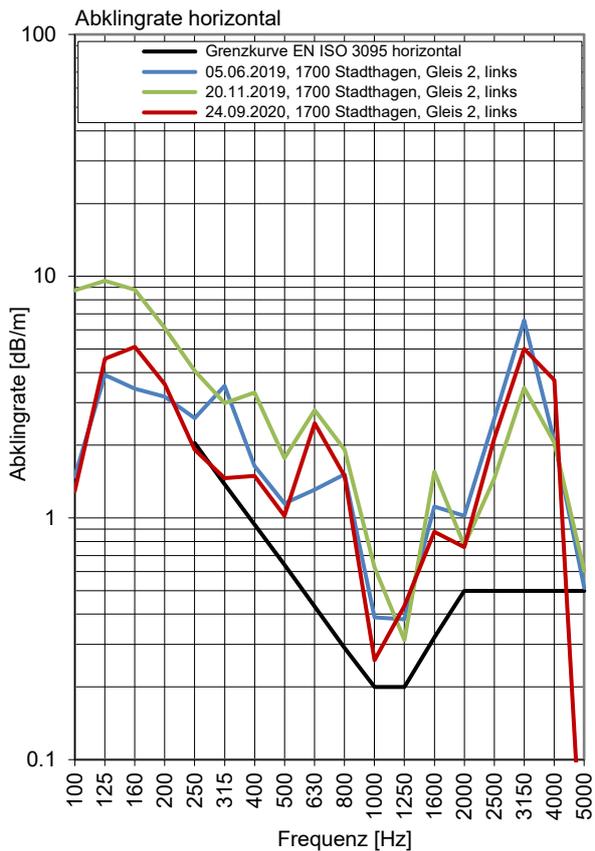
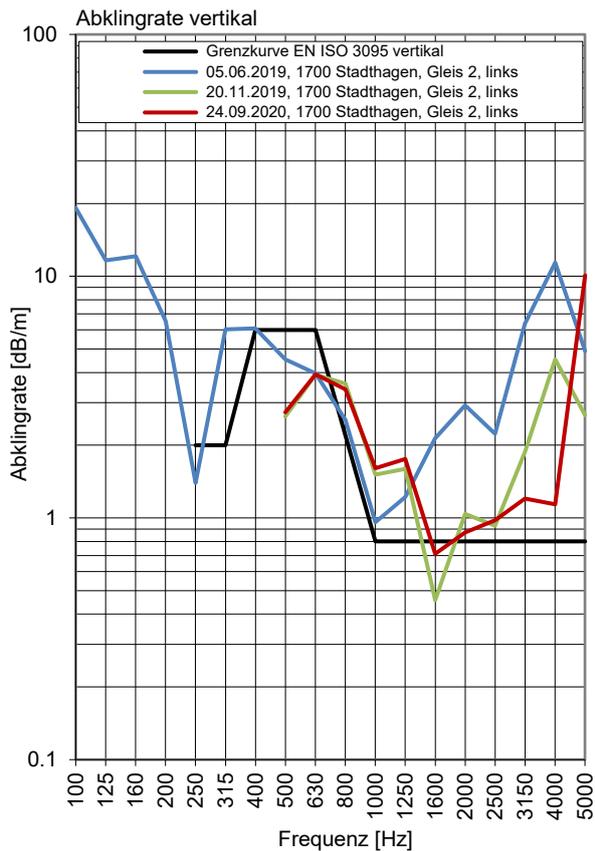
Gleis 2: Richtung Minden

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





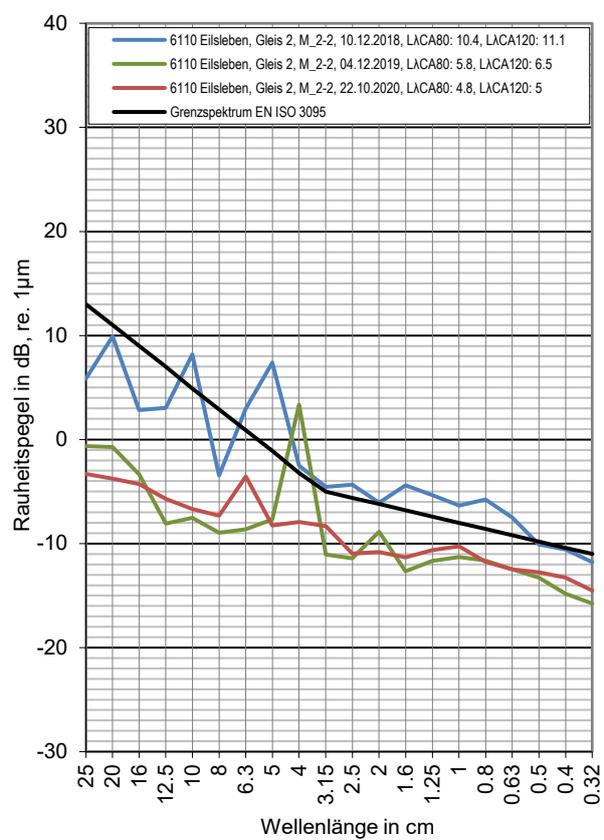
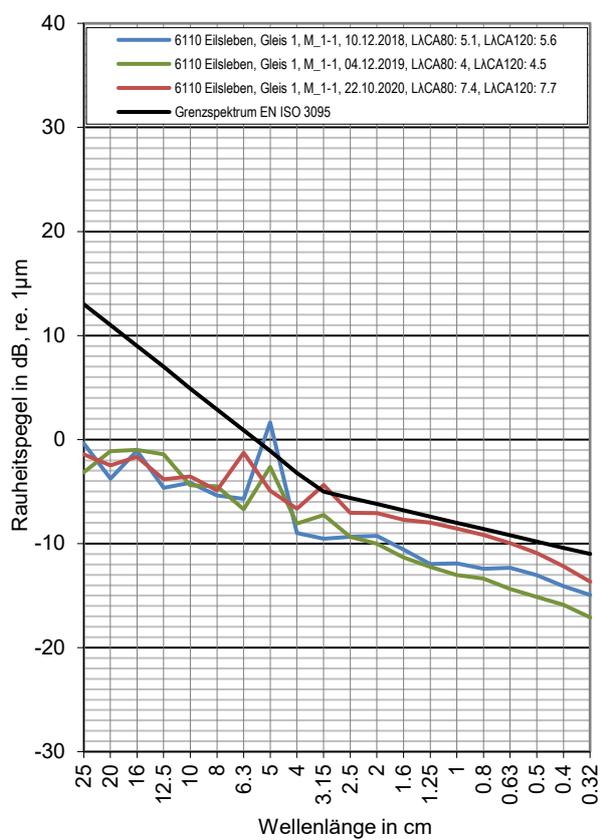
Messtelle Eilsleben

Strecke 6110, km 159,9

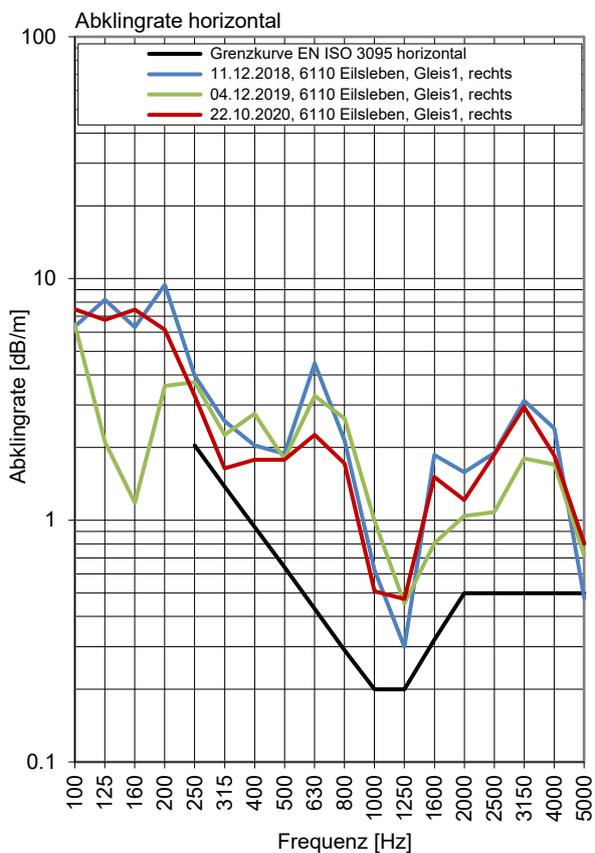
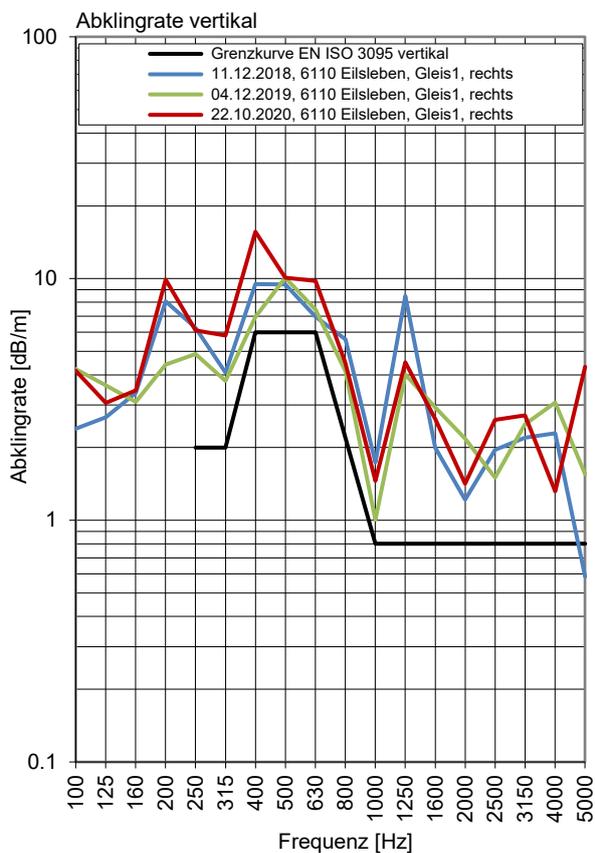
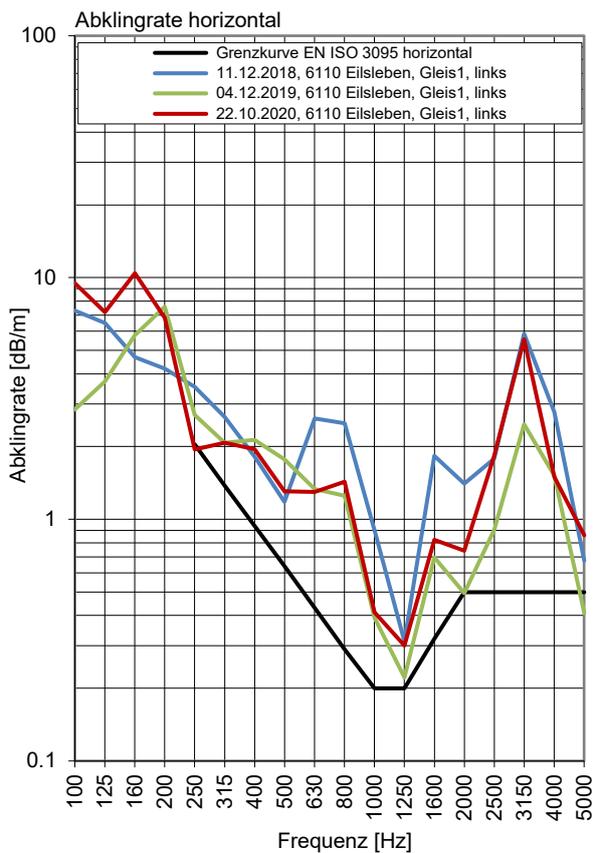
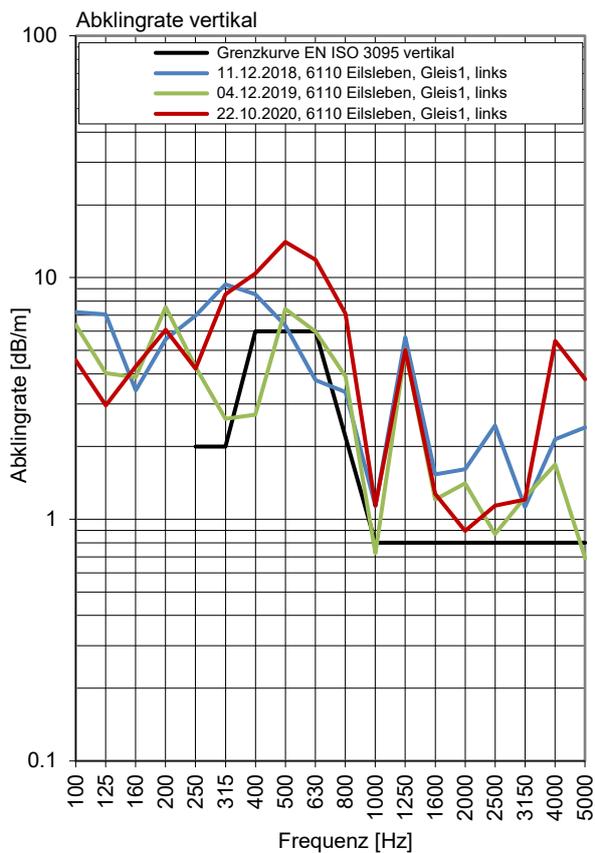
Gleis 1: Richtung Braunschweig

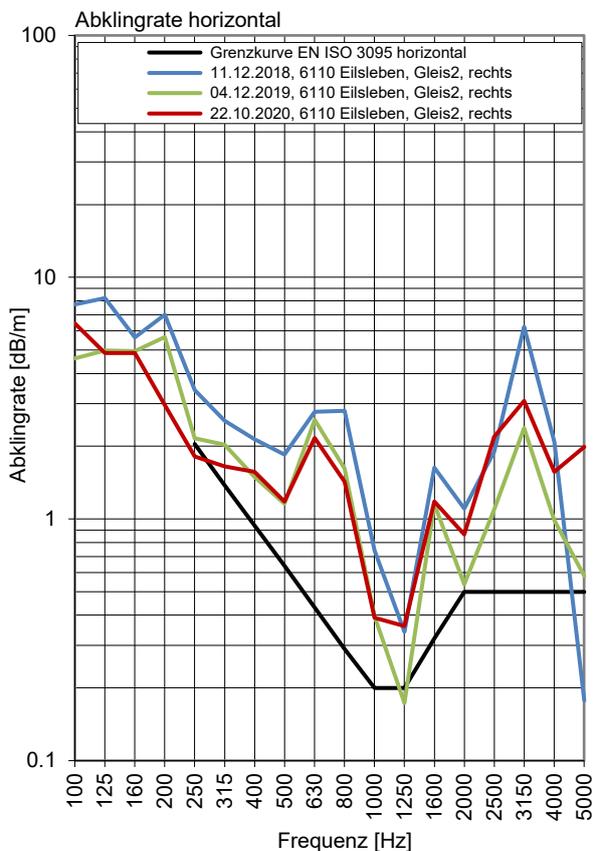
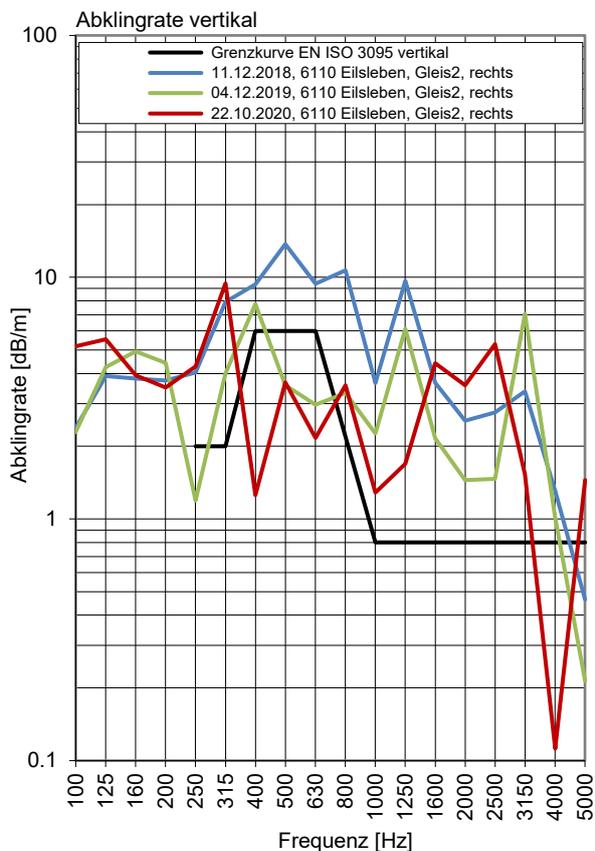
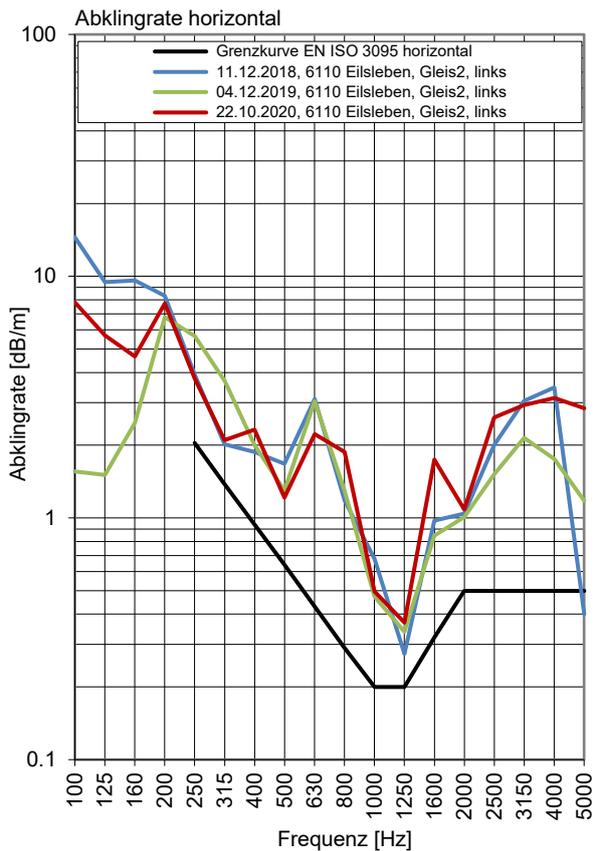
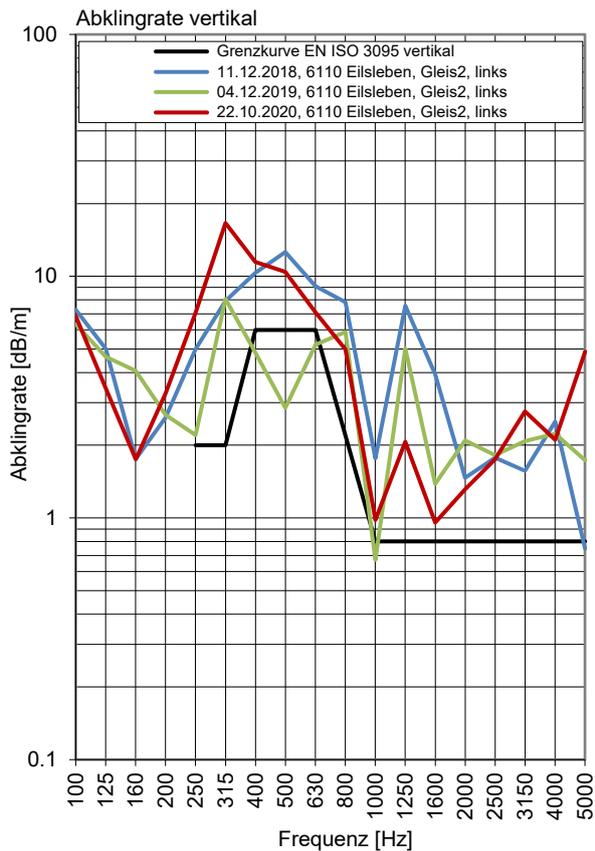
Gleis 2: Richtung Magdeburg

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





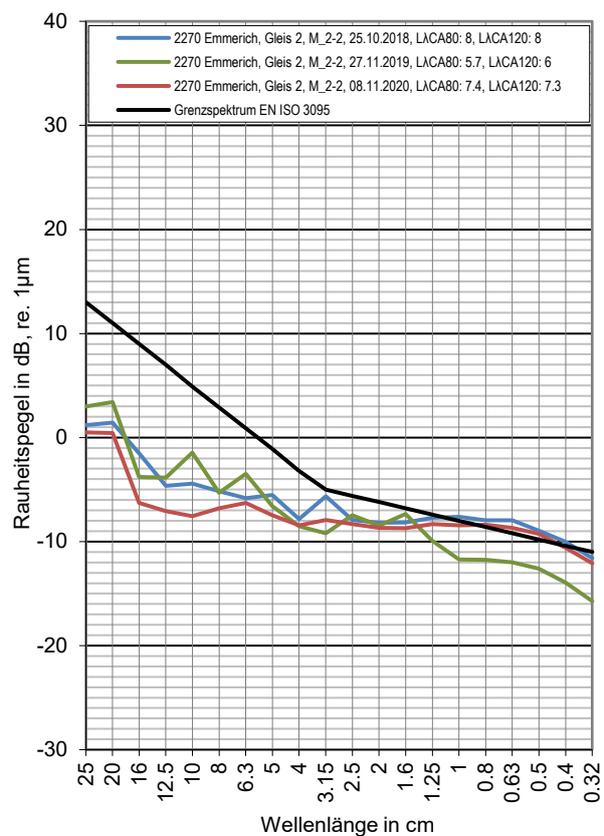
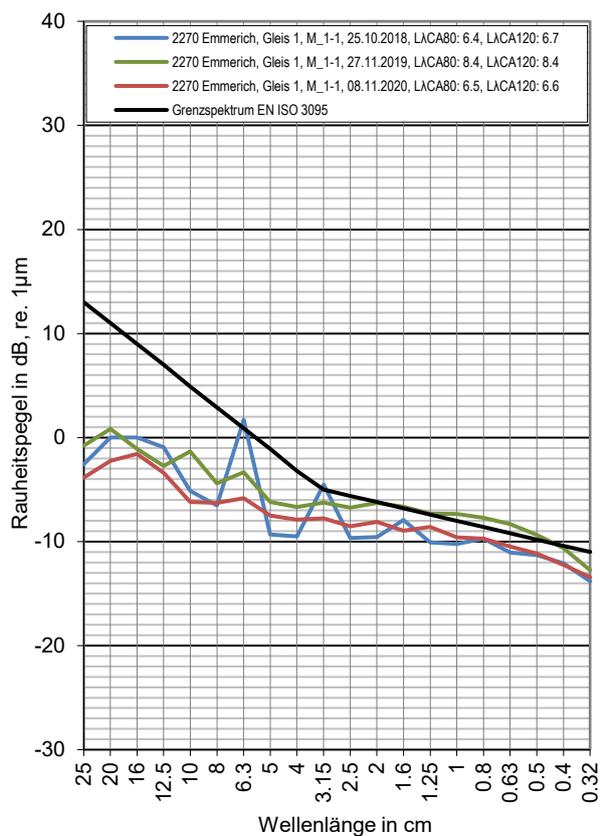
Messtelle Emmerich

Strecke 2270, km 45,9

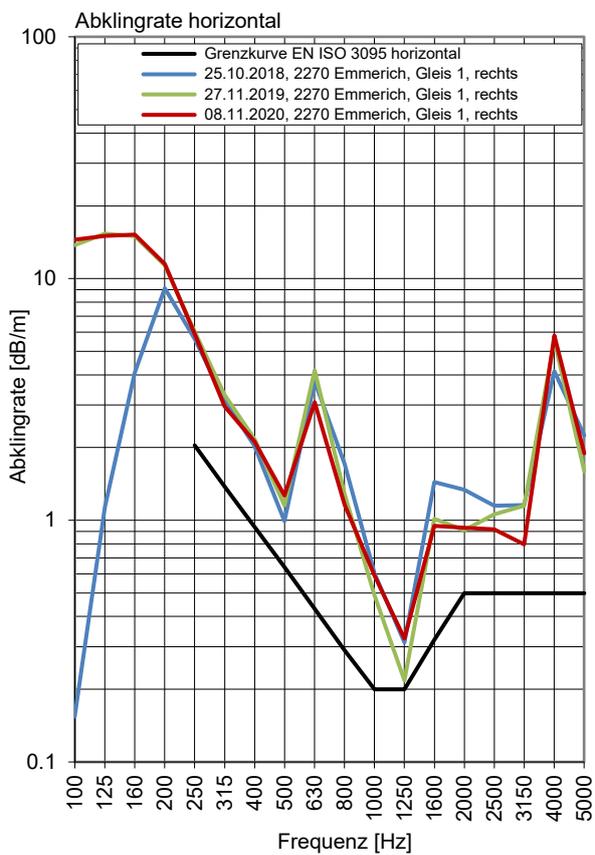
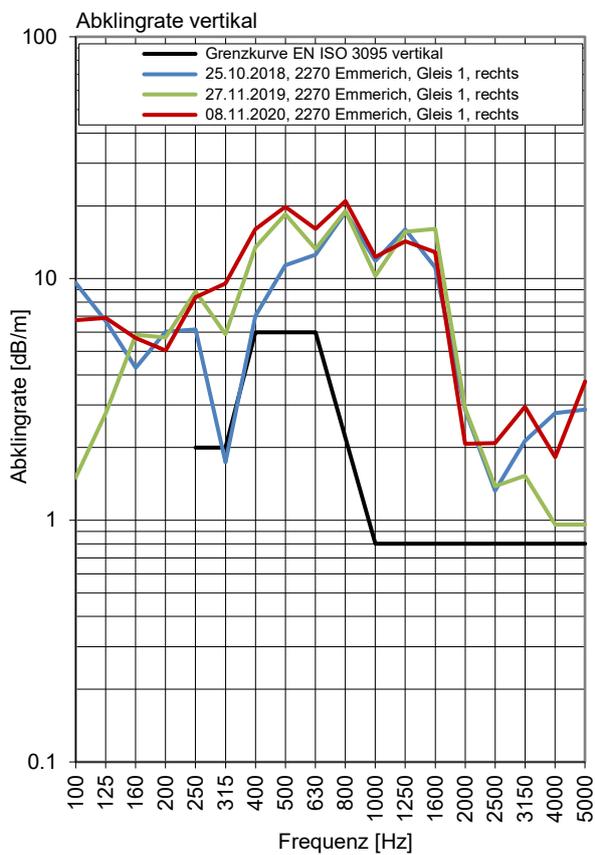
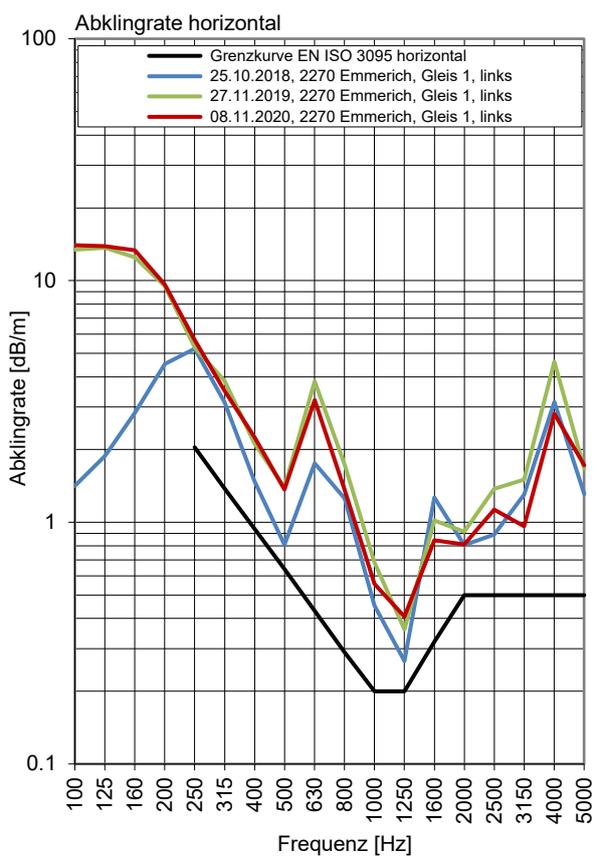
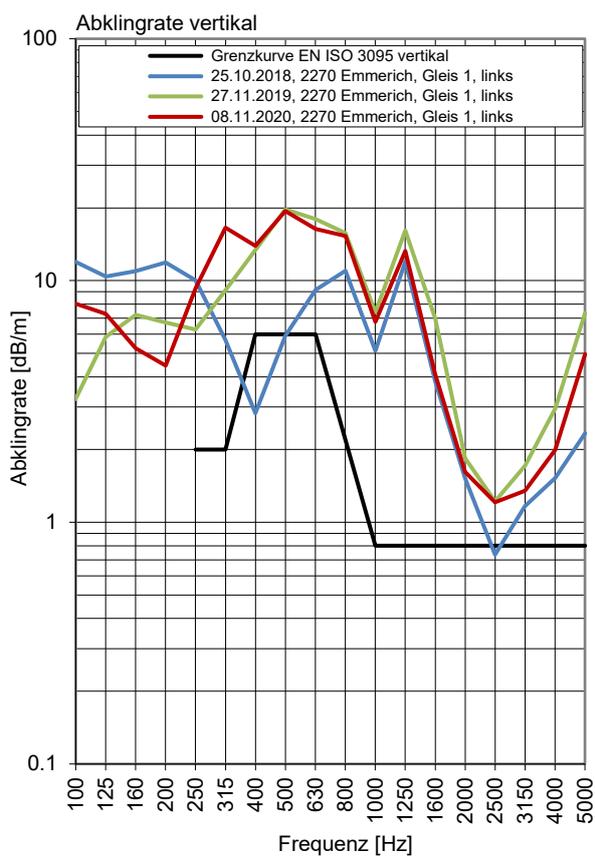
Gleis 1: Richtung Oberhausen

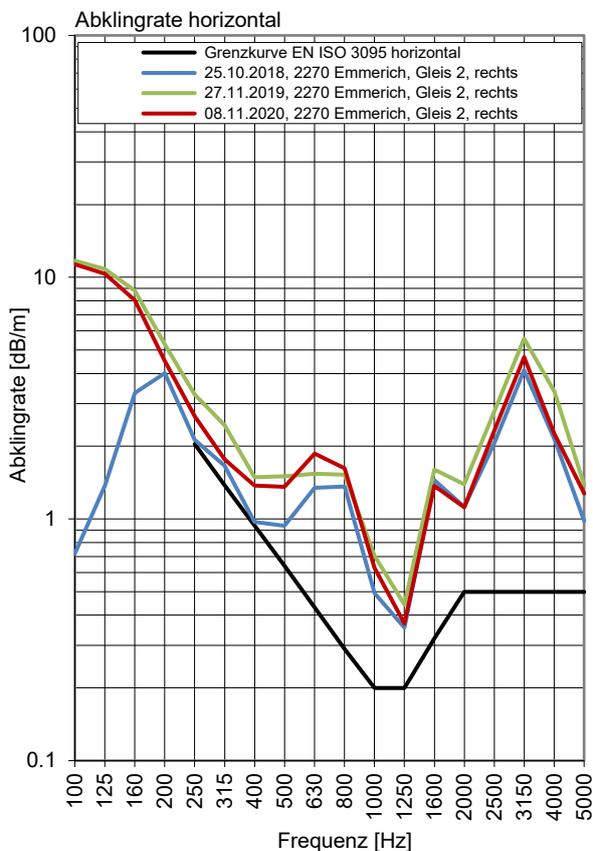
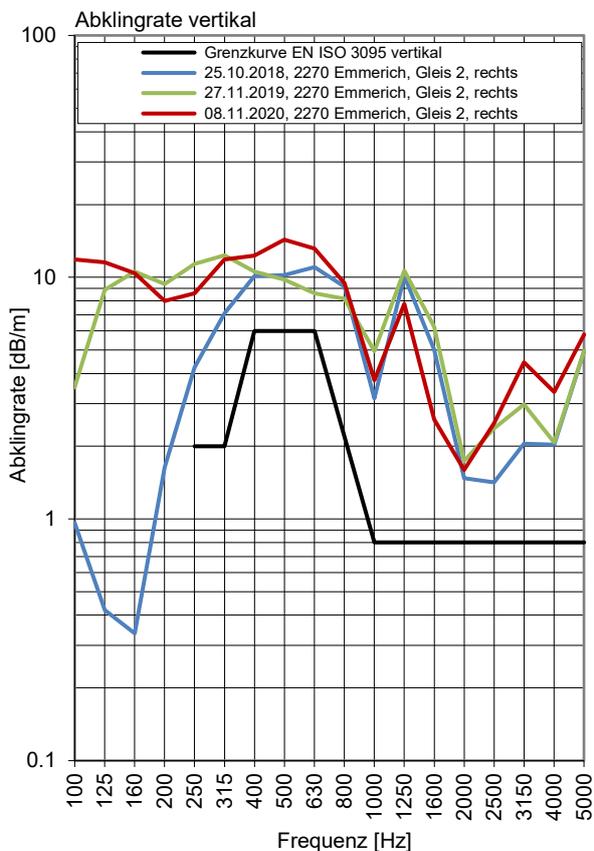
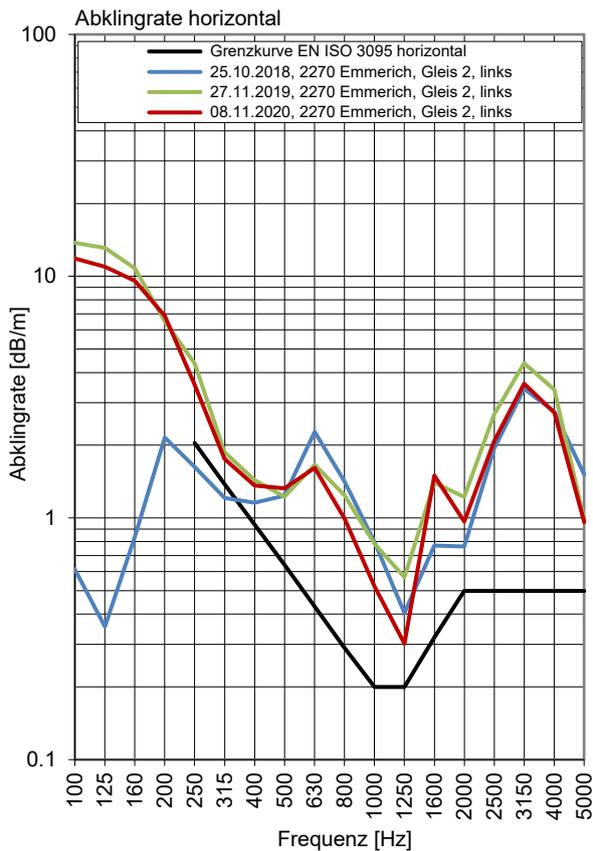
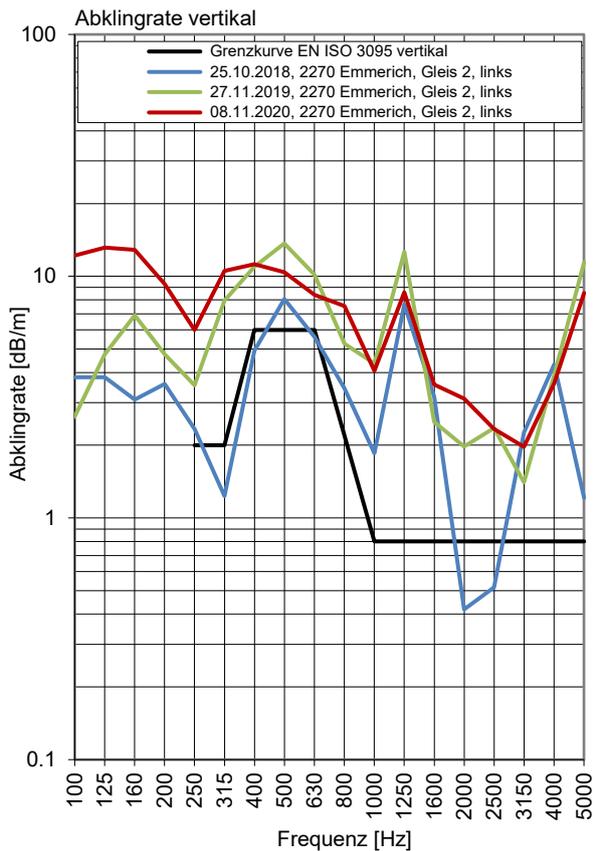
Gleis 2: Richtung Emmerich

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





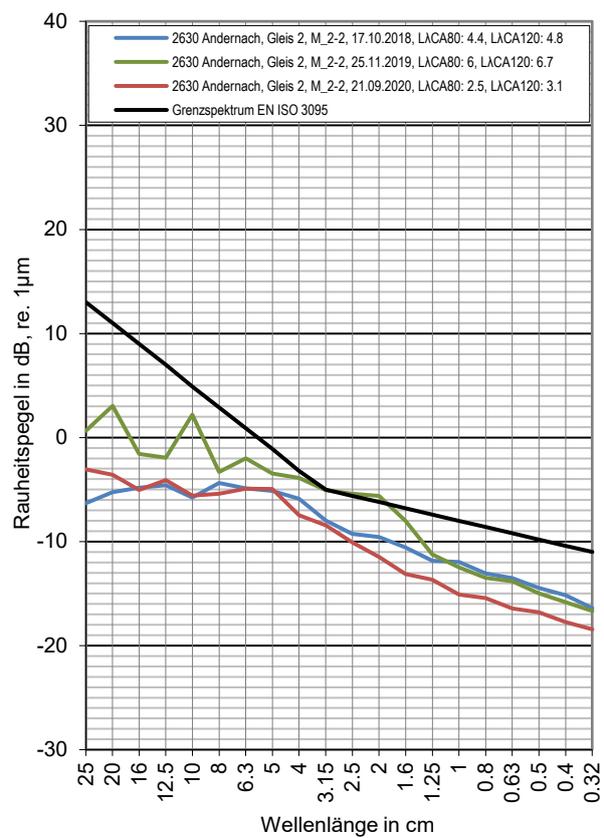
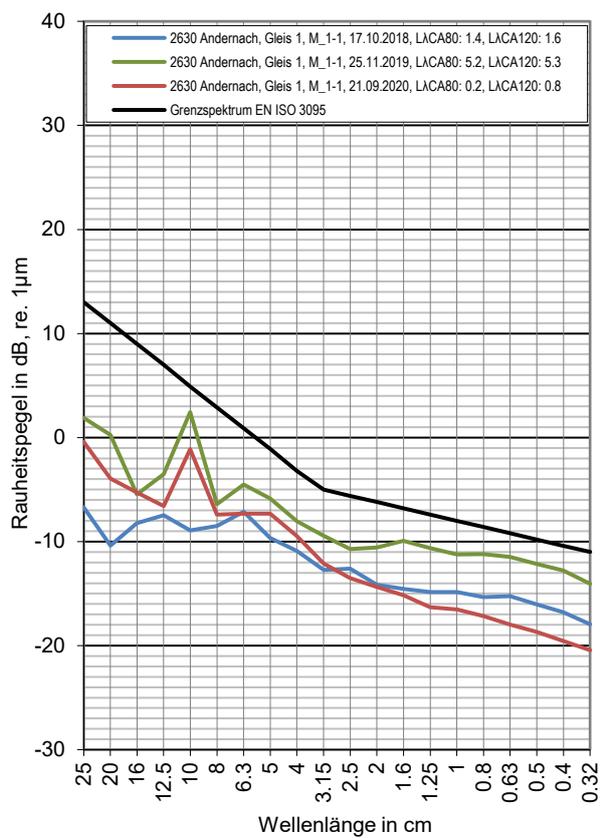
Messtelle Andernach

Strecke 2630, km 68,8

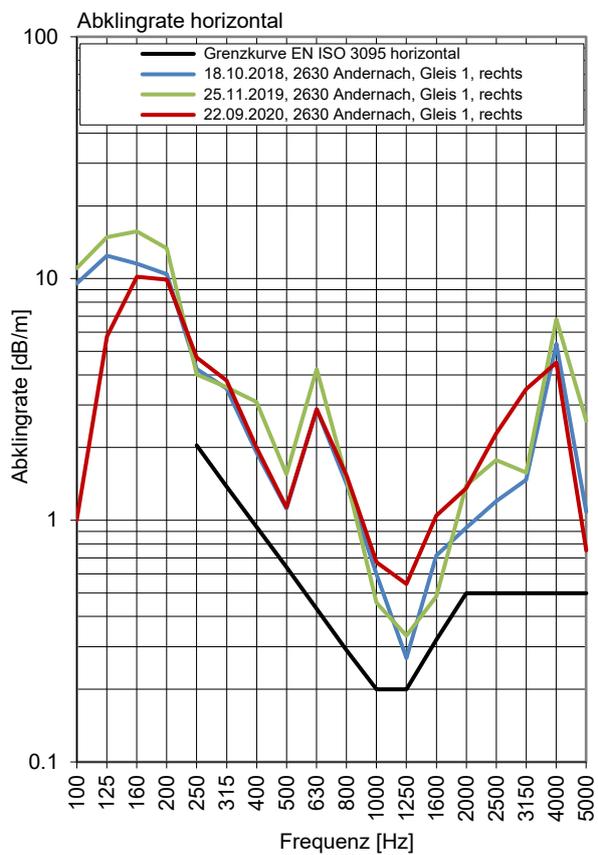
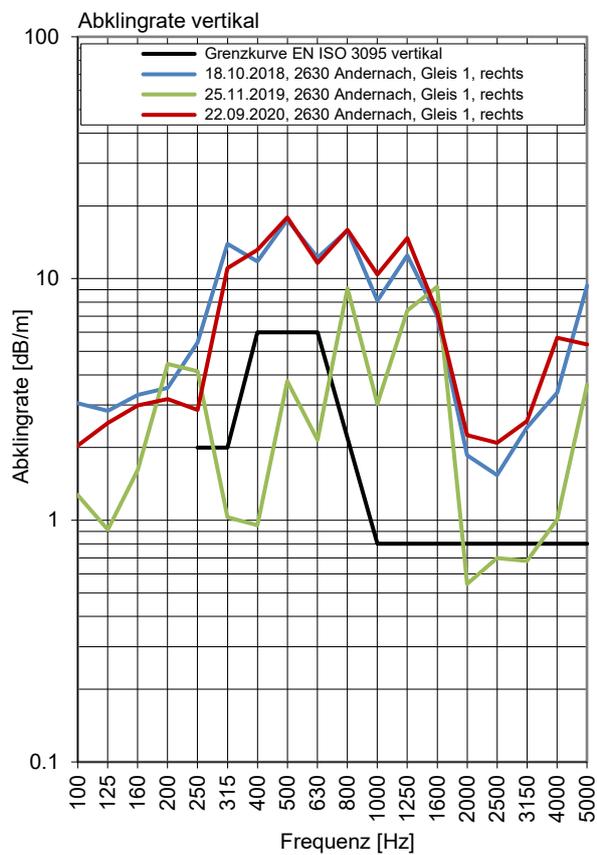
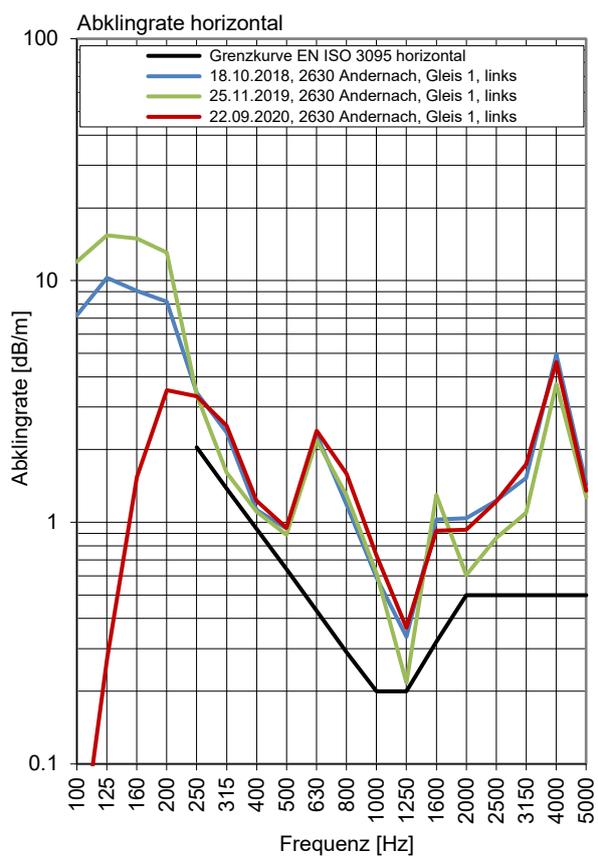
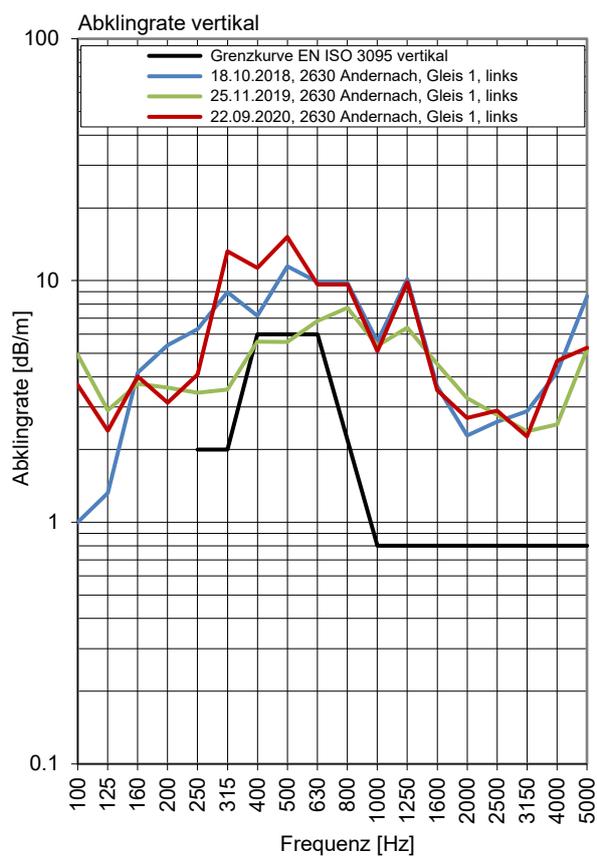
Gleis 1: Richtung Köln

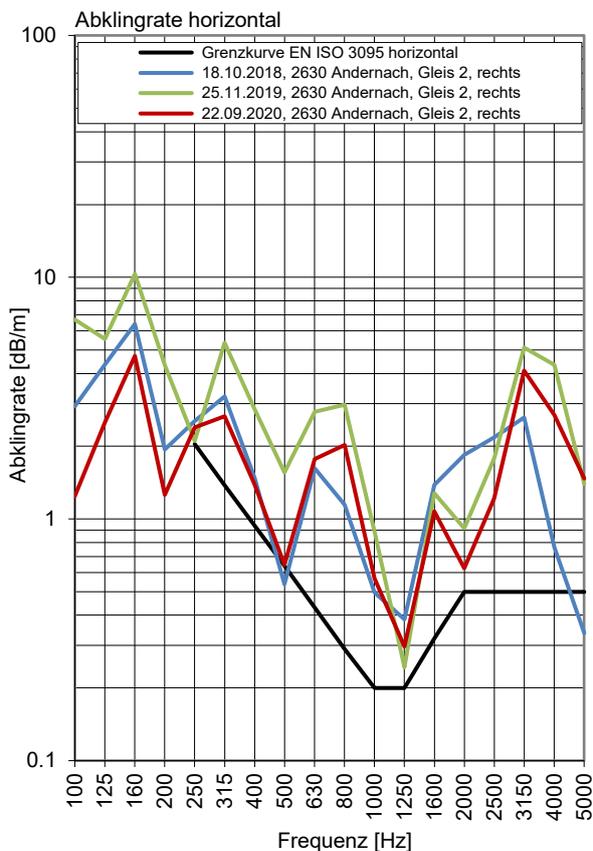
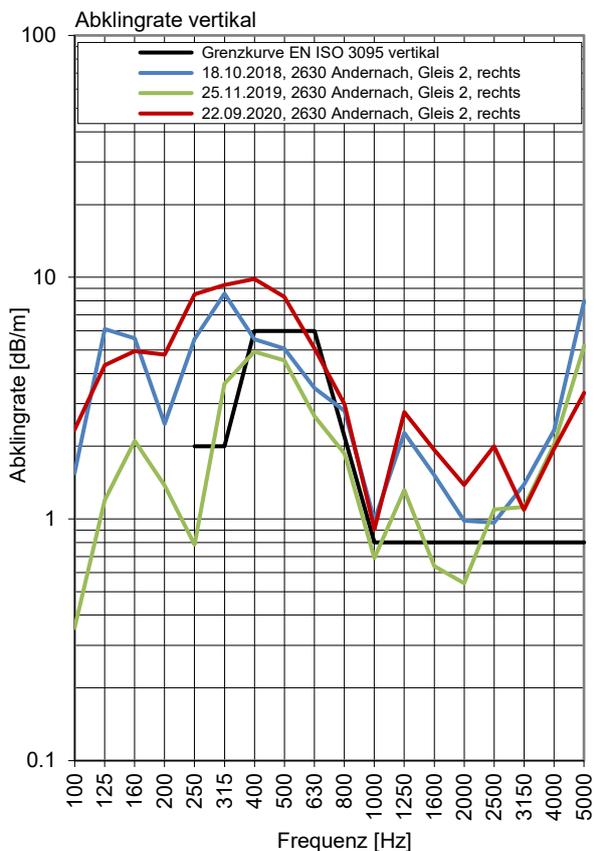
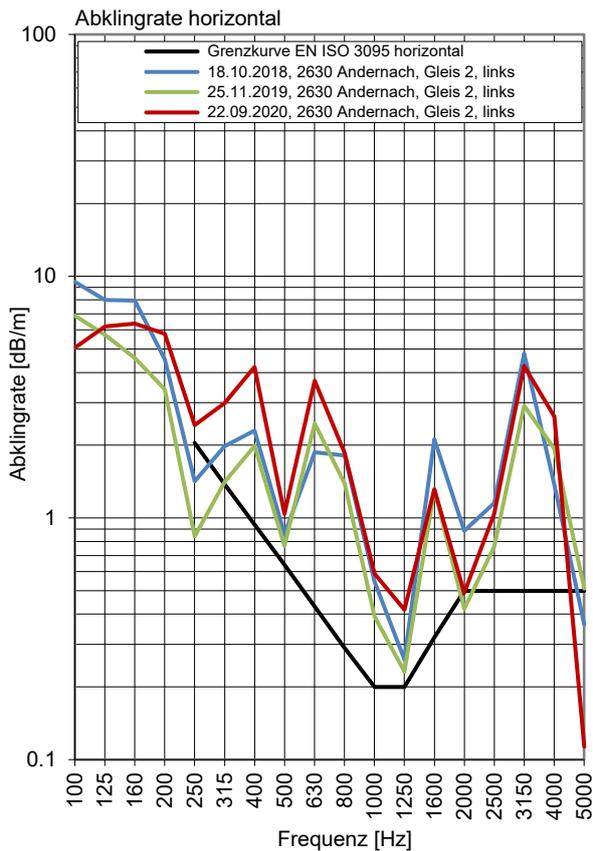
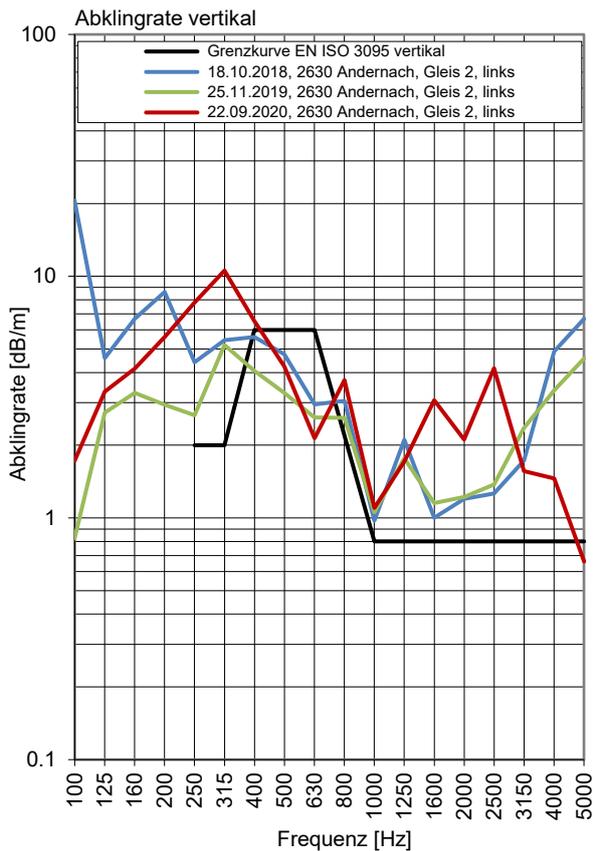
Gleis 2: Richtung Bingen

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





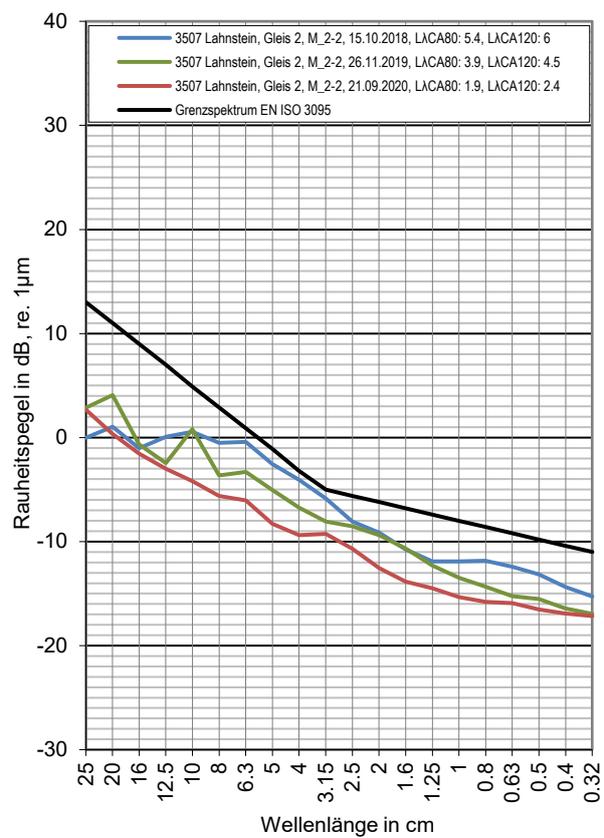
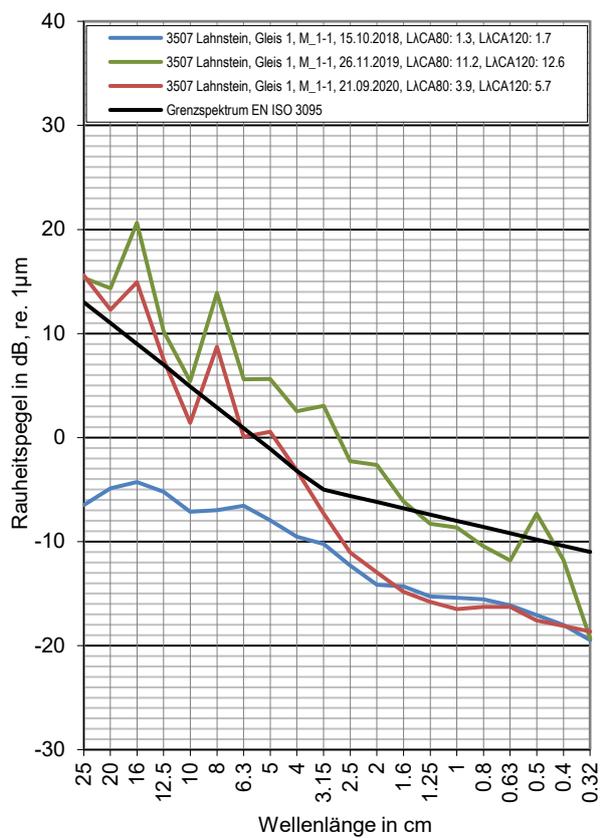
Messtelle Lahnstein

Strecke 3507, km 99,0

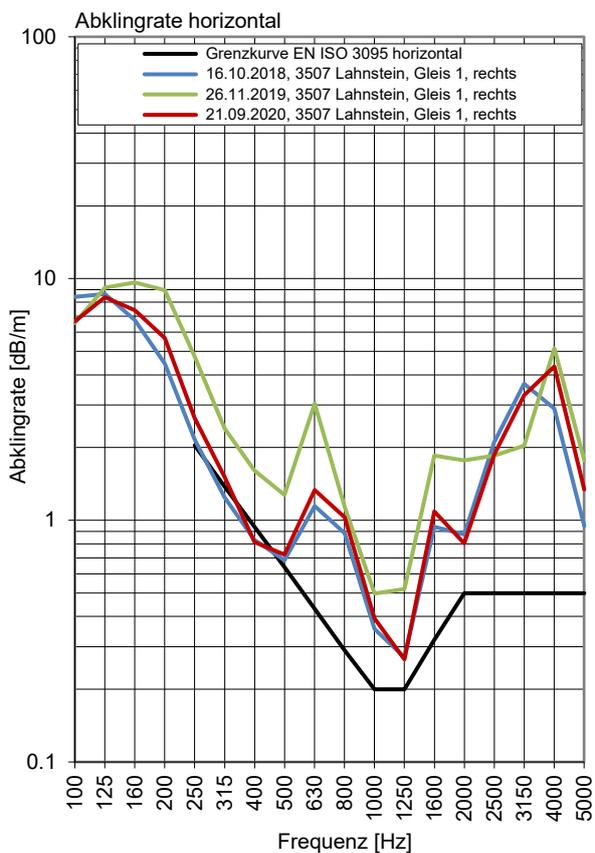
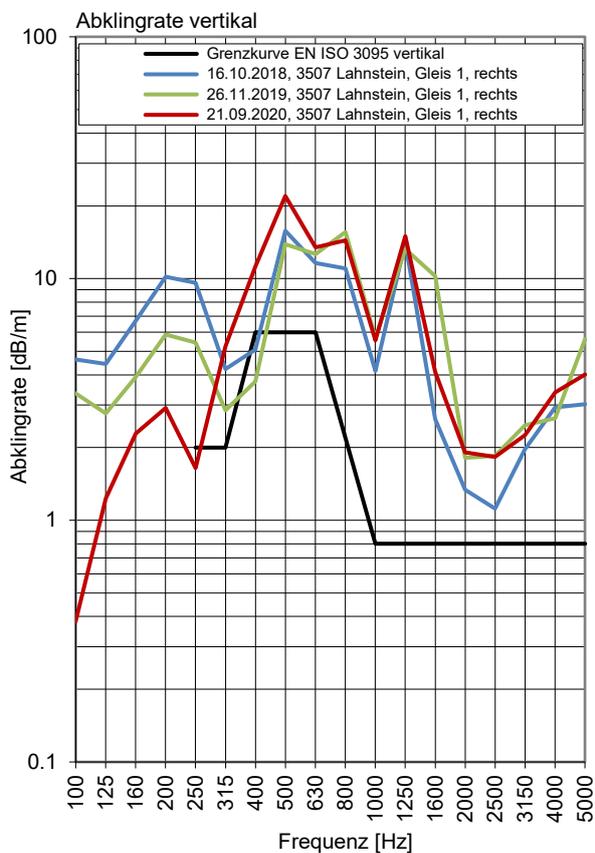
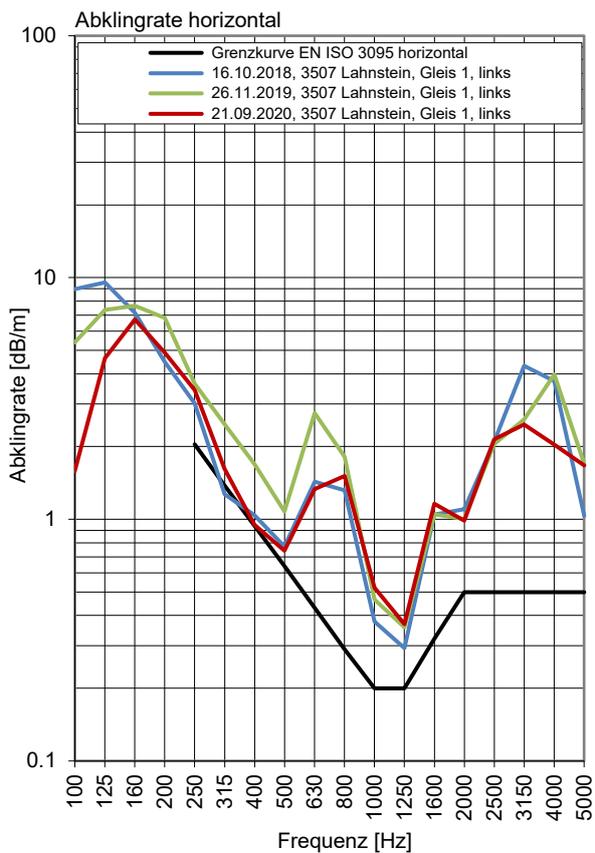
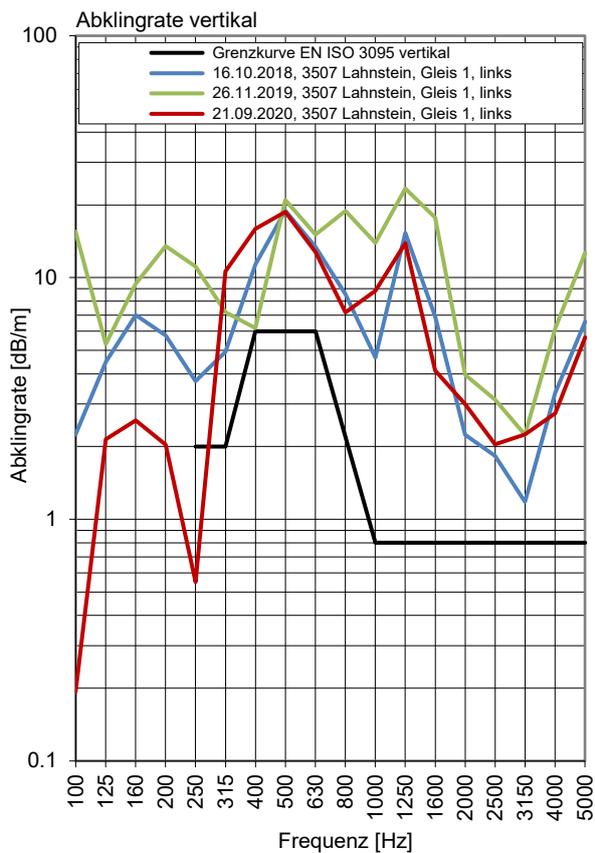
Gleis 1: Richtung Koblenz

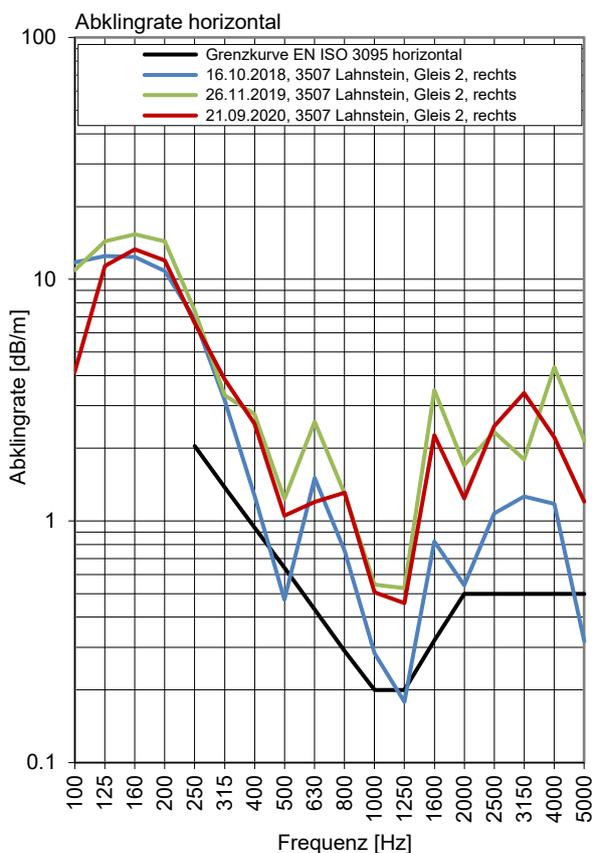
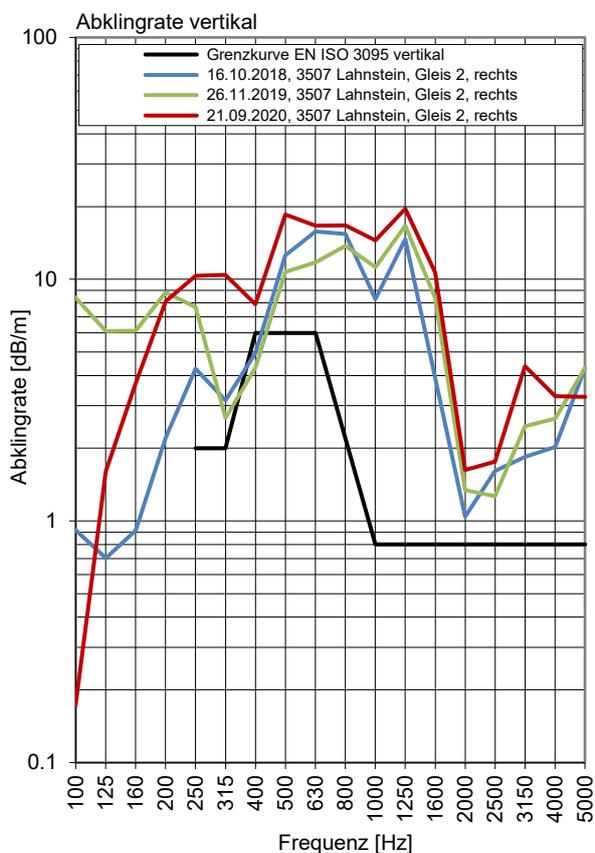
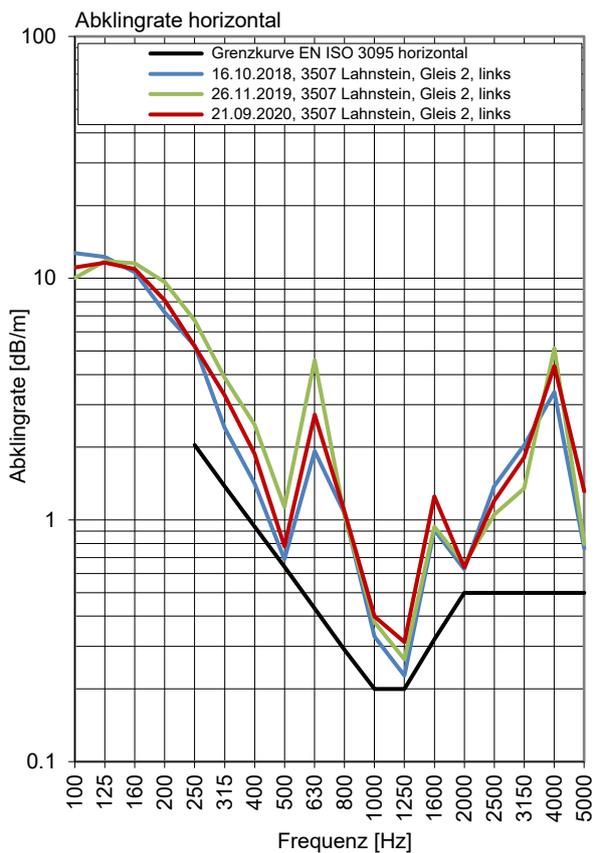
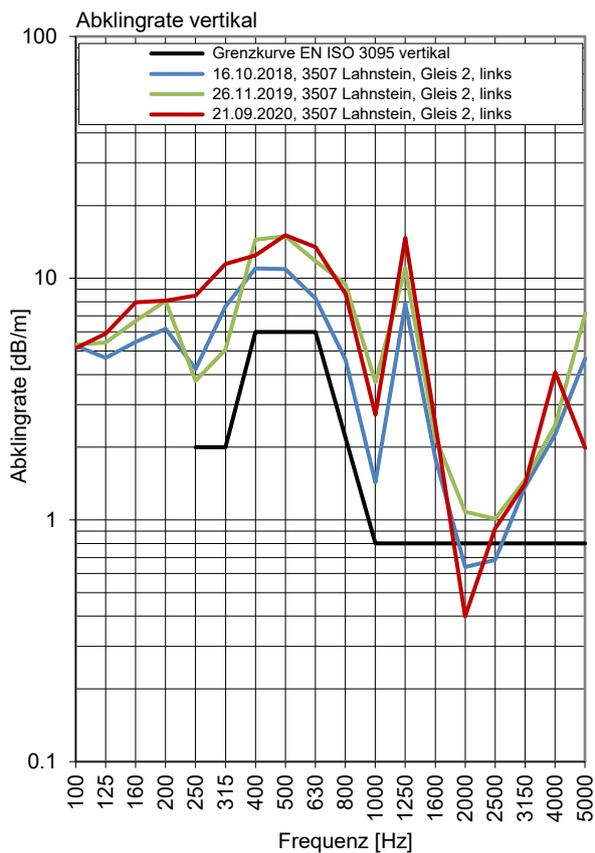
Gleis 2: Richtung Wiesbaden

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





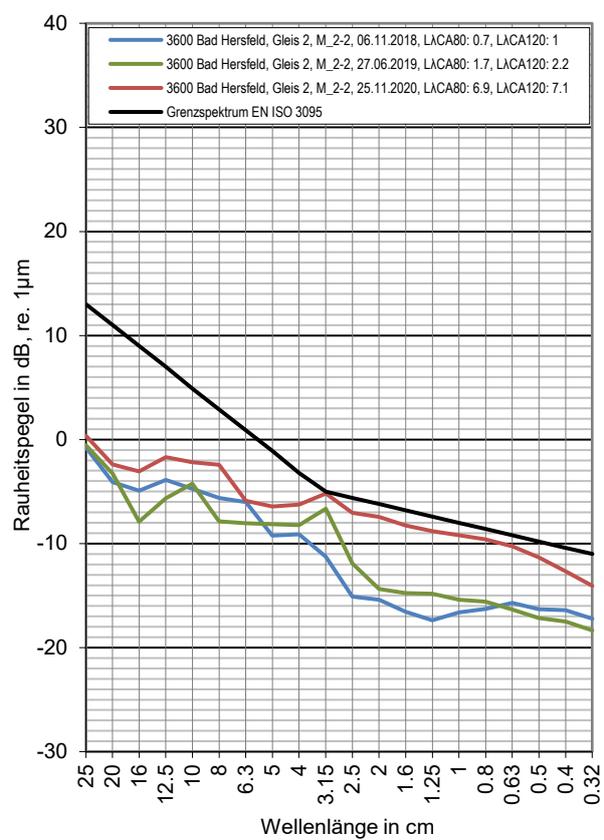
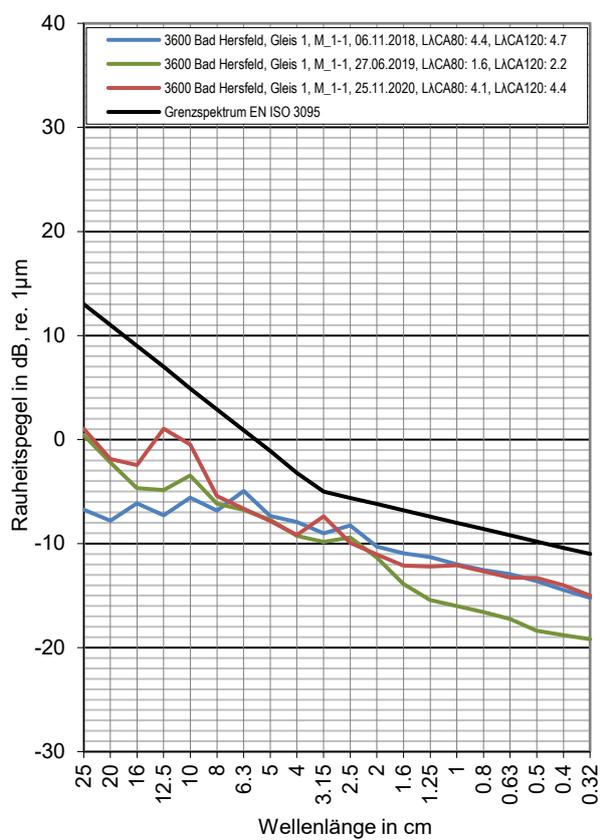
Messtelle Bad Hersfeld

Strecke 3600, km 158,4

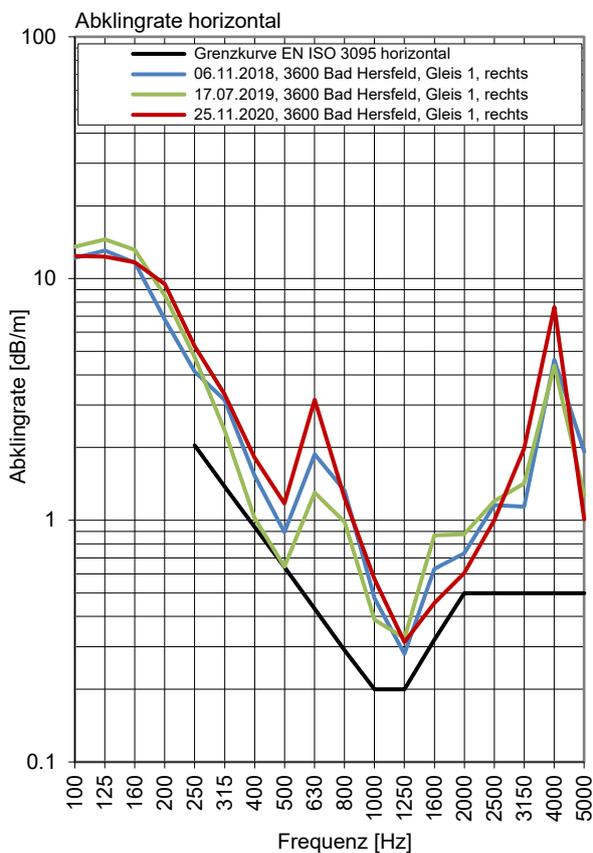
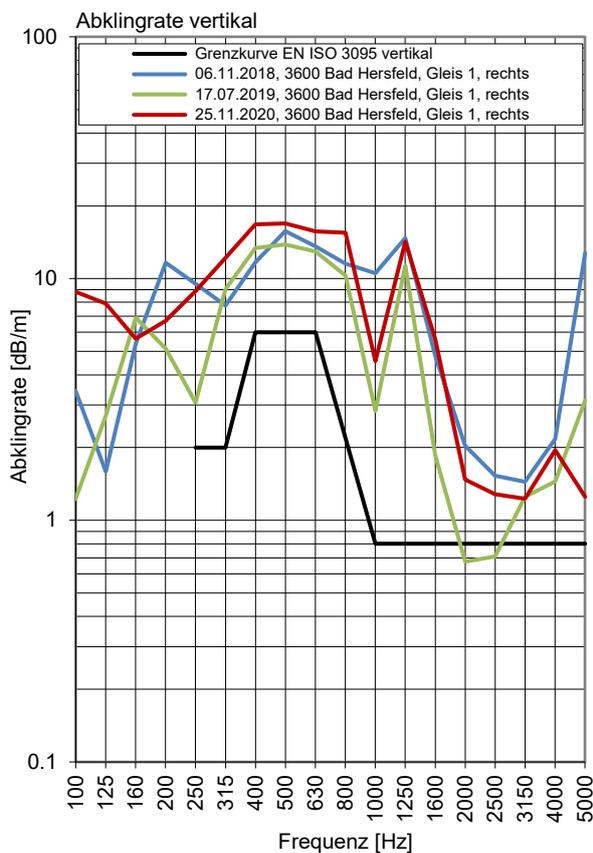
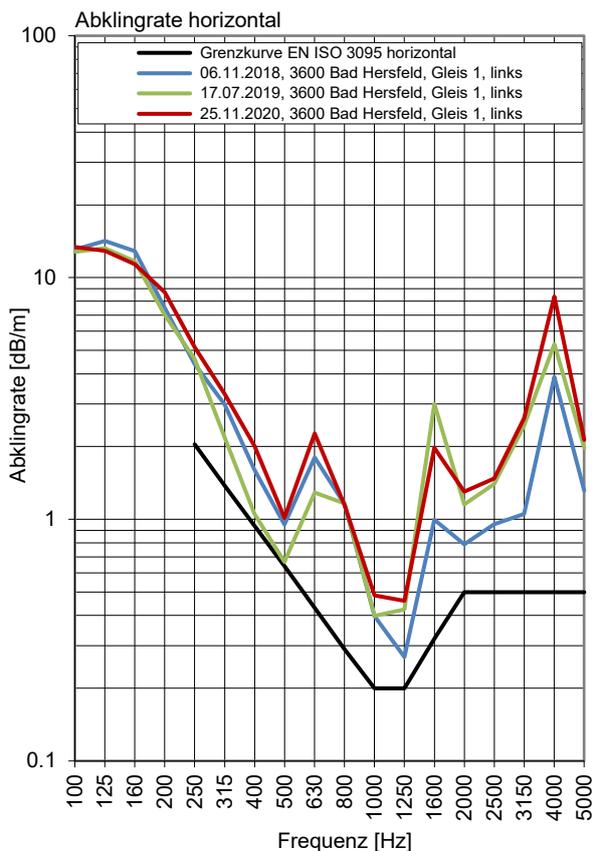
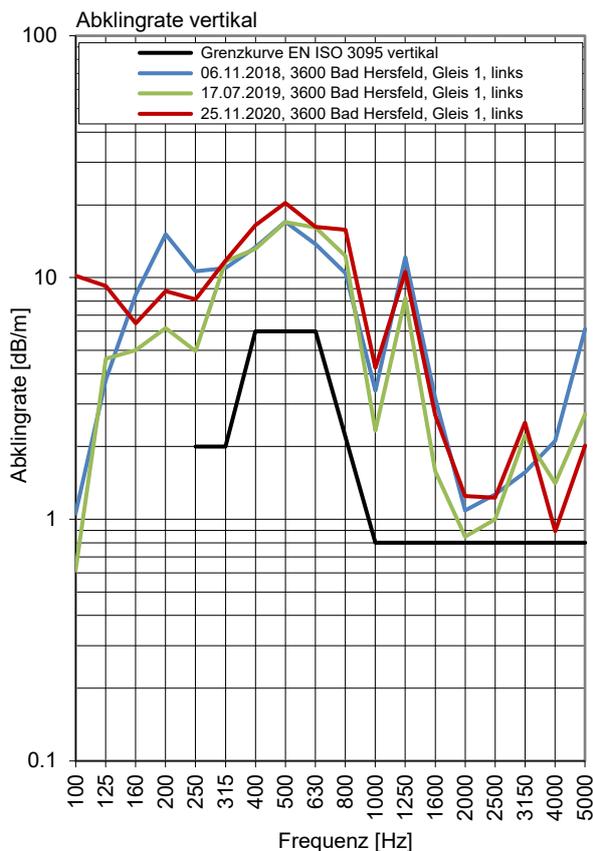
Gleis 1: Richtung Bebra

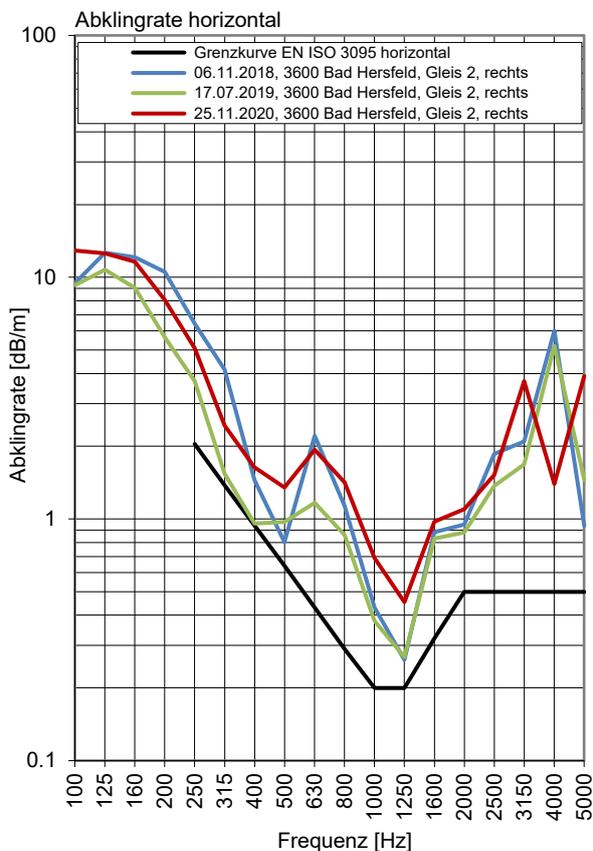
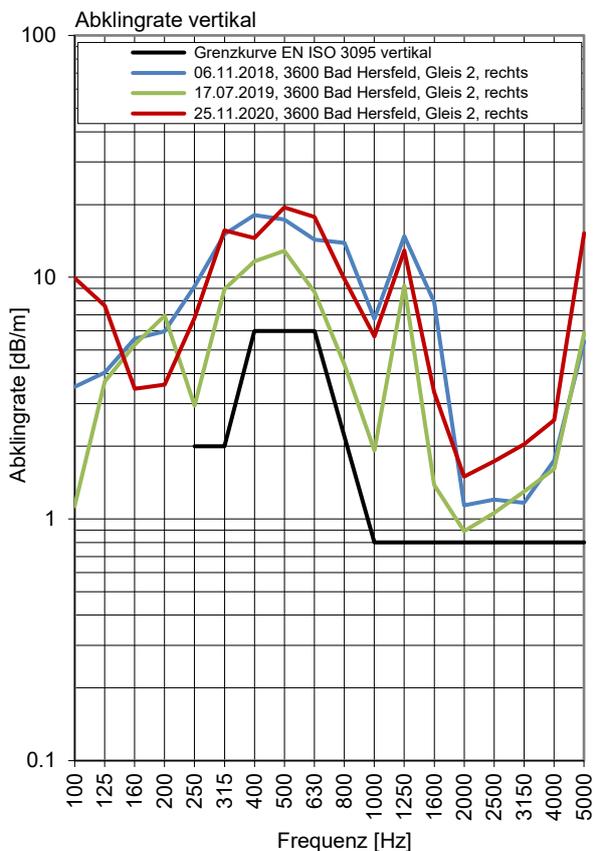
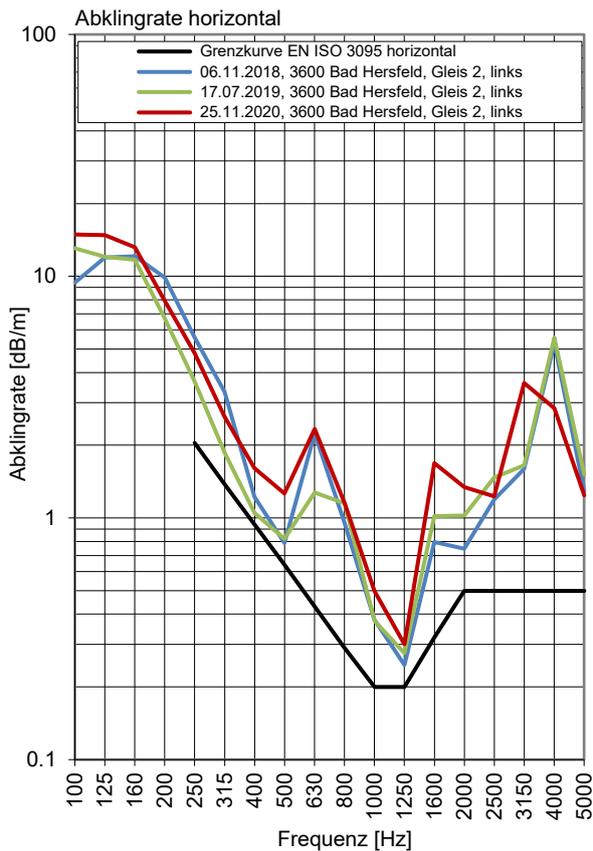
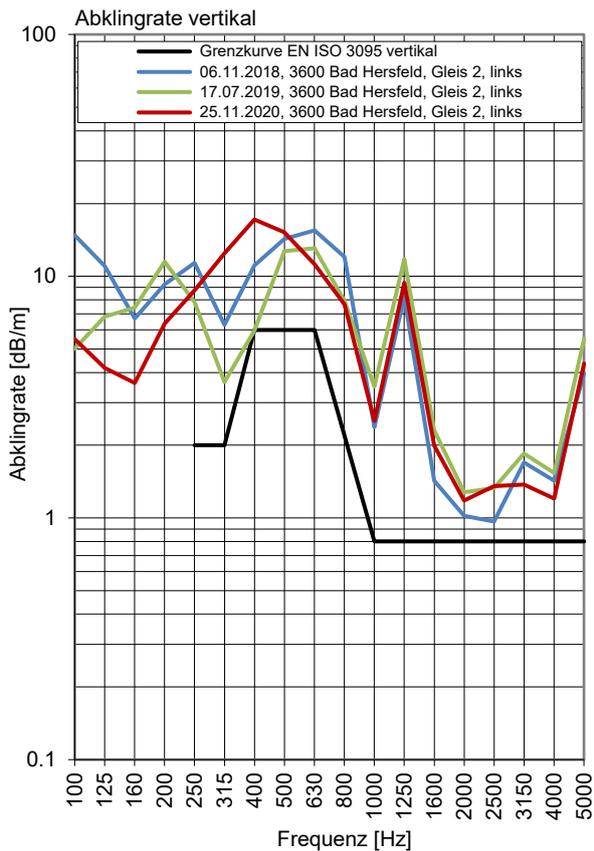
Gleis 2: Richtung Fulda

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





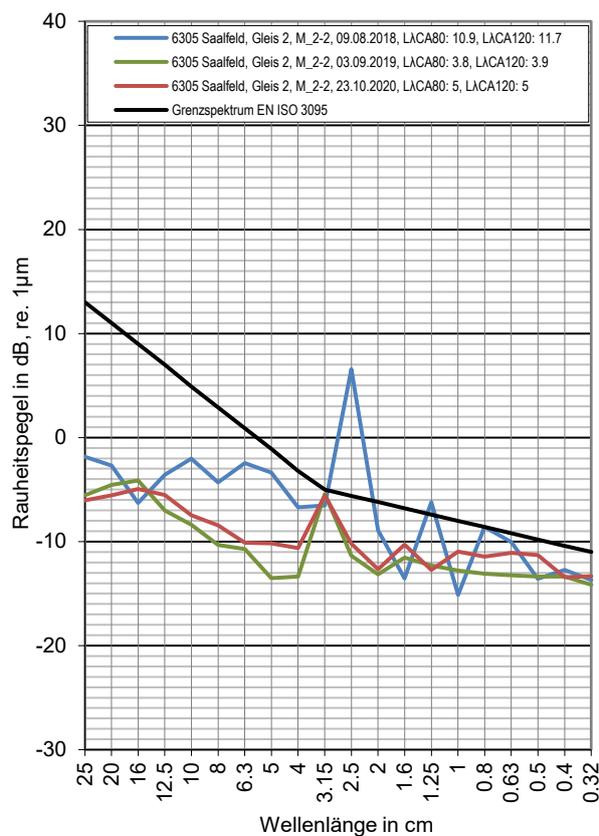
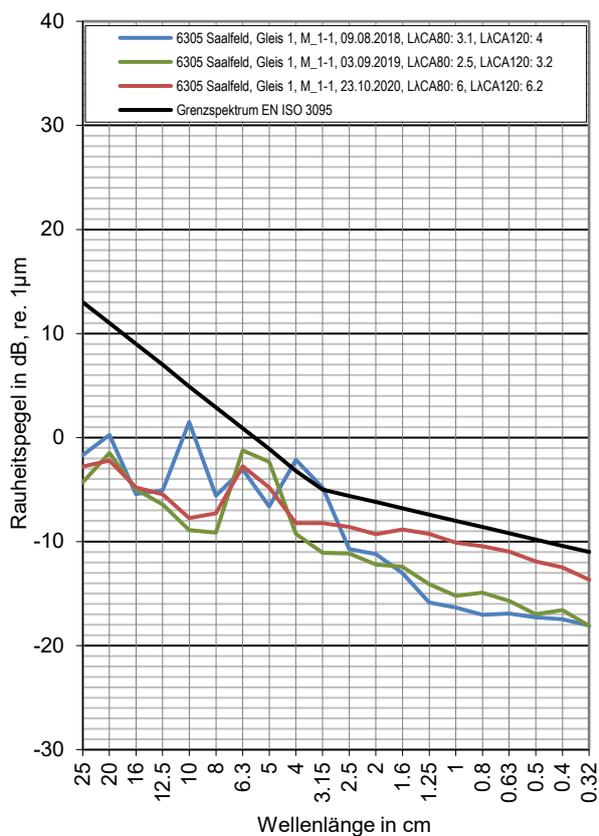
Messtelle Saalfeld

Strecke 6305, km 57,2

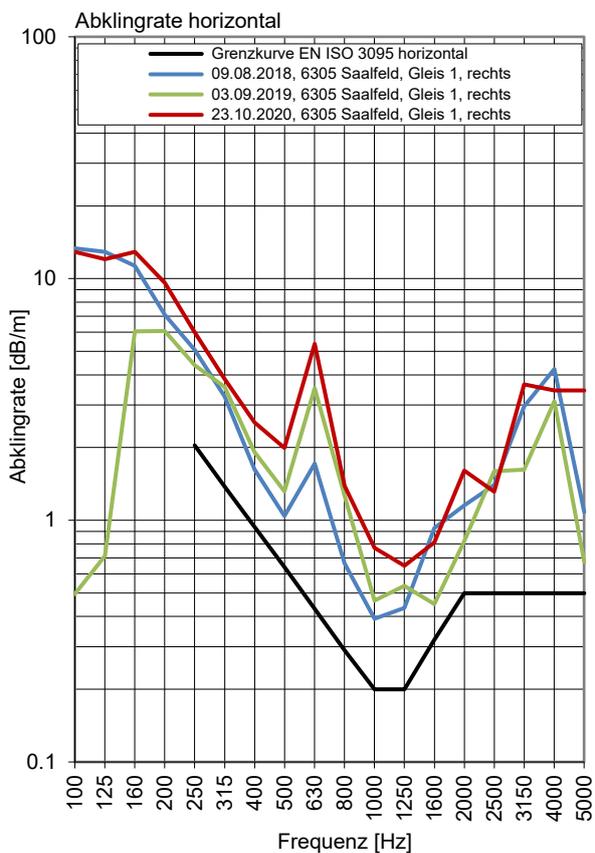
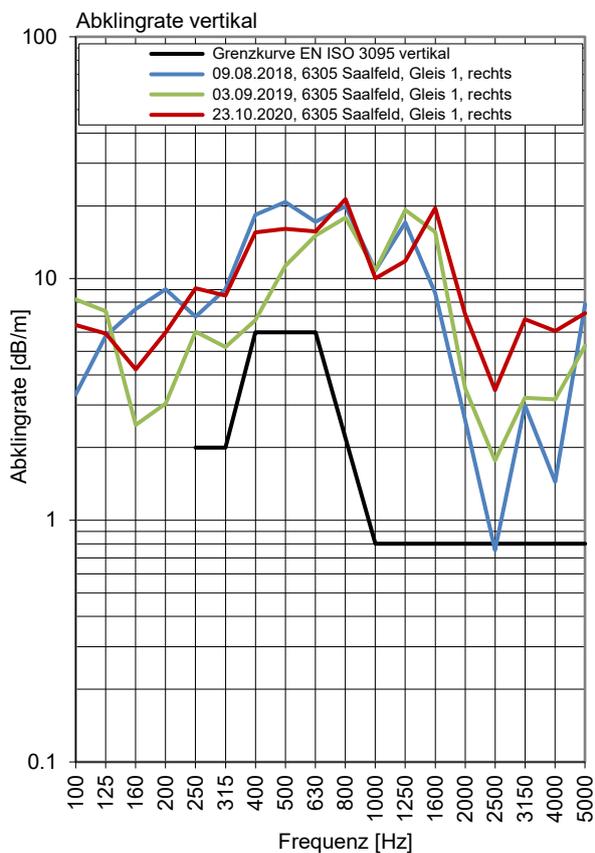
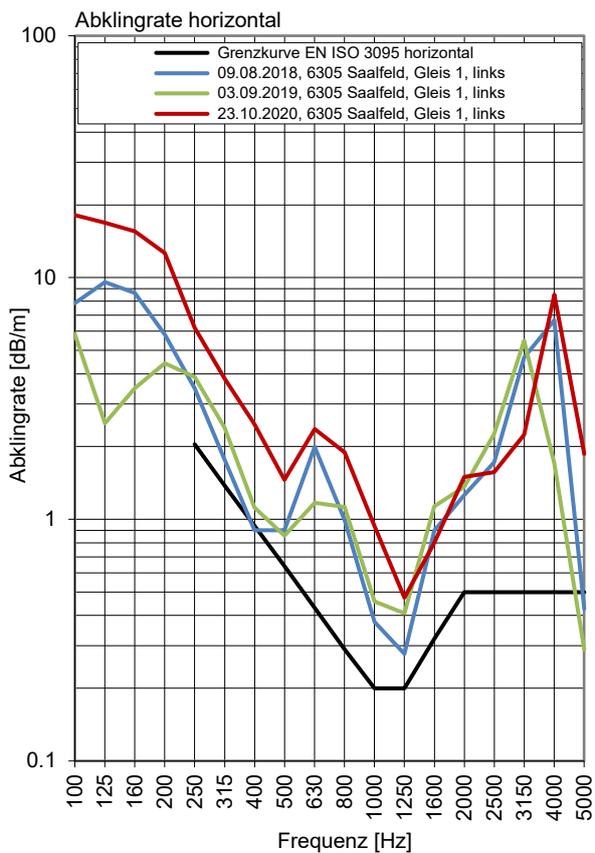
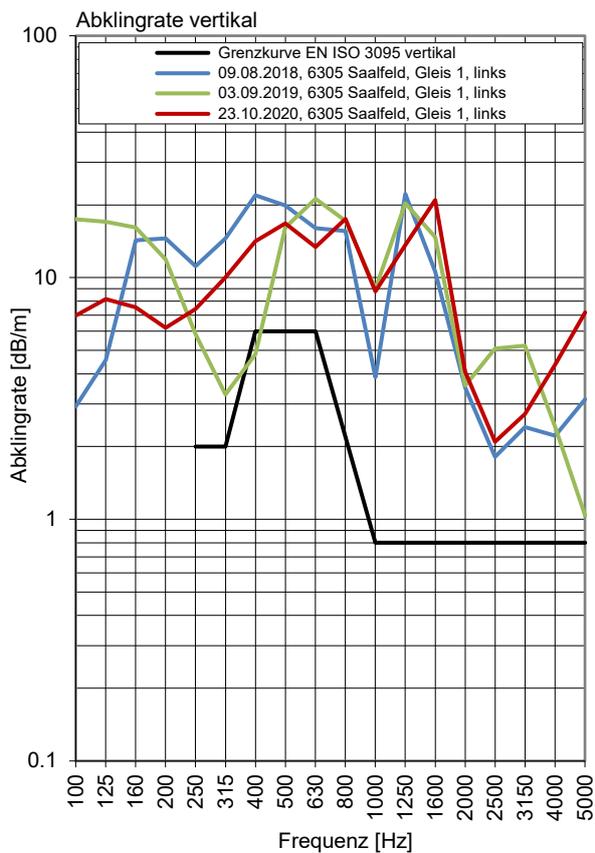
Gleis 1: Richtung Großheringen

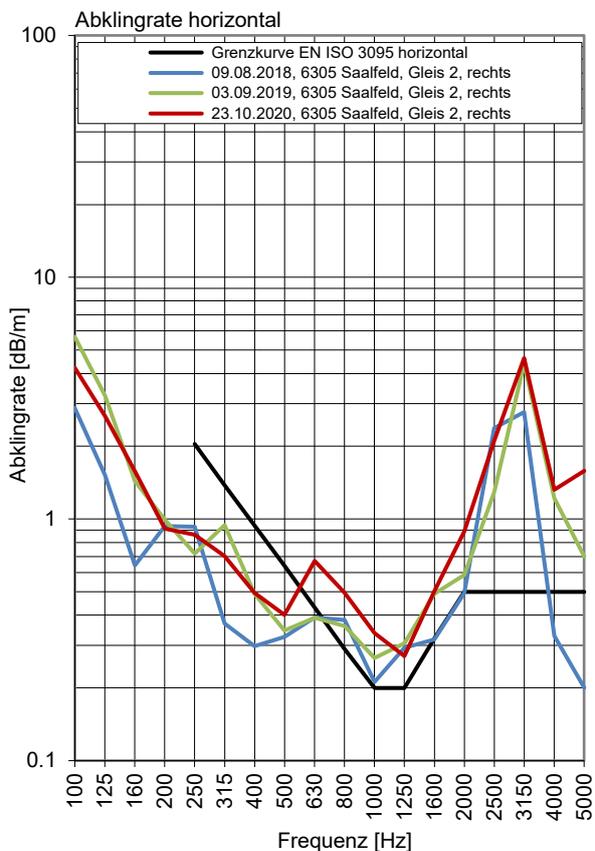
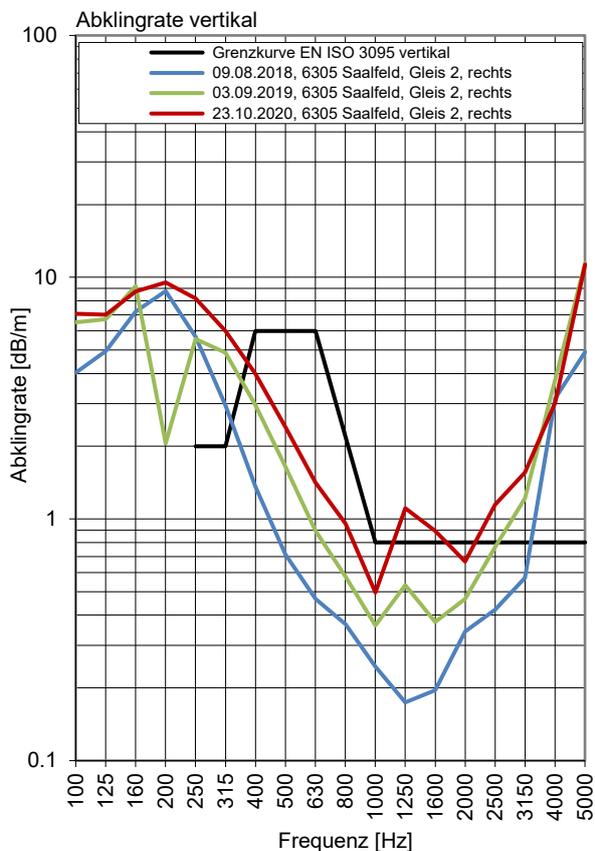
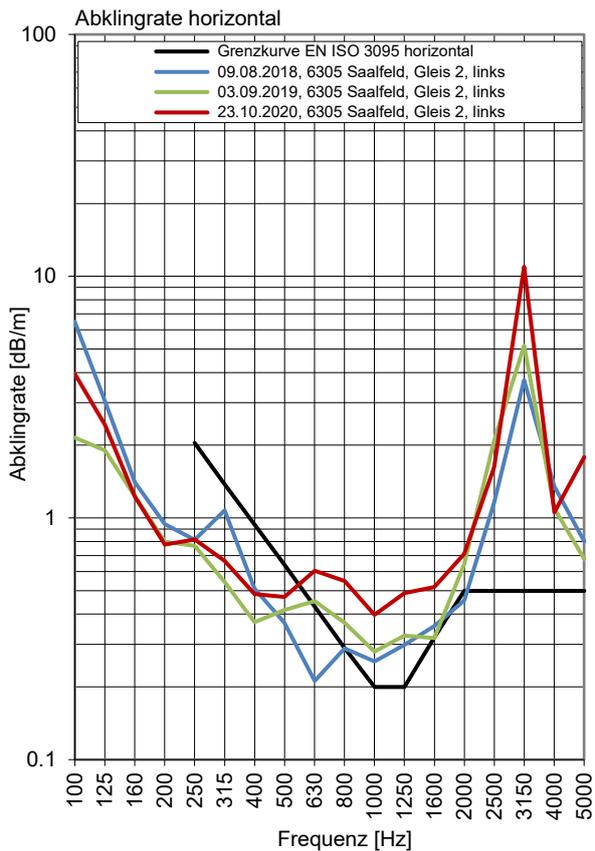
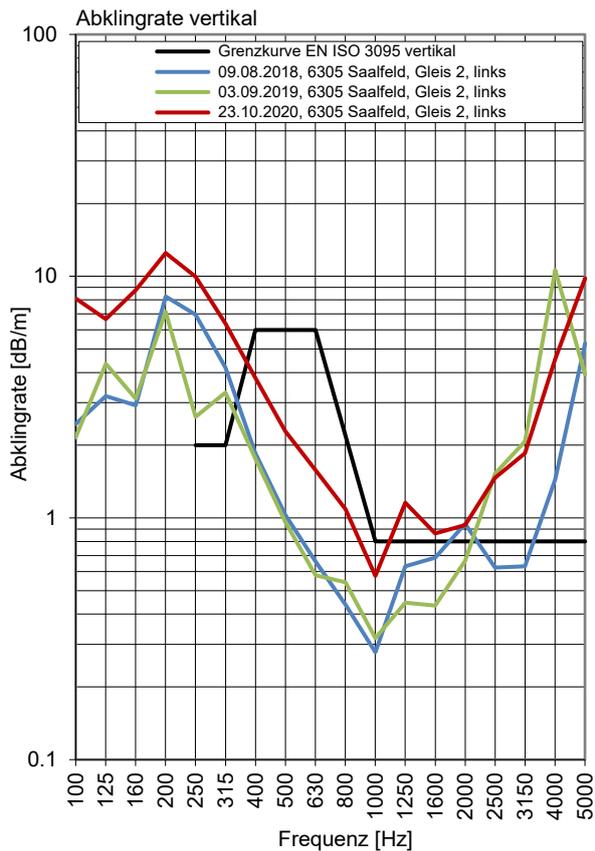
Gleis 2: Richtung Saalfeld

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





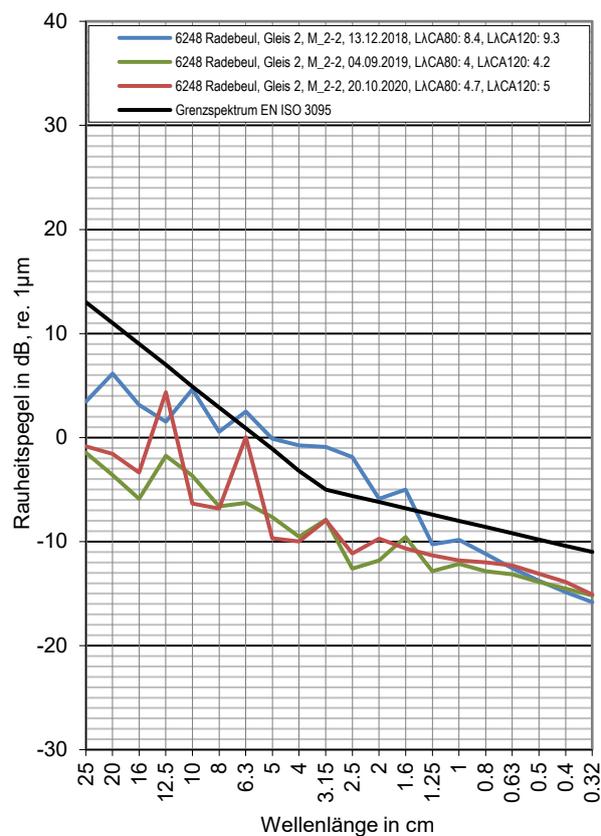
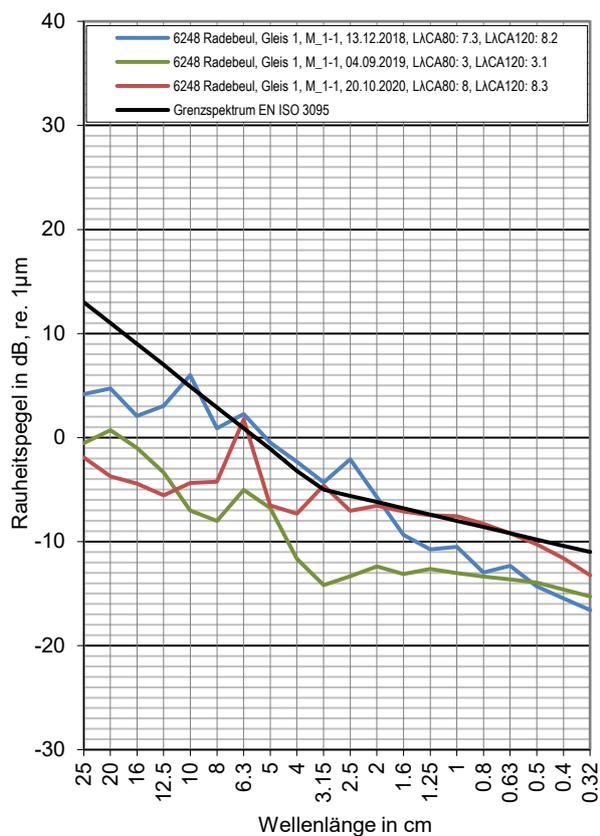
Messtelle Radebeul

Strecke 6248, km 18,8

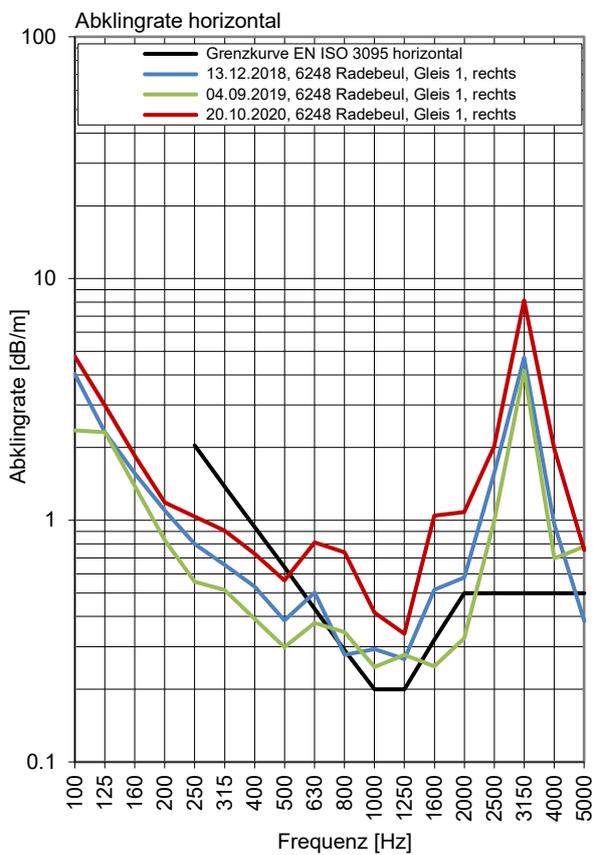
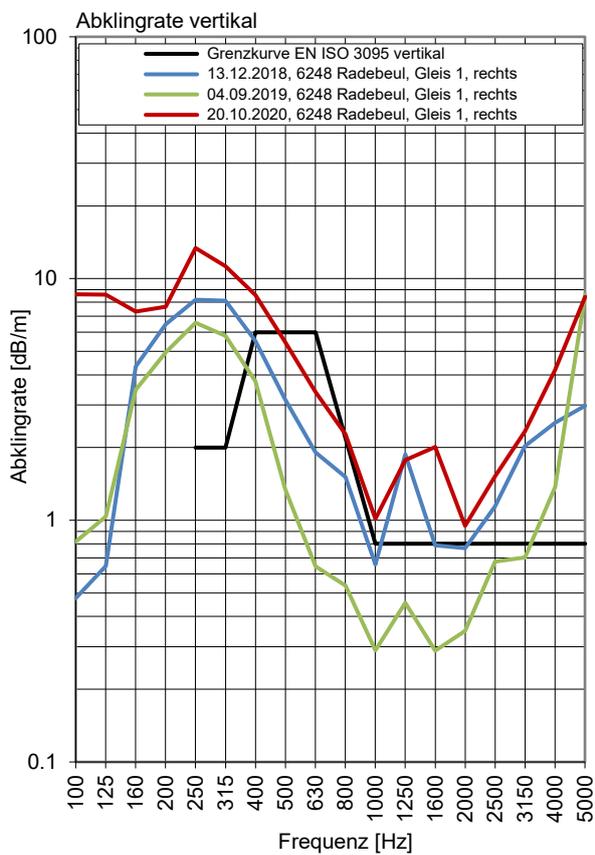
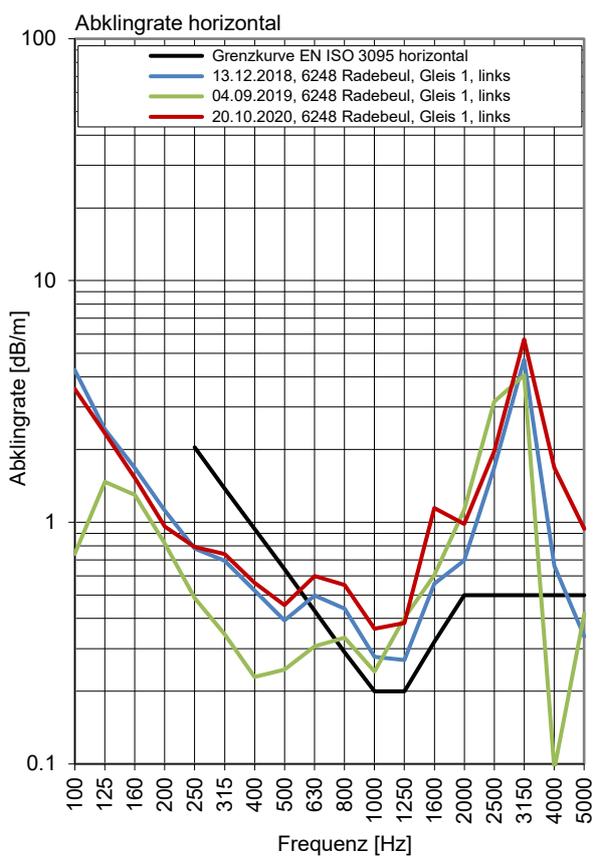
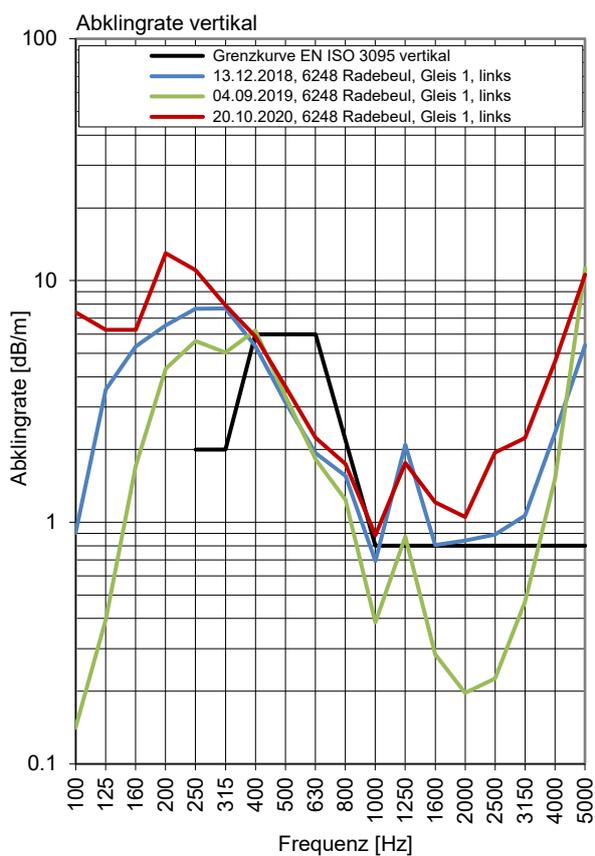
Gleis 1: Richtung Berlin

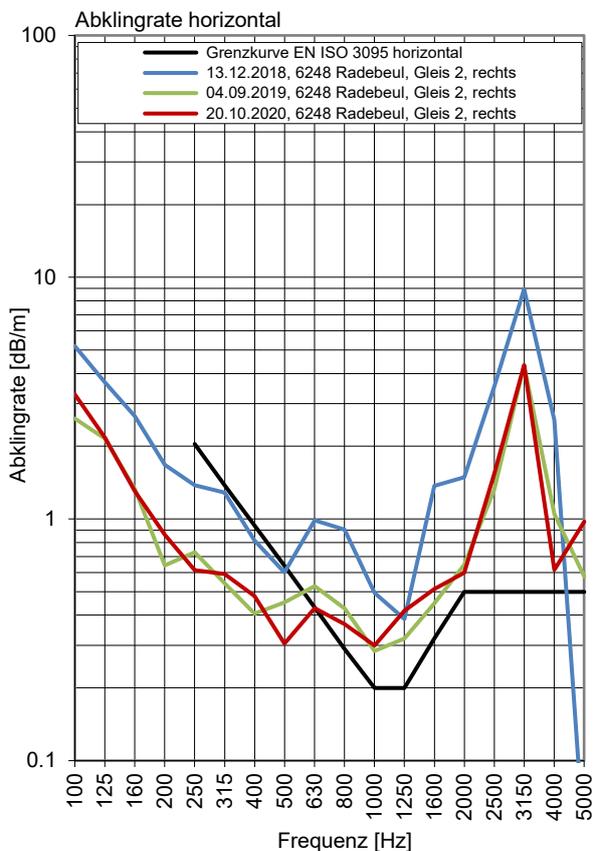
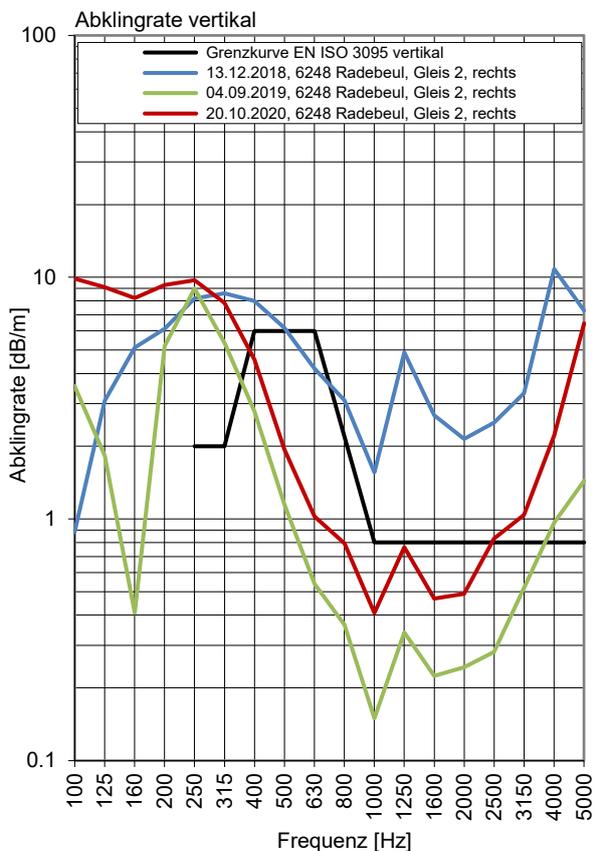
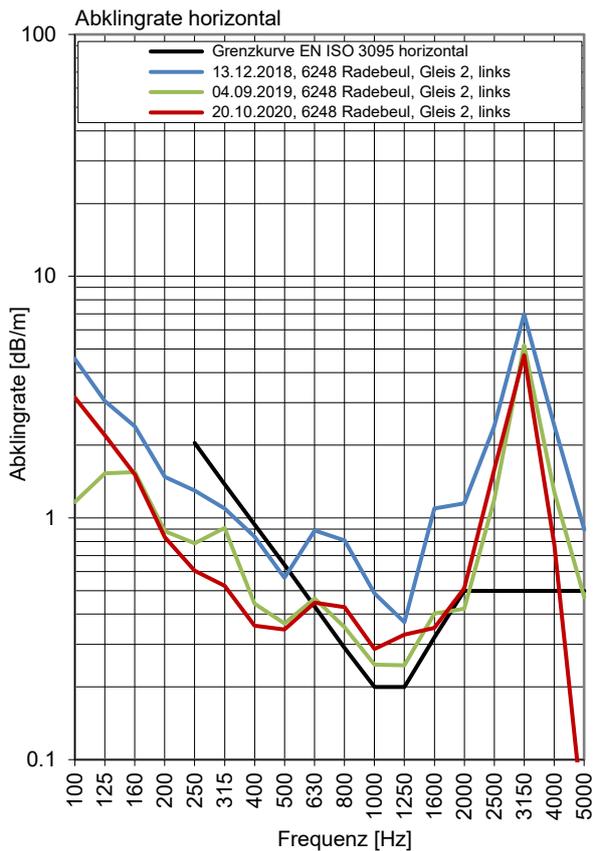
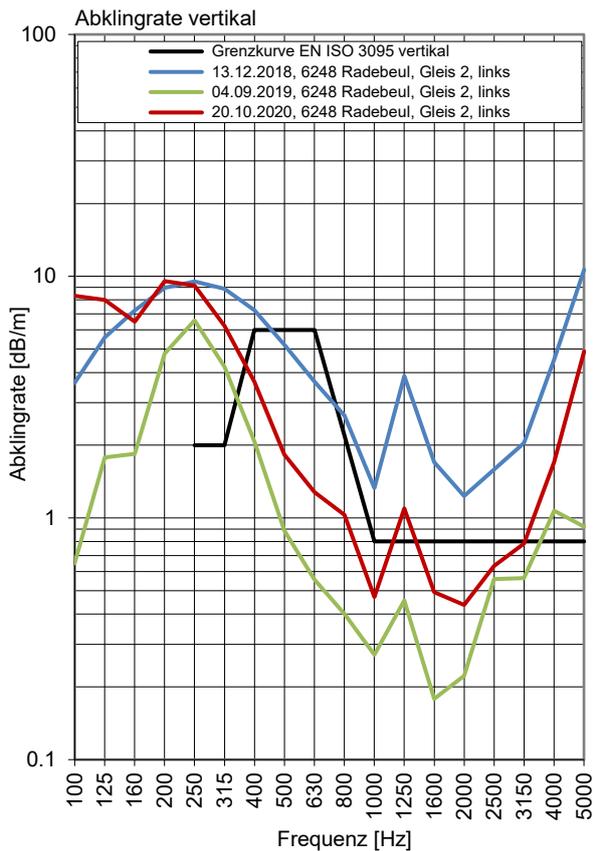
Gleis 2: Richtung Dresden

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





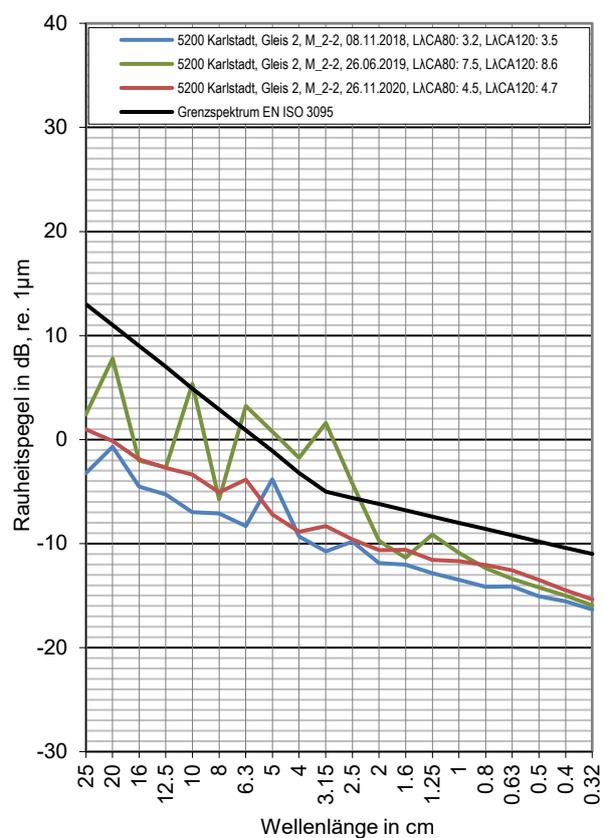
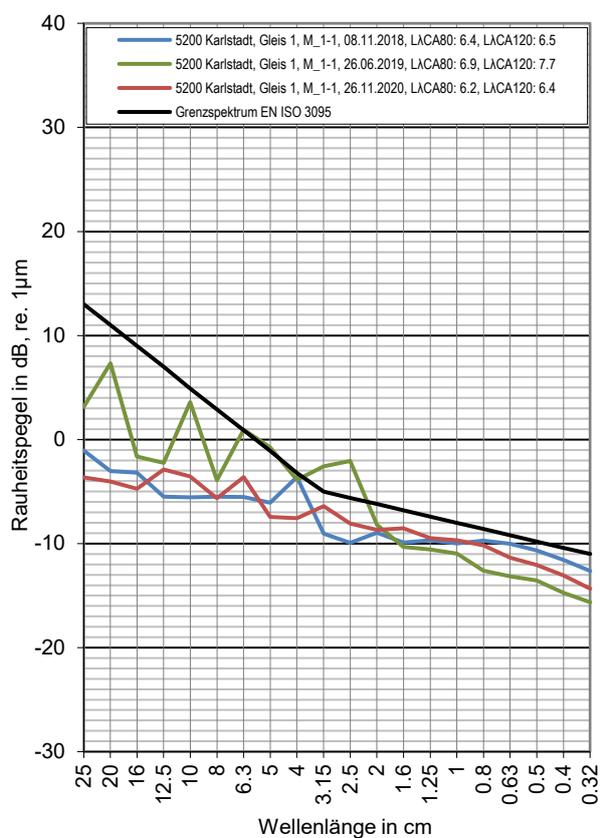
Messtelle Karlstadt

Strecke 5200, km 18,2

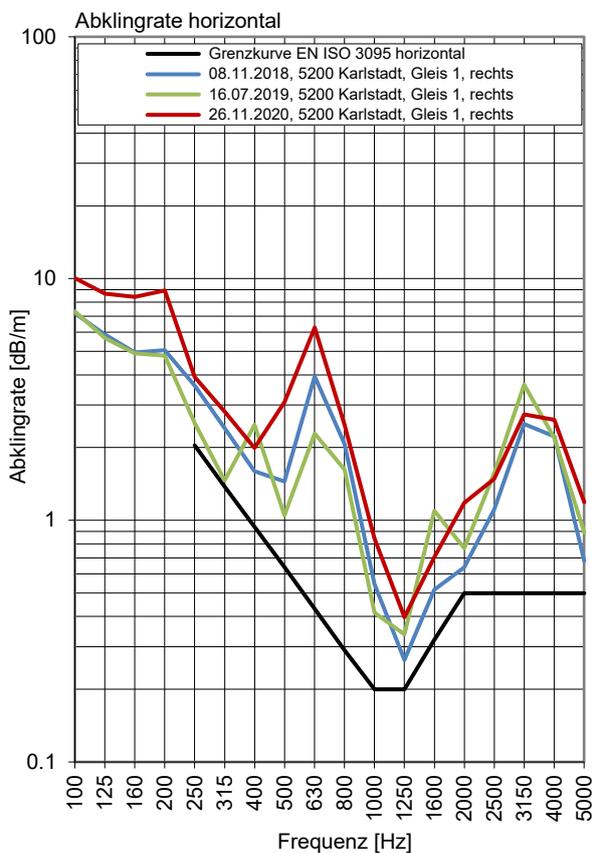
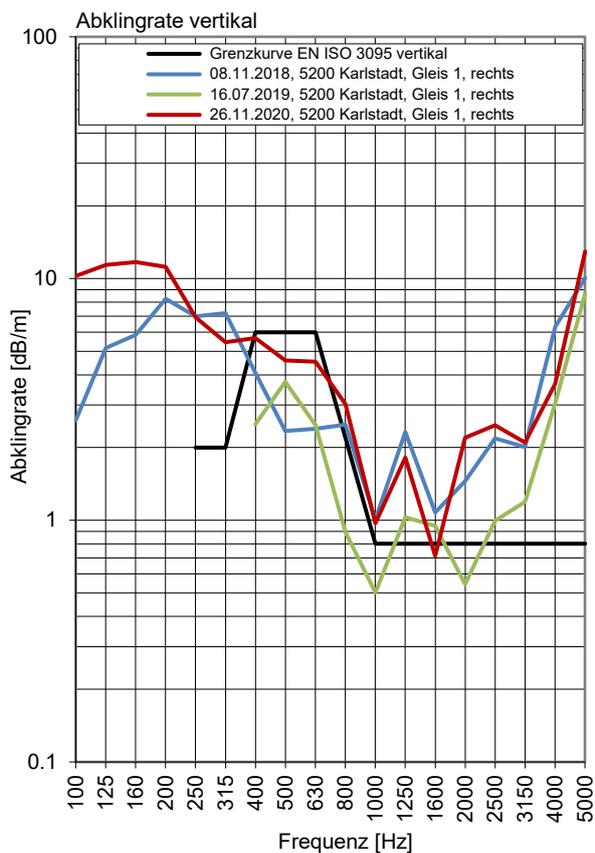
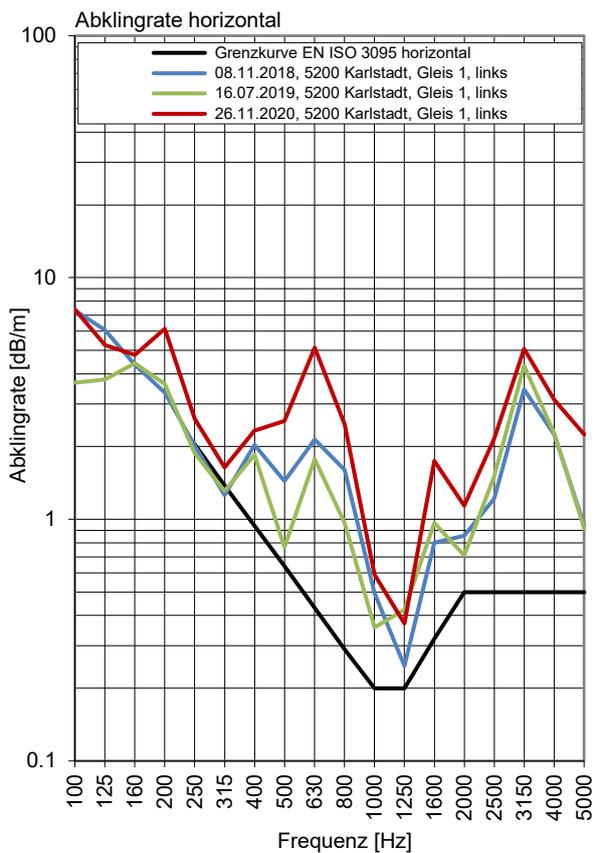
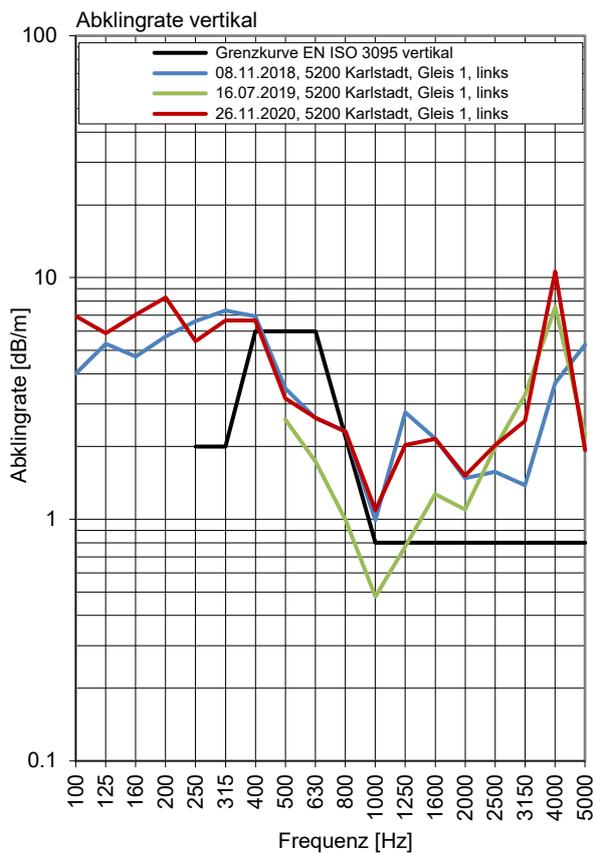
Gleis 1: Richtung Aschaffenburg

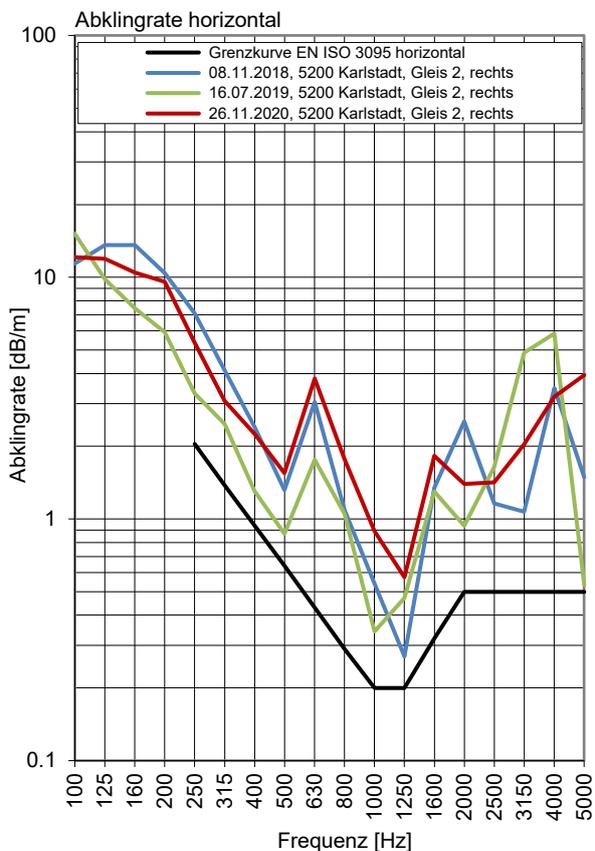
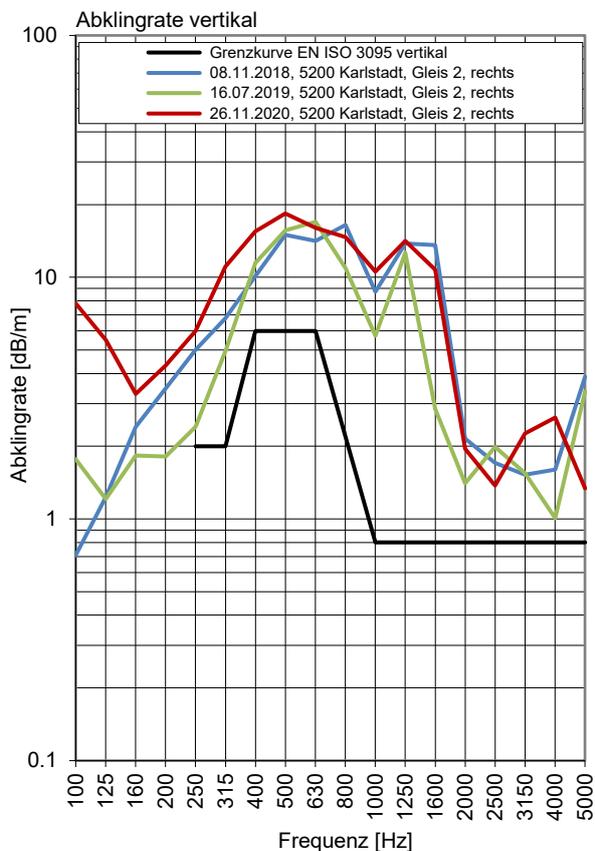
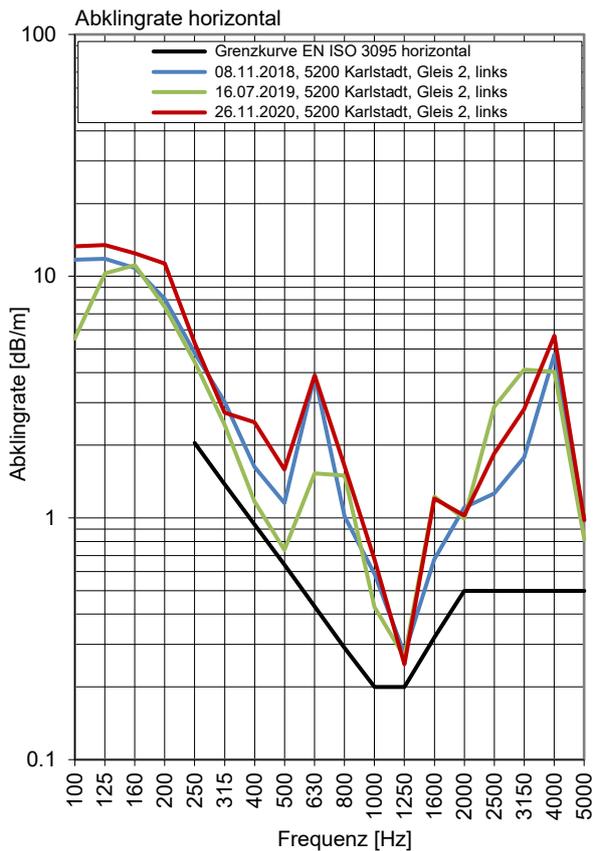
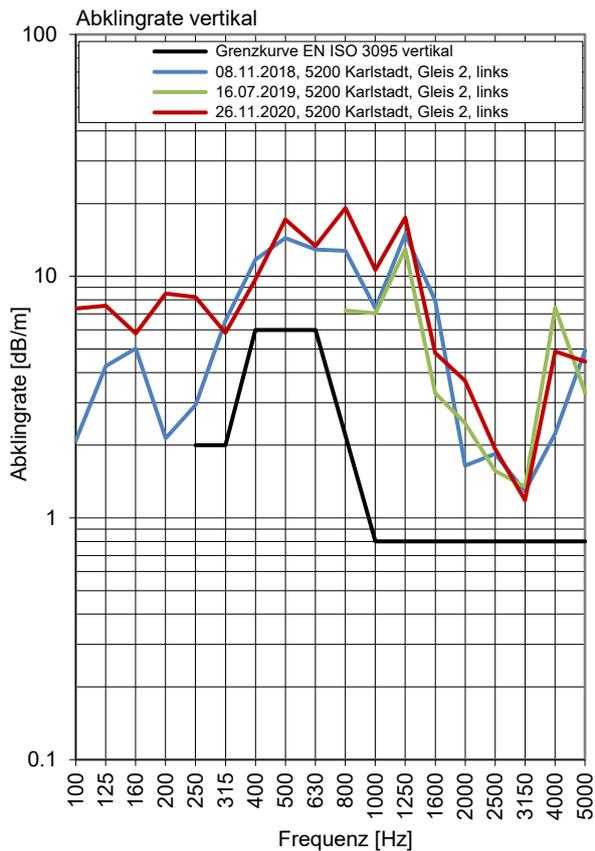
Gleis 2: Richtung Würzburg

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





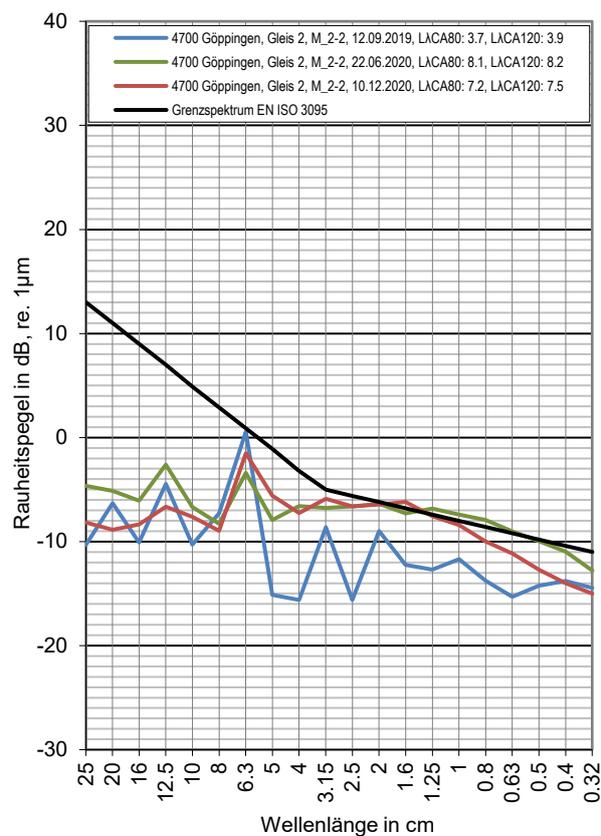
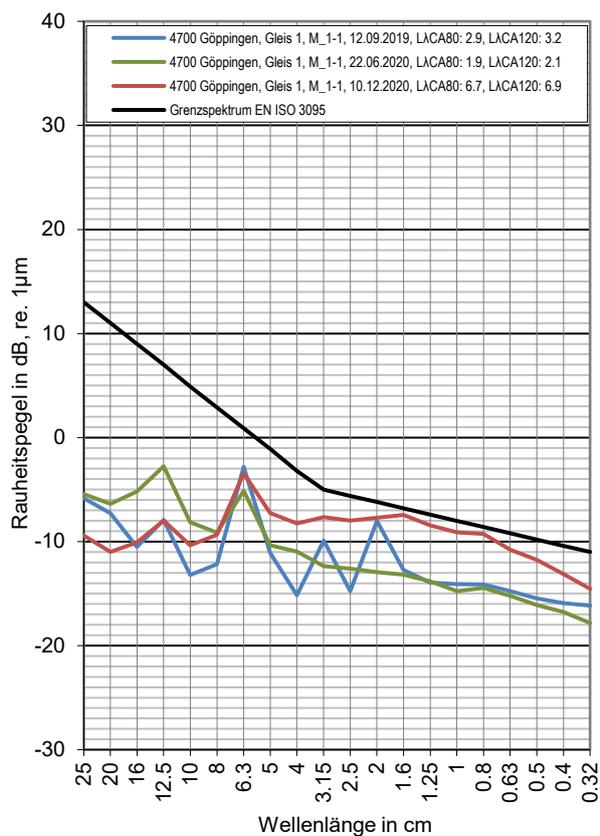
Messtelle Göppingen

Strecke 4700, km 51,2

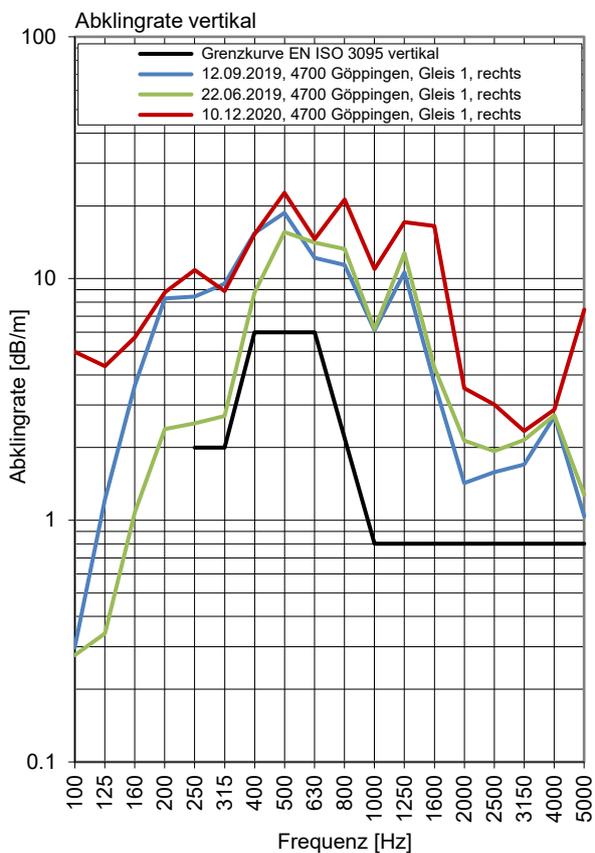
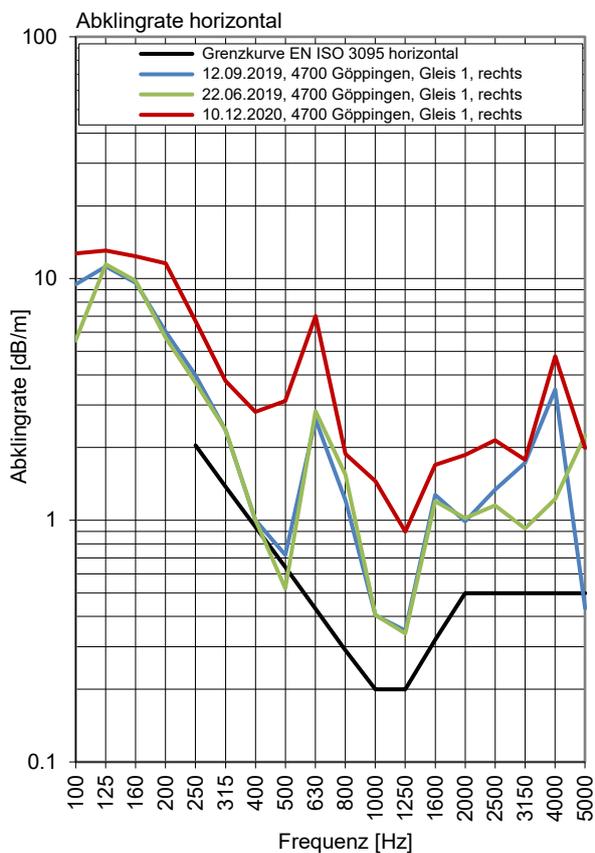
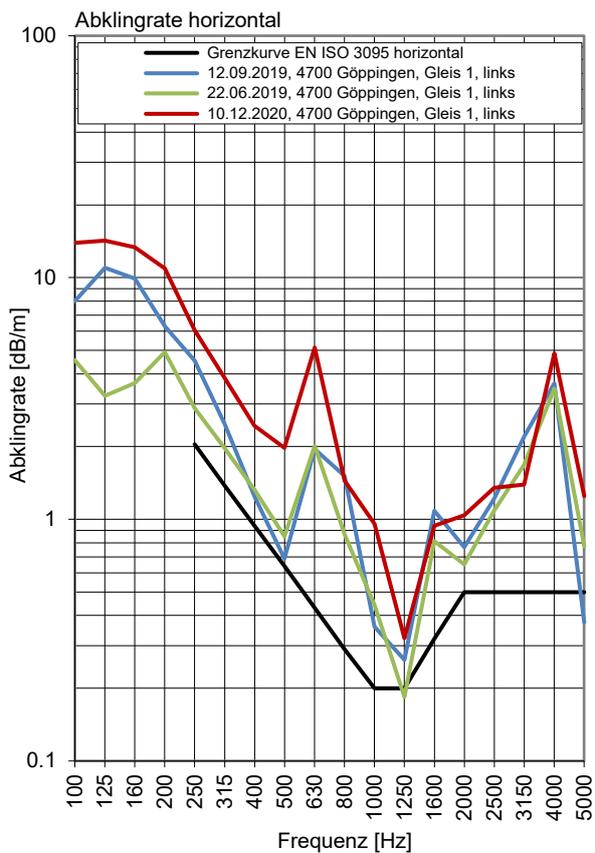
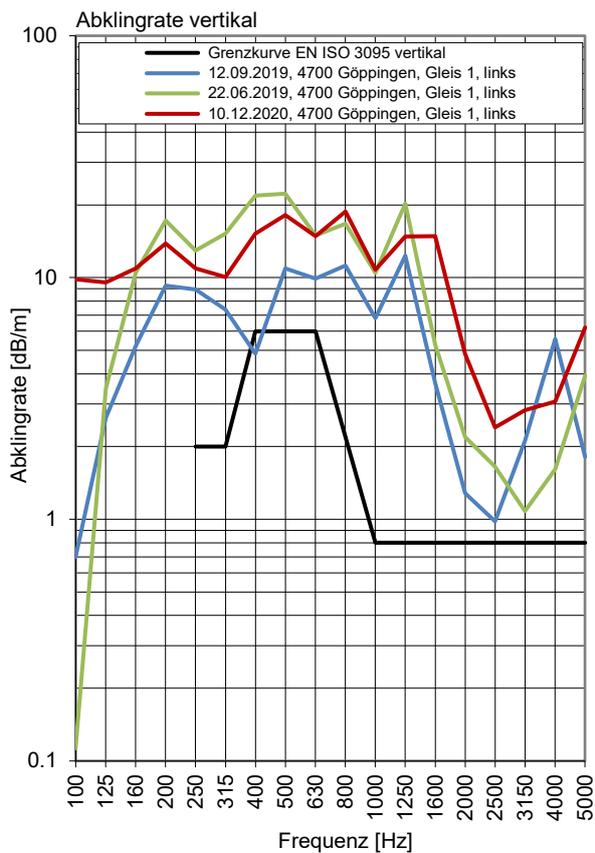
Gleis 1: Richtung Stuttgart

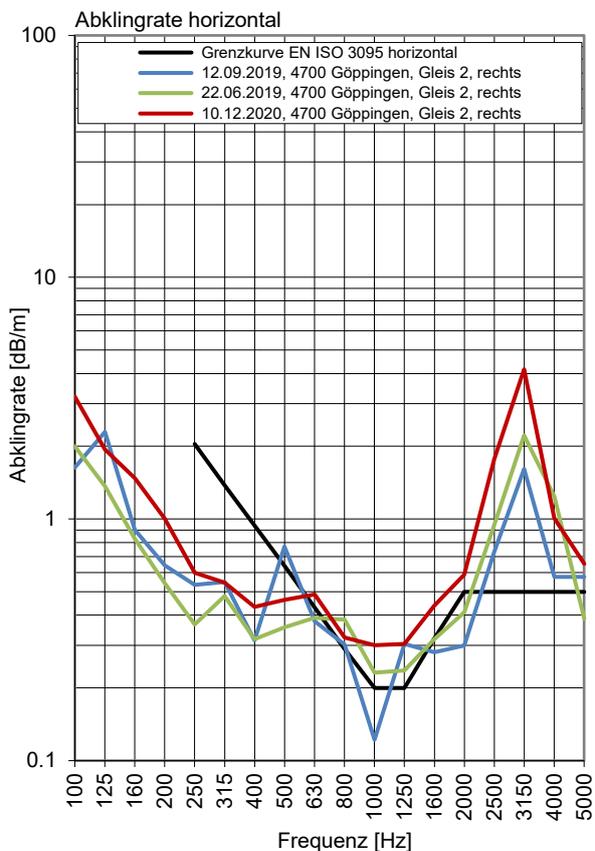
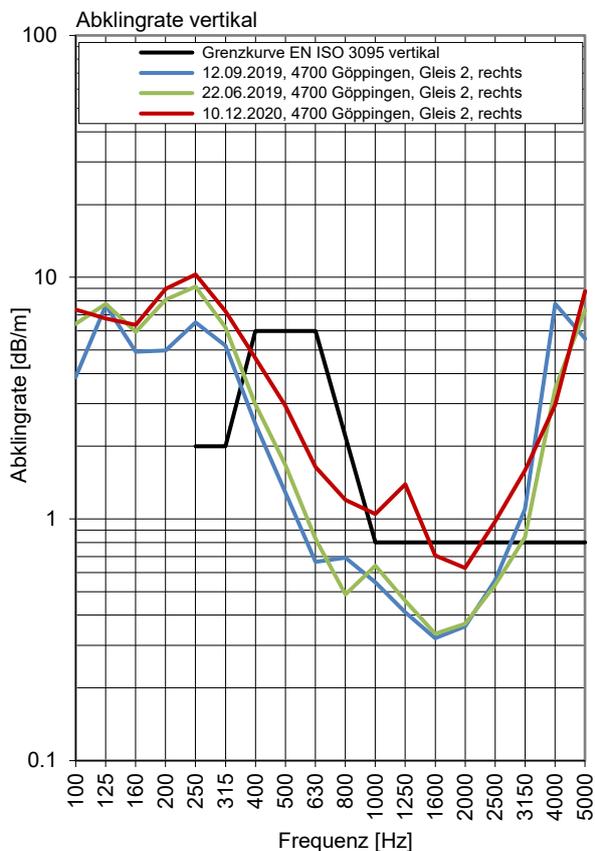
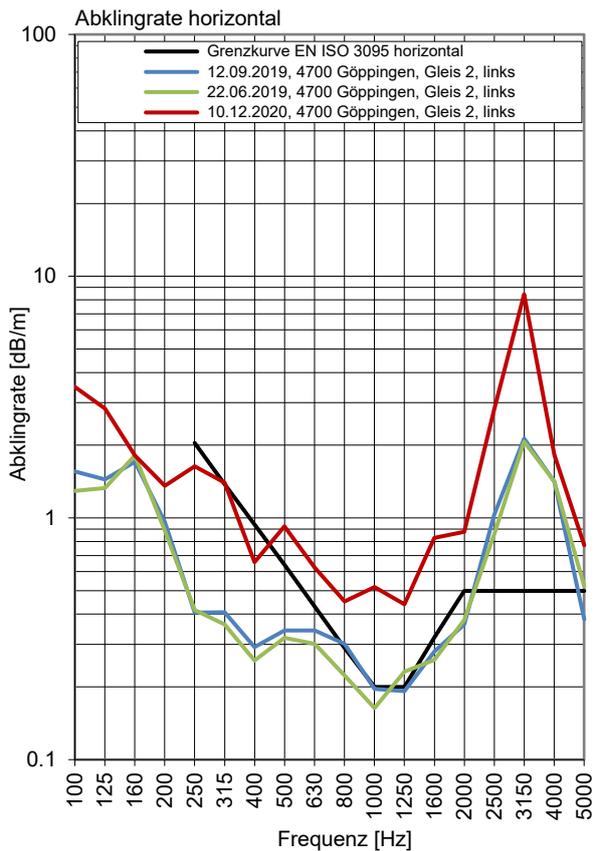
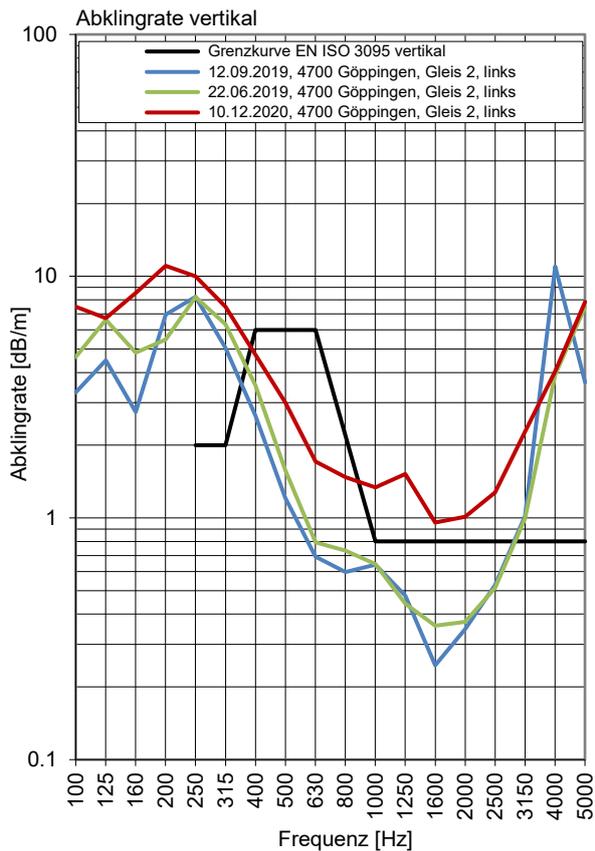
Gleis 2: Richtung Ulm

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





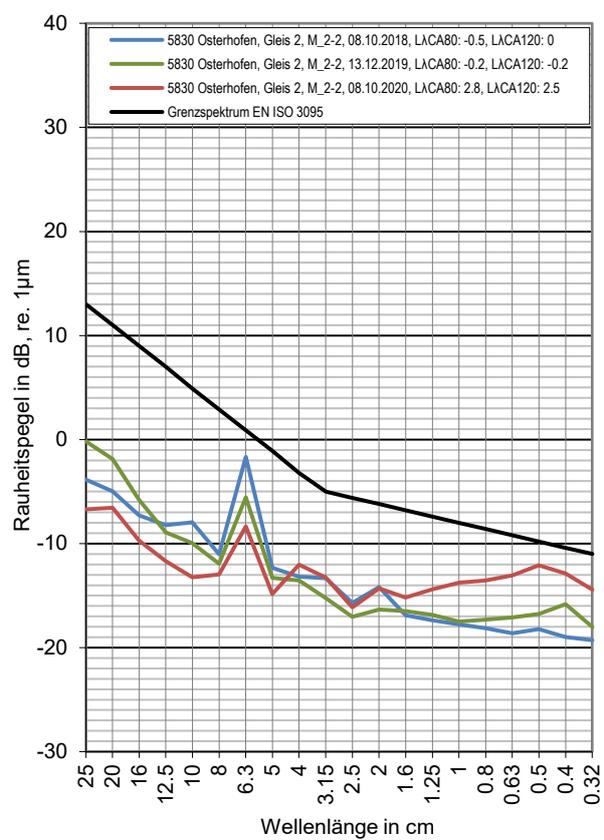
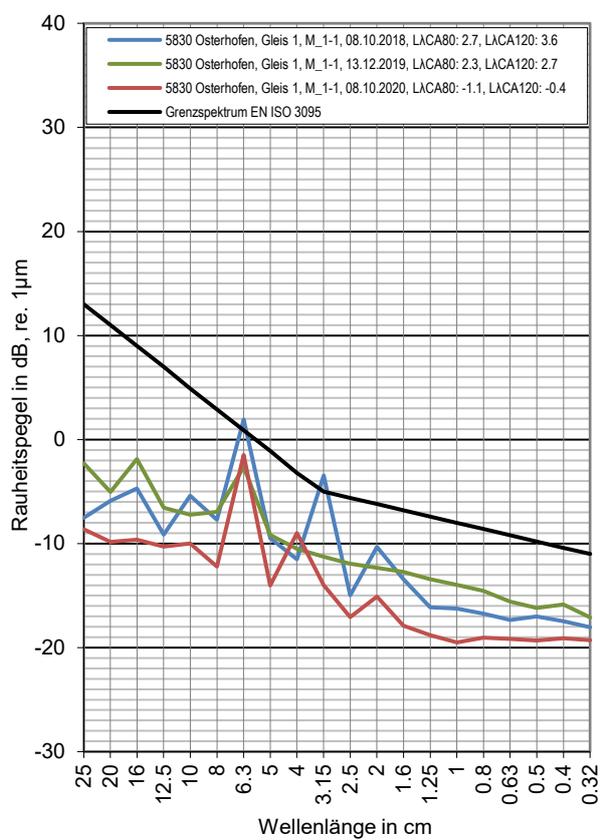
Messtelle Osterhofen

Strecke 5830, km 30,1

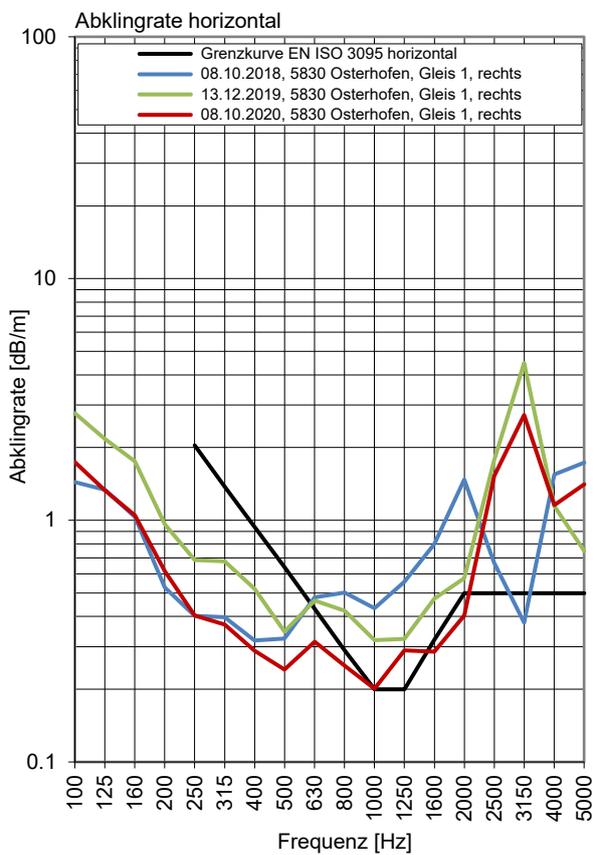
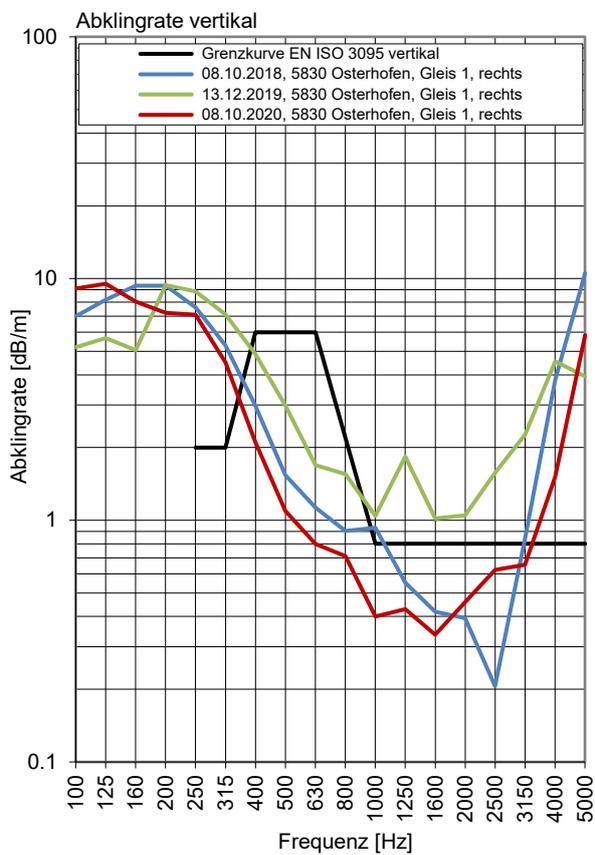
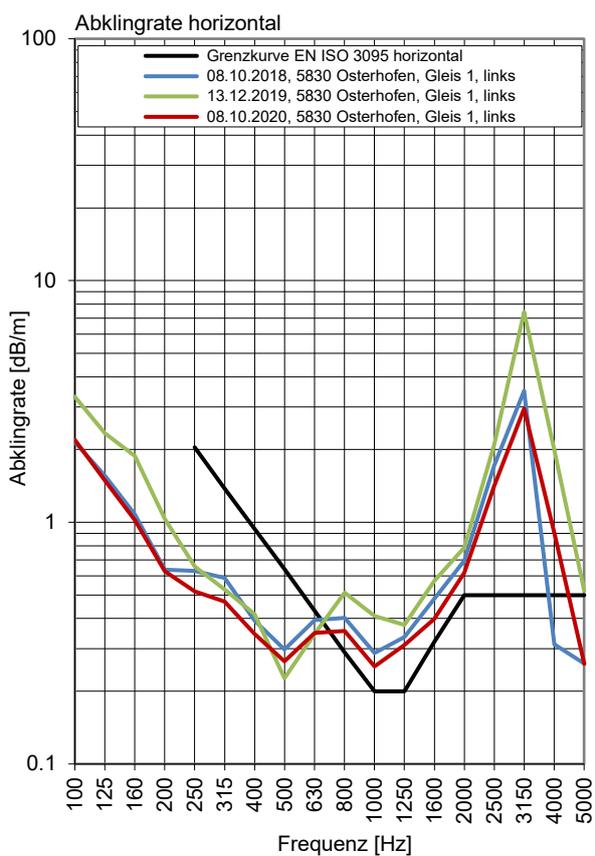
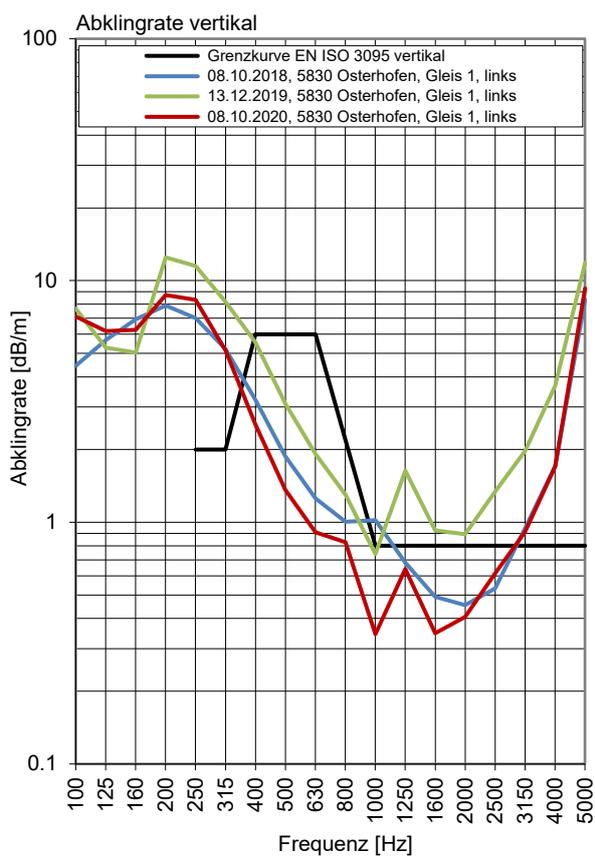
Gleis 1: Richtung Regensburg

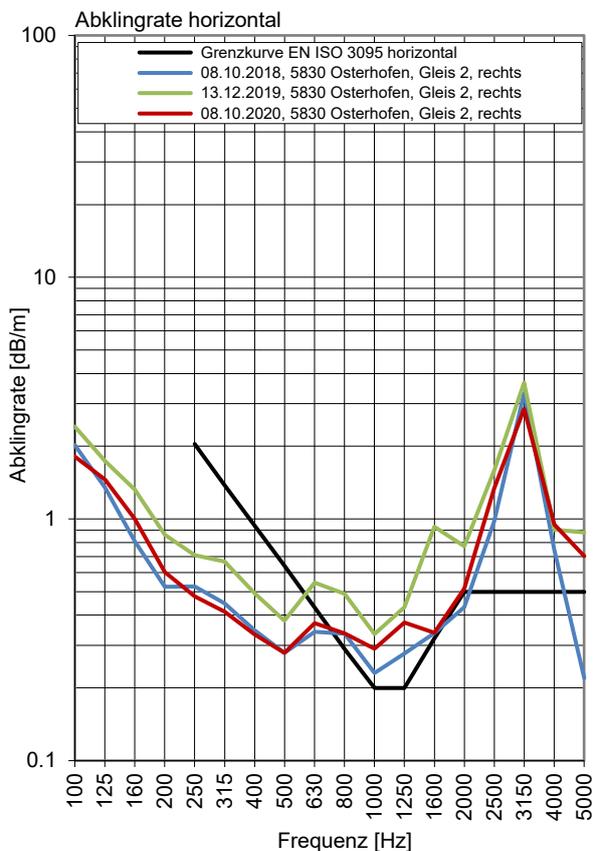
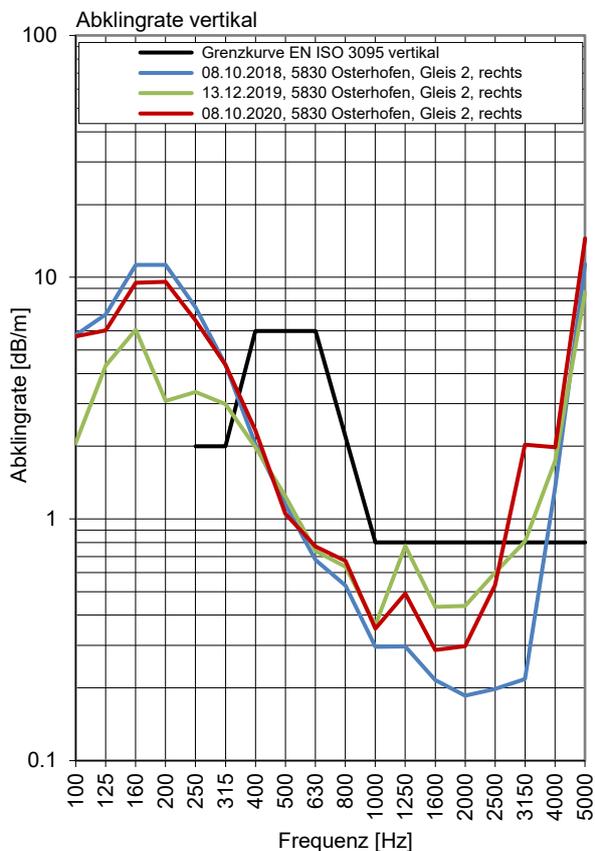
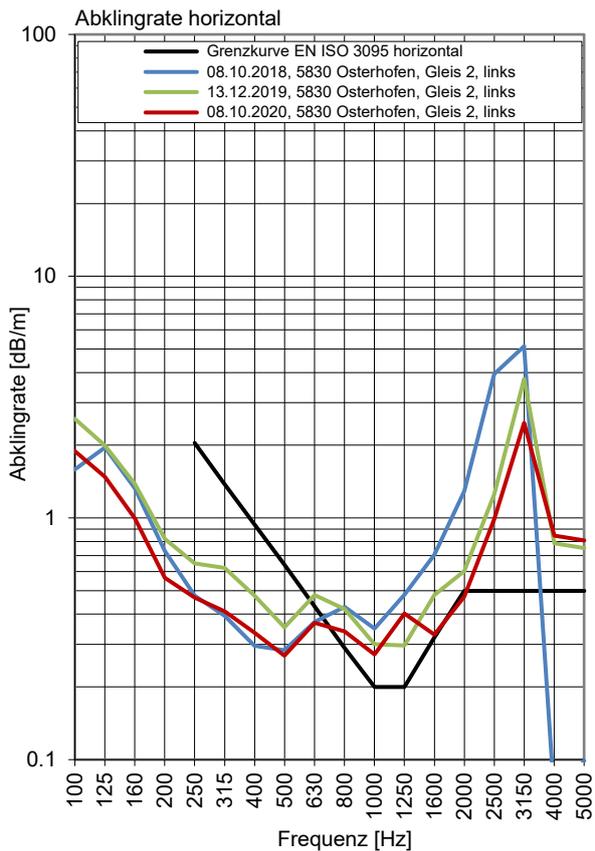
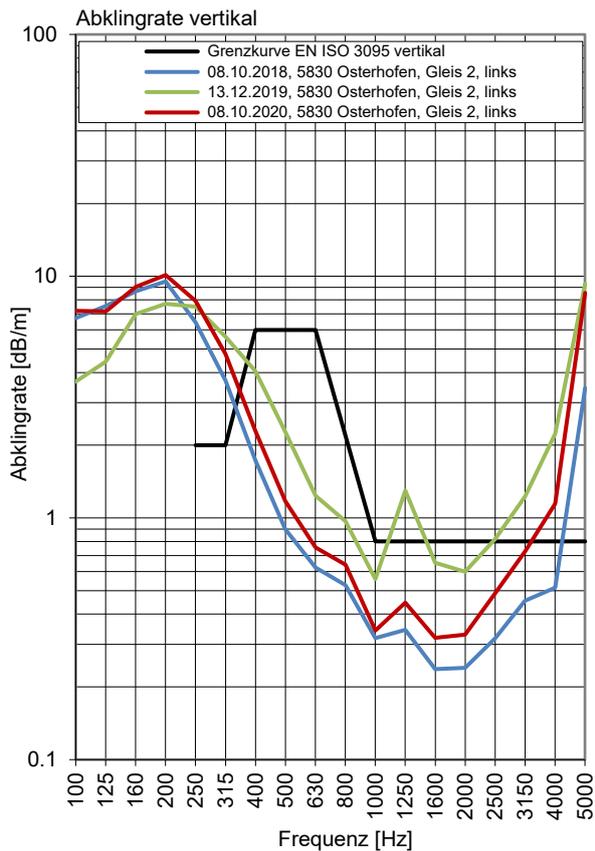
Gleis 2: Richtung Passau

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





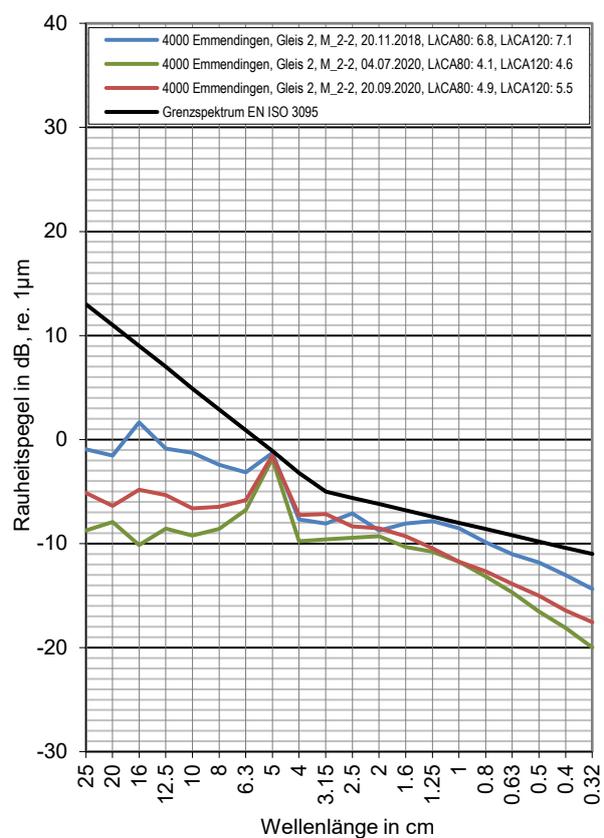
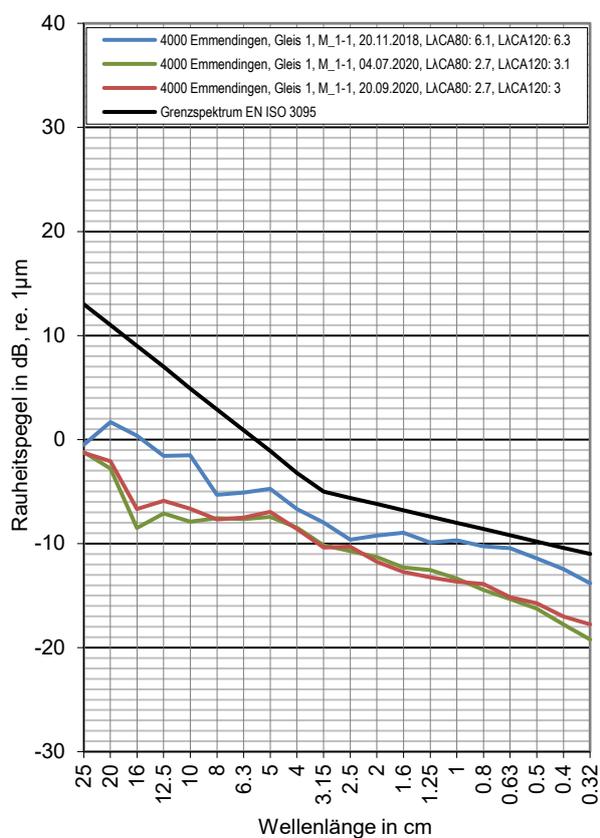
Messtelle Emmendingen

Strecke 4000, km 197,8

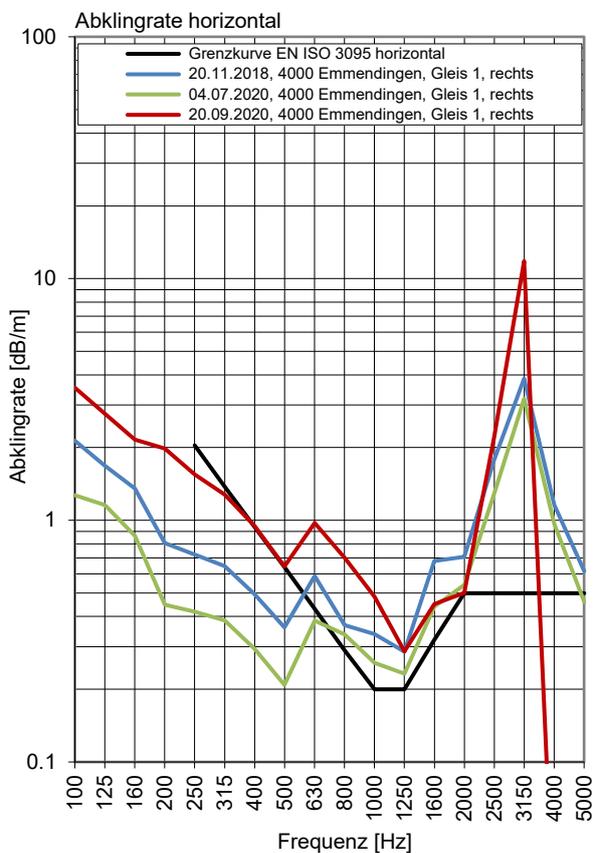
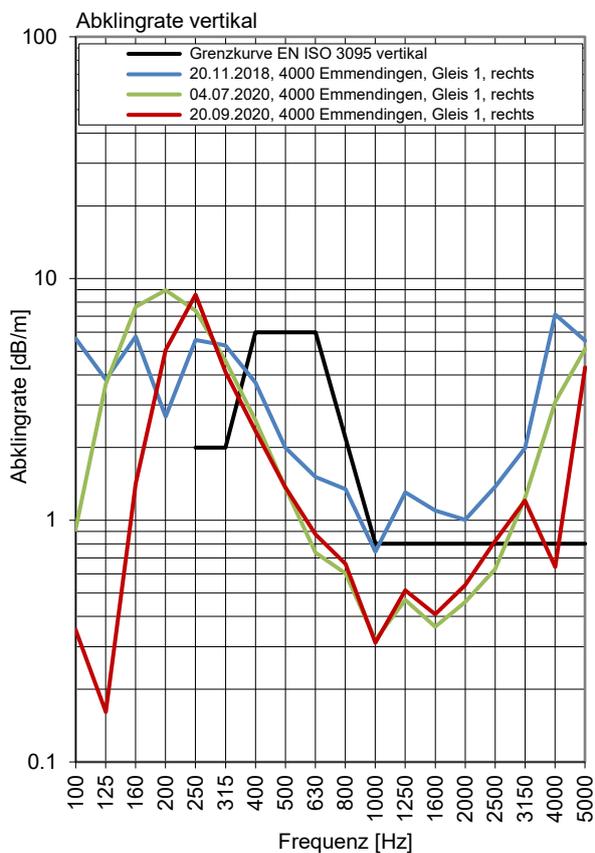
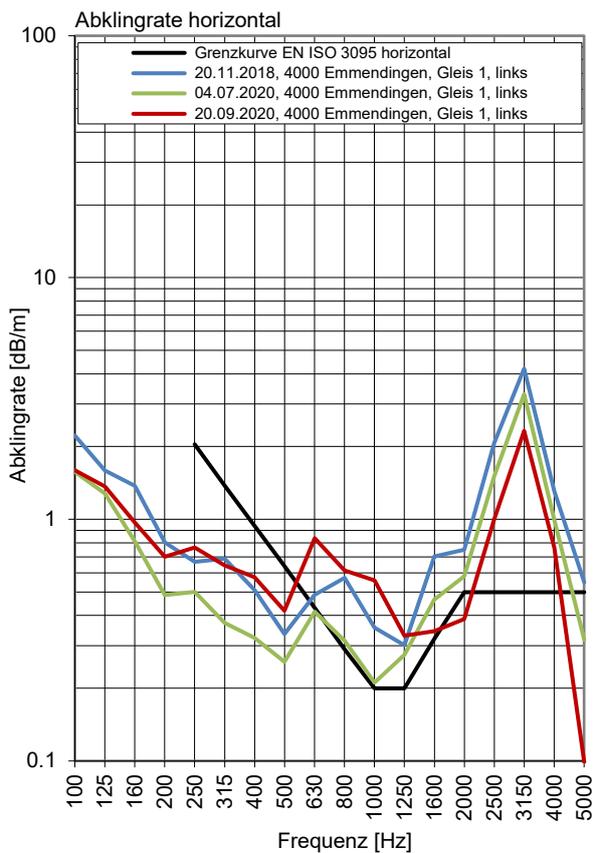
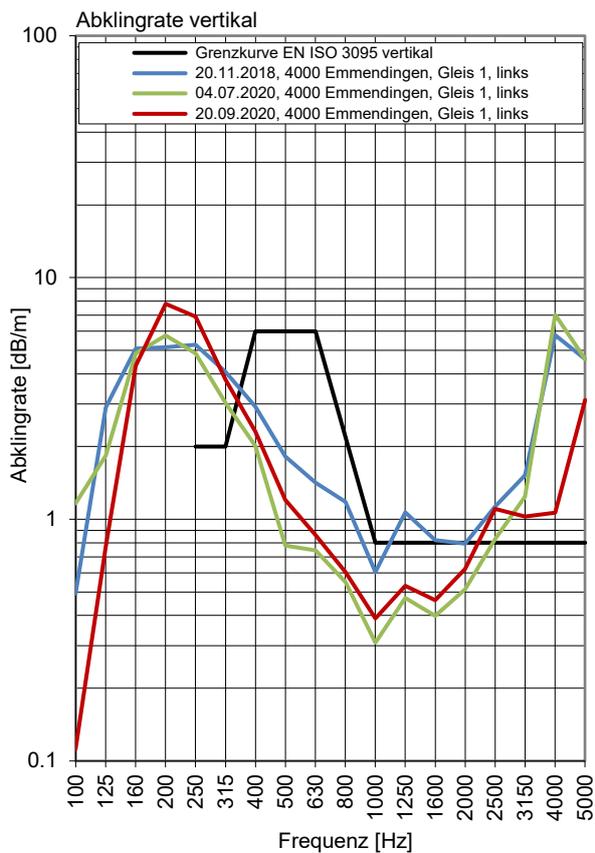
Gleis 1: Richtung Mannheim

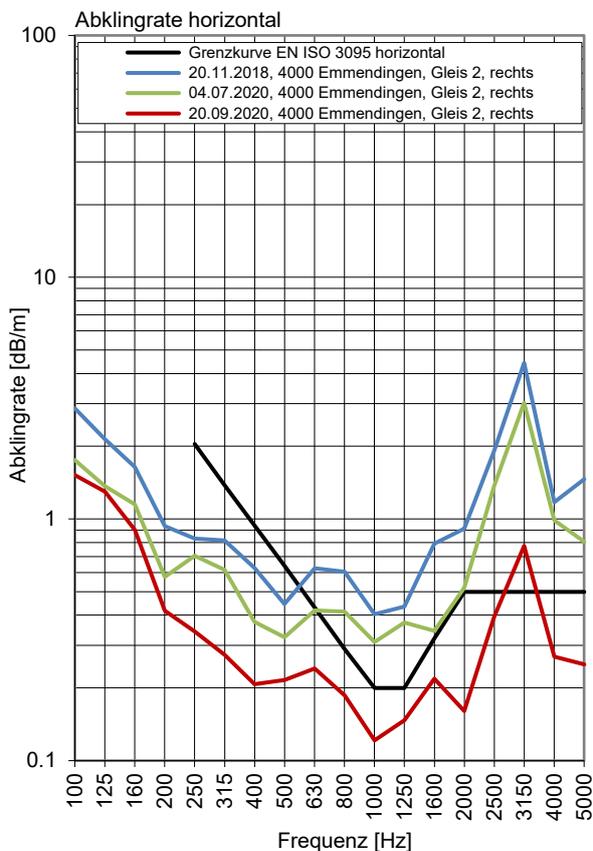
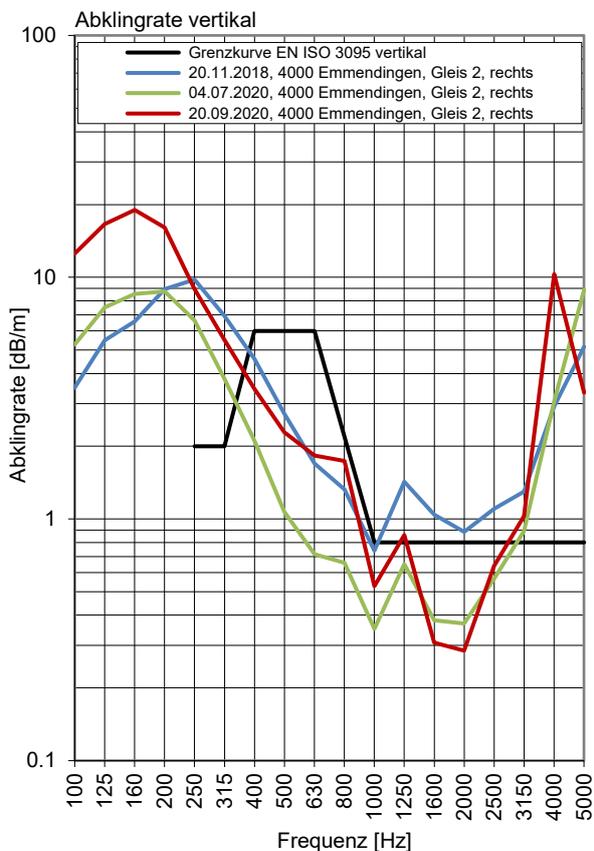
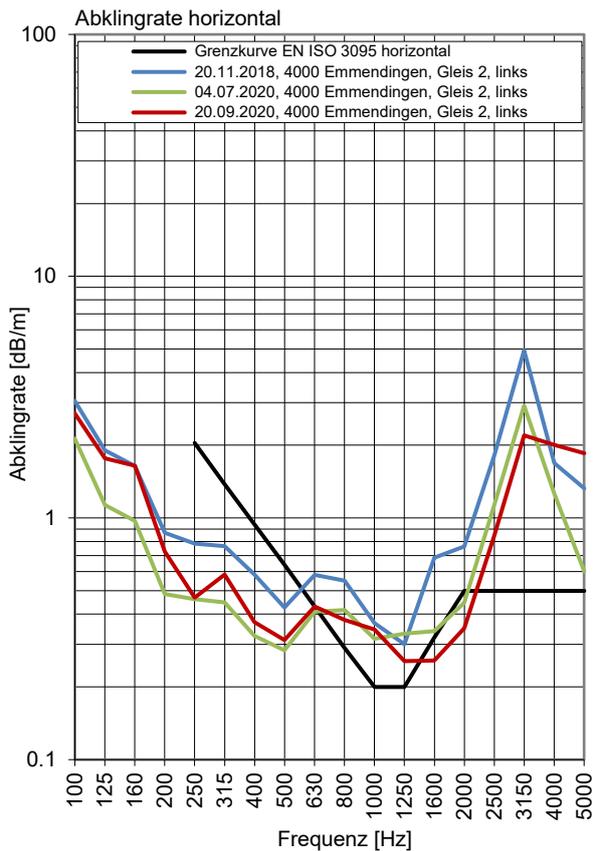
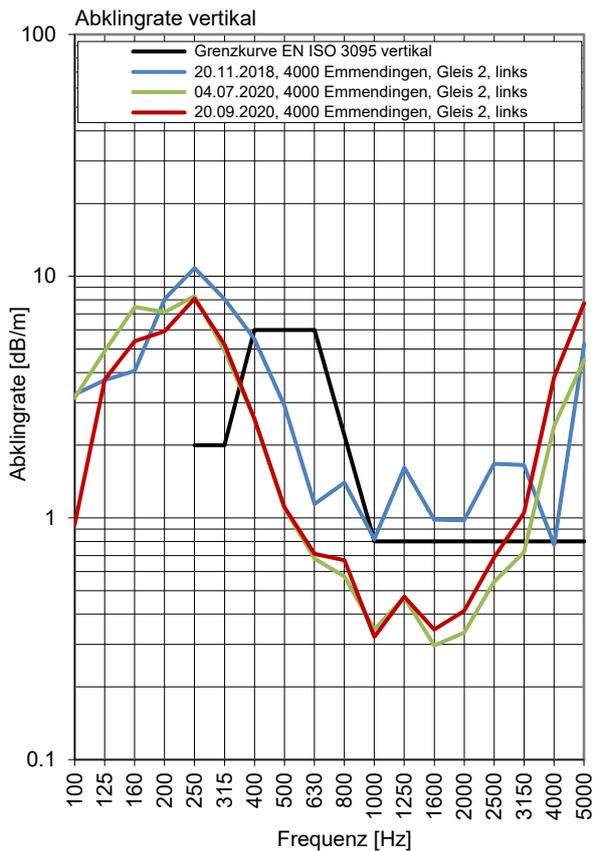
Gleis 2: Richtung Basel

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





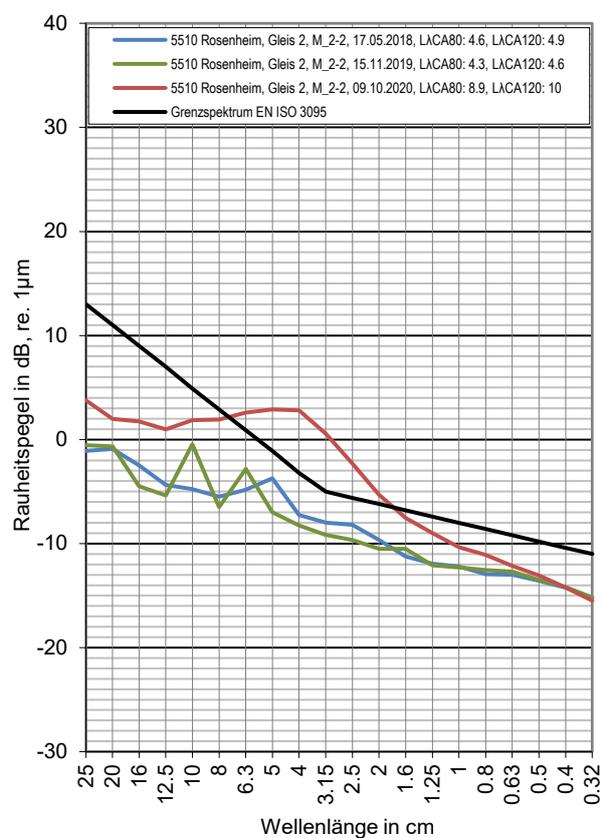
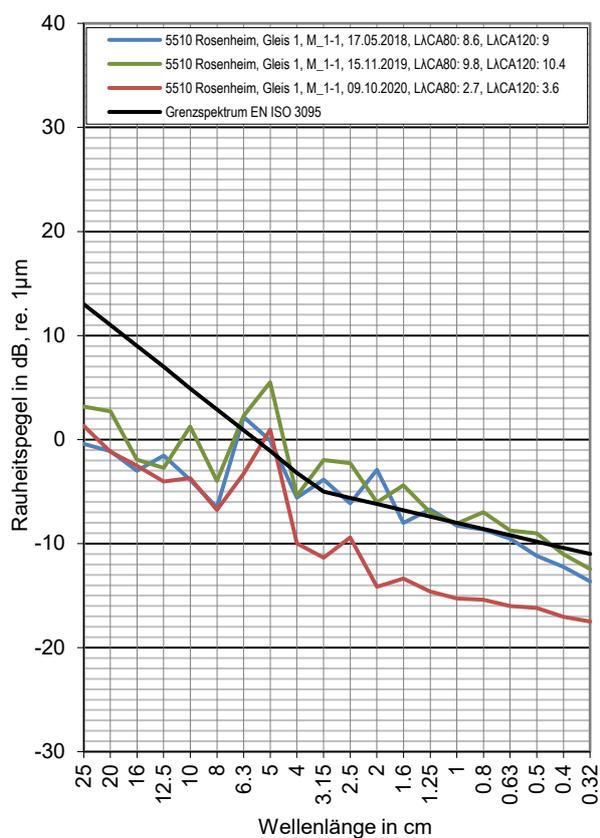
Messtelle Rosenheim

Strecke 5510, km 53,7

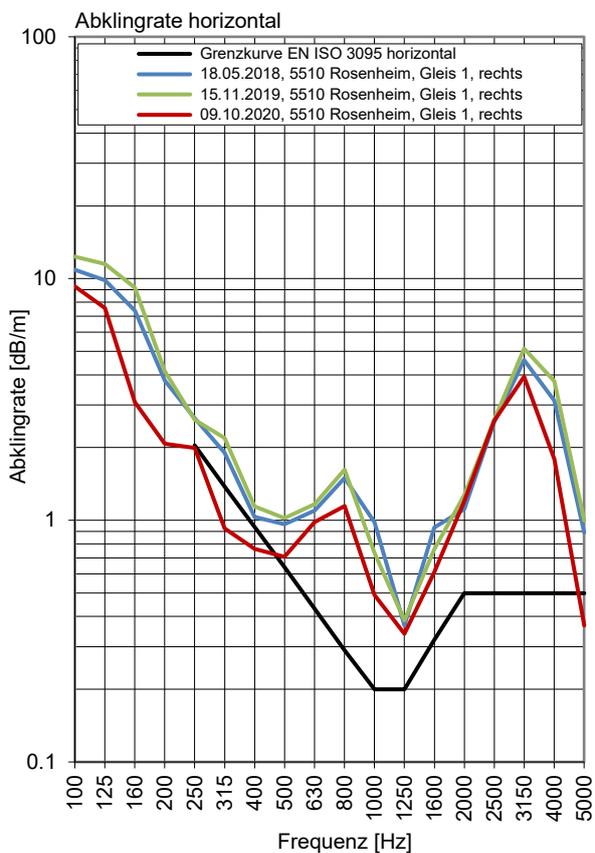
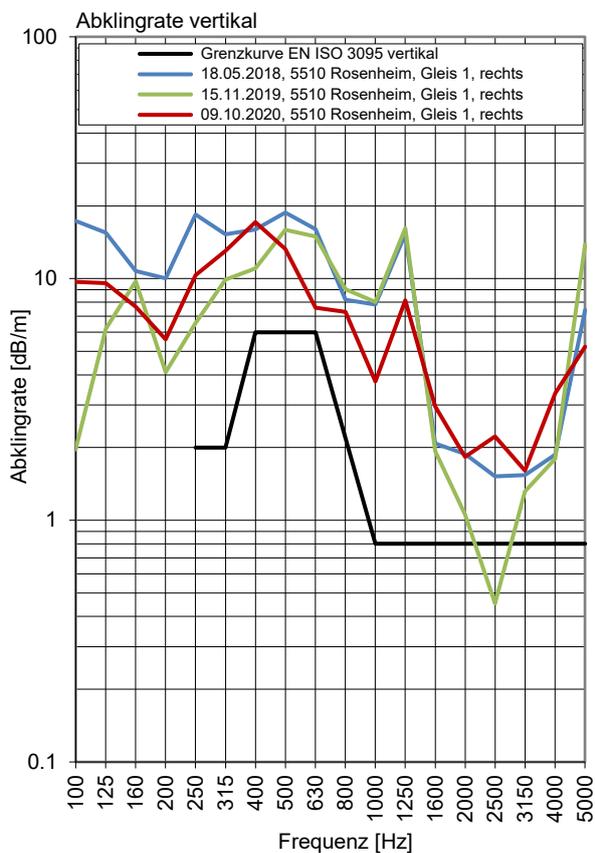
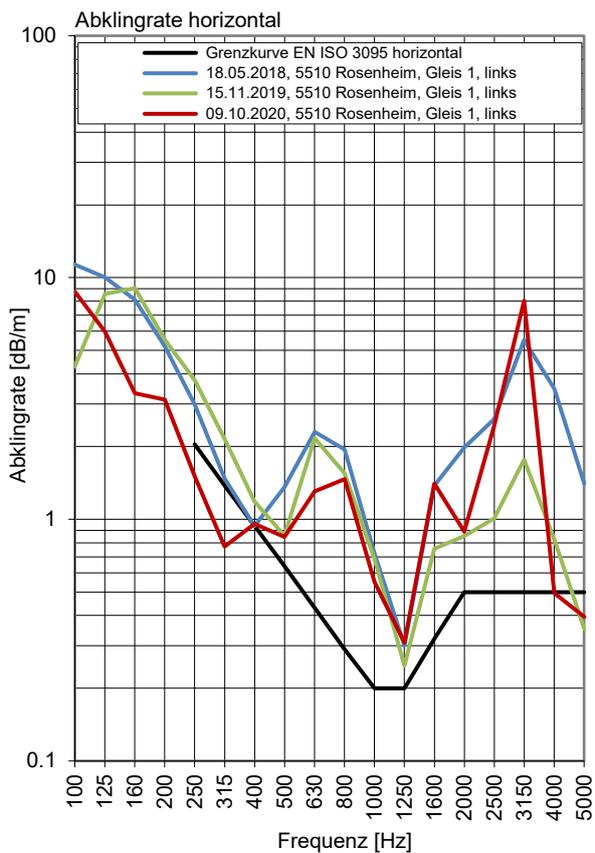
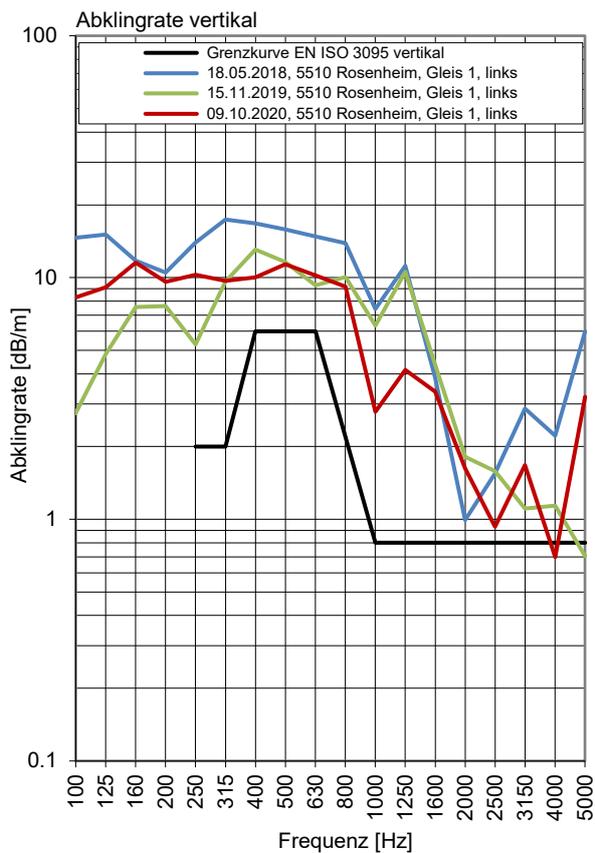
Gleis 1: Richtung Rosenheim

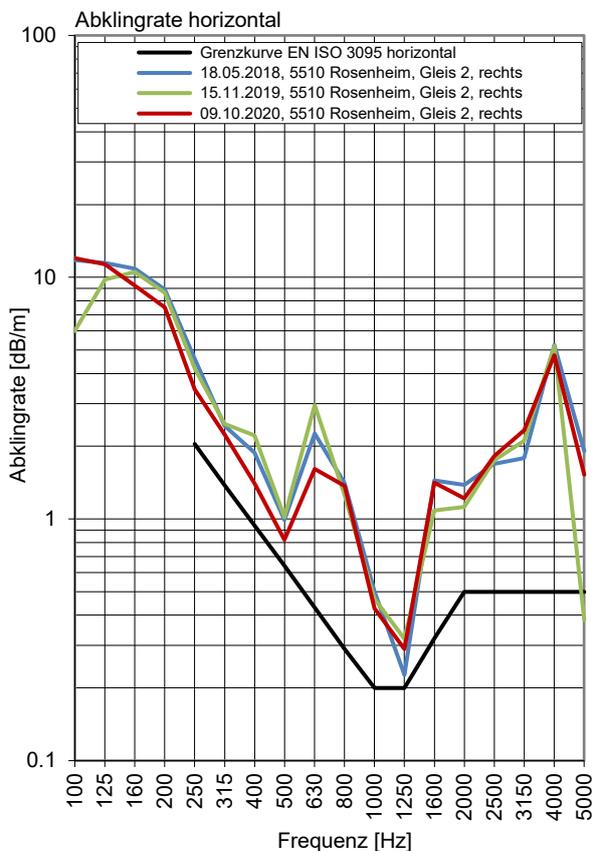
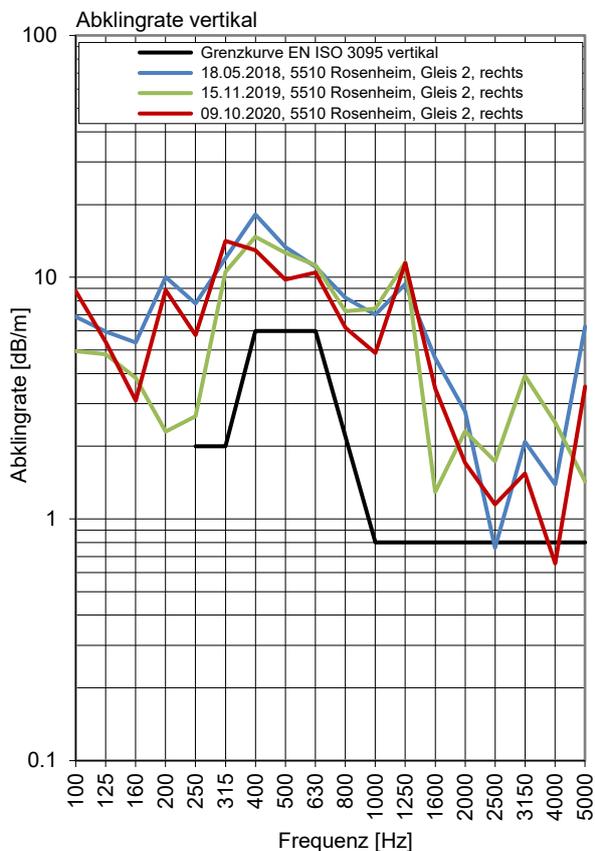
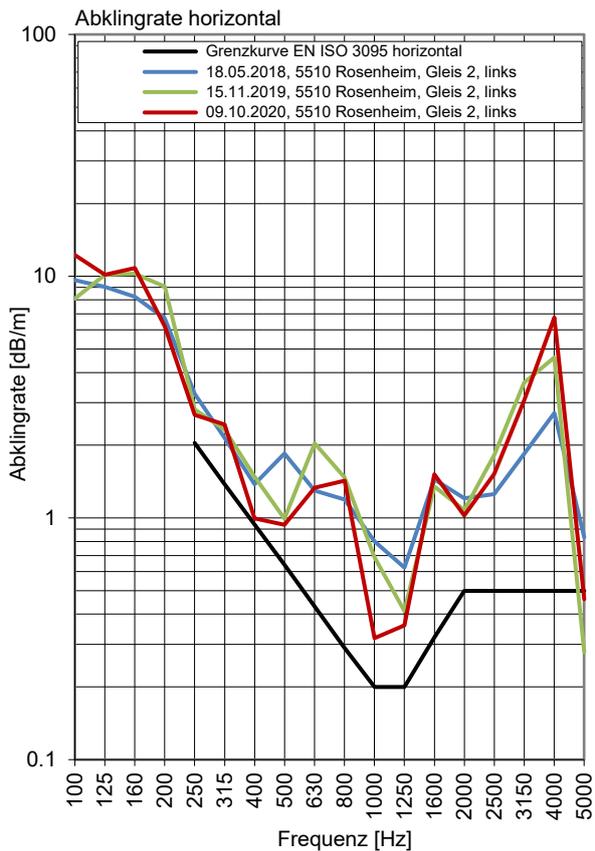
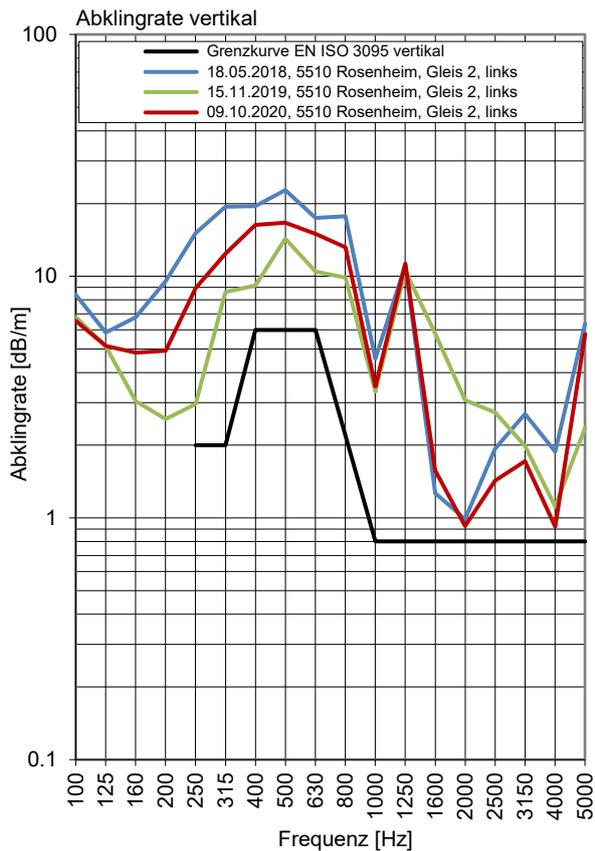
Gleis 2: Richtung München

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





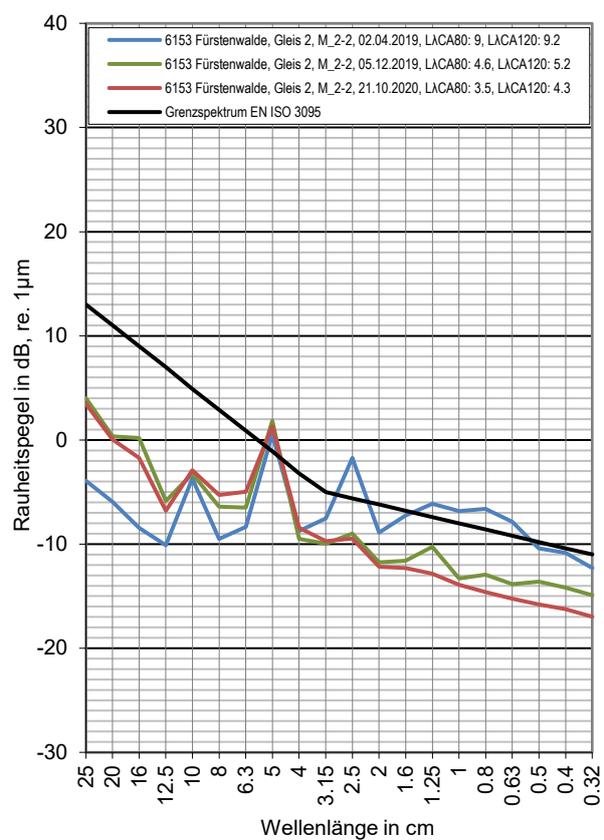
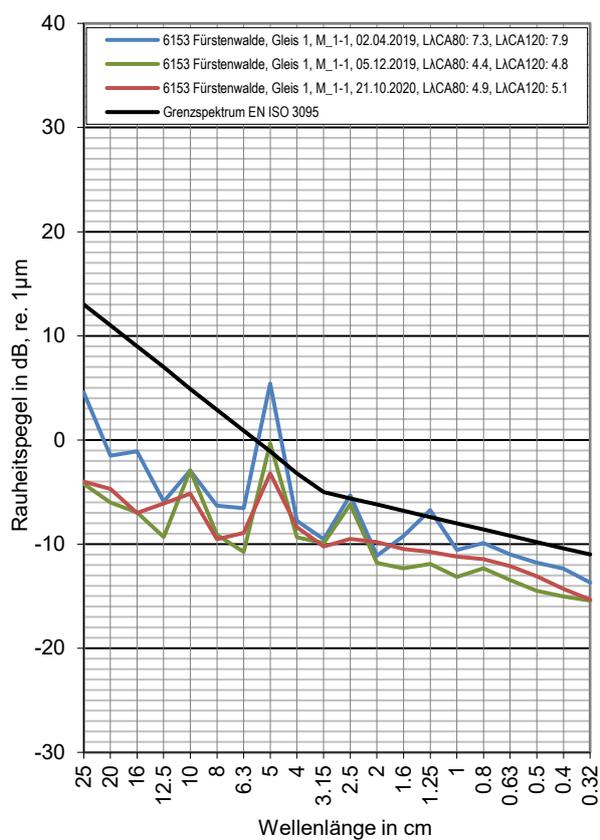
Messtelle Fürstenwalde

Strecke 6153, km 66,9

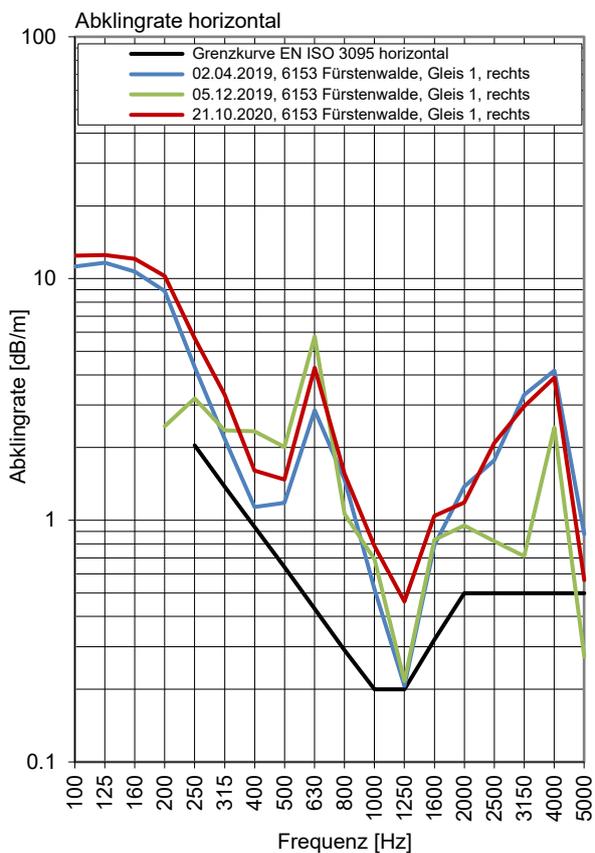
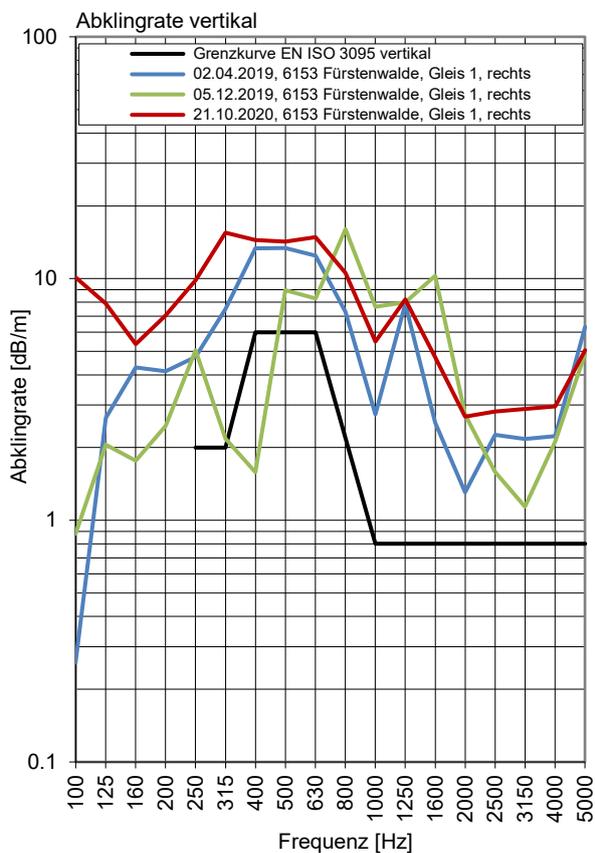
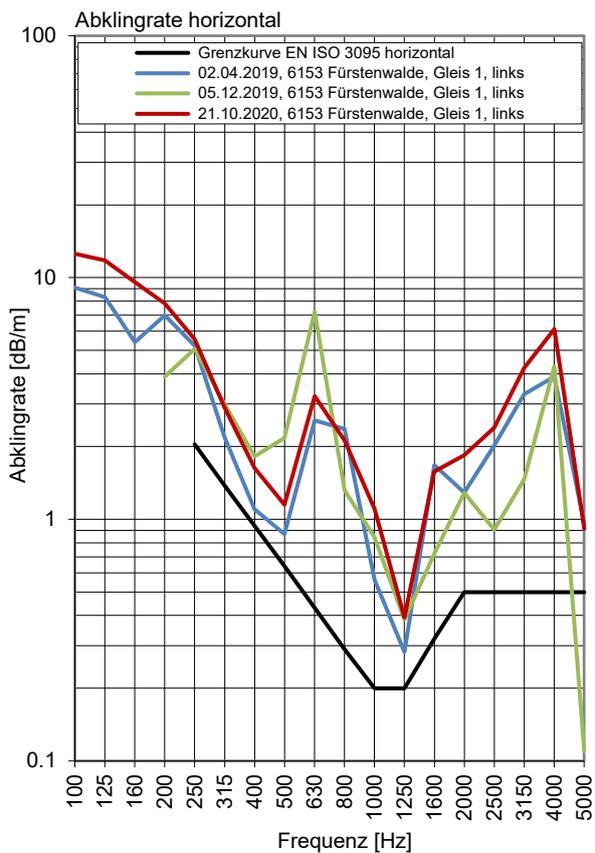
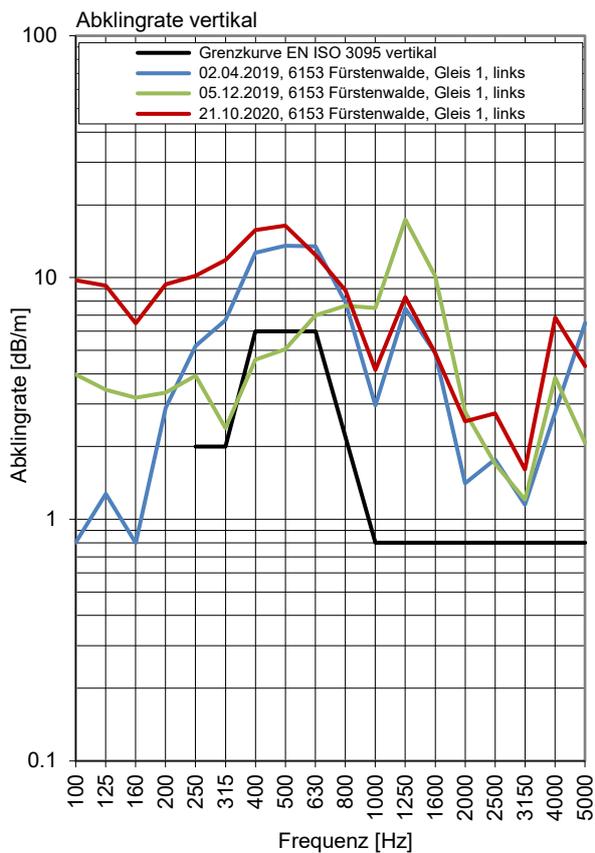
Gleis 1: Richtung Berlin

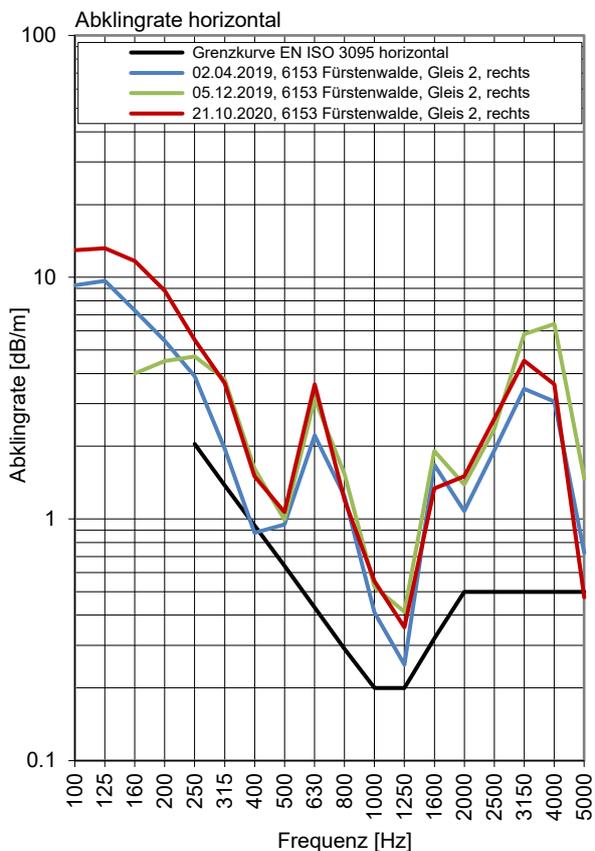
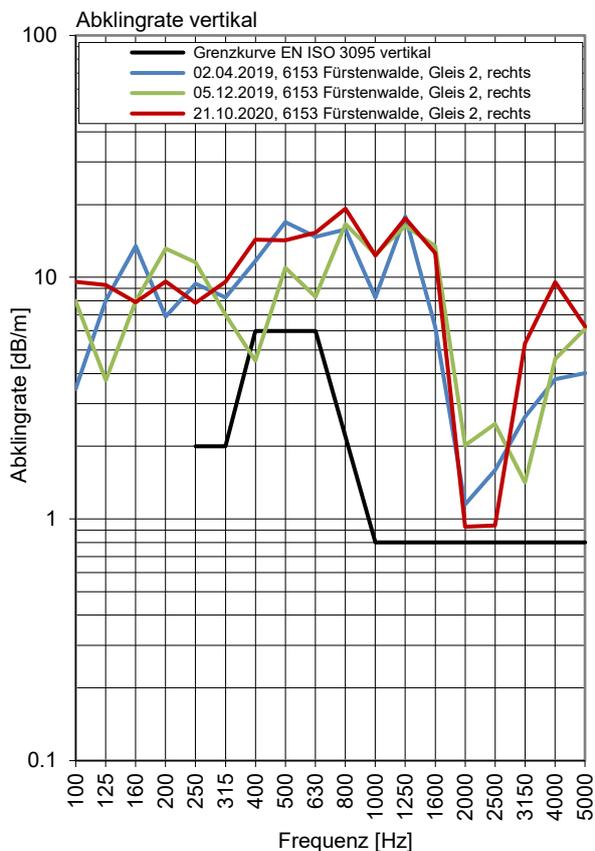
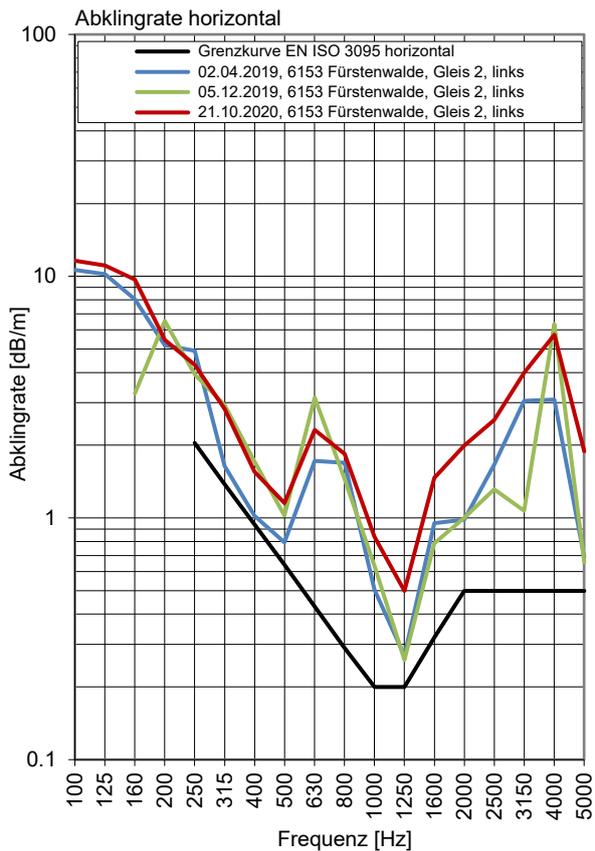
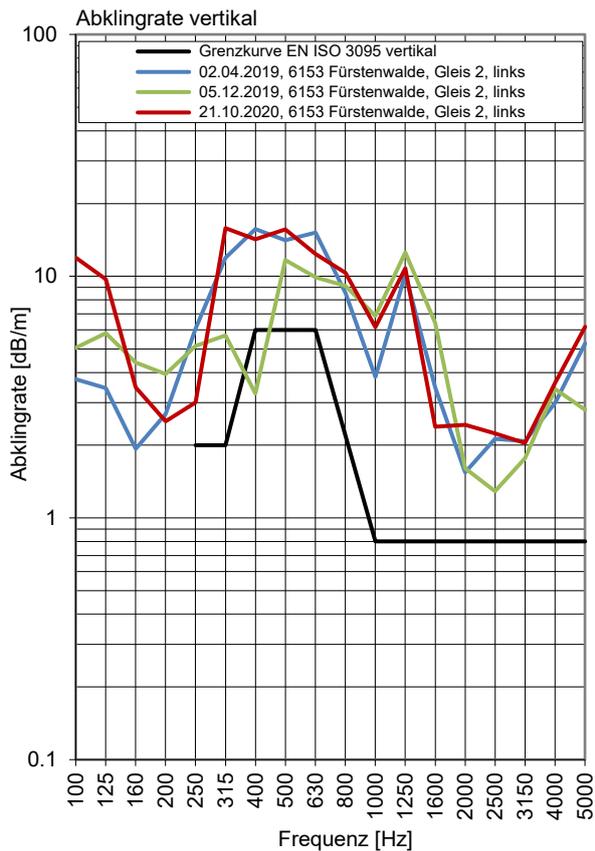
Gleis 2: Richtung Frankfurt/Oder

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





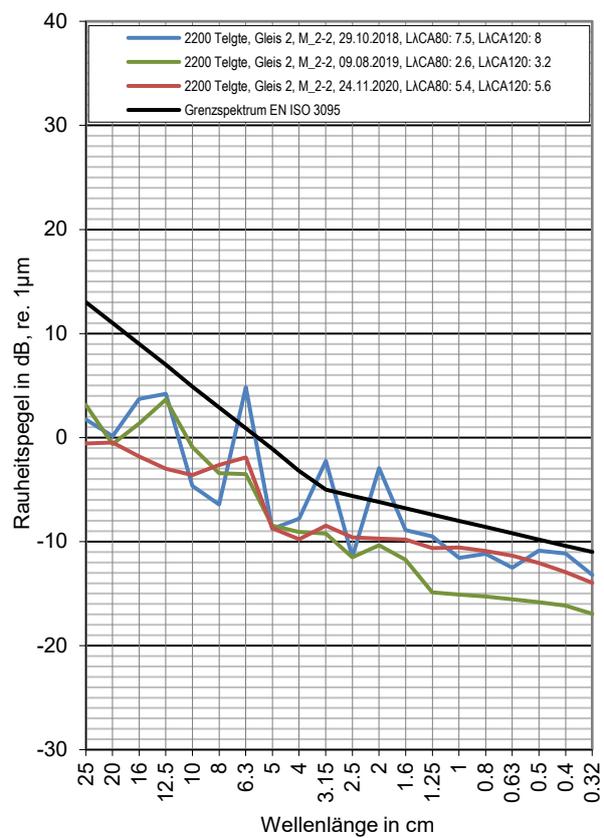
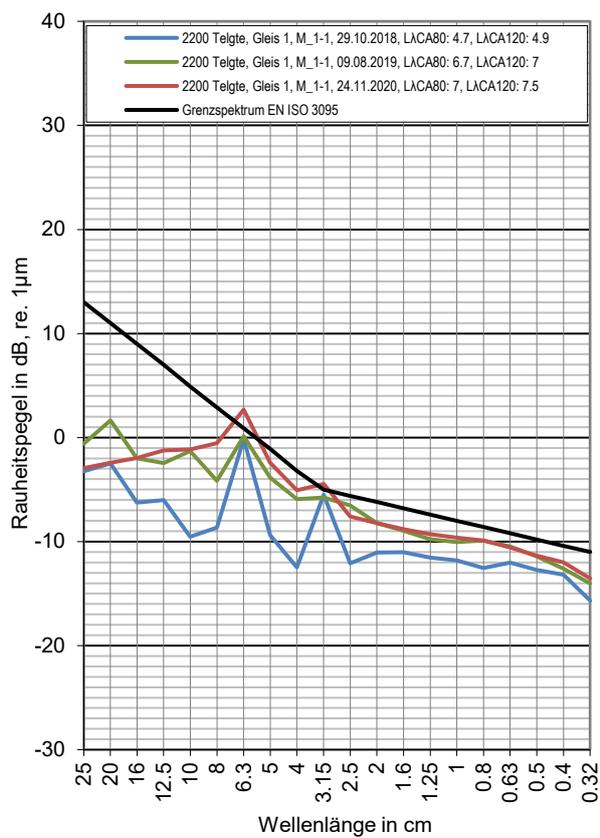
Messtelle Telgte

Strecke 2200, km 82,2

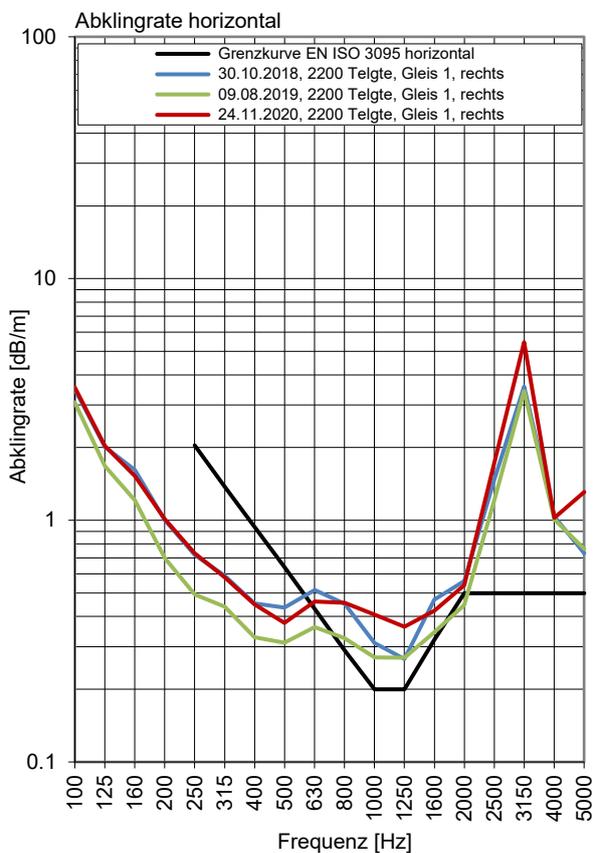
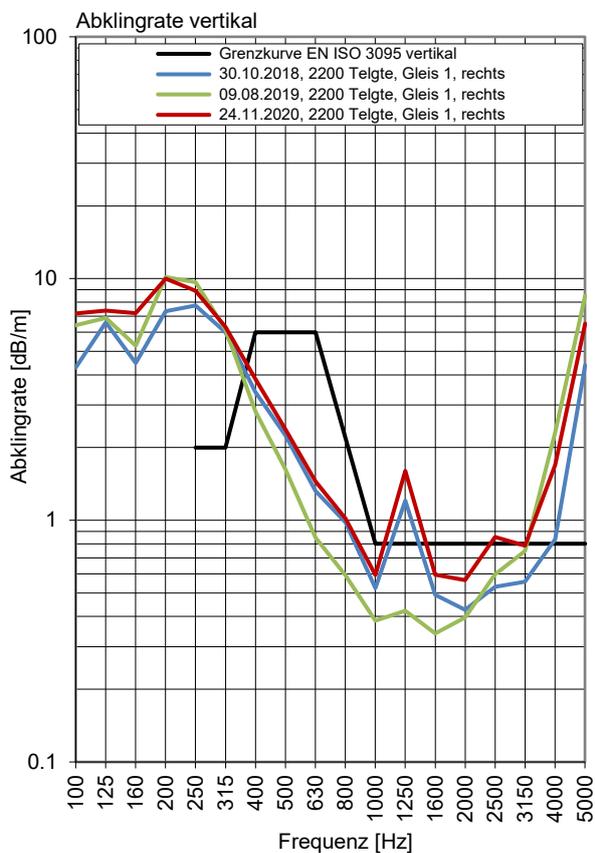
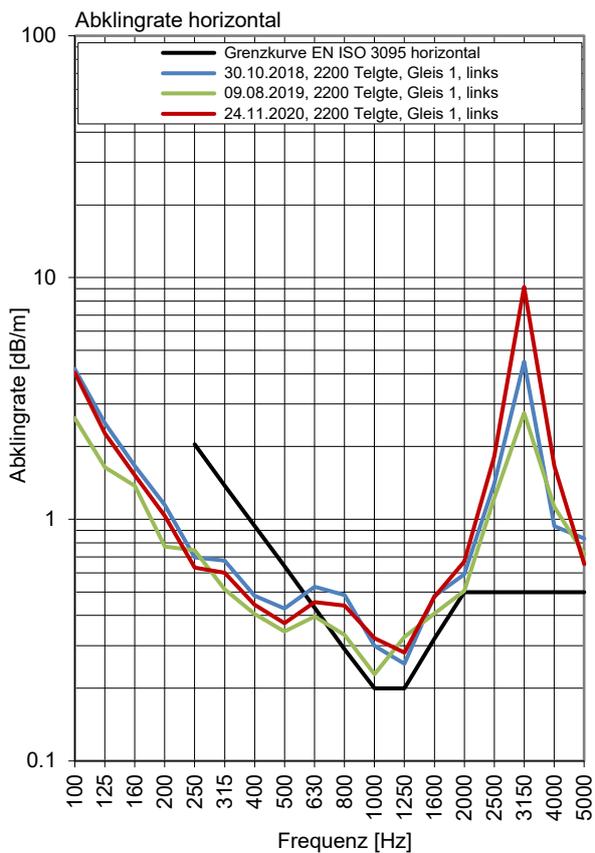
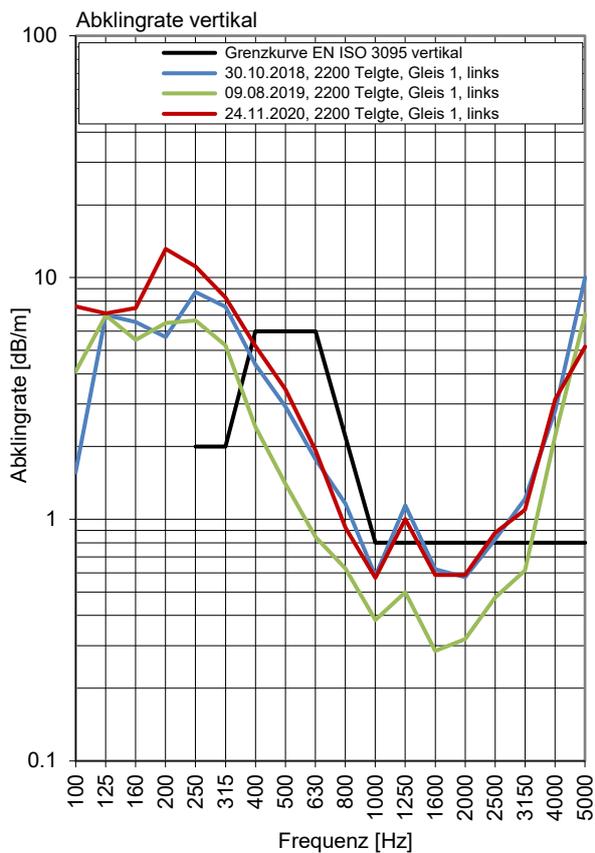
Gleis 1: Richtung Osnabrück

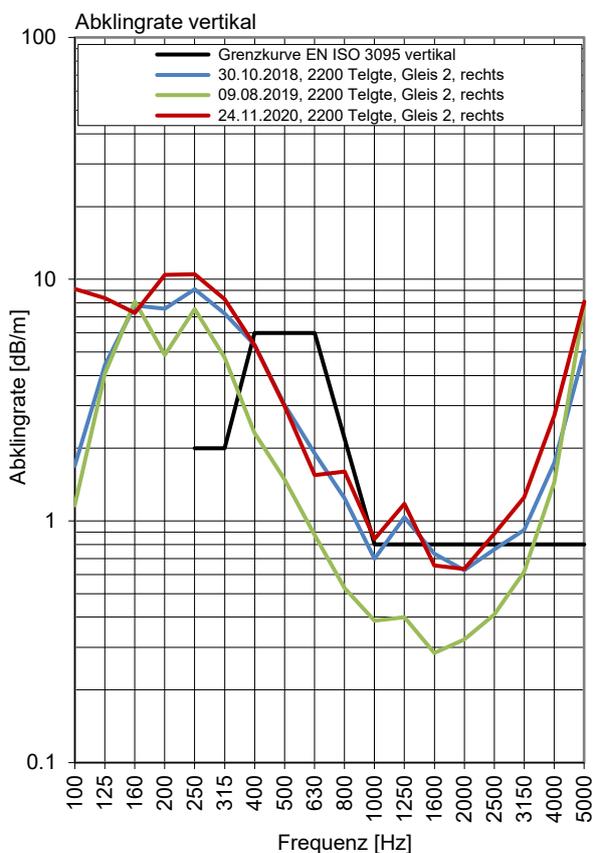
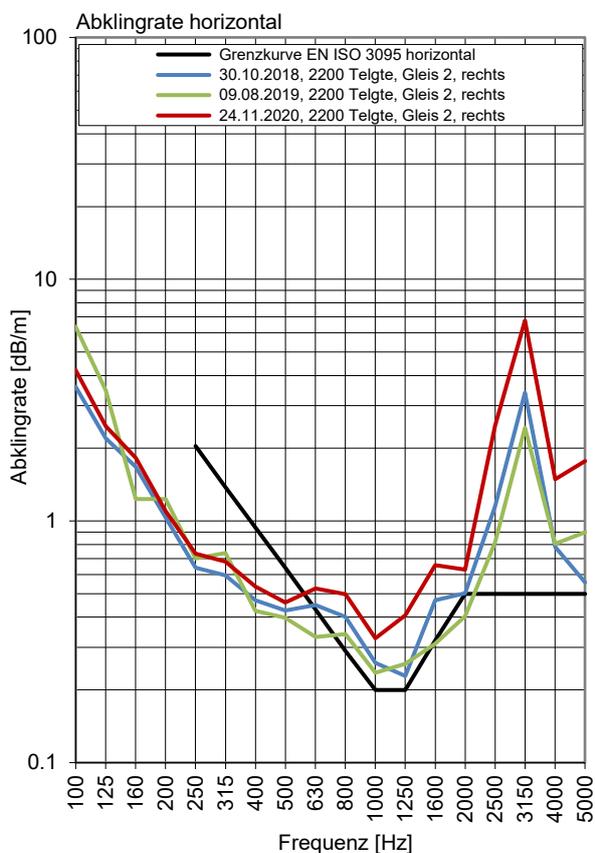
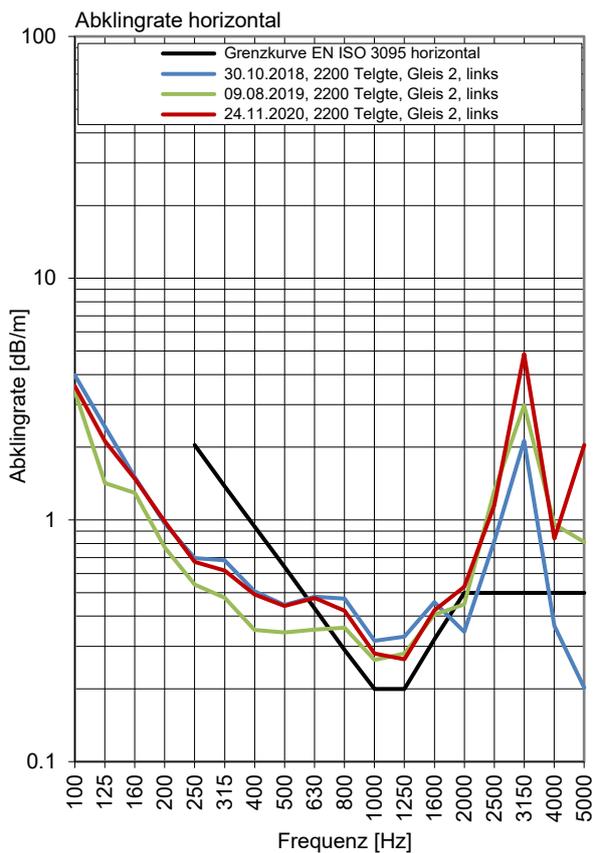
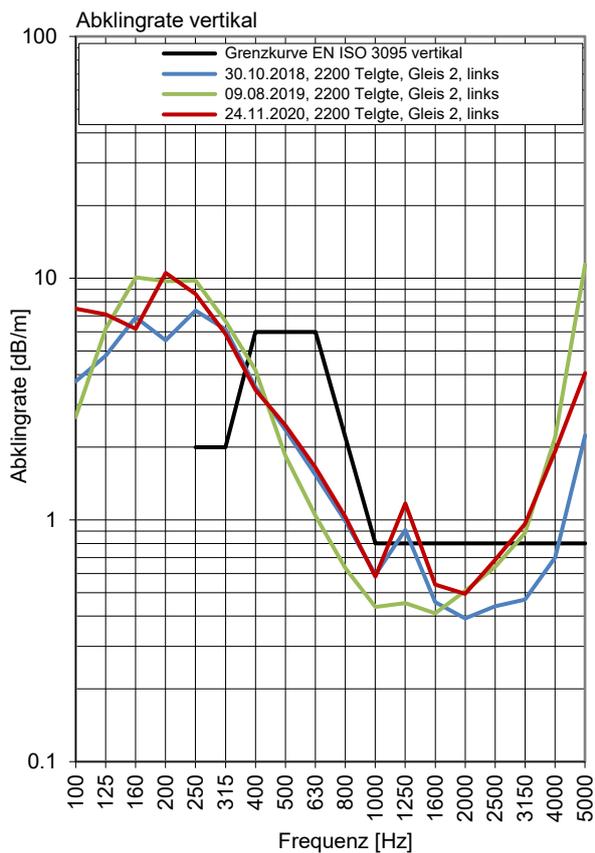
Gleis 2: Richtung Münster

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





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] BS EN 15610:2019-05-09 Railway applications. Acoustics. Rail and wheel roughness measurement related to noise generation
- [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] prEN 15610 Railway applications - Noise emission - Rail and wheel roughness measurement related to rolling noise generation; prEN 15610:2017
- [8] Lutzenberger, Stiebel, Gerbig, Wettschureck; Luftschall aus dem Schienenverkehr, Fachwissen Technische Akustik, Springer Verlag 2017
- [9] Lutzenberger, Stiebel, Gerbig, Wettschureck; Erschütterungen und sekundärer Luftschall aus dem Schienenverkehr, Fachwissen Technische Akustik, Springer Verlag 2017
- [10] G.J. van Blokland and S. Lutzenberger, “Progress report on measures on rail traffic noise in the EU”, Interest Group on Traffic Noise Abatement of the EPA Network (IGNA-EPA), June 2014
- [11] B 126.13 E; Synthesis paper on the EuropeTrain operation with LL brake blocks -
- [12] Lutzenberger, S., Gralla, G.; Ermittlung der Messunsicherheiten bei bahnakustischen Messungen; Erläuterungen zum Anhang F der ISO EN 3095; Fachtagung Bahnakustik 2011.
- [13] Remington, P. J., (1987). Wheel / rail rolling noise. parts I and II. Journal of the Acoustical Society of America, 81 (June), 1805–1832.
- [14] Thompson, D. J., (1993). Wheel–Rail Noise Generation, Parts I – V. Journal of Sound and Vibration, 161, 387–482.
- [15] David Thompson; Railway Noise and Vibration; ISBN: 9780080451473; Elsevier Science; 2008
- [16] Lutzenberger, S.; Gutmann, C.: Geräuschemission europäischer Schienenfahrzeuge, Zeitschrift für Lärmbekämpfung, Januar 2013

- [17] Gutmann, C., Oertli, J., Scossa-Romano, E., Lutzenberger, S., Belcher, D.; Statistische Untersuchung der Track Decay Rate verschiedener Schotteroberbauten im Hinblick auf die Wirksamkeit von Schienendämpfern, Fachtagung Bahnakustik 2014
- [18] Lutzenberger, S.: Bahnlärmmonitoring El Der Eisenbahningenieur, Mai 2017
- [19] Jahresbericht 2019 – „Monitoring Eisenbahnlärm“ veröffentlicht vom Bundesamt für Verkehr BAV, Schweizerische Eidgenossenschaft
- [20] SO/IEC Guide 98-3 *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurements* (GUM:1995)