



Jahresbericht 2019



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

REDAKTION

Referat 52 - Umwelt

Dr. rer. nat. Henning Brammer

Christoph Jöckle

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, November 2020

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	3
2	Zusammenfassung	4
3	Einleitung	5
4	Messstationen	6
5	Verwendete Messgrößen	8
6	Messergebnisse	11
1	Anhang: Messkonzept	38
2	Anhang: Messgrößen	40
3	Anhang: Fehlerbetrachtung, Genauigkeitsbetrachtung, Messunsicherheit	43
4	Anhang: Kennzahlen 2019	46
5	Anhang: Schienenrauheit und Abklingrate 2019	51
6	Anhang: Literatur	109

2 Zusammenfassung

Im Laufe des Jahres 2019 haben 19 Messstationen entlang des deutschen Schienennetzes ihren Betrieb zur Schallaufzeichnung des Schienenverkehrslärms aufgenommen. Dieses Lärm-Monitoring soll langfristig die Entwicklung der Schallemissionen aus dem Schienenverkehr dokumentieren.

Der vorliegende Bericht erfasst die Schallemissionen aus dem Schienenverkehr deutschlandweit systematisch und einheitlich.

Auf Basis der Messergebnisse können folgende wesentlichen Aussagen getroffen werden:

- Im Jahr 2019 wurden an den 19 Messstationen täglich im Mittel rund 3500 Züge gemessen. Knapp die Hälfte der registrierten Züge waren Güterzüge (ca. 45 Prozent). Dies entspricht gut 200.000 Achsen, die täglich gemessen werden. Von diesen gehörten mehr als 75 Prozent zu Güterzügen.
- Die Schallemissionen in Form von Mittelungspegeln, gemessen in einem Abstand von 7,5 Meter, liegen tagsüber zwischen 66 dB(A) und 76 dB(A) und nachts zwischen 67 dB(A) und 77 dB(A).
- Schallemissionen werden insbesondere durch die Geschwindigkeit, Zuglänge, Zuganzahl sowie Qualität des Gleises und des Rollmaterials beeinflusst und fallen daher an den unterschiedlichen Messstationen auch unterschiedlich aus.
- Insgesamt sind es Güterzüge, die an den Messstationen die wesentlichen Geräuschquellen darstellen. Sie verursachen etwa 90 Prozent der gemessenen Gesamtemission. Für eine Reduktion der Gesamtemission müssen daher die Emissionen der Güterzüge reduziert werden.
- Die derzeit stattfindende Umrüstung der Güterwagen von Grauguss-Bremssohlen auf Verbundstoff-Bremssohlen, welche die Schallemission des Fahrzeugs um etwa 10 dB(A) reduziert, bildet sich in den Messergebnissen ab. Rund 67 Prozent der im Jahr 2019 gemessenen Güterwagen können als lärmarm¹, d. h. als sicher umgerüstet klassifiziert werden.
Zwischen Juli und Dezember 2019 stieg der Anteil lärmarmen Güterwagen an den monatlich gemessenen Güterwagen von 60 Prozent auf 70 Prozent. Die von Güterwagen monatlich verursachten Emissionen gingen alleine in diesem Zeitraum um etwa 2 dB(A) zurück.

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. 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 20. Juli 2017 erlassene Gesetz zum Verbot des Betriebs lauter Güterwagen (Schienenlärmschutzgesetz) den erwarteten Effekt bringen wird – 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 [1] mit der Qualitätsstufe 3.

4 Messstationen

4.1 Messtechnik

Für jedes Gleis ist ein Mikrofon zur Messung der Schallemissionen normgerecht [1] 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.

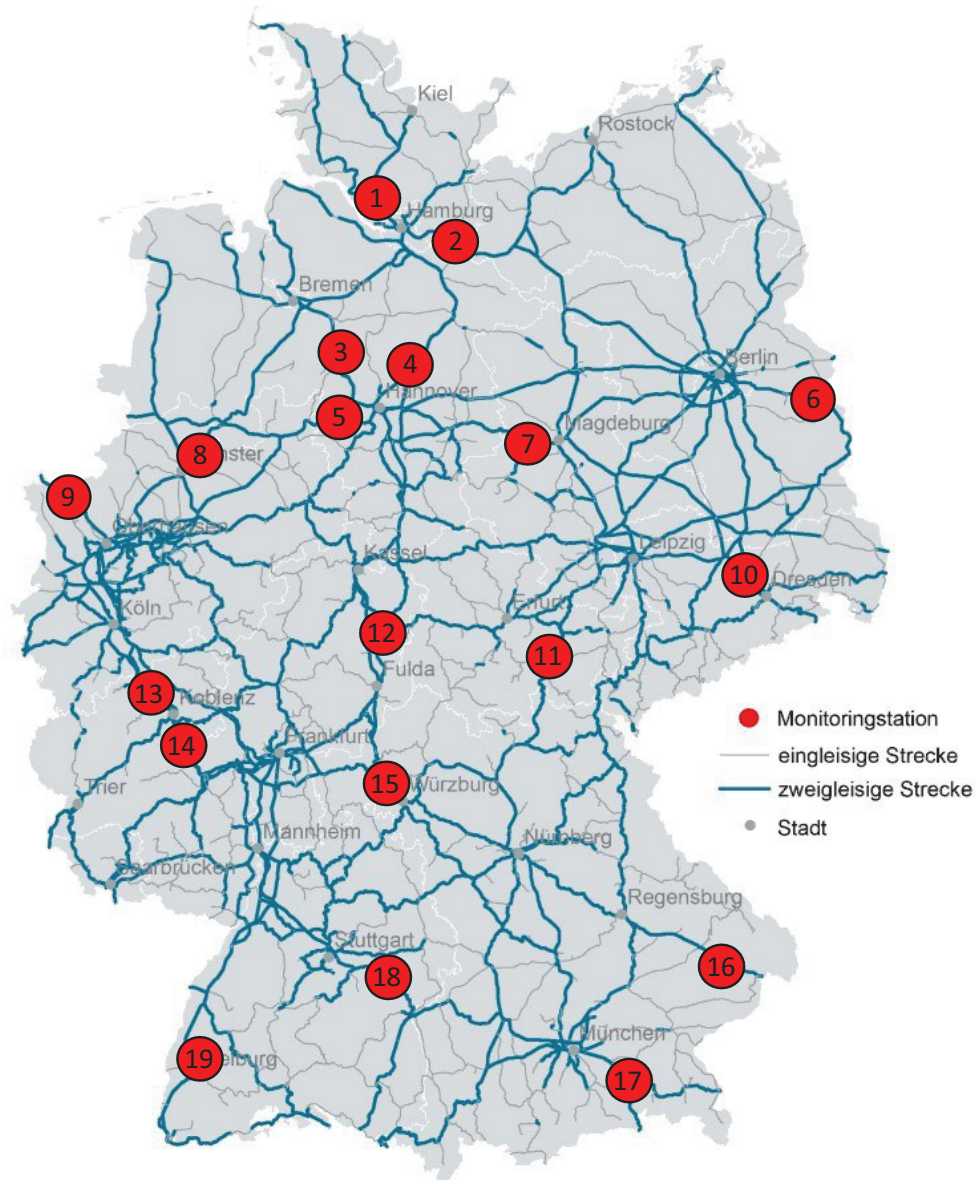


Abbildung 1: Standorte der Messstationen

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.

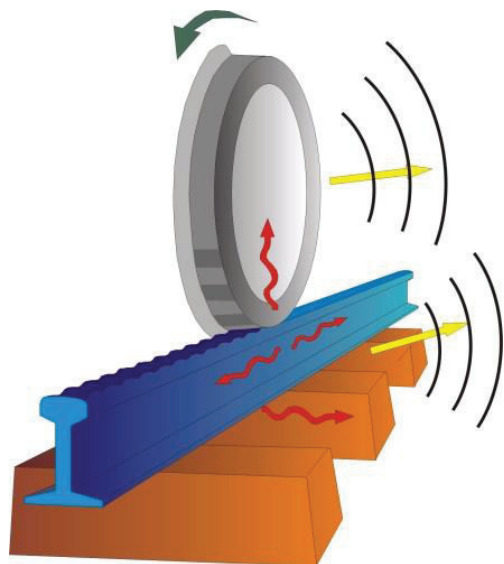


Abbildung 2: Schall- und Erschütterungserzeugung verursacht durch ein rollendes Rad auf einer Schiene mit Riffeln (Quelle: TNO)

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 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. eine Stunde) 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.

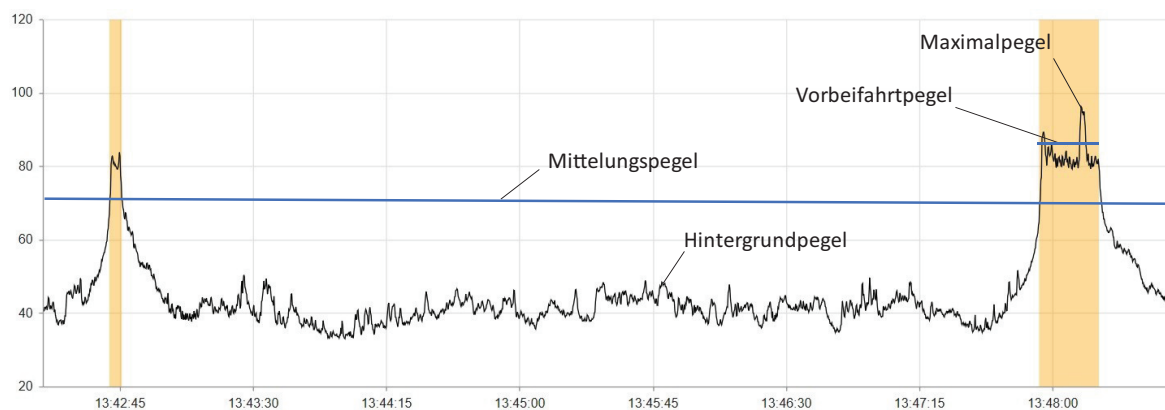


Abbildung 3: Mittelungs-, Vorbeifahrt-, Maximal- und Hintergrundpegel am Beispiel einer Zugvorbeifahrt an der Messstation Rosenheim.

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 Noise (2014) [2] liegt der bei Abnahmemessungen einzuhaltenen 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 Noise 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

Seit ihrer Inbetriebnahme im Jahr 2019 wurden an den 19 Messstationen täglich (24 Stunden) im Mittel 3512 Züge gemessen, davon waren knapp die Hälfte Güterzüge (ca. 45 Prozent). 933 dieser Zugfahrten entfallen auf den Nachtzeitraum zwischen 22:00 Uhr und 06:00 Uhr. Anteilig machen Güterzüge tags etwa 38 Prozent des Gesamtzugverkehrs aus, nachts etwa 60 Prozent. Im Schnitt hatten Güterzüge ca. 100 Achsen und Personenzügen ca. 25 Achsen. Der Anteil vorbeifahrender Achsen aus Güterwagen an der Gesamtanzahl registrierter Achsen liegt tags bei 71 Prozent und nachts bei 87 Prozent. Güterzüge waren dabei im Mittel mit 90 km/h unterwegs während Personenzüge etwa 130 km/h schnell waren. 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 graphisch dargestellt (für weitere Kennzahlen hierzu siehe Anhang 4). Standorte mit hohem Verkehrsaufkommen werden meist höhere Mittelungspegel aufweisen als solche mit weniger Verkehr. Ausschlaggebend für den Mittelungspegel sind aber noch weitere Faktoren, auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll. Die Art des Rollmaterials (Personen- bzw. Güterzüge) und dessen Zustand haben oft den größten Einfluss auf den Mittelungspegel. Zusätzlich spielen die Anzahl der Züge bzw. die Anzahl der Achsen, die Fahrgeschwindigkeit, aber auch der Zustand des Gleises eine Rolle.

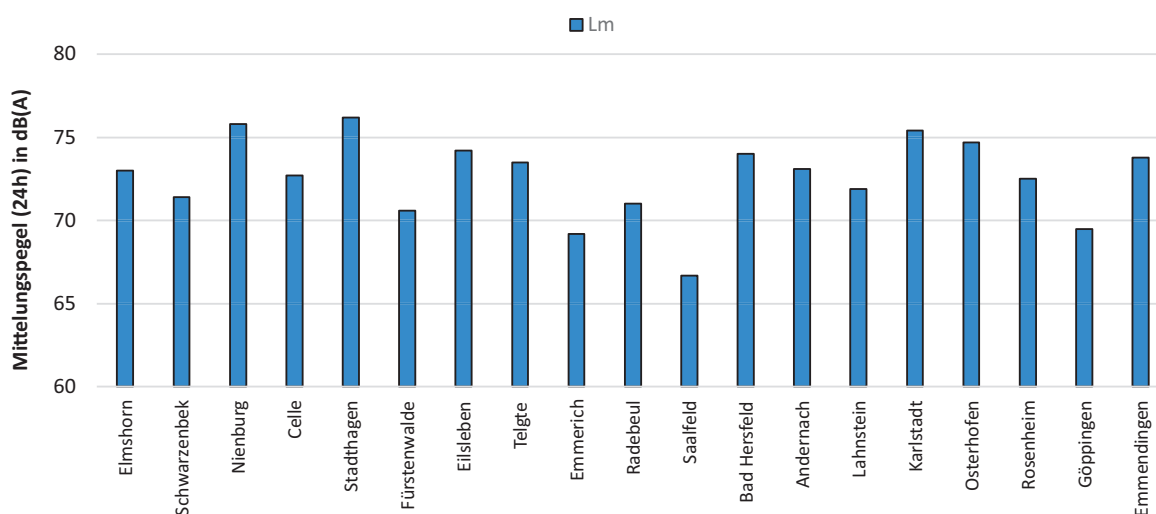


Abbildung 4: Mittelungspegel L_m (24h) an allen Messstationen im Jahr 2019

Nachfolgend sind die Mittelungspegel für den Zeitraum Tag (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) zusammen mit Zuganzahl, Achsanzahl, mittlerer Zuglänge und Geschwindigkeit für alle Zugfahrten im Jahr 2019 an den 19 Messstationen graphisch dargestellt. Neben dem Gesamtmittelungspegel L_m , welcher sich aus allen Zugvorbeifahrten ergibt, werden auch die von Güter- und Personenzügen verursachten Mittelungspegel $L_{m(GZ)}$ bzw. $L_{m(PZ)}$ dargestellt. Für Stationen, die erst im Laufe des Jahres 2019 in Betrieb genommen wurden, wurde der Mittelungspegel vom Zeitpunkt der Inbetriebnahme bis zum Ende des Jahres 2019 berechnet.

Für die in Abbildung 5 dargestellten Tagesmittelwerte an den unterschiedlichen Stationen wurden Mittelungspegel zwischen 66 dB(A) und 76 dB(A) ermittelt. Für nachts (Abbildung 6) liegen die Mittelungspegel zwischen 67 dB(A) und 77 dB(A). In allen Fällen trugen Güterzüge den größten Anteil zur Schallemission bei. Der Mittelungspegel der Stationen ist damit vornehmlich bestimmt durch die Anzahl verkehrender Güterzüge und ihrer Länge respektive Achsanzahl. Einen zusätzlichen Einfluss hat die Geschwindigkeit.

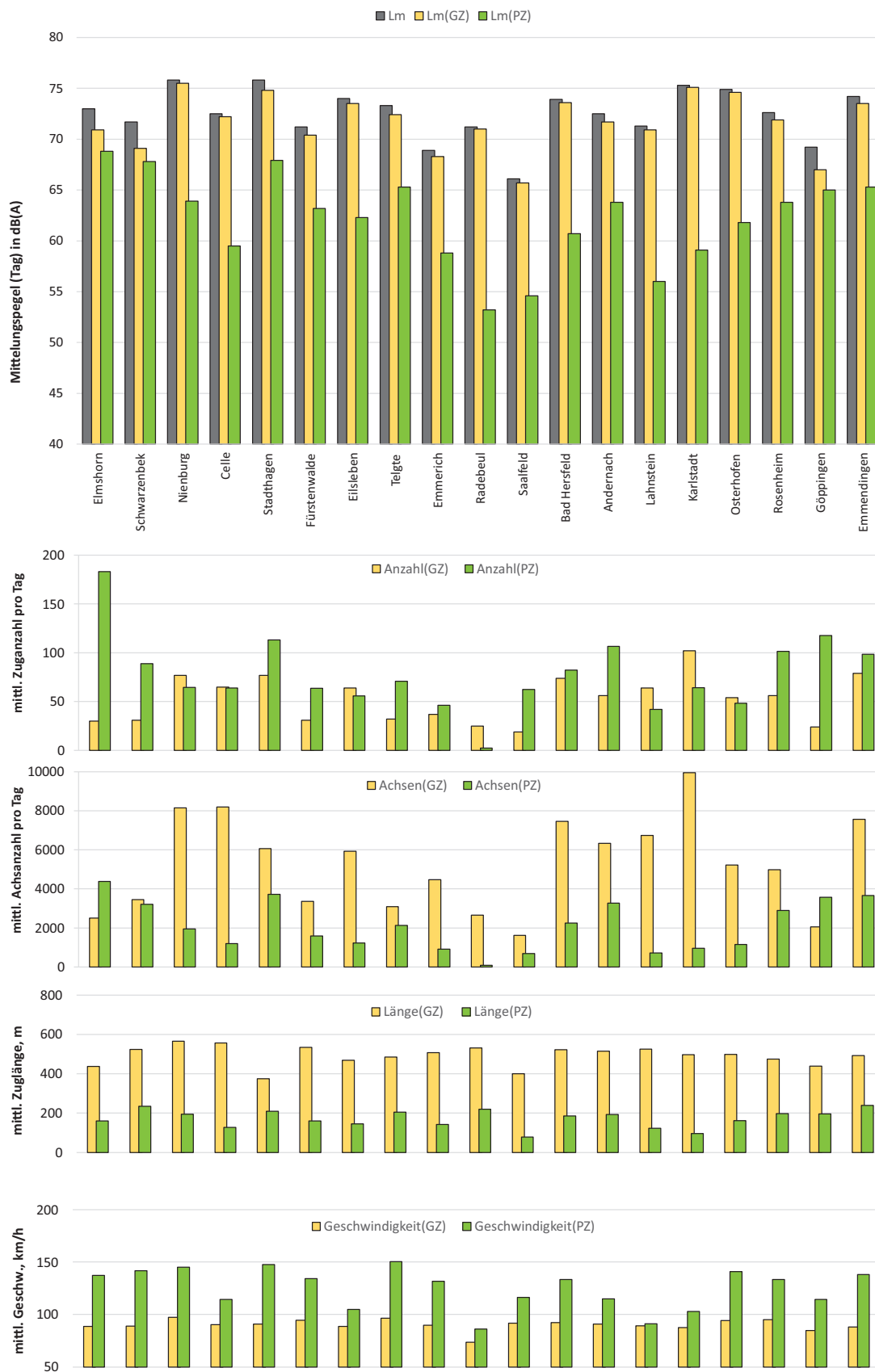


Abbildung 5: Mittelungspegel, Zuganzahl, Achszahl, Zuglänge und Geschwindigkeit für die Zeitraum Tag (06:00 Uhr bis 22:00 Uhr) unterteilt in Güter und Personenzüge (GZ bzw. PZ).

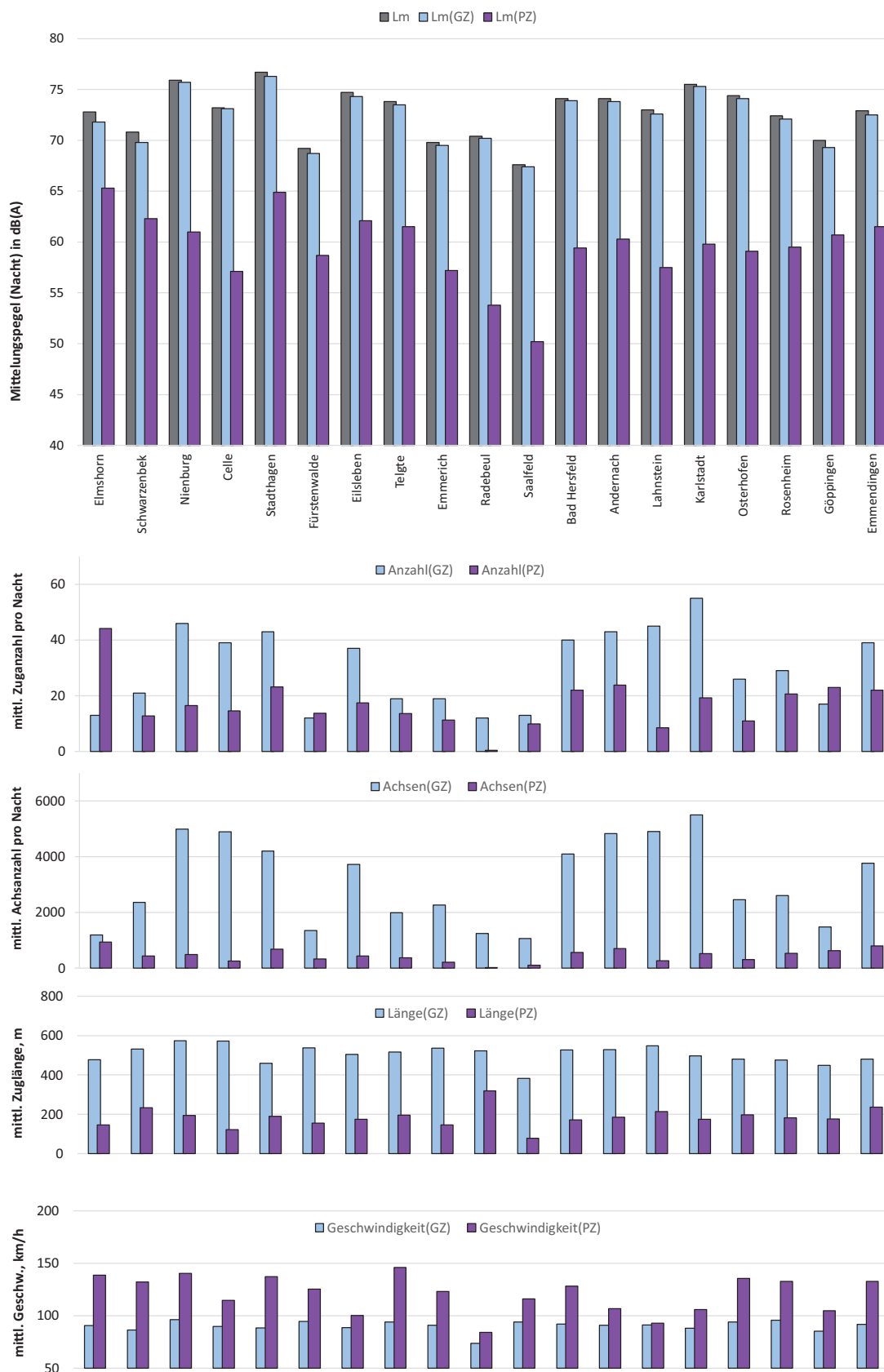


Abbildung 6: Mittelungspegel, Zuganzahl, Achszahl, Zuglänge und Geschwindigkeit für den Zeitraum Nacht (22:00 Uhr bis 06:00 Uhr) unterteilt in Güter und Personenzüge.

6.2 Kurzbeschreibung der Messstandorte

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

ELMSHORN

Die Lärm-Monitoringstation Elmshorn steht an der Strecke 1220 von Hamburg nach Kiel. Sie ist seit dem 27. Juni 2019 in Betrieb. Mit 283 registrierten Zugfahrten ist sie die Station mit der höchsten mittleren Anzahl von Zugvorbeifahrten in 24 Stunden. Dies sind insbesondere Personenzüge (ca. 84 Prozent). Der Güterverkehr dominiert trotzdem den Mittelungspegel von 73 dB(A), aber Personenzüge haben wegen der hohen Anzahl einen deutlichen Anteil. Täglich passierten im Mittel ca. 9400 Achsen die Bahnlärmmessstelle. Personenzüge sind im Mittel mit 140 km/h unterwegs, während Güterzüge etwa 90 km/h schnell fahren. Personenzugfahrten auf dem Richtungsgleis nach Hamburg waren im Jahr 2019 geringfügig lauter als solche auf dem Richtungsgleis nach Kiel, trotz vergleichbarer Zuglängen und Geschwindigkeiten. Ursächlich hierfür kann die etwas schlechtere Gleisabklingrate und erhöhte Schienenrauheit auf diesem Gleis sein. Im Jahr 2019 war der Gleiszustand aus akustischer Sicht eher schlechter. Die Station ist lauter in Bezug auf einzelne Zugvorbeifahrten mit 80 km/h als andere Stationen, was vor allem auf das Rollmaterial zurückzuführen ist. Im Mittel waren Güterzüge in Richtung Hamburg um ca. 20 Prozent länger als solche in Richtung Kiel, dafür verkehrten täglich auch um 20 Prozent weniger Züge in diese Richtung. Für die Dauer des Betriebs im Jahr 2019 wurden etwa 54 Prozent der verkehrenden Güterwagen als lärmarm gemessen. Dieser Wert liegt deutlich unter dem bundesweiten Mittelwert von 67 Prozent lärmarmen Güterwagen.

SCHWARZENBEK

Die Lärm-Monitoringstation Schwarzenbek steht an der Strecke 6100 von Berlin nach Hamburg. Sie ist seit dem 20. November 2019 in Betrieb. Es verkehrten im Jahr 2019 im Mittel 160 Züge täglich, wobei etwa zwei Drittel der verkehrenden Züge Personenzüge waren. Täglich passierten rund 9700 Achsen die Bahnlärmmessstelle. Personenzüge sind im Mittel mit 140 km/h unterwegs während Güterzüge etwa 90 km/h schnell fahren. Personenzüge sind hier überdurchschnittlich lang, was in der hohen Anzahl an Fernverkehrszügen begründet ist. Güterverkehr hat den höheren Anteil am Mittelungspegel von 71,4 dB(A), wobei dies die Station ist, an welcher Personenzüge den größten prozentualen Anteil am Gesamtpegel im Jahr 2019 hatten. Die Messungen der Gleisparameter fanden 3 Monate vor Inbetriebnahme statt. Die Schienenfahrfläche zeigte Schleifriefen, die sich in guten Teilen in diesen 3 Monaten eingefahren haben sollten. Durch die kurze Betriebsdauer sind die Ergebnisse noch nicht als repräsentativ für Jahreswerte anzusehen. Für die Monate November und Dezember 2019 wurden 75 Prozent der verkehrenden Güterwagen als lärmarm gemessen. Dieser vergleichsweise gute Wert (hohe Anteil umgerüsteter Güterwagen) ist unter Umständen auch der späten Inbetriebnahme zuzuschreiben, so der Trend in Schwarzenbek 2019 ähnlich verlief wie für alle Messstationen zusammen in Abbildung 17 dargestellt.

NIENBURG

Die Lärm-Monitoringstation Nienburg steht an der Strecke 1740 von Wunstorf nach Bremen. Sie ist seit dem 24. Mai 2019 in Betrieb. 211 Züge täglich wurden im Jahr 2019 registriert; mehr als die Hälfte (123 Züge) davon waren Güterzüge, welche in Nienburg im Schnitt länger als an allen anderen Messstationen sind. Damit passierten pro Tag gut 15500 Achsen die Bahnlärmmeßstelle. Personenzüge sind im Mittel mit 145 km/h unterwegs, während Güterzüge etwa 100 km/h schnell fahren. Personenzüge sind hier überdurchschnittlich lang, was in der hohen Anzahl an Fernverkehrszügen begründet ist. Nach den Stationen Karlstadt und Emmendingen war dies die Station mit der höchsten Anzahl vorbeifahrender Achsen im Jahr 2019. Etwa 80 Prozent davon gehören zu Güterzügen, womit sich der zweithöchste gemessene Mittelungspegel von insgesamt 75,8 dB(A) erklärt. Zusätzlich verkehren die Züge an dieser Stelle im Mittel schneller als an den anderen Messstationen. Im Vergleich ist der mittlere Vorbeifahrtexpositionspegel für 80 km/h durchschnittlich, was auch auf die hohe (gute) Abklingrate der Gleise zurückzuführen ist. 66 Prozent der verkehrenden Güterwagen wurden hier als lärmarm gemessen. Durch die hohe Güterzuganzahl und den vergleichsweise langen Betrieb hat Nienburg ein großes Gewicht im bundesweiten Mittelwert von 67 Prozent lärmarmen Güterwagen.

CELLE

Die Lärm-Monitoringstation Celle steht an der Strecke 1720 von Lehrte nach Hamburg. Sie ist seit dem 24. Mai 2019 in Betrieb. Die mittlere Zuganzahl betrug 187 Züge täglich. Die Strecke wird stark frequentiert von Güterverkehr. Nur jede 10. die Messstation passierende Achse gehört zu einem Personenzug. Täglich passierten im Mittel gut 14.700 Achsen die Bahnlärmmeßstelle. Personenzüge sind im Mittel mit 115 km/h unterwegs, während Güterzüge etwa 90 km/h schnell fahren. Güterzüge waren an dieser Station länger als an allen anderen Stationen bis auf Nienburg. Der Mittelungspegel von insgesamt 72,7 dB(A) wird fast vollständig von Güterverkehr bestimmt. Der Gleiszustand und insbesondere die Abklingrate waren im Jahr 2019 im Schnitt sehr gut, womit sich auch die vergleichsweise geringen mittleren Vorbeifahrtexpositionspegel bezogen auf 80 km/h erklären lassen. Unterschiede in den Schallmessungen für Personenzüge auf beiden Gleisen ergeben sich auch aufgrund verschiedener Geschwindigkeiten. Ab Inbetriebnahme bis zum Jahresende 2019 wurden mehr als 75 Prozent der verkehrenden Güterwagen als lärmarm gemessen. Dieser Wert liegt deutlich über dem bundesweiten Durchschnitt von 67 Prozent.

STADTHAGEN

Die Lärm-Monitoringstation Stadthagen steht an der Strecke 1700 von Minden nach Hannover. Sie ist seit dem 27. Juni 2019 in Betrieb. Täglich verkehrten im Jahr 2019 rund 276 Züge an der Messstelle, das zweithöchste Schienenverkehrsaufkommen nach Elmshorn, wenn man nach Zugzahlen geht. Davon waren im Schnitt 121 Güterzüge, was ebenso ein deutlich überdurchschnittliches Aufkommen ist. Dies entspricht rund 15500 Achsen, die täglich die Messstation passieren. Personenzüge sind im Mittel mit 145 km/h unterwegs, während Güterzüge etwa 90 km/h schnell fahren. Personenzüge sind hier überdurchschnittlich lang, was in der hohen Anzahl an Fernverkehrszügen begründet ist. Mit nur etwa 400 Metern ist der mittlere Güterzug hier kürzer als an fast allen anderen Stationen. An der Messstation Stadthagen wurden höhere Mittelungspegel für das Jahr 2019 ermittelt als an allen anderen Messstationen. Der Mittelungspegel wurde hier insgesamt zu mehr als 76,2 dB(A) bestimmt, im Nachtzeitraum betrug er sogar 76,7 dB(A). Seine Ursache hat dies in der hohen Zug- und Achszahl, dem höheren Anteil an Güterwagen mit rauen (schlechten) Rädern, aber auch in der niedrigen (akustisch schlechten) Gleisabklingrate

insbesondere für das Richtungsgleis nach Hannover. Es fällt auf, dass in Stadthagen Güterzüge besonders auf dem Richtungsgleis nach Minden mehr Achsen pro Meter (0,177) haben als an allen anderen Messstellen. Viele Achsen pro Länge werden benötigt, wenn schwere Lasten transportiert werden. Nur 53 Prozent der gemessenen Güterwagen können als lärmarm klassifiziert werden. Dieser Wert liegt deutlich unter dem bundesweiten Mittelwert von 67 Prozent für lärmarme Güterwagen.

FÜRSTENWALDE

Die Lärm-Monitoringstation Fürstenwalde steht an der Strecke 6153 von Frankfurt/Oder nach Berlin. Sie ist seit dem 27. Juni 2019 in Betrieb. 126 Zugfahrten täglich, 43 davon Güterzüge, wurden an der Messstelle Fürstenwalde gezählt. Etwa 6500 Achsen passieren täglich die Messstelle, von denen etwa 70 Prozent dem Güterverkehr zuzurechnen sind. Personenzüge sind hier im Mittel mit 135 km/h unterwegs, während Güterzüge auf dem Richtungsgleis nach Berlin mit 90 km/h und in Richtung Frankfurt/Oder etwa 100 km/h fahren. Der Mittelungspegel ist mit einem Wert von 70,6 dB(A) niedrig, was vor allem an den geringen Zug- und Achszahlen liegt, aber auch auf die sehr gute Abklingrate zurückzuführen ist. Die Schienenrauheit war zum Zeitpunkt der ersten Messung erhöht, wurde in einer Nachmessung aber als verbessert gemessen. Zum Zeitpunkt der Schienenrauheitsmessung wiesen alle Schienen Riffel von Schienenschleifen auf. Für die Dauer des Betriebs im Jahr 2019 wurden 64 Prozent der verkehrenden Güterwagen als lärmarm gemessen.

EILSLEBEN

Die Lärm-Monitoringstation Eilsleben steht an der Strecke 6110 von Magdeburg nach Braunschweig. Sie ist seit dem 24. Mai 2019 in Betrieb. 184 Zugfahrten täglich wurden an der Messstation Eilsleben registriert, von denen 101 Güterzüge waren. Insgesamt passierten jeden Tag mehr als 11600 Achsen die Messstelle. Personenzüge sind im Mittel mit 105 km/h unterwegs, während Güterzüge knapp 90 km/h schnell fahren. Aufgrund eines nahe gelegenen Haltepunktes ist ein Teil der Personenzüge (Nahverkehr, der an diesem Haltepunkt hält) deutlich langsamer unterwegs als der Rest der Personenzüge. Für den Vorbeifahrtexpositionspegel der Personenzüge ergibt sich damit eine Doppelverteilung (deren Mittelwerte um 10 dB(A) auseinander liegen). Insgesamt gehört diese Messstelle mit rund 74 dB(A) Mittelungspegel zu den lauterer Messstellen, was aber ursächlich vor allem dem hohen Güterverkehrsaufkommen zuzurechnen ist. Der Vorbeifahrtpegel (bezogen auf 80 km/h) einzelner Güterwagen lag in 68 Prozent der Messungen unterhalb 86 dB(A) und wurde damit als lärmarm klassifiziert.

TELGTE

Die Lärm-Monitoringstation Telgte steht an der Strecke 2200 von Münster nach Osnabrück. Sie ist seit dem 3. Mai 2019 in Betrieb. 140 Zugfahrten täglich, 51 davon Güterzüge, wurden in Telgte registriert. Es passierten damit jeden Tag rund 7700 Achsen die Messstelle. Personenzüge sind hier im Mittel mit 150 km/h unterwegs, der höchsten mittleren Geschwindigkeit an Bahnlärmmessstellen. Güterzüge fahren im Schnitt 95 km/h. Das Verhältnis von Güterzug- zu Personenzugachsen beträgt ca. 2 zu 1. Die Vorbeifahrt von Personenzügen dauert überdurchschnittlich lang in Telgte, was durch einen hohen Anteil von Fernverkehrszügen begründet ist. Durch die hohe Geschwindigkeit haben Personenzüge einen merklichen Beitrag zum gesamten Mittelungspegel von 73,5 dB(A), wobei den deutlich größeren Anteil auch hier der Güterverkehr hat. Der auf die Achszahl bezogene Mittelungspegel ist aufgrund niedriger Abklingraten auf beiden Gleisen hoch. Messungen der Vorbeifahrtpegel im Jahr 2019 zeigten nur für 54 Prozent der Güterwagen Pegelwerte unterhalb 86 dB(A) (für Vorbeifahrtpegel bezogen auf 80 km/h), mit denen sie als lärmarm

gewertet werden können. Im Vergleich zum bundesweiten Mittelwert von 67 Prozent ist dies gering.

EMMERICH

Die Lärm-Monitoringstation Emmerich steht an der Strecke 2270 von Emmerich (Grenze) nach Oberhausen. Sie ist seit dem 24. Mai 2019 in Betrieb. 118 Zugfahrten täglich wurden dort aufgezeichnet, von denen 56 Güterzüge waren. Insgesamt passierten jeden Tag rund 8000 Achsen die Messstelle. Personenzüge sind im Mittel mit 130 km/h unterwegs, während Güterzüge 90 km/h schnell fahren. Bis auf die Messstation Saalfeld, wo ähnlich wenige Züge und anteilig weniger Güterzüge verkehren, ist dies die Station mit dem geringsten Mittelungspegel (ca. 69 dB(A)). Das Richtungsgleis nach Oberhausen weist für Güterverkehr etwas höhere Pegel auf. Güterzüge auf diesem Gleis sind etwa 3 Wägen kürzer als solche in Richtung Emmerich (Grenze), dafür verkehren täglich 2 bis 3 Züge mehr. Die Strecke 2270 ist eine Ausbaustrecke, für die es immer wieder mal zu kurzen Sperrungen oder Zugumleitungen kommen kann. Für die Dauer des Betriebs im Jahr 2019 wurden 82 Prozent der verkehrenden Güterwagen als lärmarm gemessen. Dieser Wert liegt deutlich über dem bundesweiten Mittelwert von 67 Prozent für lärmarme Güterwagen als auch über dem aller anderen Messstationen.

RADEBEUL

Die Lärm-Monitoringstation Radebeul steht an der Strecke 6240 von Dresden nach Berlin. Sie ist seit dem 23. April 2019 in Betrieb. Nur 46 Zugfahrten täglich wurden in Radebeul verzeichnet, 37 davon Güterzüge. Dies entspricht pro Tag gut 4100 Achsen, die die Messstelle passieren. Personenzüge sind im Mittel mit 85 km/h unterwegs, während Güterzüge gut 75 km/h schnell fahren. Dies ist die Messstation mit der bei weitem geringsten Zuganzahl und den geringsten Vorbeifahrtgeschwindigkeiten. Es verkehren nur wenige Personenzüge. Teilweise liegen die Fahrgeschwindigkeiten unter 25 km/h, womit sie nicht regulär ausgewertet werden können. In Radebeul ist zusätzlich zu beachten, dass der Vergleich mittels einem auf 80 km/h bezogenen Vorbeifahrtexpositionspegel wegen der teilweisen sehr geringen Geschwindigkeiten einer höheren Ungenauigkeit unterliegen kann. Entsprechend der großen Varianzen sind sehr breite Verteilungen für den Vorbeifahrtexpositionspegel zu beobachten. Fahrten auf dem Richtungsgleis nach Dresden sind dabei lauter als auf dem anderen Gleis. Auffällig ist die Verschlechterung der Abklingrate auf diesem Gleis bei der 2. Messung der Abklingrate im Herbst 2019. Mit 71 dB(A) ist der Mittelungspegel hoch für die geringe Zuganzahl und Geschwindigkeit. Zum einen ist dies begründet in dem hohen Güterachsenanteil (nur jede 36. Achse gehört zu einem Personenzug), zum anderen ist die niedrige Abklingrate beider Gleise als akustisch schlecht zu beurteilen. In Radebeul treten im Mittel die höchsten Maximalpegel auf. Als weitere Erklärung für die hohen Pegelwerte kann hier neben der Gleisabklingrate die Nähe einer leichten Kurvenlage angebracht werden. Dies kann dazu führen, dass es zu Spurkranzanlaufen kommt, was den Schallpegel deutlich erhöht und vor allem die hohen Maximalpegel erklären könnte. Messungen im Jahr 2019 zeigen nur 53 Prozent der verkehrenden Güterwagen als lärmarm an, ein sehr niedriger Wert im bundesweiten Vergleich.

SAALFELD

Die Lärm-Monitoringstation Saalfeld steht an der Strecke 6305 von Saalfeld nach Großheringen. Sie ist seit dem 20. September 2019 in Betrieb. 110 Zugfahrten täglich, 33 davon Güterzüge, wurden in Saalfeld registriert. Es passierten damit jeden Tag gut 3600 Achsen die Messstelle. Personenzüge sind im Mittel mit 115 km/h unterwegs, während

Güterzüge gut 90 km/h schnell fahren. Dies ist die Messstelle mit dem geringsten Mittelungspegel (66,7 dB(A)), was auf die sehr geringe Achszahl als auch wenige Güterzüge (beide Werte geringer als an allen anderen Messstationen) zurückführbar ist. Zudem sind Güter- als auch Personenzüge kurz im Vergleich zu den anderen Messstationen. Im Fall der Personenzüge ist dies durch den Einsatz kurzer Nahverkehrszüge auf dieser Strecke begründet. Zugfahrten auf dem Richtungsgleis nach Saalfeld waren im Mittel deutlich lauter (um knapp 3 dB(A)) als solche auf dem anderen Gleis, was auf einen erheblich schlechteren akustischen Gleiszustand zurückzuführen ist (insbesondere einer niedrigen Abklingrate). Für die Dauer des Betriebs im Jahr 2019 wurden etwa 68 Prozent der verkehrenden Güterwagen als lärmarm gemessen.

BAD HERSFELD

Die Lärm-Monitoringstation Bad Hersfeld steht an der Strecke 3600 von Fulda nach Bebra. Sie ist seit dem 23. April 2019 in Betrieb. 227 Zugfahrten täglich, davon 114 Güterzüge, wurden in Bad Hersfeld registriert. Insgesamt passierten jeden Tag gut 14.500 Achsen die Messstelle. Zu Personenzügen gehört in etwa jede fünfte Achse. Personenzüge sind im Mittel mit 130 km/h unterwegs, während Güterzüge gut 90 km/h schnell fahren. Der Gleiszustand an dieser Messstelle war zum Zeitpunkt beider Gleismessungen im Jahr 2019 gut. Der Mittelungspegel von 74 dB(A) wird von Güterverkehr dominiert. 68 Prozent der im Jahr 2019 gemessenen Güterwagen lagen mit ihrem Vorbeifahrtpegel bezogen auf 80 km/h unter 86 dB(A) und konnten damit als lärmarm eingestuft werden. Der bundesweite Mittelwert für lärmarme Güterwagen liegt 2019 bei 67 Prozent.

ANDERNACH

Die Lärm-Monitoringstation Andernach steht an der Strecke 2630 von Bingen nach Köln. Sie ist seit dem 23. April 2019 in Betrieb. 235 Zugfahrten insgesamt täglich, 99 davon Güterzüge, wurden in Andernach gezählt. Insgesamt passierten damit jeden Tag mehr als 15.500 Achsen die Messstelle. Personenzüge sind im Mittel mit 115 km/h unterwegs, während Güterzüge 90 km/h schnell fahren. Aufgrund eines nahe gelegenen Haltepunktes ist ein Teil der Personenzüge (Nahverkehr, der an diesem Haltepunkt hält) deutlich langsamer unterwegs als der Rest der Personenzüge. Für den Vorbeifahrtexpositionspegel der Personenzüge ergibt sich damit eine Doppelverteilung (die Mittelwerte liegen um etliche dB(A) auseinander). Dies ist vor allem für Züge auf dem Richtungsgleis nach Köln zu beobachten, weil ein Teil der Züge nur langsam aus dem Haltepunkt heraus beschleunigen. Insgesamt führt dies auch zu den vergleichsweise geringen mittleren Geschwindigkeiten für Personenzüge. Mit nur 73 dB(A) ist der Mittelungspegel für das hohe Schienenverkehrsaufkommen sehr gering. Das liegt zum einen an einem hohen Anteil an Personenzügen, aber auch an dem insgesamt guten Gleiszustand. Im Jahr 2019 wurden 70 Prozent der verkehrenden Güterwagen als lärmarm gemessen.

LAHNSTEIN

Die Lärm-Monitoringstation Lahnstein steht an der Strecke 3507 von Wiesbaden nach Koblenz. Sie ist seit dem 23. April 2019 in Betrieb. Es wurden 168 Zugfahrten täglich gezählt, davon 109 Güterzüge. Insgesamt passierten damit jeden Tag gut 13.400 Achsen die Messstelle. Aufgrund einer Geschwindigkeitsbegrenzung verkehren sowohl Personen- als auch Güterzüge nur mit etwa 90 km/h an der Messstelle. Nur 8 Prozent aller verkehrenden Achsen gehören zu Personenzügen. Entsprechend ist der Mittelungspegel dominiert vom Güterverkehr. Mit nur knapp 72 dB(A) ist der Mittelungspegel für den vielen Güterverkehr gering. Das liegt vor allem an dem im Mittel guten Gleiszustand, insbesondere der hohen Gleisabklingrate. Für das Richtungsgleis nach Koblenz wurde Ende des Jahres 2019 eine

stark erhöhte Schienenrauheit gemessen, die auf Schienenschleifen zurückzuführen ist. Seit Inbetriebnahme wurden im Jahr 2019 77 Prozent der verkehrenden Güterwagen als lärmarm gemessen, ein hoher Wert im bundesweiten Vergleich.

KARLSTADT

Die Lärm-Monitoringstation Karlstadt steht an der Strecke 5200 von Würzburg nach Aschaffenburg. Sie ist seit dem 3. Mai 2019 in Betrieb. Mit 247 Zugfahrten täglich, 157 davon Güterzügen, ist Karlstadt die am stärksten von Güterverkehr frequentierte Messstelle. Insgesamt passierten jeden Tag fast 17.300 Achsen die Messstation. Zu Personenzügen gehörte nur etwa jede 10. Achse. Die mittlere Geschwindigkeit der Personenzüge betrug etwa 105 km/h und die der Güterzüge knapp 90 km/h. Erwartungsgemäß ist der Mittelungspegel, zu dem die verkehrenden Personenzüge wenig beitragen, mit 75,4 dB(A) höher als an den meisten anderen Stellen. Die Schienenrauheit wurde in der Messung des Gleiszustands im Herbst 2019 als erhöht ermittelt (Schleifrillen). Die Gleisabklingrate eines Gleises (Richtungsgleis nach Aschaffenburg) ist als insgesamt schlecht einzustufen, was Zugfahrten auf diesem Gleis lauter macht als auf dem anderen Gleis. Auf die Achsanzahl bezogen sind die Schallpegel zwar hoch, aber es gibt andere Messstationen, an denen Achsen im Mittel lauter waren. In Karlstadt haben Güterzüge mehr Achsen pro Meter (0,155) als an anderen Messstellen. Viele Achsen pro Länge werden benötigt, wenn schwere Lasten transportiert werden. 66 Prozent der verkehrenden Güterwagen wurden 2019 als lärmarm gemessen. Durch die sehr hohe Güterzuganzahl bestimmt Karlstadt den bundesweiten Mittelwert maßgeblich mit.

OSTERHOFEN

Die Lärm-Monitoringstation Osterhofen steht an der Strecke 5830 von Regensburg nach Passau. Sie ist seit dem 24. Mai 2019 in Betrieb. Es wurden 146 Zugfahrten täglich registriert, 80 davon waren Güterzüge. Dies entspricht gut 9300 Achsen, welche täglich die Messstelle Osterhofen passieren; Güterzugachsen machen davon mehr als 80 Prozent aus. Personenzüge sind im Mittel mit 140 km/h unterwegs, während Güterzüge im Schnitt 95 km/h schnell fahren. Beide Gleise zeigen eine als schlecht zu beurteilende Abklingrate. Als Konsequenz ist der Mittelungspegel mit 74,7 dB(A) höher als an anderen Messstellen mit vergleichbaren Zugzahlen. Auch der mittlere Vorbeifahrtexpositionspegel ist vergleichsweise hoch. Für die Dauer des Betriebs 2019 wurden 60 Prozent der verkehrenden Güterwagen als lärmarm gemessen. Damit verkehrten hier mehr laute Güterwagen als im bundesweiten Mittel.

ROSENHEIM

Die Lärm-Monitoringstation Rosenheim steht an der Strecke 5510 von Rosenheim nach München. Sie ist seit dem 23. April 2019 in Betrieb. Es wurden täglich im Mittel 213 Zugfahrten registriert, 85 davon waren Güterzüge. Dies entspricht mehr als 11.000 Achsen, welche täglich die Messstelle Rosenheim passierten. Der Güterverkehr macht etwa 2/3 der registrierten Achsen aus. Personenzüge sind hier mit 135 km/h unterwegs, während Güterzüge rund 95 km/h fahren. Die Gleisabklingrate ist auf beiden Gleisen sehr gut. Auf dem Richtungsgleis nach München wurde eine deutlich höhere Schienenrauheit gemessen, was den höheren Vorbeifahrtexpositionspegel auf diesem Gleis besonders für Personenzüge erklärt. Der Mittelungspegel von 72,5 dB(A) wird von Güterverkehr dominiert. Für etwa 65 Prozent der verkehrenden Güterwagen in Rosenheim wurden Vorbeifahrtpegel (bezogen auf 80 km/h) unter 86 dB(A) gemessen, die sie als lärmarm gelten lassen.

GÖPPINGEN

Die Lärm-Monitoringstation Göppingen steht an der Strecke 4800 von Stuttgart nach Ulm. Sie ist seit dem 20. September 2019 in Betrieb. Es verkehren 188 Zugfahrten täglich, davon 41 Güterzüge. Insgesamt passierten jeden Tag fast 7900 Achsen die Messstation. Nach Elmshorn ist dies die am stärksten von Personenzügen frequentierte Messstelle. Mehr als jede 2. Achse gehört zu einem Personenzug. Die mittlere Geschwindigkeit der Personenzüge betrug etwa 115 km/h und die der Güterzüge knapp 85 km/h. Entsprechend zeigen sich in Göppingen deutliche Anteile des Personenverkehrs am gesamten Mittelungspegel. Dennoch dominiert der Güterzugschall den Mittelungspegel, ein klares Indiz dafür, dass der Zustand der Radlaufflächen bei Personenzügen im Mittel noch deutlich besser ist als der von Güterzügen. Die Gleisabklingrate für das Richtungsgleis nach Stuttgart war deutlich schlechter als auf dem anderen Gleis, was zu merkbar höheren Vorbeifahrtexpositionspegeln für Zugfahrten auf diesem Gleis führte. Bedingt durch die kurze Betriebsdauer im Jahr 2019 sind die Mittelwerte für Göppingen noch nicht als repräsentativ für das gesamte Jahr anzusehen. Seit Beginn der Inbetriebnahme bis zum Jahresende 2019 wurden etwa 67 Prozent der verkehrenden Güterwagen als lärmarm gemessen.

EMMENDINGEN

Die Lärm-Monitoringstation Emmendingen steht an der Strecke 4000 von Basel nach Mannheim. Sie ist seit dem 23. April 2019 in Betrieb. Es wurden 247 Zugfahrten täglich registriert, 118 davon waren Güterzüge. Dies entspricht rund 15.800 Achsen, welche täglich die Messstelle Emmendingen passieren; Güterzugachsen machen davon etwa 70 Prozent aus. Personenzüge sind hier mit 135 km/h unterwegs, während Güterzüge im Schnitt 90 km/h fahren. Dabei sind Fahrten auf dem Richtungsgleis nach Basel im Mittel rund 10 km/h schneller als auf dem Nachbargleis. Der Mittelungspegel liegt mit 73,8 dB(A) eher hoch; auf die Achsen bezogen ist er aber niedriger als an vielen anderen Messstellen. Der Gleiszustand war zum Zeitpunkt der Messung aus akustischer Sicht schlecht. Dies ist die Messstelle, an welcher Personenzüge im Mittel am längsten sind, was auf einen hohen Anteil Fernverkehrszüge hindeutet. 75 Prozent der verkehrenden Güterwagen in Emmendingen unterschreiten in ihrem Vorbeifahrtpegel (bei 80 km/h) den Wert von 86 dB(A) und sind somit als lärmarm zu klassifizieren. Ein hoher Wert, der sich auch durch die Nähe der Schweiz begründet, in welcher mittels Lärmgrenzwerten laute Güterwagen ab dem Jahr 2020 verboten sind.

6.3 Akustische Eigenschaften des Gleises

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]

Zur weiterführenden Übersicht und Vergleichbarkeit sind die Rauheits-Einzelwerte L_{ACA} in dB für die Bezugs-Geschwindigkeit 80 km/h angegeben. Die Bestimmung der Rauheits-Einzelwerte erfolgte entsprechend „*Deliverable 12 part 1 of the HARMONOISE project*“ [5]. Je kleiner der Rauheits-Einzelwert, desto kleiner ist die akustische Rauheit der Schienenoberfläche. Die Unterschiede der Rauheitseinzelwerte können als 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-Einzelwert für eine Bezugsgeschwindigkeit von 120 km/h eine Einteilung in etwa wie folgt vorgenommen (für 80 km/h ist diese Klassifizierung i. d. R. vergleichbar; Grenzwerte können sich dabei aber geringfügig nach unten verschieben).

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

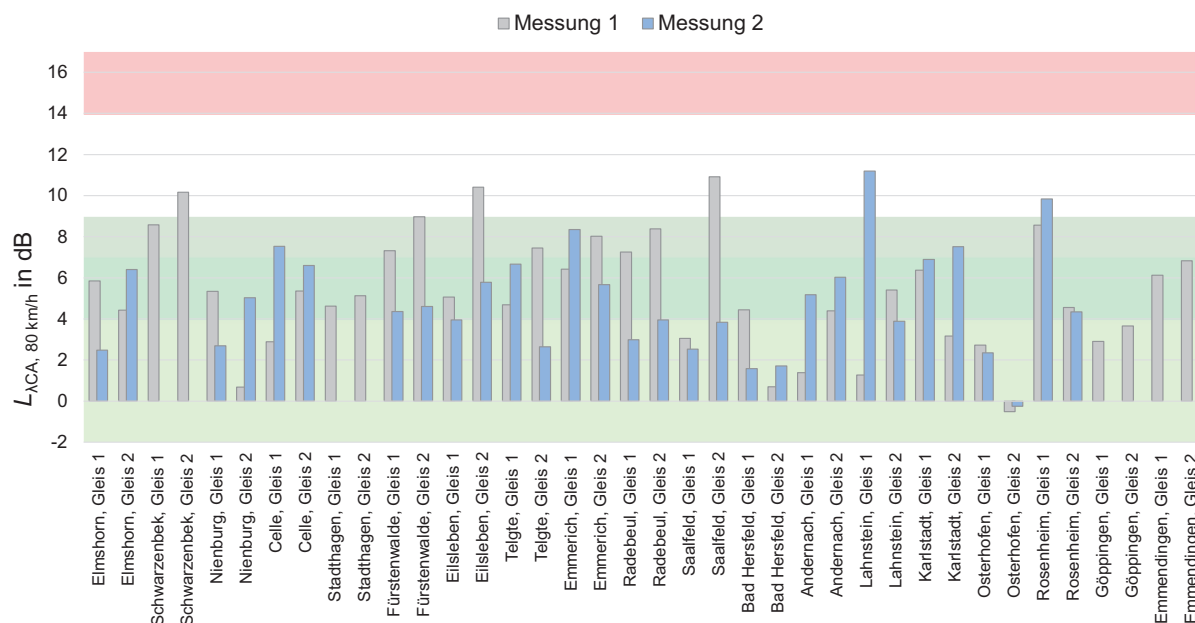


Abbildung 7: Rauheits-Einzahlwerte L_{ACA} in dB für alle Messquerschnitte aller Messstandorte mit der Bezugs-Geschwindigkeit 80 km/h. Die grauen Balken repräsentieren die Ergebnisse der Initialmessung und die blauen Balken zeigen die Ergebnisse der zweiten Messung.

Die Rauheits-Einzahlwerte variieren signifikant zwischen -1 und 11 dB.

An den meisten Messorten liegt eine gute Schienenqualität mit $L_{ACA} < 7$ vor. An zahlreichen Stellen erreicht die Schienenqualität annähernd oder vollständig die Eigenschaften eines Referenzgleises nach EN ISO 3095.

An den Messstationen Schwarzenbek, Eilsleben, Saalfeld, und Rosenheim wurden zum Zeitpunkt der Messung Schleifmuster auf jeweils einem Gleis vorgefunden. In Lahnstein und Rosenheim bei der zweiten Messung. Die hohen Rauheiten mit $L_{ACA} \geq 10$ sind daher größtenteils auf Schleifen und die dadurch entstehenden Schleifrippen zurückzuführen. Lediglich auf dem Gleis 2 in Schwarzenbek liegt eine hohe Rauheit vor, die nicht sichtbar auf Schienenschleifen zurückzuführen ist.

Es ist bekannt, dass die Schienenrauheit sich mit der Zeit verändern kann. 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 7 ursächlich für die großen Unterschiede zwischen der ersten und zweiten Messung.

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

6.3.2 Abklingrate

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

Anders als die Schienenrauheit, 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 (Schwarzenbek, Stadthagen (Gleis 1), Saalfeld (Gleis 2), Radebeul, Karlstadt (Gleis1), Göppingen (Gleis 2), Osterhofen, Emmendingen und Telgte).

Der Einfluss der Abklingrate wurde in der Beschreibung der einzelnen Messstationen in Kapitel 6.2 mit einbezogen.

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 8 wird die Häufigkeitsverteilung aller im Jahre 2019 gemessenen Vorbeifahrtexpositionspegel für die Bezugsgeschwindigkeit 80 km/h, getrennt nach Personen- und Güterzügen dargestellt.

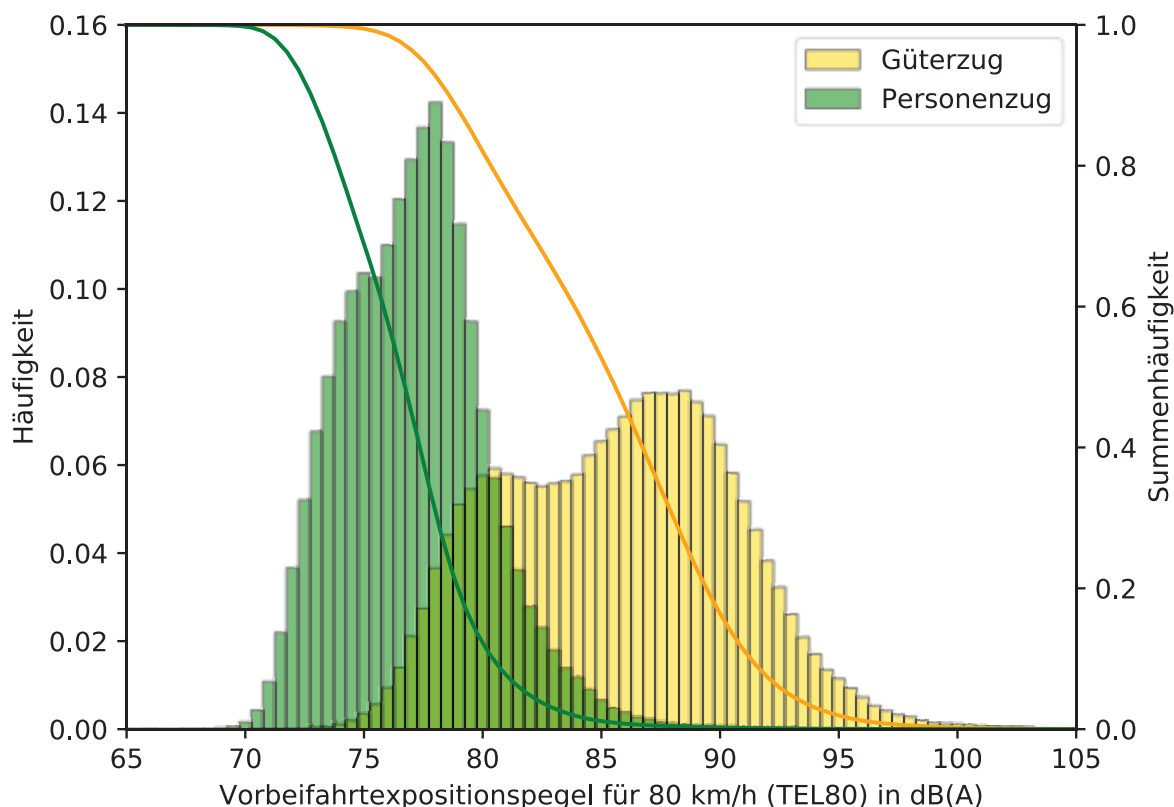


Abbildung 8: Häufigkeitsverteilung des Vorbeifahrtexpositionspegel für 80 km/h (*TEL80*) aller Güterzüge (gelb) und Personenzüge (grün) im Jahr 2019.

Insgesamt lässt sich erkennen, dass das Rollmaterial der Personenzüge i. d. R. akustisch besser ist als das der Güterzüge. Das Maximum der Verteilung ist etwa 2-3 dB(A) niedriger als das Maximum der Verteilung leiserer Güterzüge.

Die Verteilung für Güterzüge ist eine Doppelverteilung (bimodal). Der Gipfel bei leiseren Werten kann Güterzügen zugeordnet werden, welche bereits vollständig auf Rollgeräusch-reduzierende Verbundstoff-Bremssohlen umgerüstet sind. Der Gipfel bei lauterer Werten resultiert von Güterzügen mit Grauguss-gebremsten Wagen, die den Vorbeifahrtexpositionspegel dominieren. Der Unterschied zwischen beiden Gipfeln beträgt in etwa 8 dB(A).

Durch die im Mittel größere Anzahl Wagen in Güterzügen und den deutlich heterogeneren Zustand der Radlaufflächen bei Güterwagen im Vergleich zu Personenzugwagen ist

erwartungsgemäß die Streuung der Vorbeifahrtpegel bei Güterzügen größer als bei Personenzügen. Dies zeigt sich auch in der Breite der Häufigkeitsverteilung in Abbildung 8.

In der folgenden Abbildung 9 ist der längengewichtete *TEL80* für jede Station, getrennt für Güterzüge und Personenzüge und für jeweils beide Gleise dargestellt.

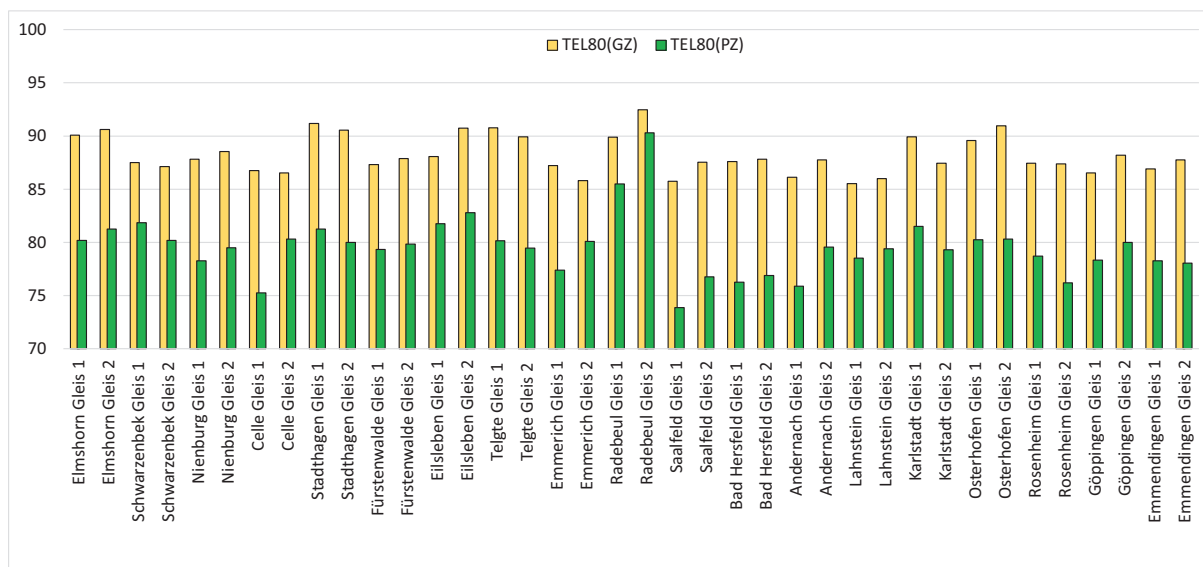


Abbildung 9: mittlerer längengewichteter Vorbeifahrtsexpositionspegel *TEL80* an allen Stationen für Güter- und Personenzüge.

Die Werte reichen von 73,9 dB(A) für Personenzüge in Saalfeld auf Gleis 1 bis zu 92,5 dB(A) für Güterzüge in Radebeul auf Gleis 2. Auffällig ist, dass in Radebeul der *TEL80* für Personenzüge deutlich höher liegt als an allen anderen Stationen. Dies ist vor allem auf die besonderen Gegebenheiten der Messstation (siehe Kapitel 6.2) und die niedrige Abklingrate der Schiene vor Ort zurückzuführen (Anhang 5).

Für Messstandorte mit geringen *TEL80* Pegelwerten für Personenzüge (welche in der Regel glatte Räder haben), wurden meist geringe Schienenrauheit und hohe Abklingraten gemessen (siehe Kapitel 6.3 und Anhang 5). Die Rauheit der Räder und Schiene sowie die Abklingrate können damit als wesentlichste Einflussfaktoren gewertet werden. Ist der *TEL80* für Güterzüge an einem solchen Messort hoch, so ist dies meist auf das Rollmaterial zurückzuführen.

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 und in einem Histogramm getrennt für Güterzüge und Personenzüge dargestellt.

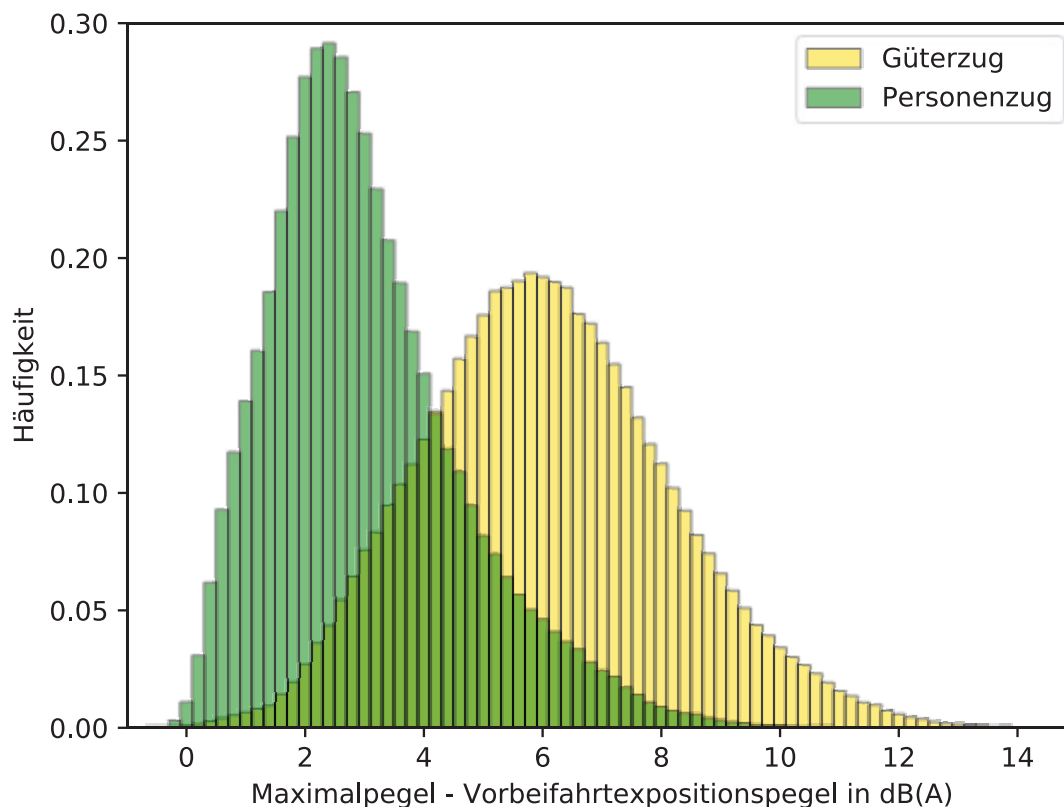


Abbildung 10: Differenz zwischen Maximal- und Vorbeifahrtsexpositionspegel für Güterzüge (gelb) und Personenzüge (grün)

Abbildung 10 zeigt, wie häufig es vorkommt, dass der Maximalpegel den mittleren Vorbeifahrtsexpositionspegel um einen bestimmten Schallbetrag in dB(A) überschreitet. Erkennbar liegt der Schwerpunkt der Verteilung für Güterzüge um 3-4 dB(A) höher als der für Personenzüge. Zurückzuführen ist dieses Phänomen 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.

6.4.3 Schallemission einzelner Wagen

Abbildung 11 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 Noise verwendet². In die dargestellten Vorbeifahrtpegel einzelner Fahrzeuge gehen neben der Qualität des Rollmaterials auch die akustischen Gleiseigenschaften ein.

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

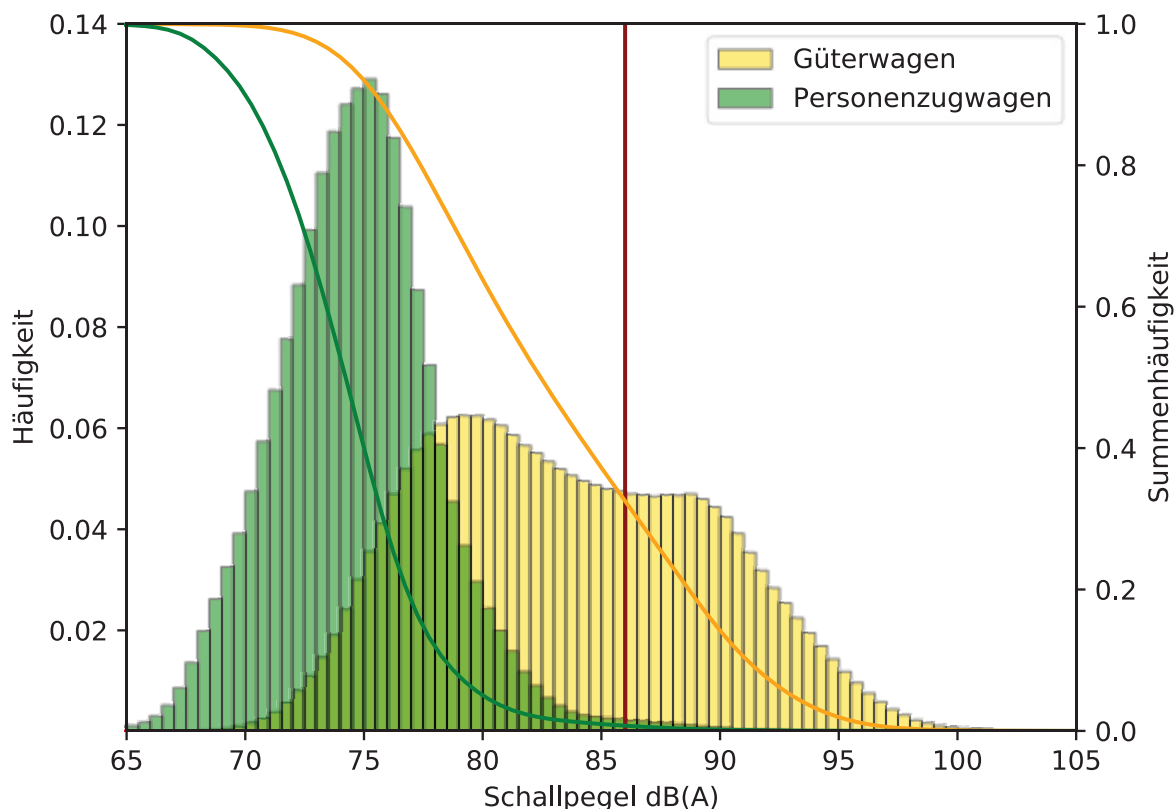


Abbildung 11: Schallpegelverteilung aller Güterwagen korrigiert auf ihren auf Achsen pro Länge bezogenen Schallpegel $L_{pAeq,Tp,APL,80}$ für 80 km/h (gelb) und der aller Personenzugwagen für den Schallpegel $L_{pAeq,Tp,80}$ umgerechnet auf 80 km/h (grün). Die rote Linie bei 86 dB(A) dient der Trennung lauter von lärmarmen Wagen. Im Jahr 2019 wurden damit rund 67 Prozent aller Güterwagen als lärmarm gemessen.

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

Die Verteilung des Vorbeifahrtpegels der Güterwagen zeigt, wie bereits die Verteilung der Vorbeifahrtexpositionspegel der Güterzüge (Abbildung 8), zwei Gipfel, welche knapp 10 dB(A) auseinanderliegen und jeweils den Güterwagen mit Verbundstoff-Bremssohle bzw. Grauguss-Bremssohle zugeordnet werden können. Während mehr lautere Güterzüge als leisere gemessen wurden (Abbildung 8), kann im Gegensatz dazu Abbildung 11 entnommen werden, dass bei der Einzelwagenmessung mehr leisere als lautere Güterwagen erfasst wurden. Hieraus lässt sich erkennen, dass ein Großteil der Güterwagen gute Radlaufflächen besitzt (und umgerüstet ist), der größte Teil des erzeugten Schalls aber von den wenigen lauten Güterwagen herrührt.

Für Neuzulassungen von Güterwagen nach TSI Noise (2014) [2] 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 Noise 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 11 eingezeichnete vertikale Trennlinie bei 86 dB(A) grenzt lärmarme Güterwagen von lauterer Güterwagen ab.

Es ist anzumerken, dass die Messstationen alle im Verlauf des Jahres 2019 in Betrieb genommen wurden. Somit konnte kein echtes Jahresmittel erstellt werden, da eine Mehrzahl der Messungen aus der zweiten Jahreshälfte stammt. Für eine Bewertung des aktuellen Zustands (Jahr 2019) und um einen ersten Effekt aufzuzeigen, den die Umrüstung von graugussgebremsten Güterwagen auf lärmärmere Systeme mit sich bringt, sind die Daten aber bereits verwendbar.

Die ebenfalls in Abbildung 11 gezeigte Summenhäufigkeitskurve der Güterwagen (gelb) hat bei 86 dB(A) etwa den Wert 0.33. Somit können 67 Prozent der im Jahr 2019 gemessenen Güterwagen können als lärmarm, d. h. als sicher umgerüstet, klassifiziert werden. Im zeitlichen Verlauf über das Jahr 2019 lässt sich dabei eine Entwicklung hin zu geringeren Schallpegeln ausmachen (siehe Kapitel 6.4.3).

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 12 und Abbildung 13 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, wie bereits in Abbildung 12 gesehen. An einigen Messorten liegt das Maximum der Verteilung hin zu geringeren Schalldruckpegeln, was für einen höheren Anteil umgerüsteter an dieser Messstation verkehrender Güterwagen spricht (insbesondere Emmendingen, Lahnstein, Andernach und Emmerich).

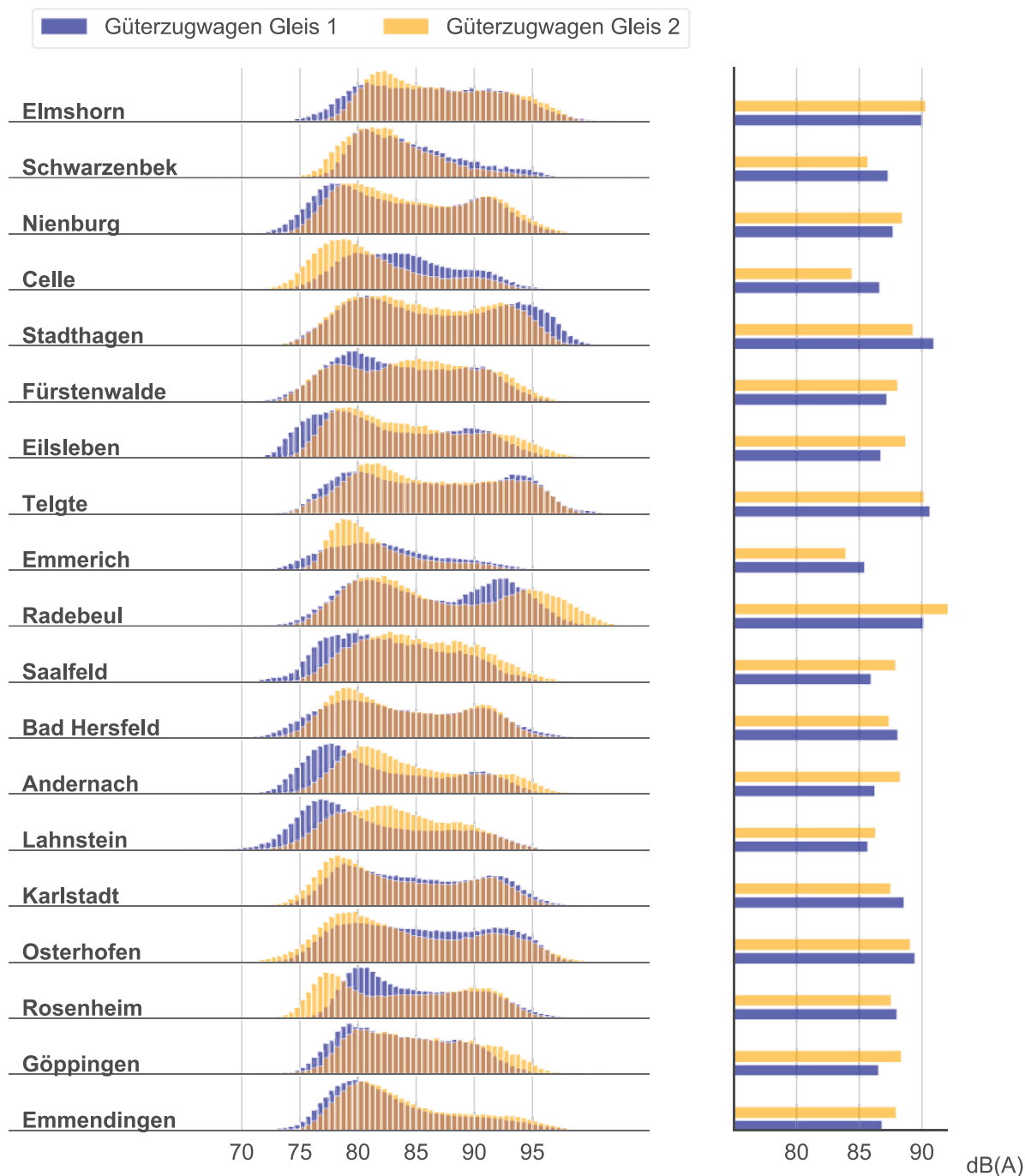


Abbildung 12: Äquivalenter Dauerschalldruckpegel $L_{pAeq,T,APL,80}$ korrigiert auf Achsen pro Länge für Güterwagen mit 80 km/h an allen Stationen und für beide Gleise getrennt dargestellt. Links als Häufigkeitsverteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

Für Personenzugwagen kann, wie bereits anhand Abbildung 13 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 in Rosenheim, wo ein Gleis im Abschnitt der Messstelle insgesamt in einem deutlich besseren Zustand ist als das andere. Die Verteilungen für Schallpegelemissionen von Personenzugwagen sind in Rosenheim dadurch deutlich zueinander verschoben. Auch für Güterzüge ist für lärmarme Wagen dieser Effekt in Rosenheim zu sehen, nicht aber für laute Wagen, bei denen die Radrauheit deutlich über der Rauheit der Schiene liegt.

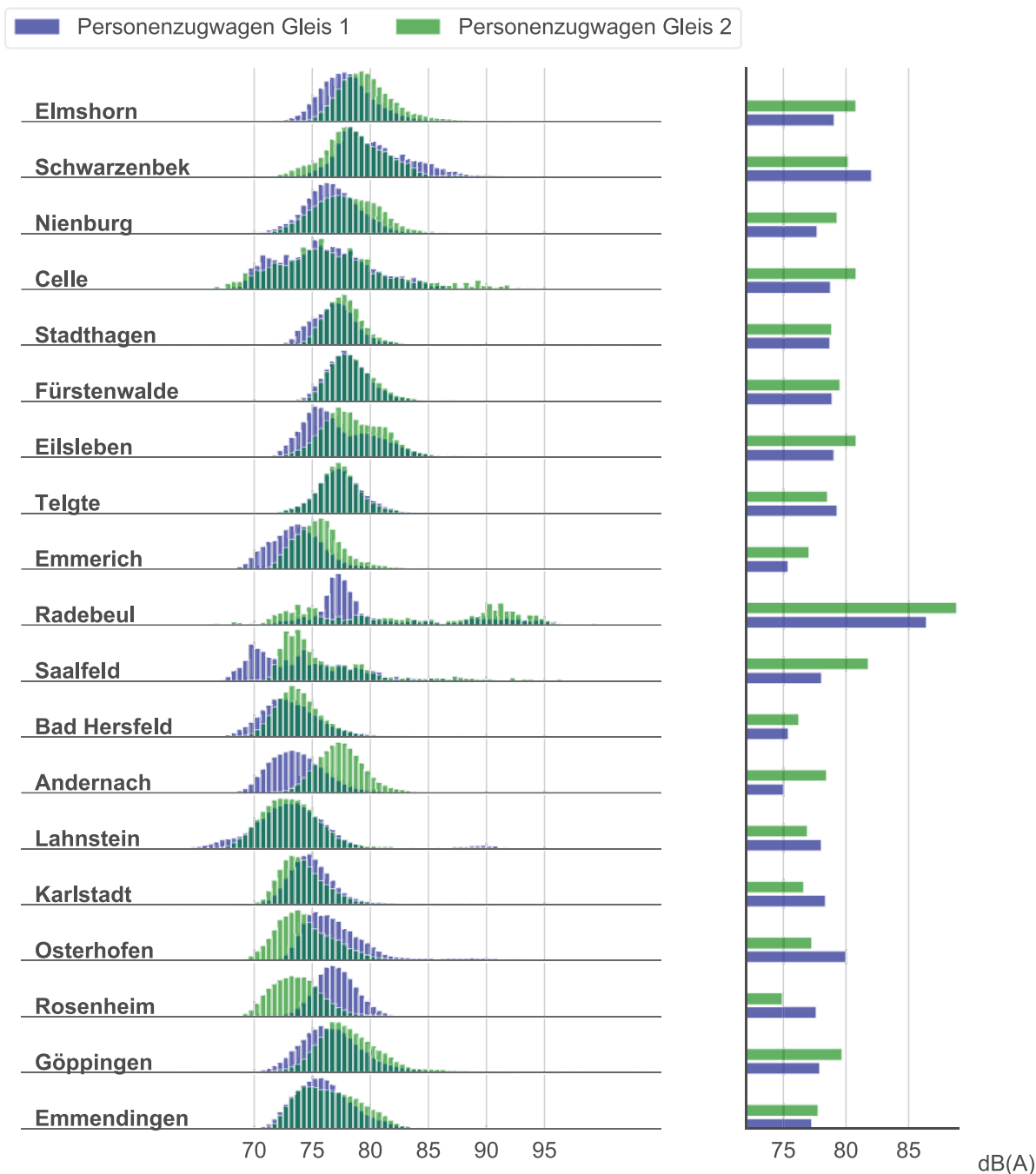


Abbildung 13: Äquivalenter Dauerschalldruckpegel $L_{pAeq,T,80}$ bezogen auf 80 km/h an allen Stationen und für beide Gleise getrennt dargestellt. Links als Häufigkeitsverteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

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 14 dargestellt. Güterwagen ungültiger Zugfahrten (z. B. wenn es zu Zugbegegnungen kam) fließen 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 neben dem Verkehrsaufkommen maßgeblich von der Laufzeit der Station ab. Dadurch gehen Stationen, die früh den Betrieb aufnehmen, stärker in die Berechnung des bundesweiten Mittels von 67 Prozent lärmarmen Güterwagen ein.

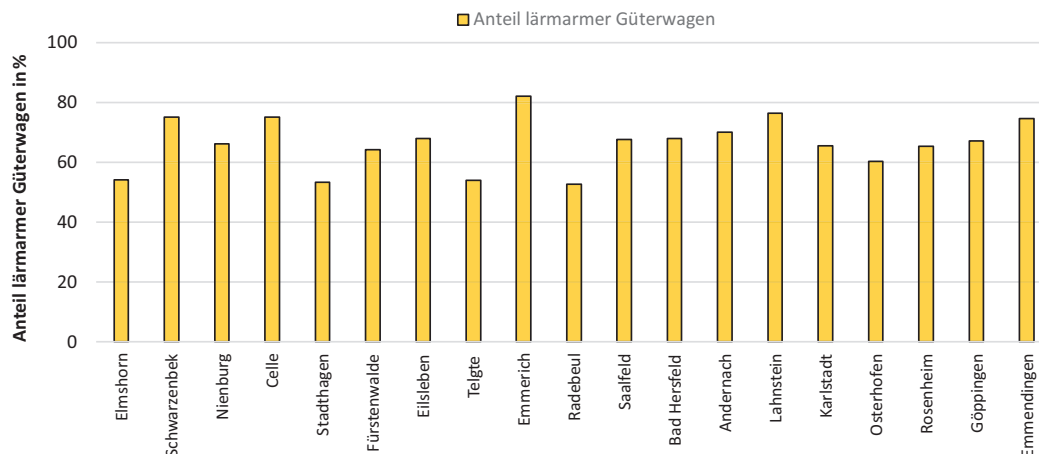


Abbildung 14: Anteil der als lärmarm registrierten Güterwagen an den einzelnen Messstationen für ihre jeweilige Betriebszeit im Jahr 2019.

6.4.4 Einfluss der Triebfahrzeuge auf die Gesamtemission

Neben der bisherigen Betrachtung der einzelnen Personen- bzw. Güterwagen wird im Folgenden der Einfluss von Triebfahrzeugen auf die Gesamtemission untersucht. Für die Schallemission von Triebfahrzeugen treten neben dem Rollgeräusch Aggregatgeräusche auf, die abhängig vom Betriebszustand und Fahrgeschwindigkeit wesentlich den Vorbeifahrtpegel des Triebfahrzeugs beeinflussen können. Welchen Anteil die Emissionen von Triebfahrzeugen am Vorbeifahrtexpositionspegel des gesamten Zuges haben lässt sich aus Abbildung 15 abschätzen. Hier ist die Verteilung der Differenz aus dem Vorbeifahrtpegel der Lok ($L_{Aeq,TP}$) und des Vorbeifahrtexpositionspegels (TEL) des zugehörigen Zuges dargestellt. Positive Werte bedeuten, das Triebfahrzeug hatte einen Anteil am Vorbeifahrtpegel des Zuges oder war für ihn sogar bestimmend (im Fall größerer positiver Werte), negative Werte bedeuten es gab andere dominierende Schallquellen im Zugverbund.

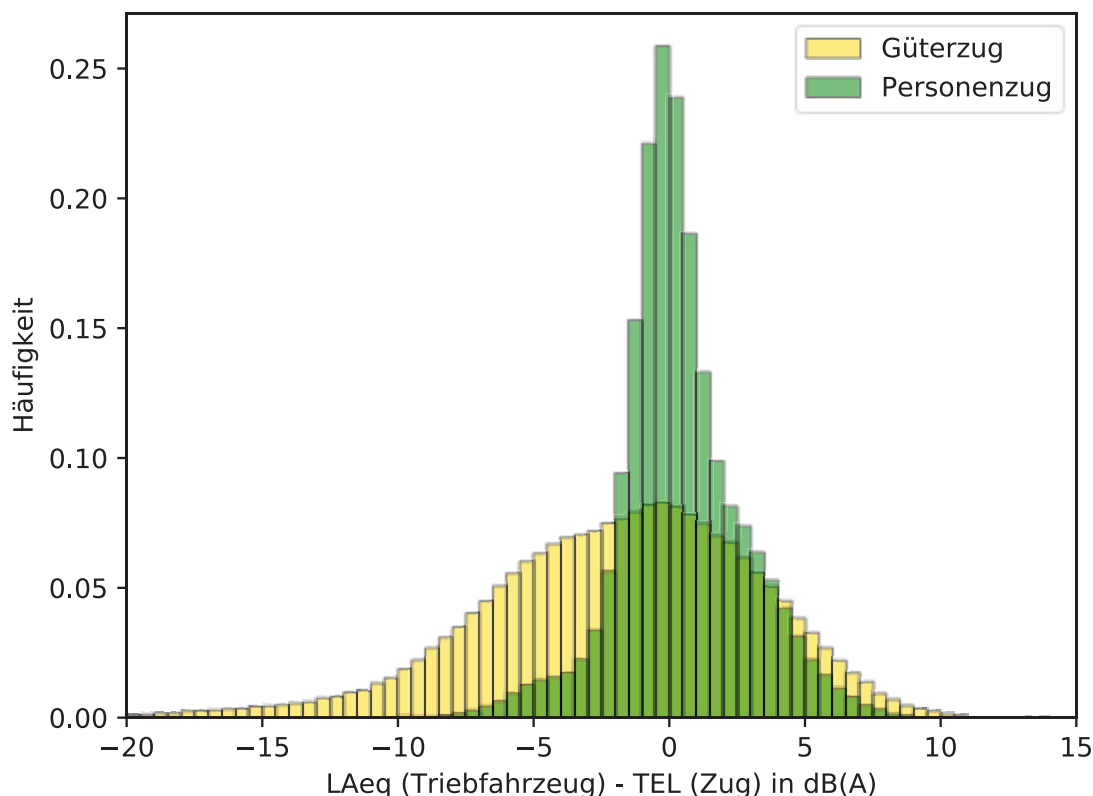


Abbildung 15: Verteilung des Differenzpegel von Vorbeifahrtpegel TEL des gesamten Zuges zu Vorbeifahrtpegel der Triebfahrzeuge (für Triebfahrzeuge von Personenzügen (grün) und Lokomotiven von Güterzügen (gelb)). Positive Werte weisen darauf hin, dass das Triebfahrzeug einen wesentlichen Anteil am Vorbeifahrtpegel des Zuges hat.

Für Personenzüge zeigt sich eine schmale Verteilung um 0 dB(A) herum – die Triebfahrzeuge sind somit in etwa so emissionsreich wie die weiteren Fahrzeuge im Zug.

Für den größeren Teil der Güterzüge ist die Differenz der beiden Schallpegel negativ, d. h. das Triebfahrzeug ist nicht die dominierende Geräuschquelle des Zuges. Es bleibt abzuwarten, inwiefern sich der Anteil der Schallemissionen von Triebfahrzeugen an den Gesamtemissionen der Güterzüge im Rahmen der fortlaufenden Umrüstung der Güterwagen verändert.

6.5 Zeitliche Entwicklung der Schallemissionen von Güterwagen

Das netzweite Lärm-Monitoring soll über die nächsten Jahre unter anderem die zeitliche Entwicklung der Schallemissionen sichtbar machen, die sich erwartungsgemäß durch die Umrüstung der Güterwagen auf leise Bremssohlen verringern sollen. Für Güterwagen ist dieser Effekt bereits aus den Messdaten des Jahres 2019 erkennbar. In Abbildung 16 ist die zeitliche Entwicklung des auf 80 km/h und auf ihren Achsen pro Länge bezogenen Vorbeifahrtpegel $L_{pAeq, Tp, APL, 80}$ für jeweils alle registrierten Güterwagen eines Monats als Verteilung und energetischer Mittelungspegel dargestellt. Es wurden nur Fahrten mit mehr als 50 km/h ausgewertet. Alle Verteilungen wurden auf dieselbe Anzahl skaliert, so dass die Höhe der Balken direkt proportional zur Anzahl gemessener Güterwagen ist. Zu Anfang des Jahres 2019 (Inbetriebnahme April 2019) waren noch nicht alle Stationen in Betrieb, die Verteilungen sind daher insgesamt kleiner als später im Jahr.

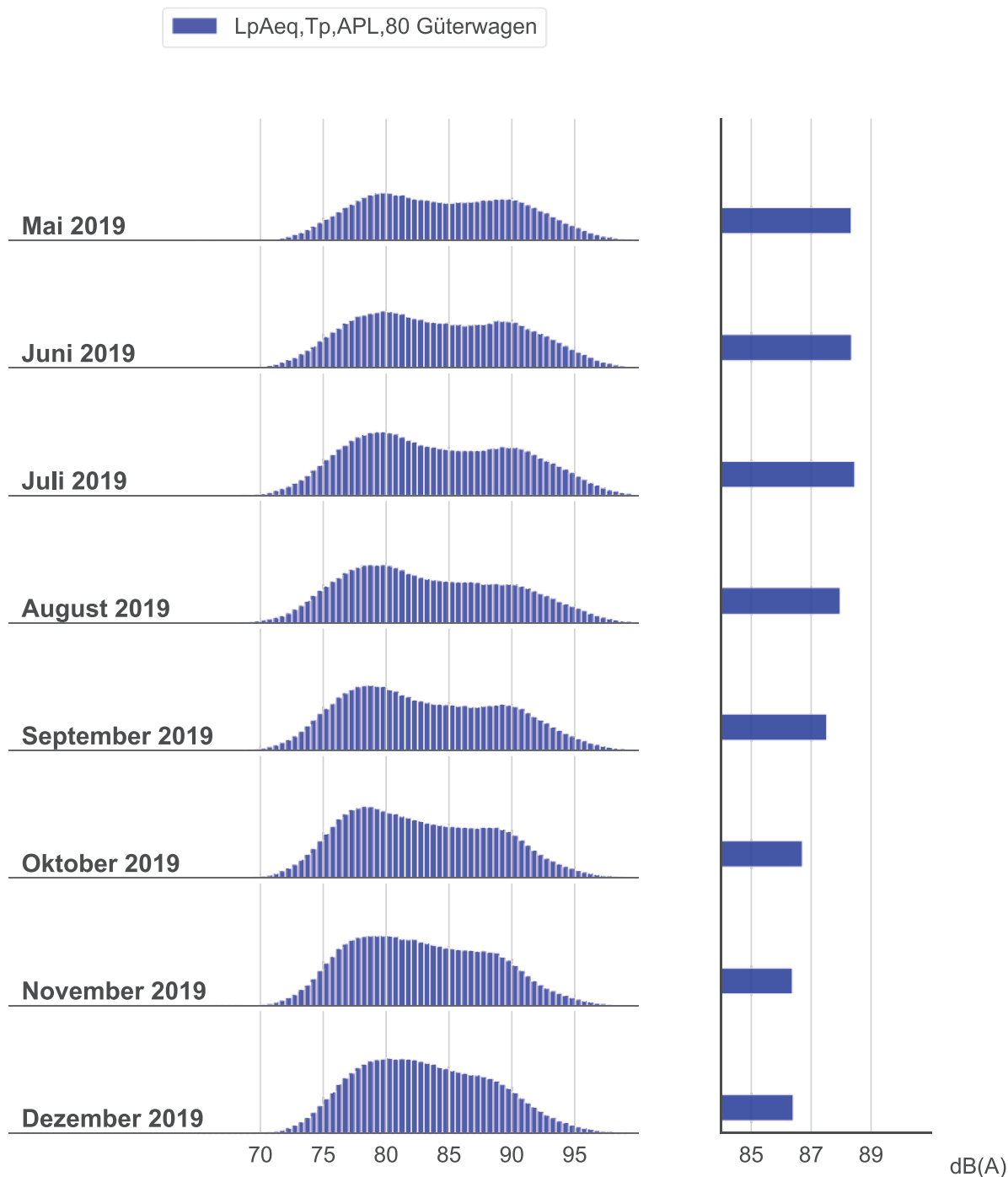


Abbildung 16: Zeitliche Entwicklung des auf 80 km/h bezogenen Vorbeifahrtpegel für Güterwagen, links als Verteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

Sowohl in den Verteilungen in Abbildung 16 als auch in den zugehörigen energetischen Mittelwerten ist die Schallpegelreduktion für den Vorbeifahrtpegel von Güterwagen mit 80 km/h klar zu erkennen. Dabei ist zu sehen, wie die durch Güterwagen mit schlechten Radlaufflächen verursachte rechte Spitze 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 17). Hier wandert der rechte (lautere) Gipfel der Verteilung zu niedrigeren Schallpegeln hin.

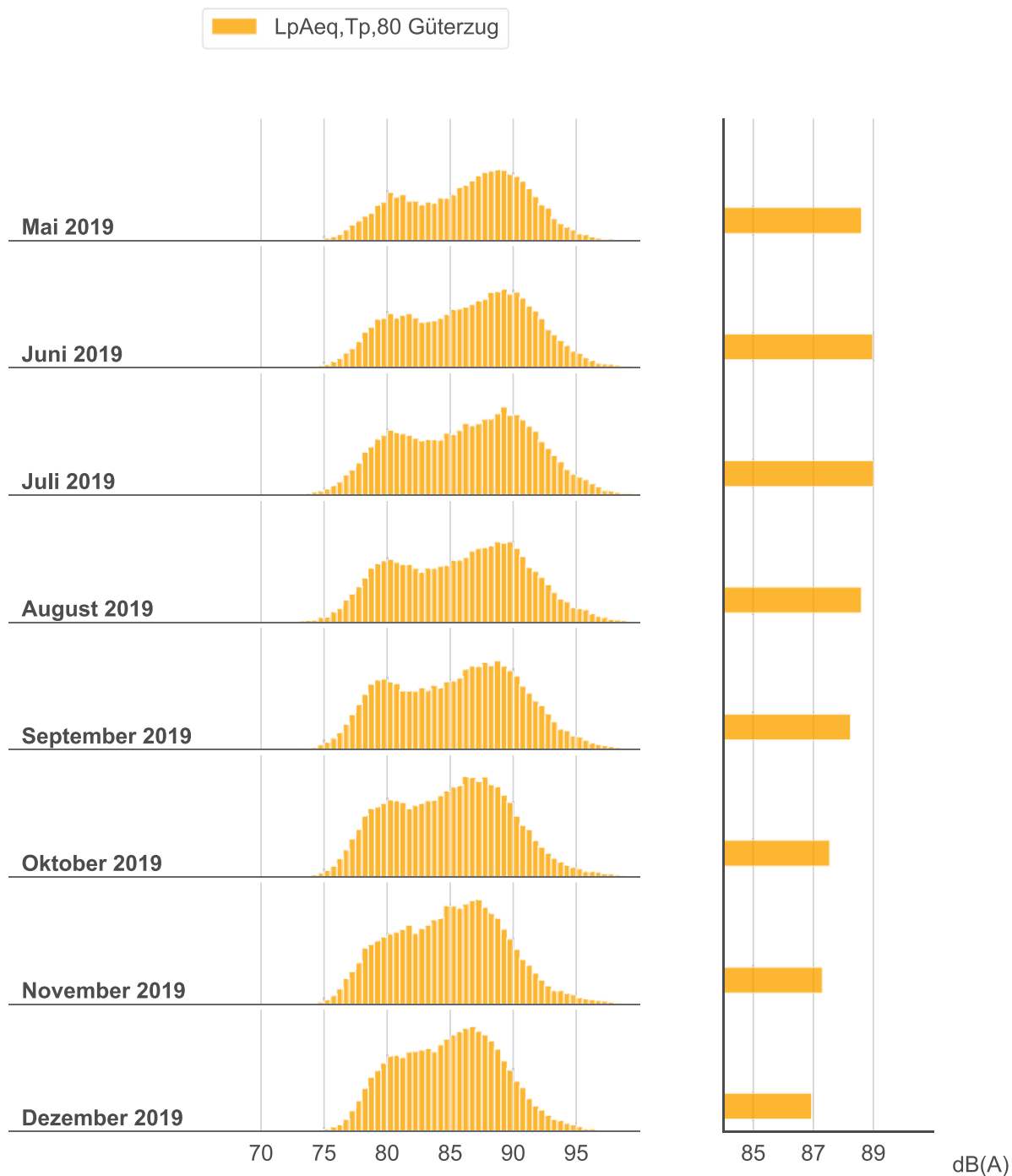


Abbildung 17: Zeitliche Entwicklung des auf 80 km/h bezogenen Vorbeifahrtpegel für Güterzüge, links als Verteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

Aus Abbildung 16 wurde der Anteil der lärmarmen Güterwagen mit einem Vorbeifahrtpegel von unter 86 dB(A) extrahiert und in Abbildung 18 dargestellt. Während im Mai 2019 nur knapp 60 Prozent der gemessenen Güterwagen als lärmarm klassifiziert werden konnten, waren es im Dezember 2019 bereits 70 Prozent.

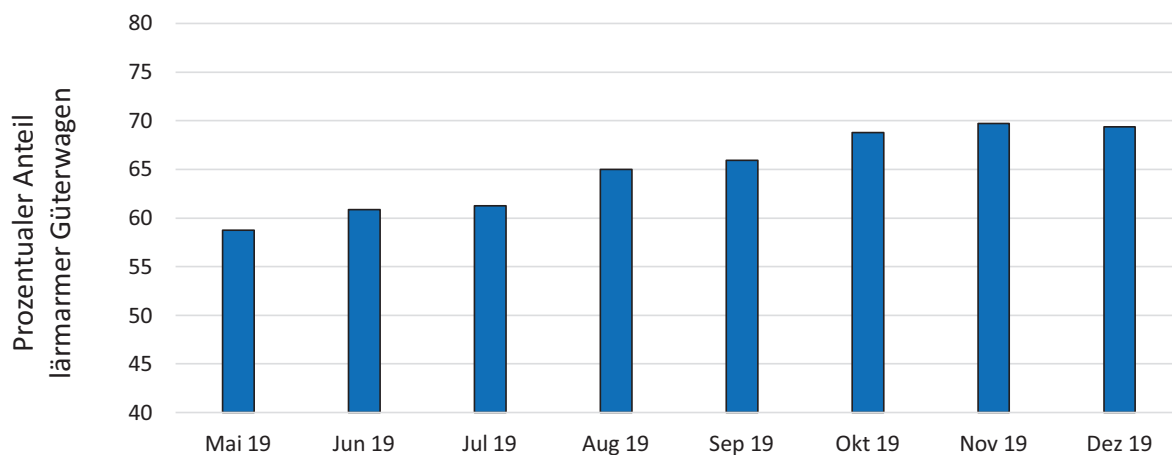


Abbildung 18: Prozentualer Anteil als lärmarm klassifizierter Güterwagen mit einem Vorbeifahrtpegel von unter 86 dB(A) dargestellt über die Monate im Jahr 2019.

Für Personenzugwagen und ganze Personenzüge ist keine Abnahme der Schallemissionen zu verzeichnen, wie aus Abbildung 19 ersichtlich ist. Hier ist die zeitliche Entwicklung des auf 80 km/h bezogenen Vorbeifahrtpegel für Personenzugwagen, wieder rechts als Verteilung und links als energetischer Mittelwert, dargestellt.

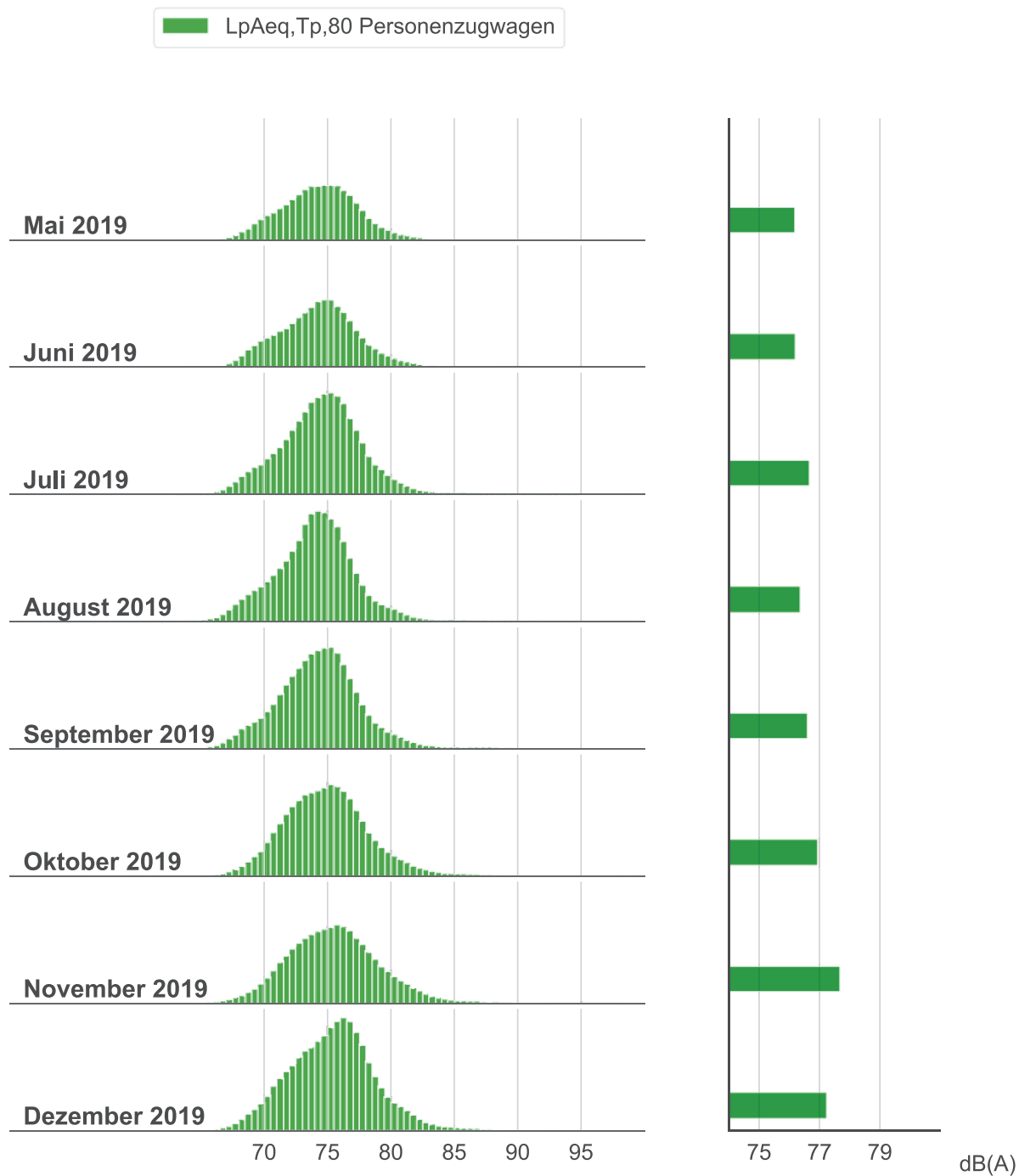


Abbildung 19: Zeitliche Entwicklung des auf 80 km/h bezogenen Vorbeifahrtpegel für Personenzugwagen, links als Verteilung und rechts als energetischer Mittelwert.

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 [1] 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.

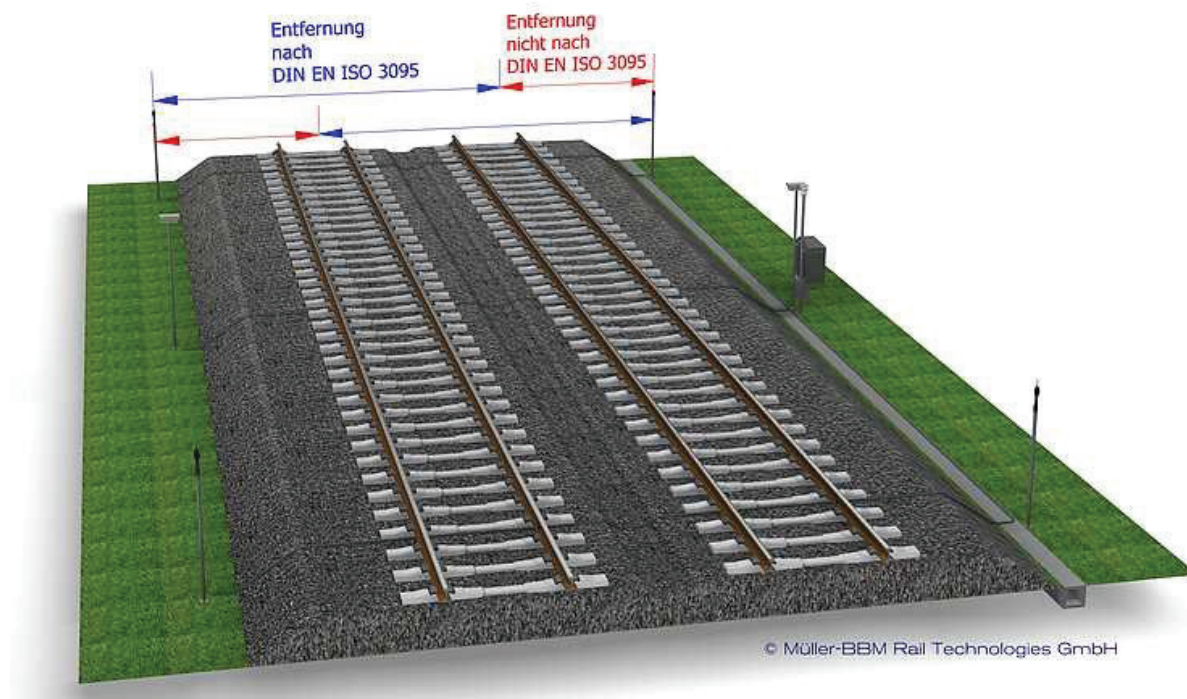


Abbildung 20: Messaufbau (schematisch).

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 [1] 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 Noise (2014) [1] der A-bewertete äquivalente Dauerschalldruckpegel bezogen auf 80 km/h zusätzlich auf die Anzahl Achsen pro Länge wie folgt normiert:

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

mit

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

2.8 Mittelungspegel L_m

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

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

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

mit

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

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

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

SEL = Schallexpositionspegel einer Zugfahrt

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

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

mit

n = Anzahl der Tage im Monat / Jahr

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

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

$$mTEL80 = 10 \cdot \log \left(\sum L_i \cdot 10^{\frac{TEL80_i}{10}} \right) + 10 \cdot \log \left(\frac{1}{\sum L} \right) \quad (9)$$

mit

L = Zuglänge

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

3 Anhang: Fehlerbetrachtung, Genauigkeitsbetrachtung, Messunsicherheit

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 $TEL/L_{pAeq,TP}$.

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

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

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

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

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

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

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

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

4 Anhang: Kennzahlen 2019

Nachfolgend sind eine Reihe der graphisch dargestellten Kennzahlen tabellarisch aufgeführt.

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

Standort	Zeitraum	Mittelungspegel	Mittlere Anzahl Züge	Anzahl Güterzüge	Mittlere Achsanzahl	Mittlere Zuglänge	Mittlere Geschwindigkeit
Elmshorn	24h	73,0	283	44	33	199	129
Schwarzenbek	24h	71,4	160	52	61	330	123
Celle	24h	72,7	187	104	78	369	100
Nienburg	24h	75,8	211	123	74	409	116
Stadthagen	24h	76,2	276	121	56	292	119
Eilsleben	24h	74,2	184	101	64	336	95
Emmerich	24h	69,2	118	56	68	324	110
Andernach	24h	73,1	235	99	66	331	104
Lahnstein	24h	71,9	168	109	80	414	91
Bad Hersfeld	24h	74,0	227	114	64	350	111
Saalfeld	24h	66,7	110	33	33	170	109
Radebeul	24h	71,0	46	37	90	454	76
Karlstadt	24h	75,4	247	157	70	359	93
Göppingen	24h	69,5	188	41	42	243	106
Osterhofen	24h	74,7	146	80	64	345	113
Emmendingen	24h	73,8	247	118	65	354	113
Rosenheim	24h	72,5	213	85	52	304	117
Fürstenwalde	24h	70,6	126	43	53	284	119
Telgte	24h	73,5	140	51	55	309	129

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 Achsanzahl	Mittlere Zuglänge	Mittlere Geschwindigkeit
Elmshorn	Nacht	72,8	60	13	37	218	127
	Tag	73,0	224	30	32	194	129
Schwarzenbek	Nacht	70,8	35	21	82	414	104
	Tag	71,7	125	31	55	307	128
Celle	Nacht	73,2	55	39	95	445	97
	Tag	72,5	132	65	72	337	102
Nienburg	Nacht	75,9	64	46	86	464	108
	Tag	75,8	147	77	69	385	119
Stadthagen	Nacht	76,7	70	43	72	356	105
	Tag	75,8	205	77	51	270	124
Eilsleben	Nacht	74,7	57	37	76	393	93
	Tag	74,0	126	64	58	309	97
Emmerich	Nacht	69,8	32	19	81	387	102
	Tag	68,9	86	37	64	300	113
Andernach	Nacht	74,1	68	43	82	402	97
	Tag	72,5	167	56	59	303	107
Lahnstein	Nacht	73,0	57	45	98	500	92
	Tag	71,3	111	64	71	369	90
Bad Hersfeld	Nacht	74,1	65	40	74	392	105
	Tag	73,9	163	74	60	334	114
Saalfeld	Nacht	67,6	24	13	50	243	103
	Tag	66,1	85	19	28	150	110
Radebeul	Nacht	70,4	14	12	92	461	75
	Tag	71,2	32	25	90	451	76
Karlstadt	Nacht	75,5	76	55	80	410	93
	Tag	75,3	171	102	65	336	93
Göppingen	Nacht	70,0	42	17	51	283	96
	Tag	69,2	146	24	39	232	109
Osterhofen	Nacht	74,4	38	26	73	385	106
	Tag	74,9	107	54	61	331	116
Emmendingen	Nacht	72,9	63	39	73	381	107
	Tag	74,2	184	79	62	345	115
Rosenheim	Nacht	72,4	51	29	62	347	111
	Tag	72,6	161	56	49	290	120
Fürstenwalde	Nacht	69,2	28	12	63	319	111
	Tag	71,2	98	31	51	274	121
Telgte	Nacht	73,8	34	19	72	380	115
	Tag	73,3	106	32	50	287	133

Tabelle 6: Statistische Pegelwerte für Personenzüge an allen Stationen jeweils für den Zeitraum Tag und Nacht.

Standort	Zeitraum	Mittelungspegel	L_{Aeq}	TEL	L_{Amax}	TEL80
Elmshorn	Nacht	65,3	87,1	87,4	91,4	81,3
	Tag	68,8	87,0	87,3	91,5	81,0
Schwarzenbek	Nacht	62,3	87,3	87,4	92,0	82,9
	Tag	67,8	87,9	88,0	92,4	81,4
Celle	Nacht	57,1	83,8	84,0	84,3	80,1
	Tag	59,5	82,6	82,9	83,9	78,6
Nienburg	Nacht	61,0	86,1	86,3	90,7	79,4
	Tag	63,9	86,2	86,4	90,8	79,0
Stadthagen	Nacht	64,9	88,5	88,7	90,4	83,8
	Tag	67,9	87,4	87,8	90,9	81,0
Eilsleben	Nacht	62,1	85,8	85,9	88,5	83,2
	Tag	62,3	84,6	84,8	88,1	82,8
Emmerich	Nacht	57,2	84,3	84,5	86,4	81,4
	Tag	58,8	83,3	83,5	85,9	80,0
Andernach	Nacht	60,3	82,8	83,1	86,8	79,3
	Tag	63,8	82,8	83,3	87,2	78,2
Lahnstein	Nacht	57,5	83,6	83,7	86,2	80,7
	Tag	56,0	80,2	80,5	81,4	78,0
Bad Hersfeld	Nacht	59,4	83,1	83,4	87,7	79,0
	Tag	60,7	81,7	82,0	86,1	76,9
Saalfeld	Nacht	50,2	80,5	80,8	82,0	76,0
	Tag	54,6	79,8	80,2	82,3	75,7
Radebeul	Nacht	53,8	89,1	89,4	94,8	91,3
	Tag	53,2	86,8	86,9	91,3	88,4
Karlstadt	Nacht	59,8	83,5	83,7	87,0	81,0
	Tag	59,1	82,9	83,2	84,5	81,5
Göppingen	Nacht	60,7	83,5	83,7	88,4	80,5
	Tag	65,0	83,6	83,9	89,5	79,3
Osterhofen	Nacht	59,1	85,6	85,8	89,2	81,8
	Tag	61,8	85,8	86,2	89,7	81,5
Emmendingen	Nacht	61,5	84,1	84,3	88,5	78,8
	Tag	65,3	84,5	84,8	88,7	78,7
Rosenheim	Nacht	59,5	83,7	83,9	86,9	78,3
	Tag	63,8	83,7	83,9	87,0	77,8
Fürstenwalde	Nacht	58,7	85,0	85,2	90,0	79,5
	Tag	63,2	86,0	86,2	90,8	79,7
Telgte	Nacht	61,5	87,5	87,7	90,0	83,4
	Tag	65,3	87,1	87,4	90,7	79,8

In Tabelle 7 sind die statistische Pegelwerte für Güterzüge an allen Stationen jeweils für den Beurteilungszeitraum Tag und Nacht aufgelistet. Die Pegelwerte L_{Aeq} , TEL und L_{Amax} entsprechen der mittleren Schallemission pro Zugfahrt für einen Punkt in 7,5 Meter Abstand zur Gleismitte. Der Mittelungspegel entspricht dem Pegelmittelwert, wenn als einzige Schallereignisse Güterzüge verkehren.

Tabelle 7 Mittelungspegel und mittlere Vorbeifahrtpegel/ Vorbeifahrtexpositionspegel für Güterzüge an allen Stationen jeweils für den Beurteilungszeitraum Tag und Nacht.

Standort	Zeitraum	Mittelungspegel	L_{Aeq}	TEL	L_{Amax}	TEL_{80}
Elmshorn	Nacht	71,8	92,2	92,3	97,5	91,0
	Tag	70,9	91,0	91,0	96,9	90,3
Schwarzenbek	Nacht	69,8	87,6	87,7	94,1	87,4
	Tag	69,1	88,3	88,3	94,7	88,1
Celle	Nacht	73,1	88,0	88,0	94,5	86,7
	Tag	72,2	88,0	88,1	94,7	87,0
Nienburg	Nacht	75,7	90,3	90,4	96,1	87,9
	Tag	75,5	90,9	91,0	96,5	88,3
Stadthagen	Nacht	76,3	91,7	91,8	96,8	91,2
	Tag	74,8	91,6	91,7	96,1	91,5
Eilsleben	Nacht	74,3	89,9	90,0	95,3	90,1
	Tag	73,5	90,2	90,2	95,4	90,6
Emmerich	Nacht	69,5	87,8	87,8	94,1	87,7
	Tag	68,3	86,9	87,0	93,6	87,5
Andernach	Nacht	73,8	88,7	88,8	95,5	87,2
	Tag	71,7	88,6	88,6	95,3	87,0
Lahnstein	Nacht	72,6	87,3	87,3	94,0	85,7
	Tag	70,9	87,1	87,1	93,6	85,8
Bad Hersfeld	Nacht	73,9	89,2	89,2	95,5	88,0
	Tag	73,6	89,3	89,4	95,6	88,4
Saalfeld	Nacht	67,4	89,0	89,0	94,9	87,0
	Tag	65,7	88,4	88,5	95,1	86,6
Radebeul	Nacht	70,2	89,7	89,7	96,3	91,1
	Tag	71,0	90,1	90,1	96,6	91,4
Karlstadt	Nacht	75,3	89,2	89,3	95,6	89,2
	Tag	75,1	89,3	89,4	95,7	89,6
Göppingen	Nacht	69,3	88,5	88,5	94,9	87,8
	Tag	67,0	87,7	87,8	94,3	87,5
Osterhofen	Nacht	74,1	91,9	92,0	97,4	91,4
	Tag	74,6	92,0	92,0	97,6	91,1
Emmendingen	Nacht	72,5	88,2	88,3	94,3	87,0
	Tag	73,5	88,7	88,8	95,0	87,7
Rosenheim	Nacht	72,1	89,4	89,5	95,6	87,5
	Tag	71,9	89,4	89,5	95,8	87,8
Fürstenwalde	Nacht	68,7	89,0	89,1	95,2	87,1
	Tag	70,4	89,8	89,9	95,6	87,9
Telgte	Nacht	73,5	92,1	92,2	97,7	90,7
	Tag	72,4	92,2	92,3	97,6	90,7

In Tabelle 8 sind neben dem Mittelungspegel und den statistischen Pegeln für Güter- und Personenzüge auch die mittlere Zuganzahl, Achszahl, Zuglänge und Geschwindigkeit aufgeführt.

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	Zugkategorie	L_m	L_{Aeq}	TEL	L_{max}	TEL80	Züge pro Tag	Achsen pro Zug	Mittlere Zuglänge	mittlere Geschwindigkeit
Elmshorn	188	PZ	67,9	87,0	87,3	91,5	81,0	227	23	158	137
		GZ	71,2	91,4	91,5	97,1	90,6	43	86	449	89
Schwarzenbek	44	PZ	66,7	87,8	88,0	92,3	81,6	102	36	234	140
		GZ	69,3	88,0	88,1	94,5	87,8	51	112	527	88
Celle	222	PZ	58,9	82,9	83,1	83,9	78,9	79	19	127	114
		GZ	72,5	88,0	88,1	94,6	86,9	103	126	563	90
Nienburg	222	PZ	63,1	86,1	86,3	90,8	79,1	81	30	195	144
		GZ	75,6	90,7	90,7	96,3	88,2	123	107	569	97
Stadthagen	188	PZ	67,1	87,6	88,0	90,8	81,6	136	32	206	146
		GZ	75,4	91,6	91,7	96,4	91,4	120	86	405	90
Eilsleben	222	PZ	62,2	85,0	85,1	88,2	82,9	73	23	153	104
		GZ	73,8	90,1	90,1	95,4	90,4	101	96	482	89
Emmerich	222	PZ	58,3	83,5	83,8	86,0	80,3	58	19	144	130
		GZ	68,7	87,2	87,3	93,8	87,6	56	120	517	90
Andernach	253	PZ	62,9	82,8	83,2	87,1	78,4	131	30	192	113
		GZ	72,6	88,6	88,7	95,4	87,1	99	113	521	91
Lahnstein	253	PZ	56,5	81,4	81,5	82,7	78,8	51	19	139	91
		GZ	71,6	87,2	87,2	93,8	85,8	109	107	535	90
Bad Hersfeld	253	PZ	60,3	82,0	82,3	86,5	77,4	104	27	183	132
		GZ	73,7	89,3	89,3	95,5	88,2	114	101	524	92
Saalfeld	103	PZ	53,6	79,9	80,3	82,2	75,7	72	11	78	116
		GZ	66,3	88,6	88,7	95,0	86,8	32	84	393	93
Radebeul	253	PZ	53,4	87,5	87,7	92,1	89,3	3	37	236	86
		GZ	70,8	89,9	90,0	96,5	91,3	37	105	529	74
Karlstadt	243	PZ	59,4	83,1	83,4	85,2	81,3	83	18	115	104
		GZ	75,2	89,3	89,4	95,7	89,4	156	98	497	88
Göppingen	103	PZ	63,9	83,6	83,8	89,3	79,5	141	30	192	113
		GZ	67,9	88,1	88,1	94,6	87,6	41	86	443	85
Osterhofen	222	PZ	61,0	85,8	86,1	89,6	81,6	59	25	169	140
		GZ	74,4	91,9	92,0	97,5	91,2	80	96	493	94
Emmendingen	253	PZ	64,3	84,4	84,8	88,7	78,7	121	37	239	137
		GZ	73,2	88,6	88,7	94,8	87,5	118	96	488	89
Rosenheim	253	PZ	62,8	83,7	83,9	87,0	77,9	122	28	194	133
		GZ	72,0	89,4	89,5	95,7	87,7	85	89	475	95
Fürstenwalde	188	PZ	62,2	85,8	86,0	90,6	79,7	77	25	159	133
		GZ	69,9	89,6	89,7	95,5	87,7	43	109	535	95
Telgte	243	PZ	64,4	87,2	87,4	90,6	80,6	85	30	203	150
		GZ	72,8	92,2	92,2	97,6	90,7	51	100	497	96

5 Anhang: Schienenrauheit und Abklingrate 2019

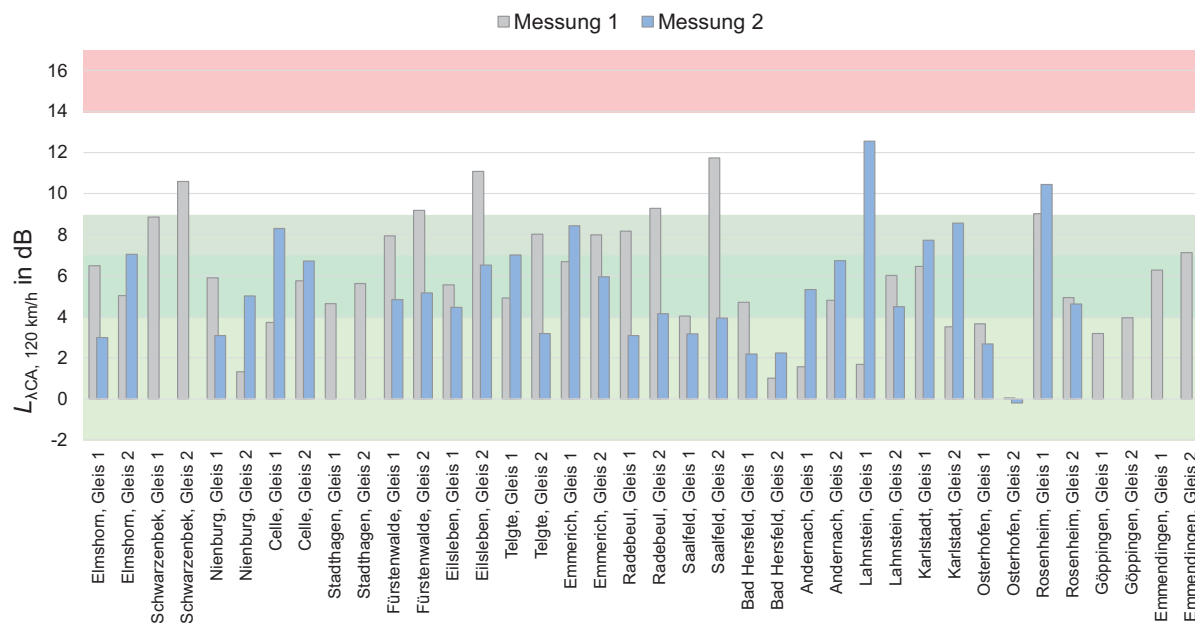


Abbildung 21. Rauheits-Einzahlwerte L_{ACA} in dB(A) für alle Messquerschnitte aller Messstandorte mit der Bezugs-Geschwindigkeit 120 km/h. Die grauen Balken repräsentieren die Ergebnisse der Initialmessung und die blauen Balken zeigen die Ergebnisse der zweiten Messung.

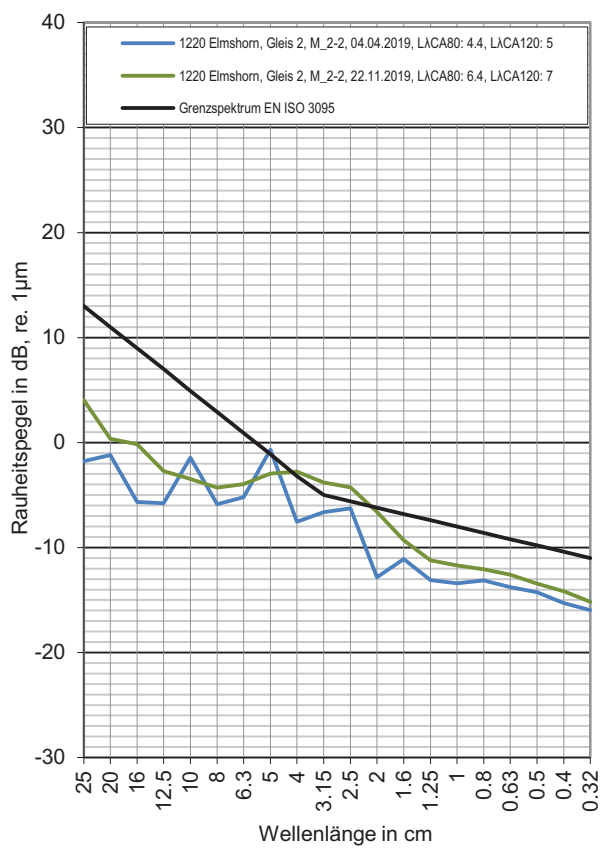
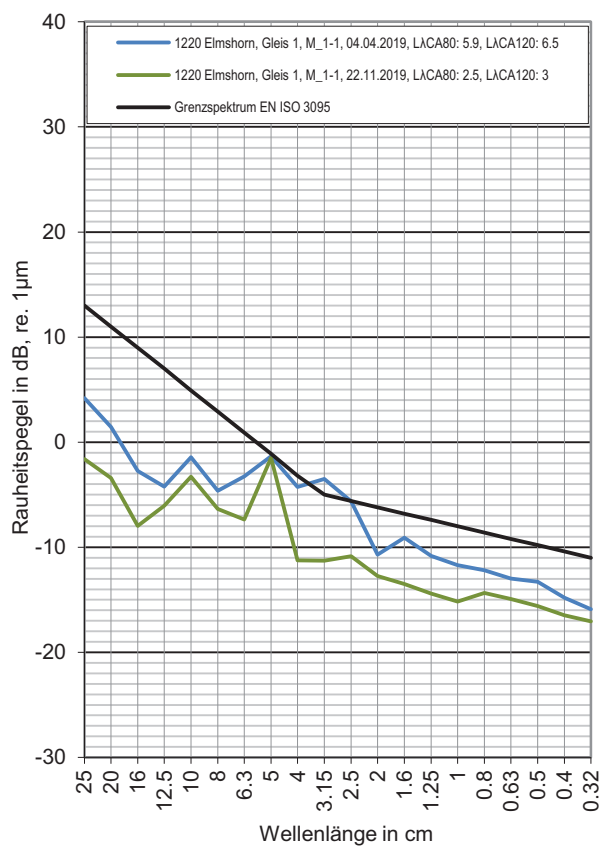
Messstelle Elmshorn

Strecke 1220, km 27,4

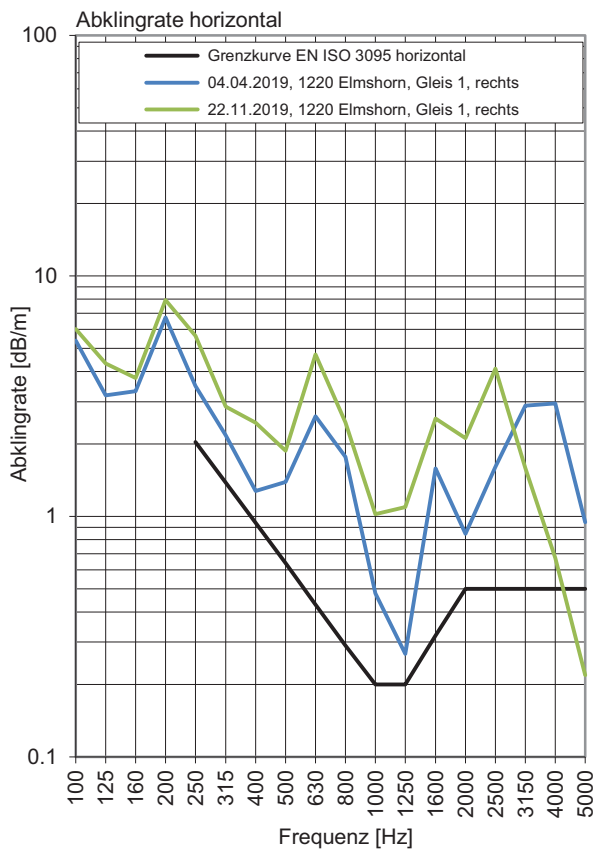
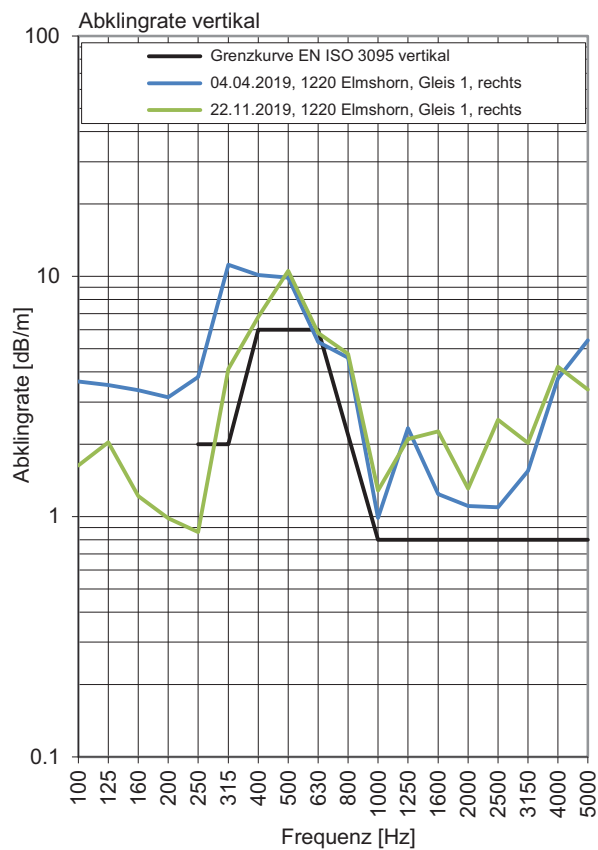
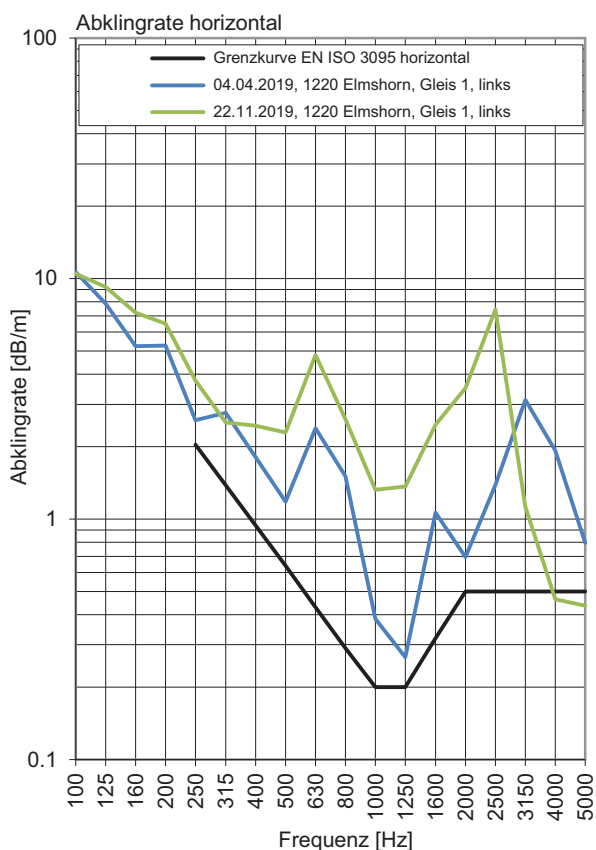
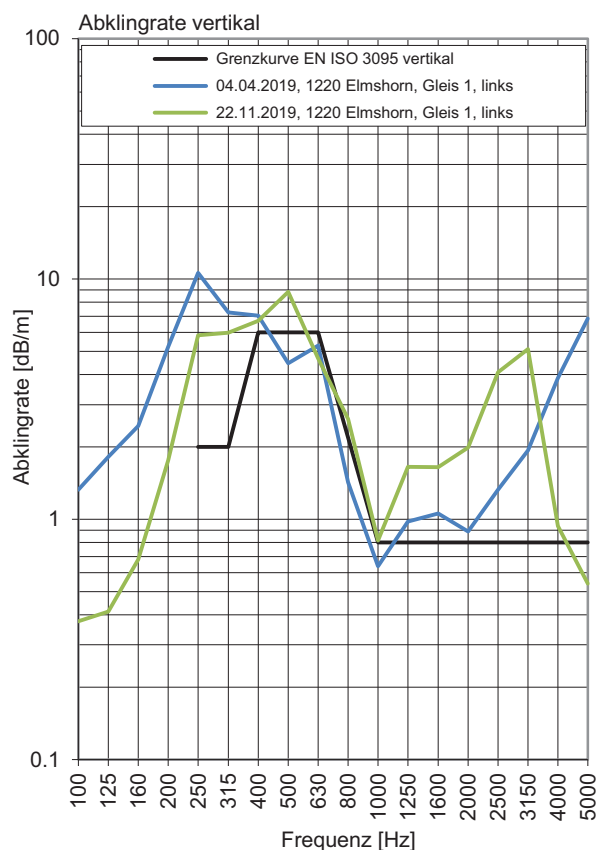
Gleis 1: Richtung Kiel

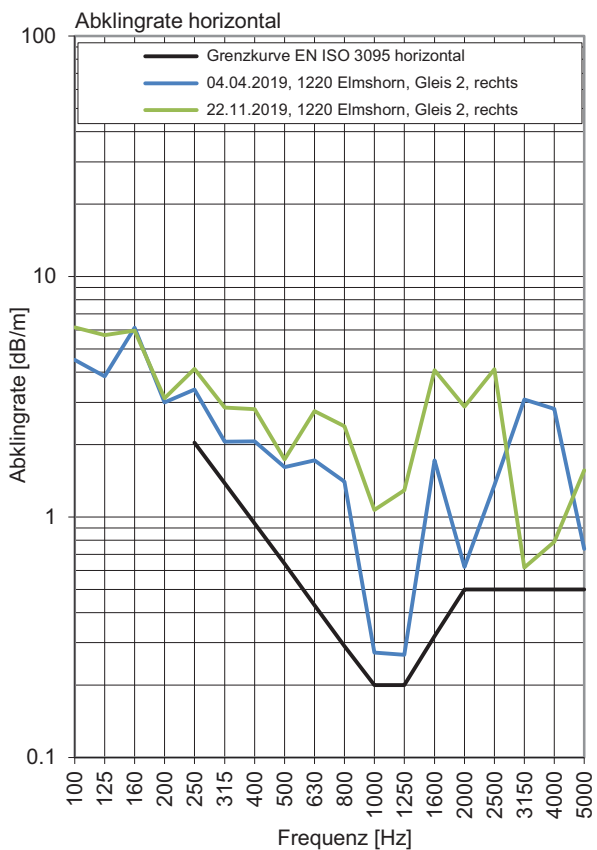
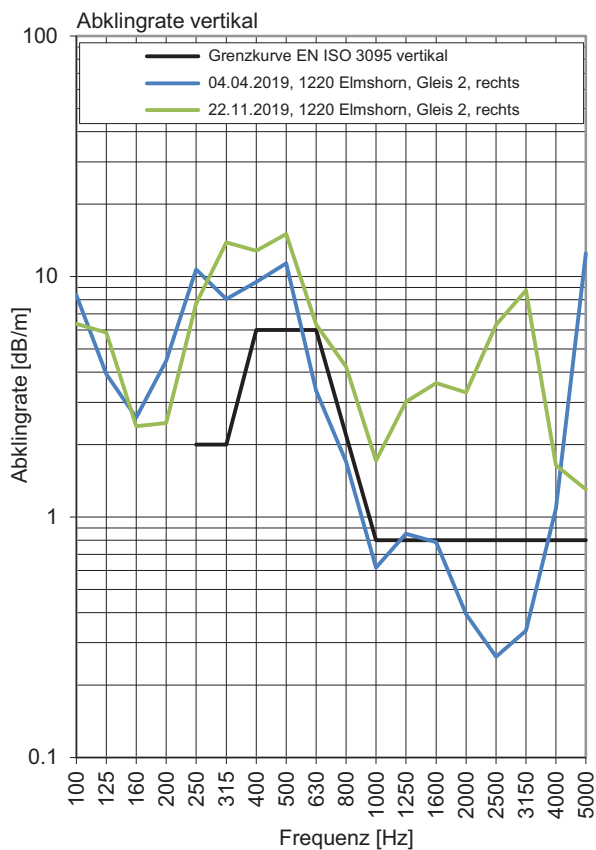
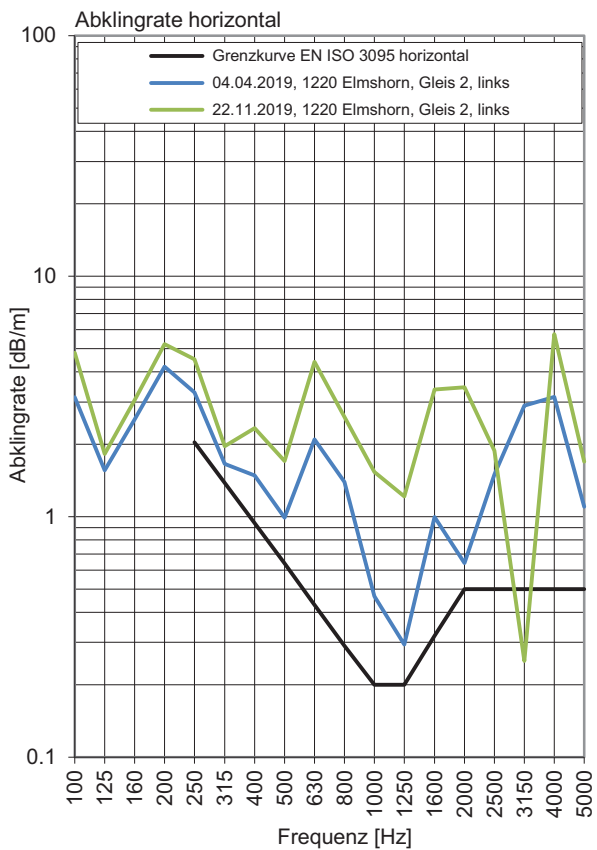
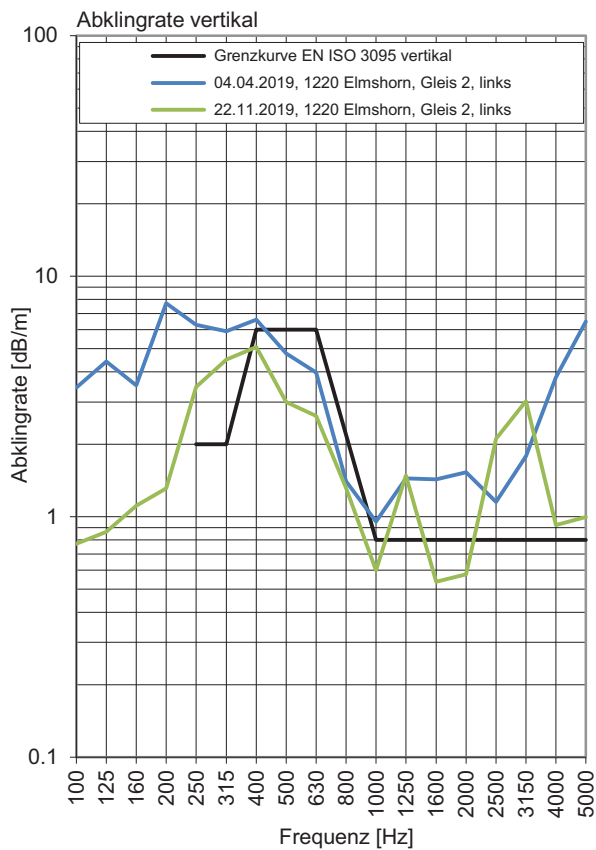
Gleis 2: Richtung Hamburg

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





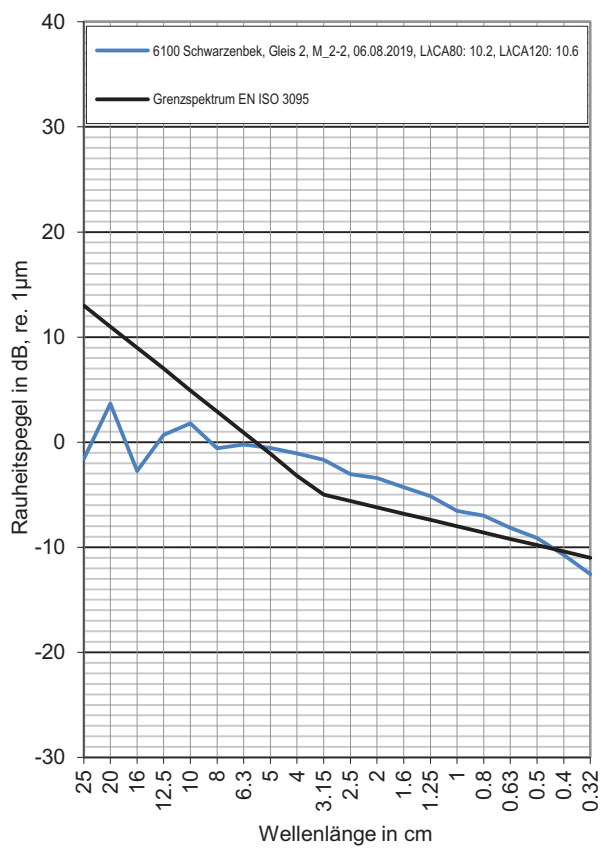
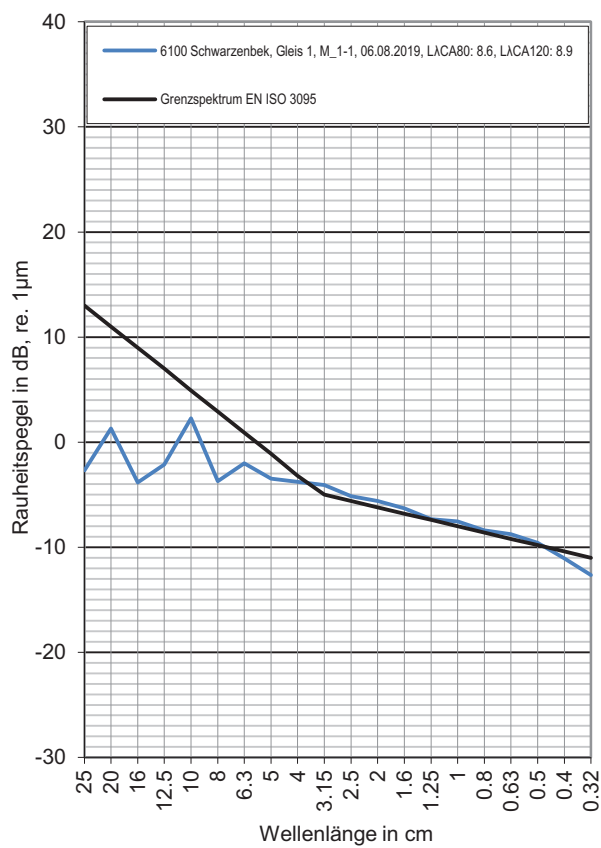
Messstelle Schwarzenbek

Strecke 6100, km 242,1

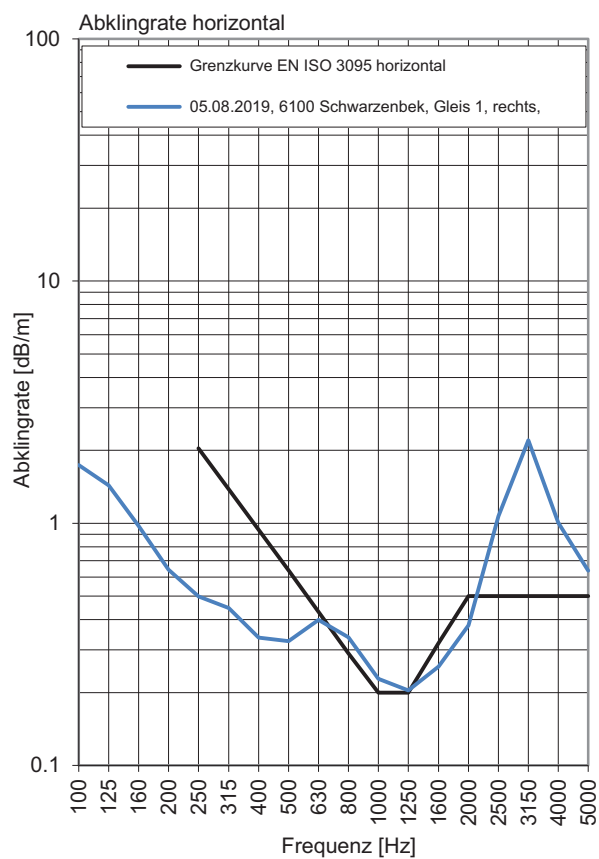
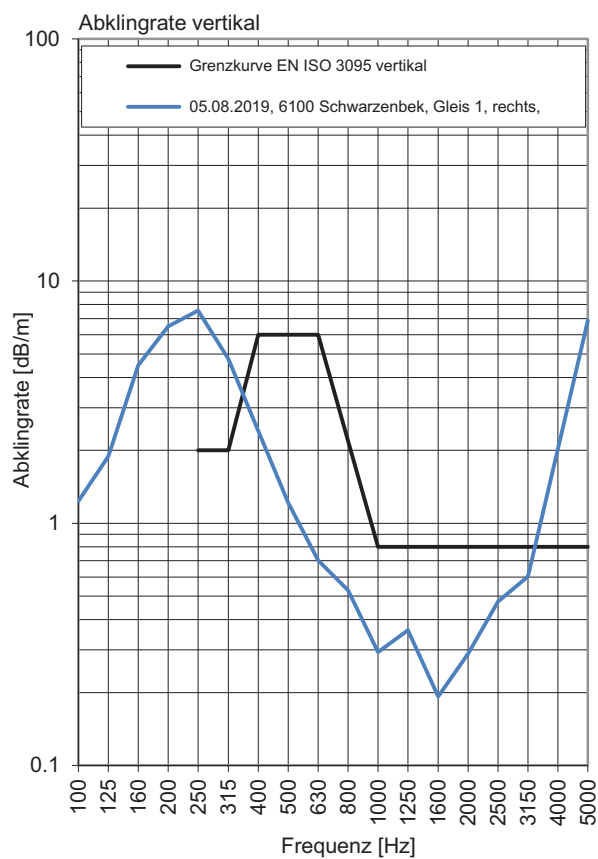
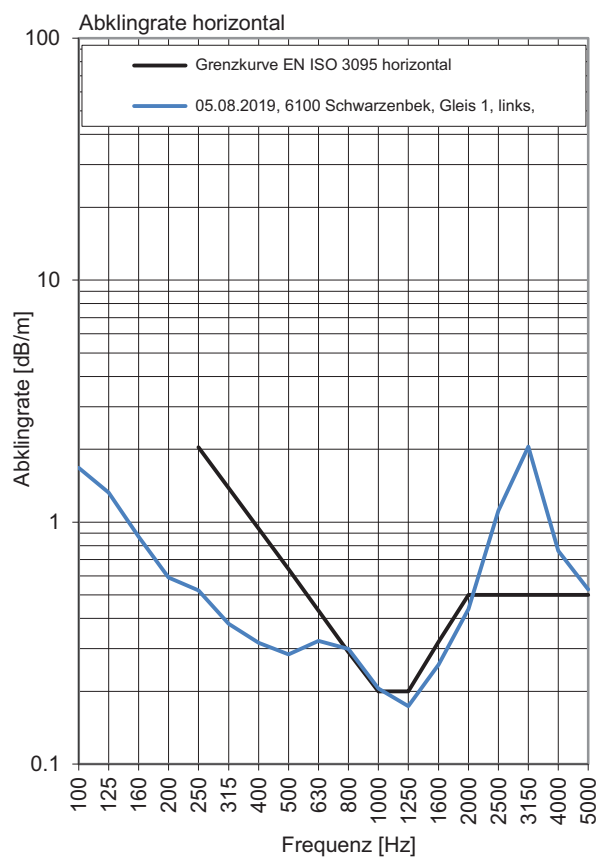
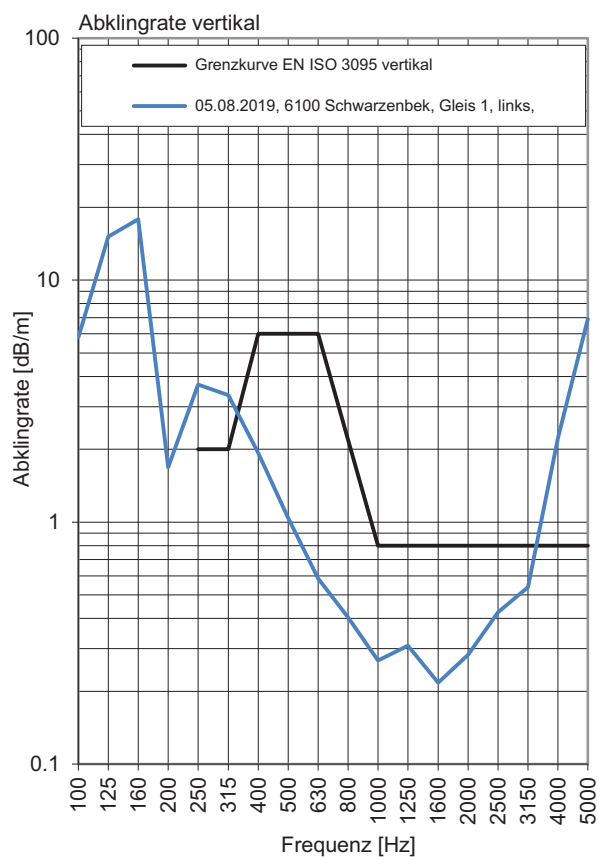
Gleis 1: Richtung Hamburg

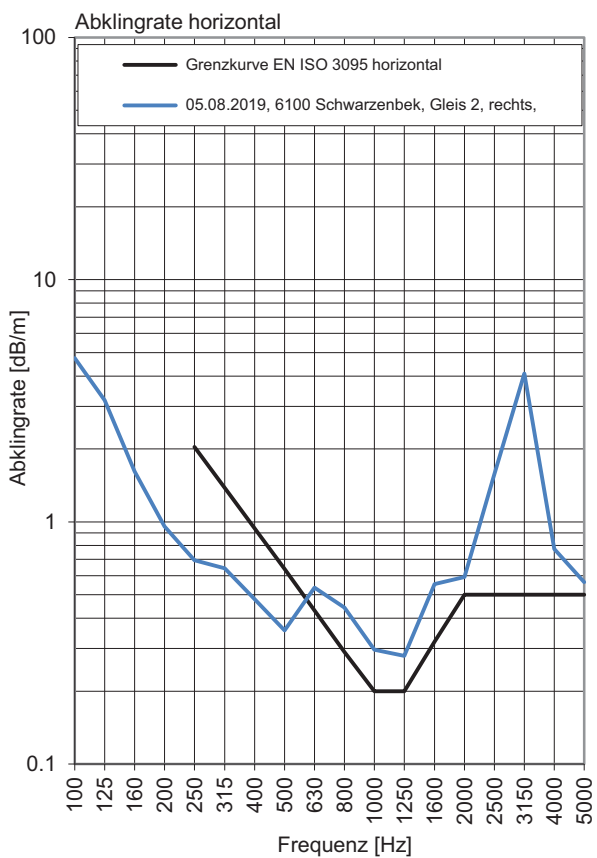
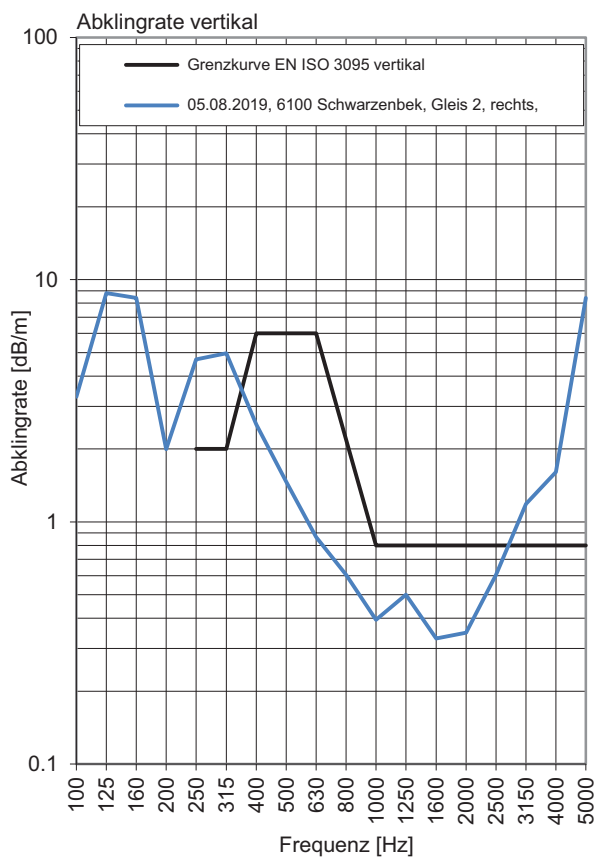
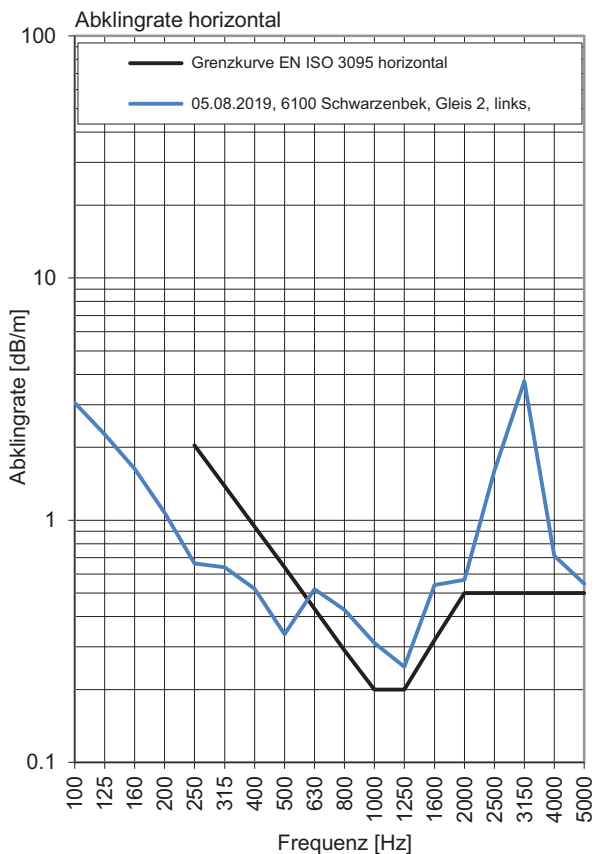
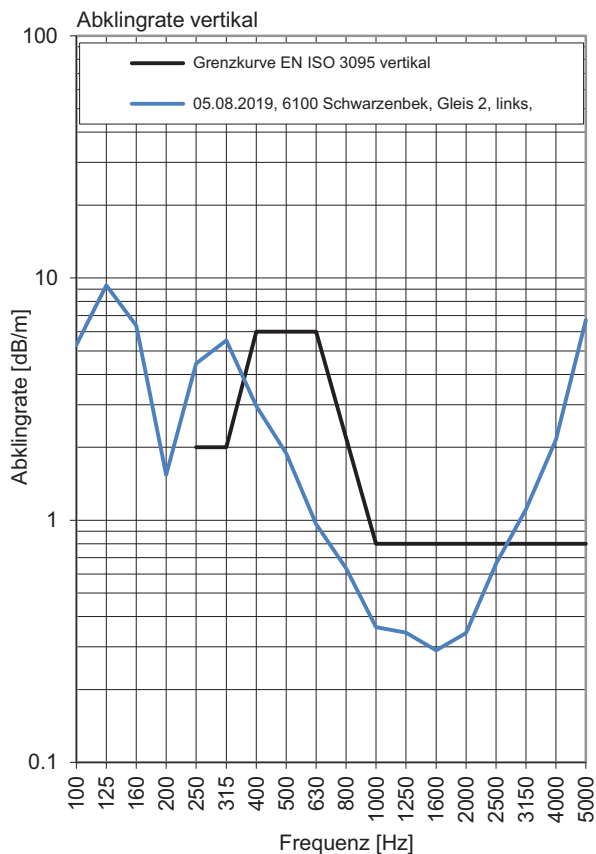
Gleis 2: Richtung Berlin

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





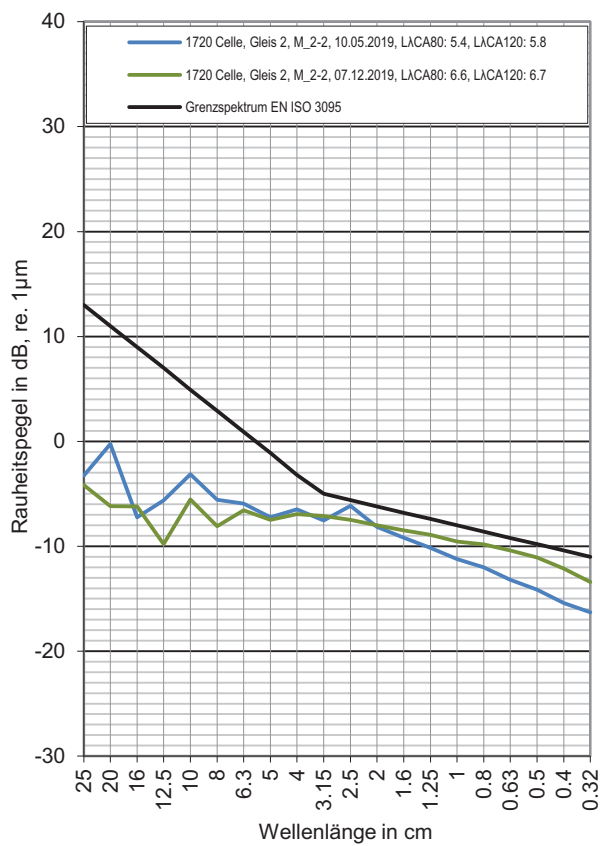
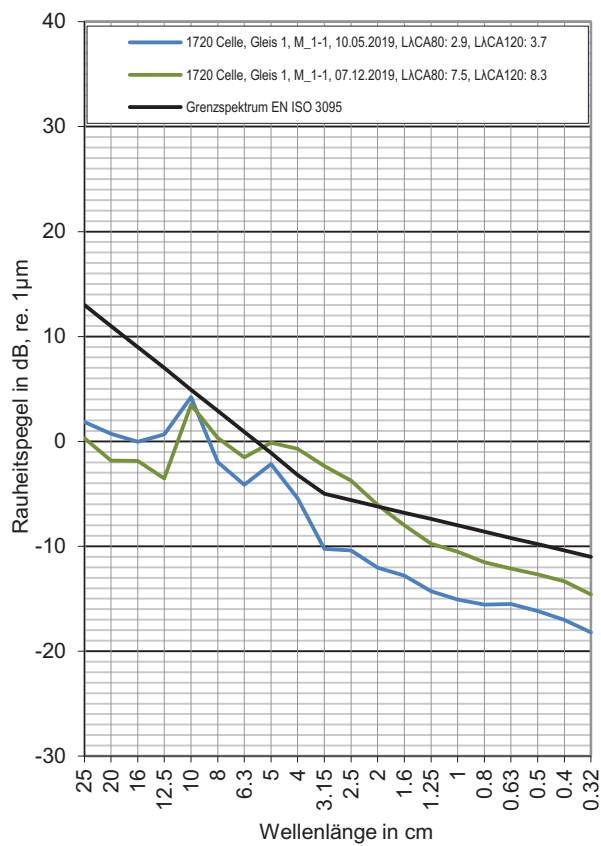
Messstelle Celle

Strecke 1720, km 39,8

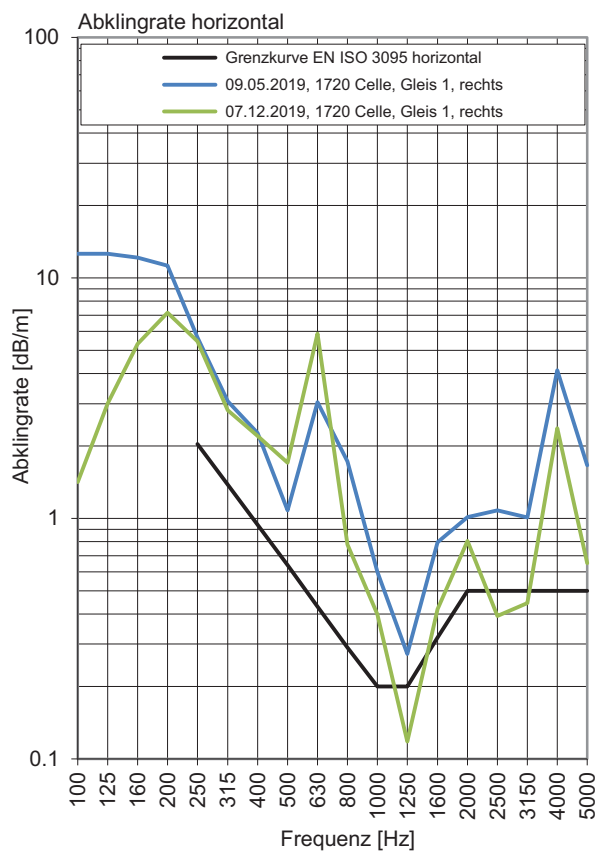
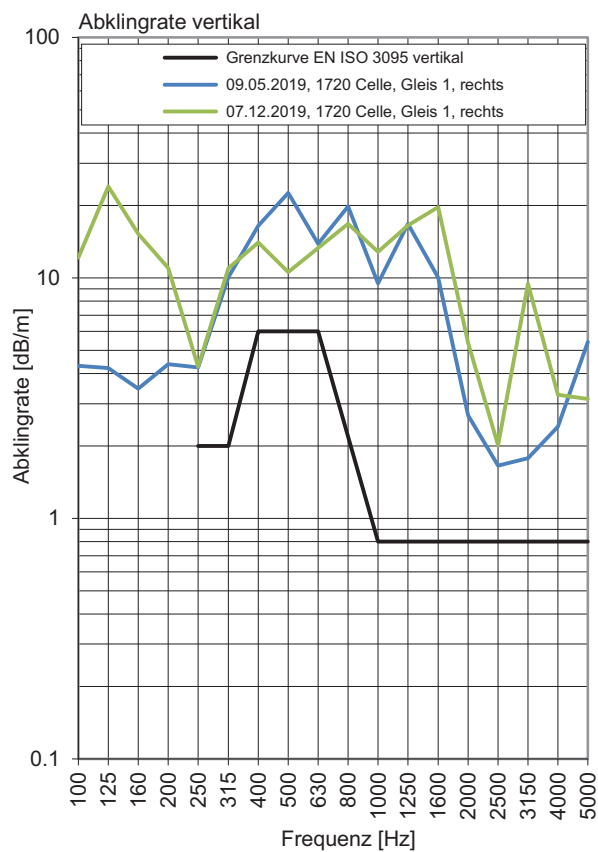
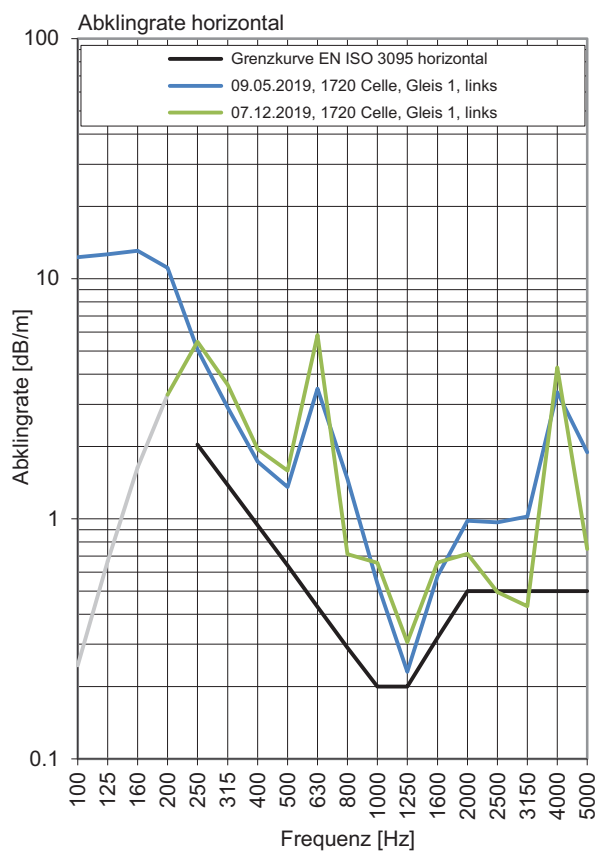
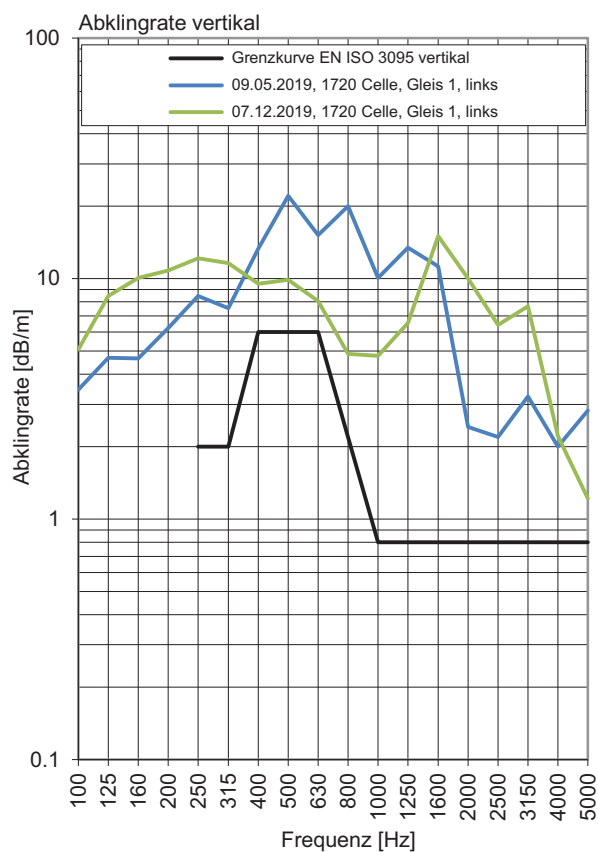
Gleis 1: Richtung Hamburg

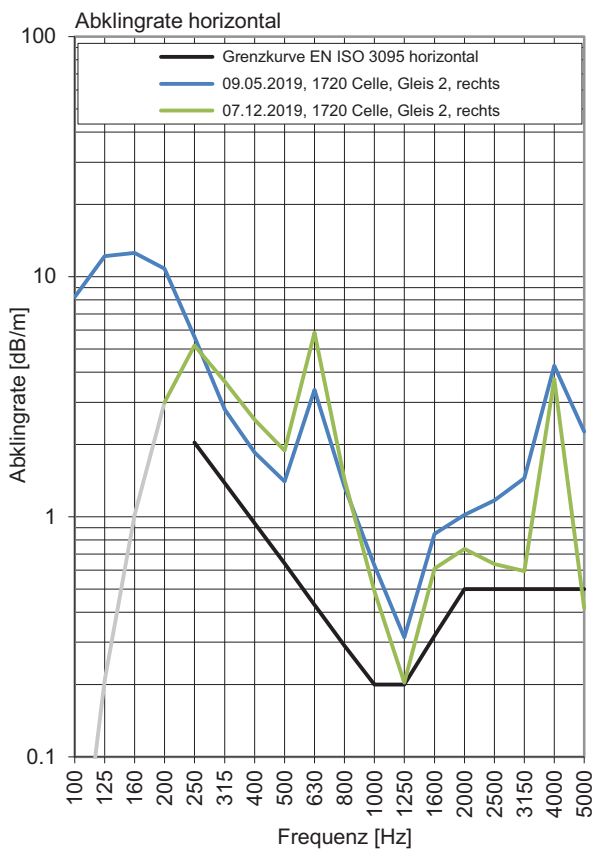
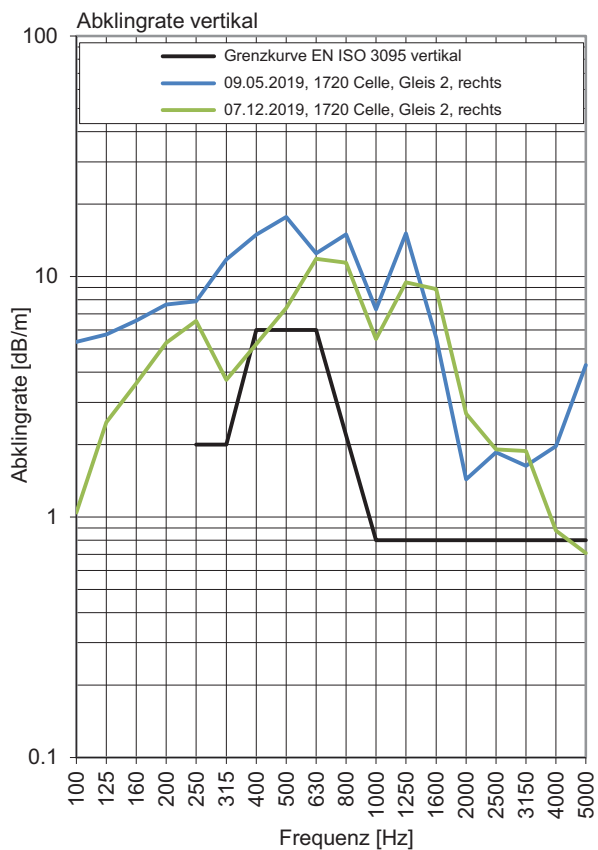
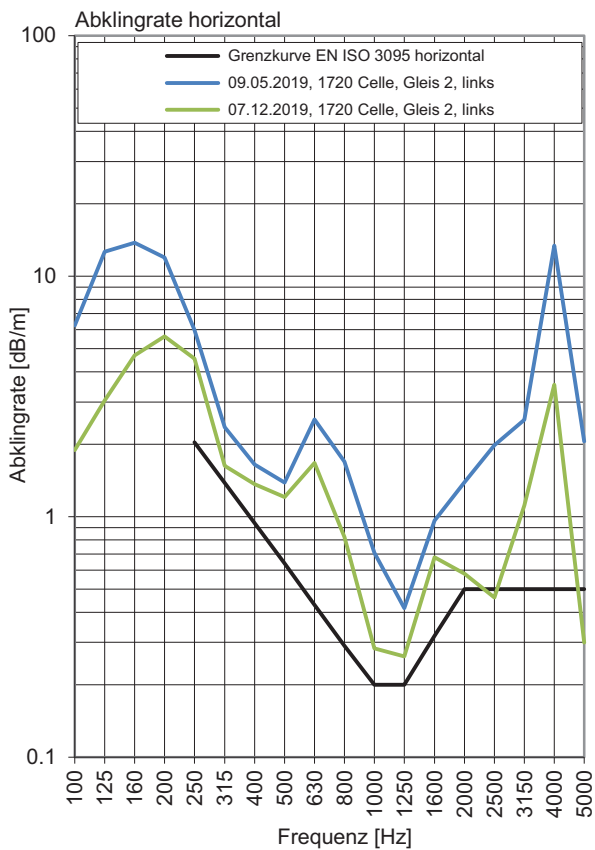
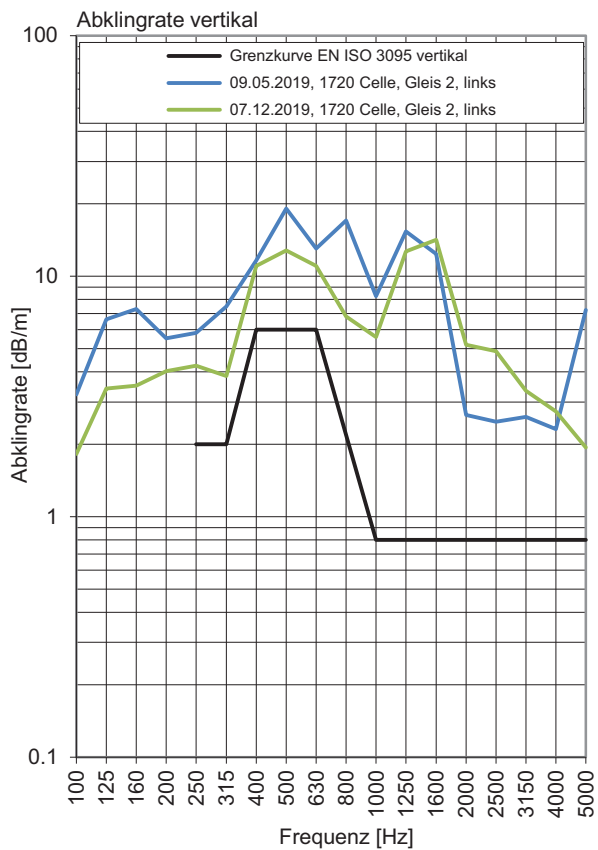
Gleis 2: Richtung Lehrte

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





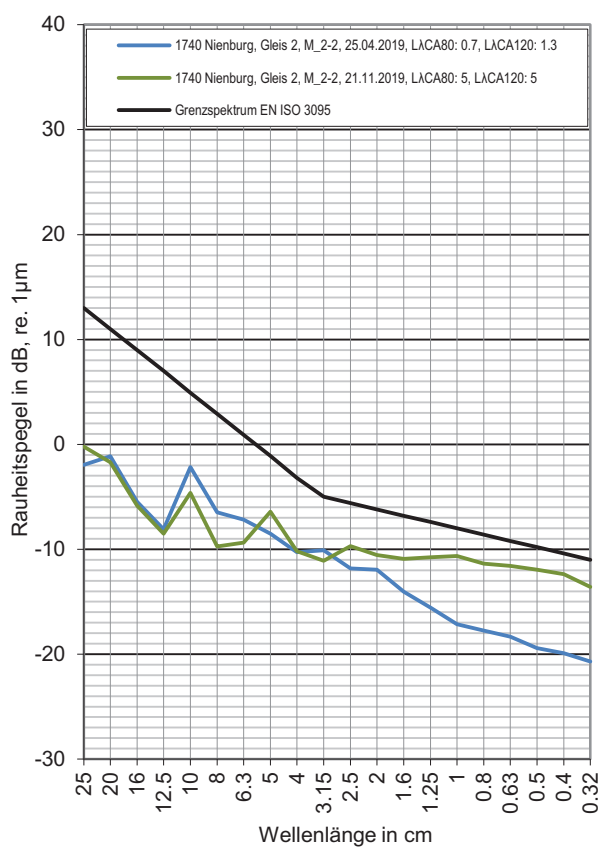
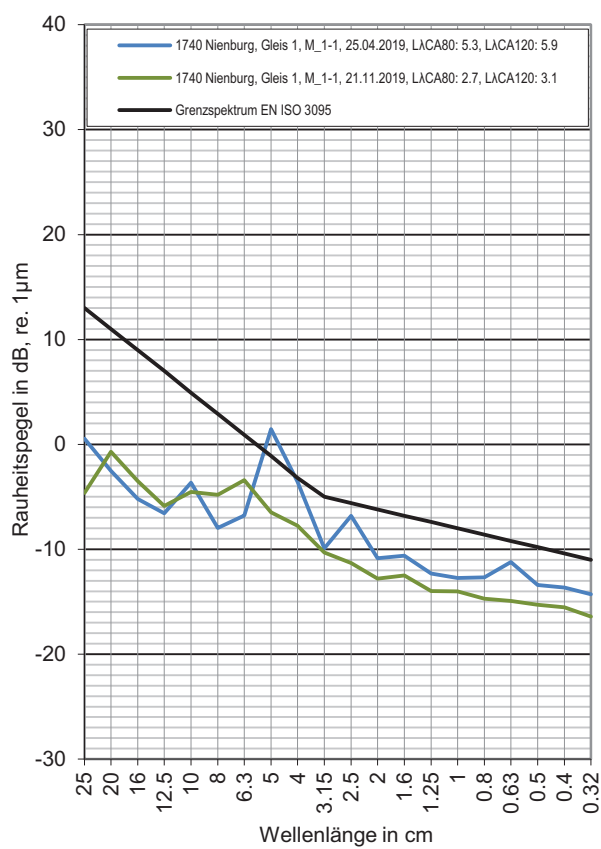
Messstelle Nienburg

Strecke 1740, km 65,1

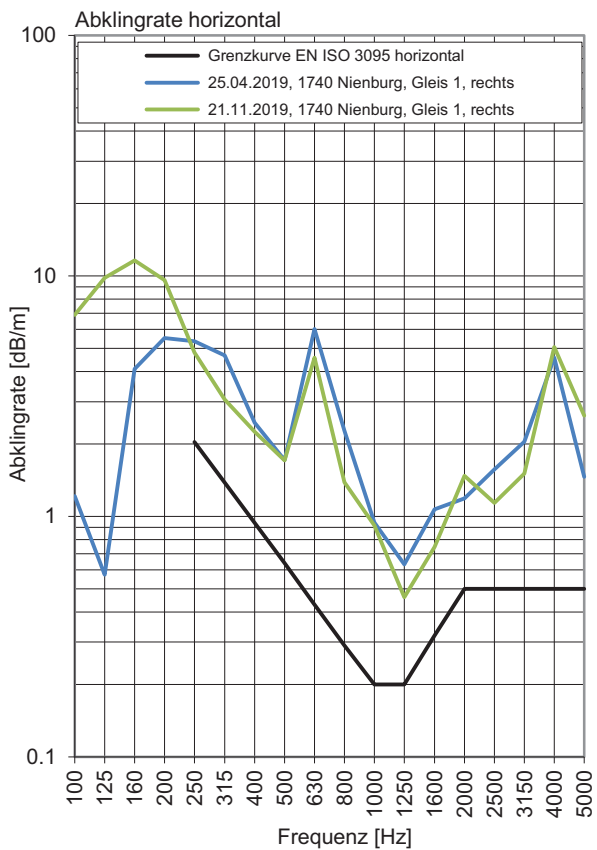
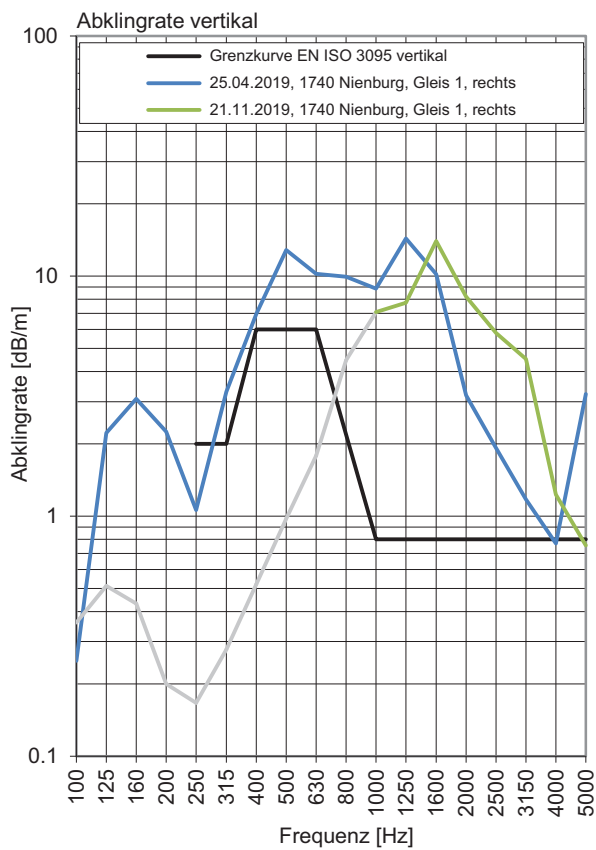
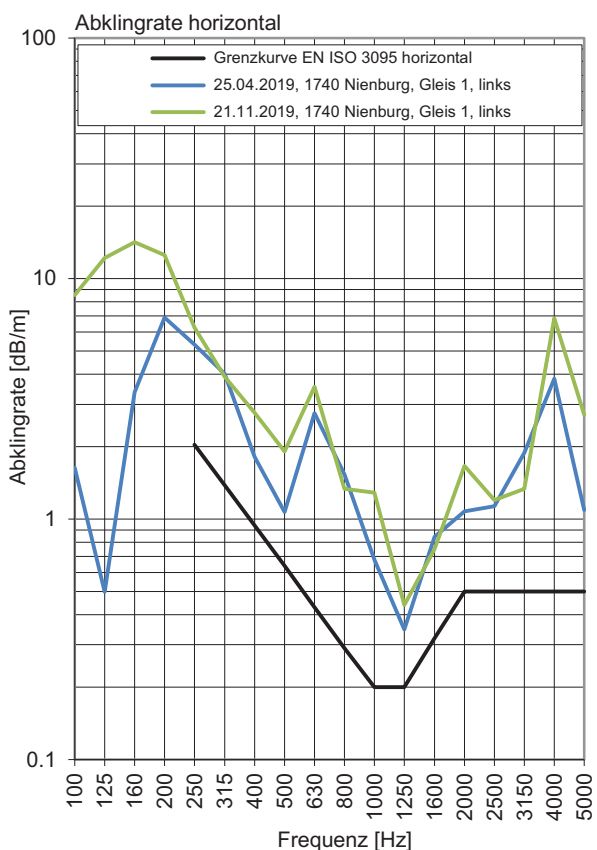
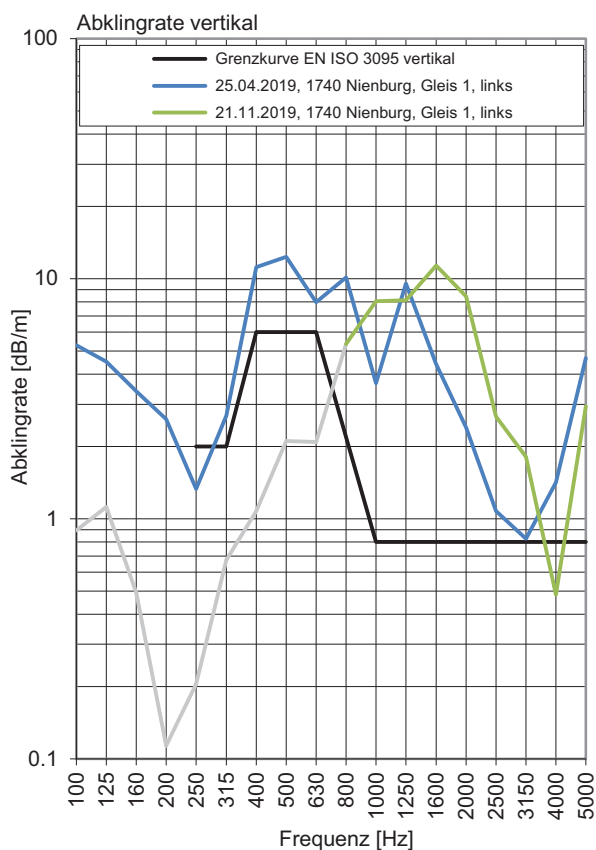
Gleis 1: Richtung Bremen

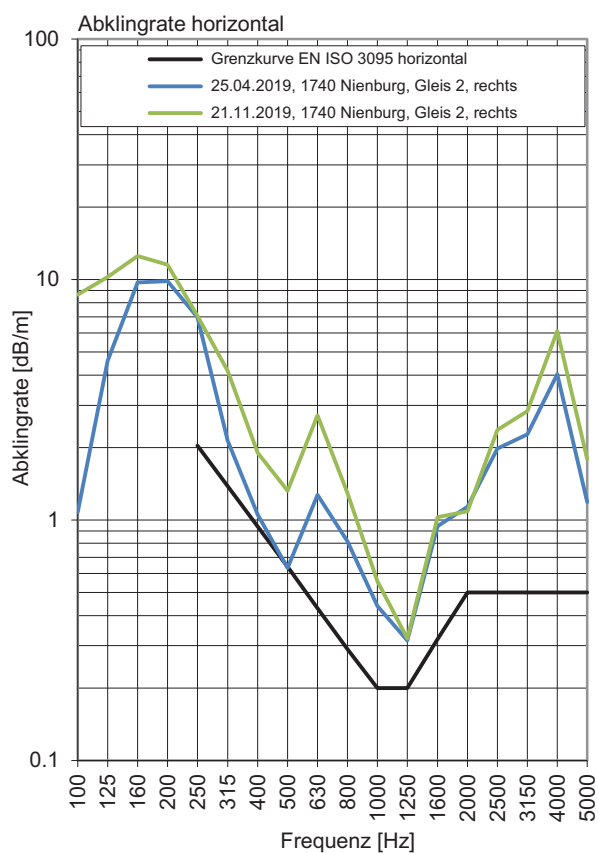
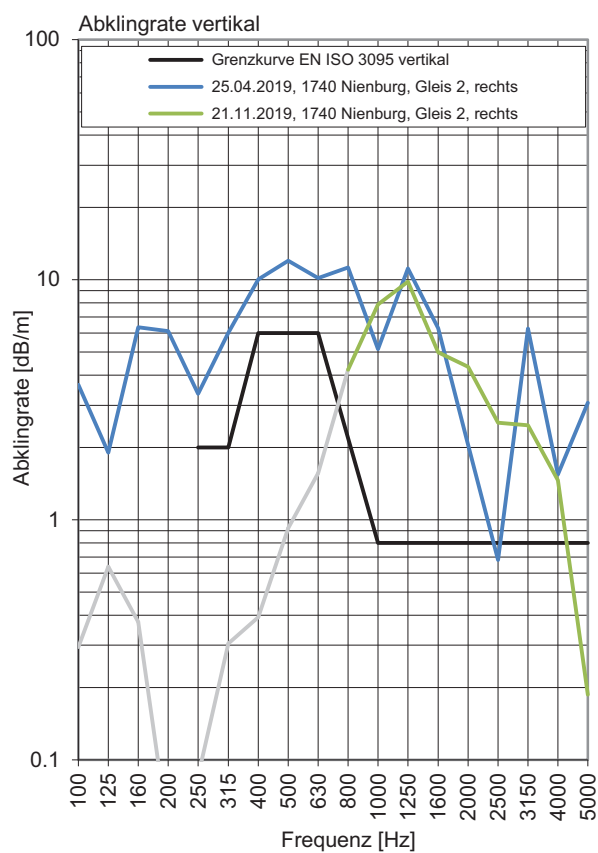
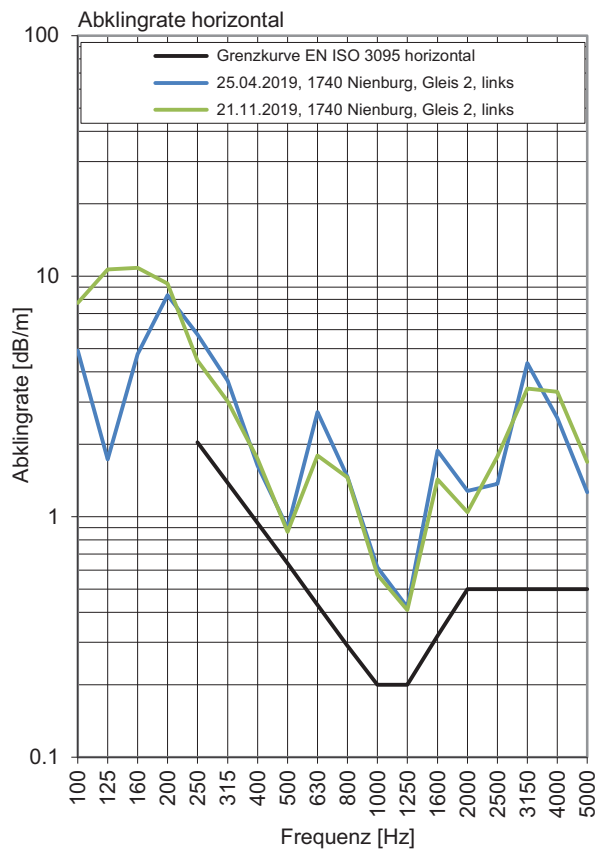
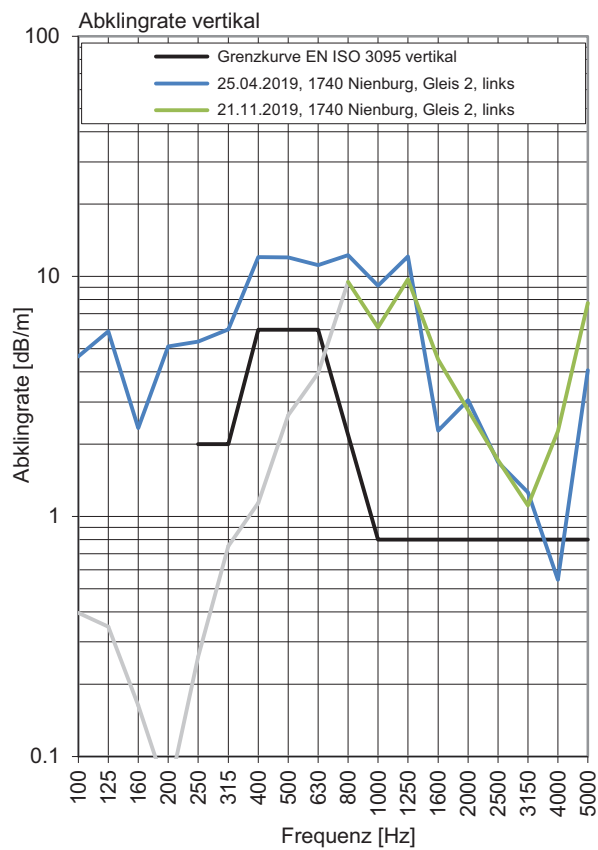
Gleis 2: Richtung Wunstorf

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





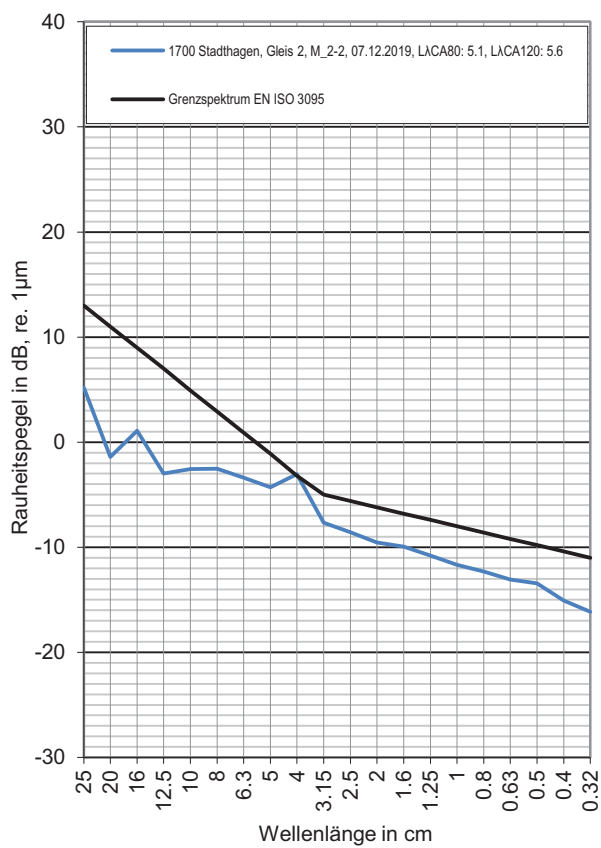
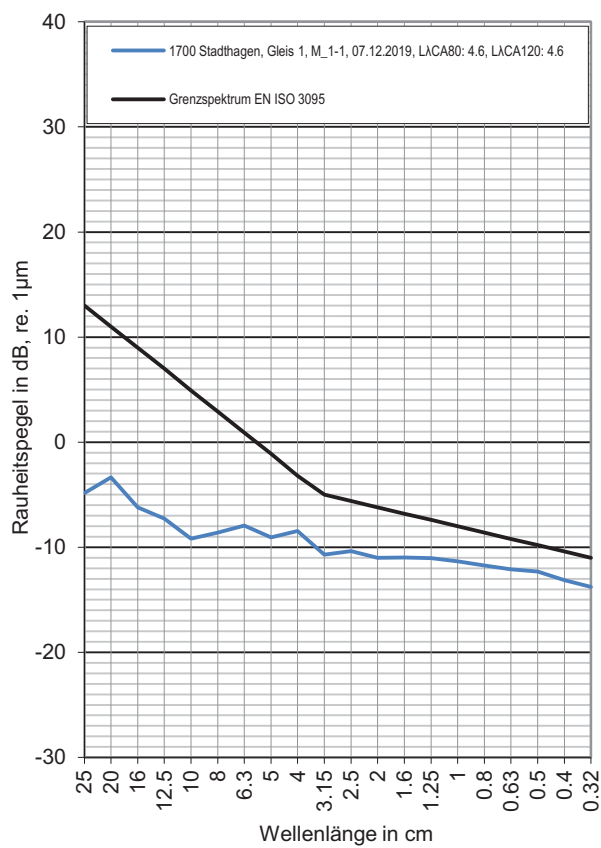
Messstelle Stadthagen

Strecke 1700, km 34,7

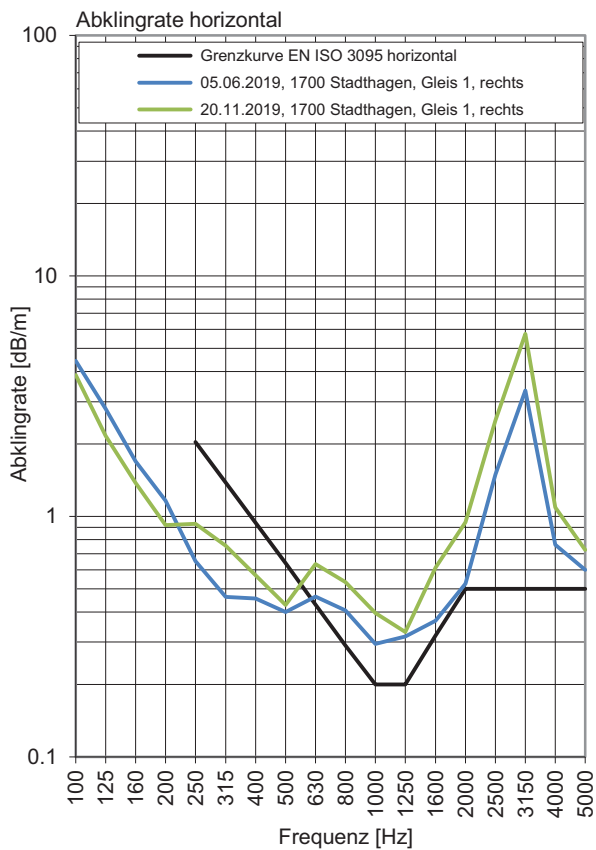
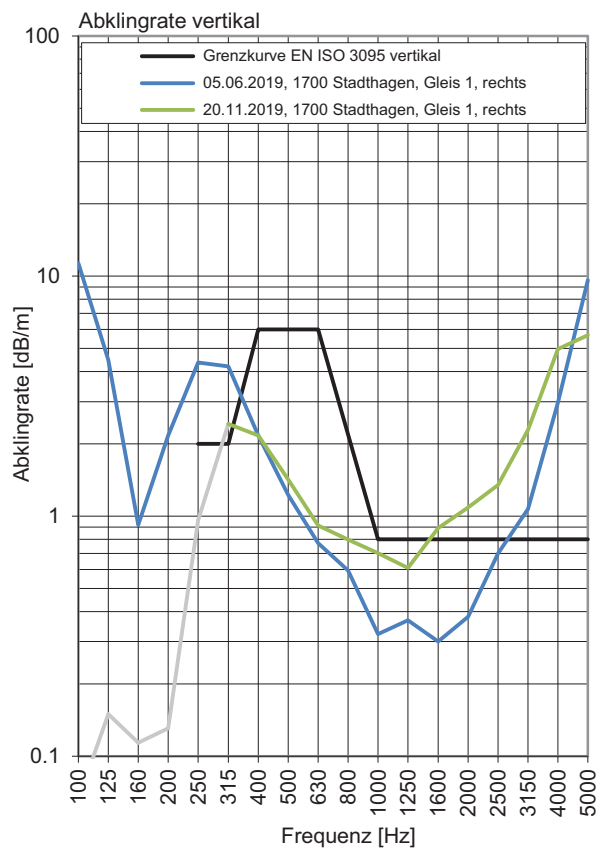
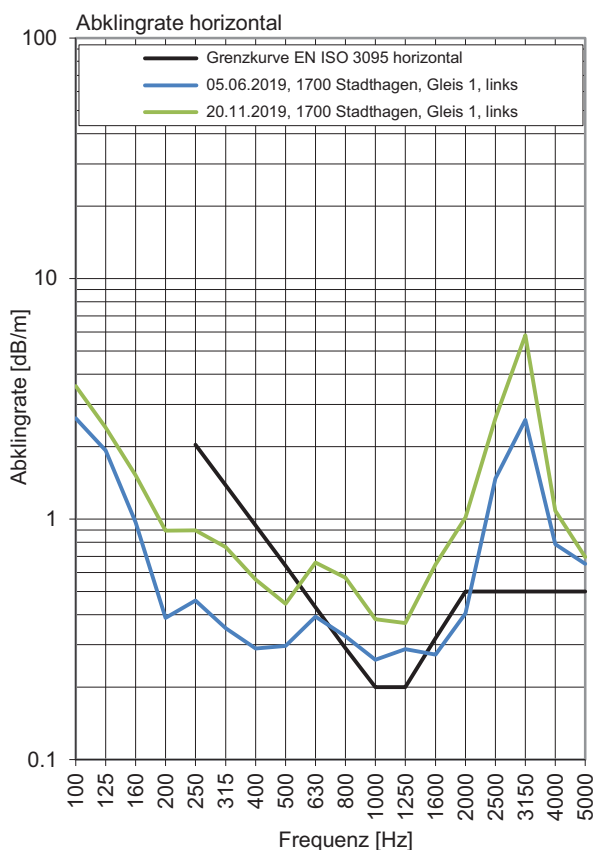
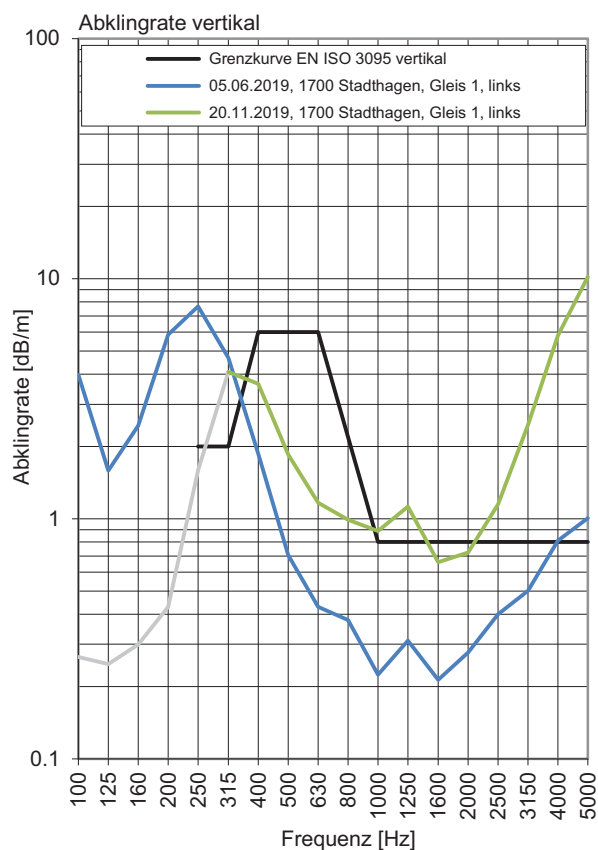
Gleis 1: Richtung Hannover

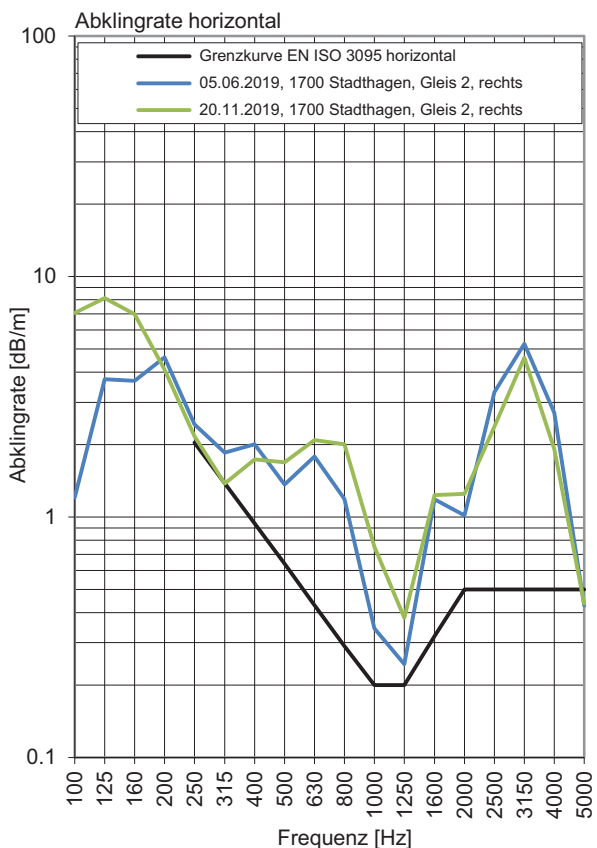
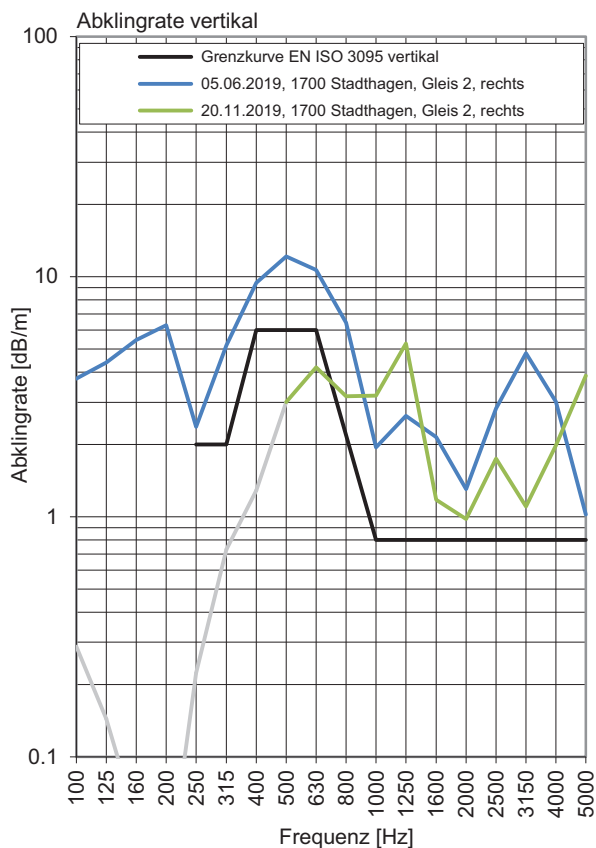
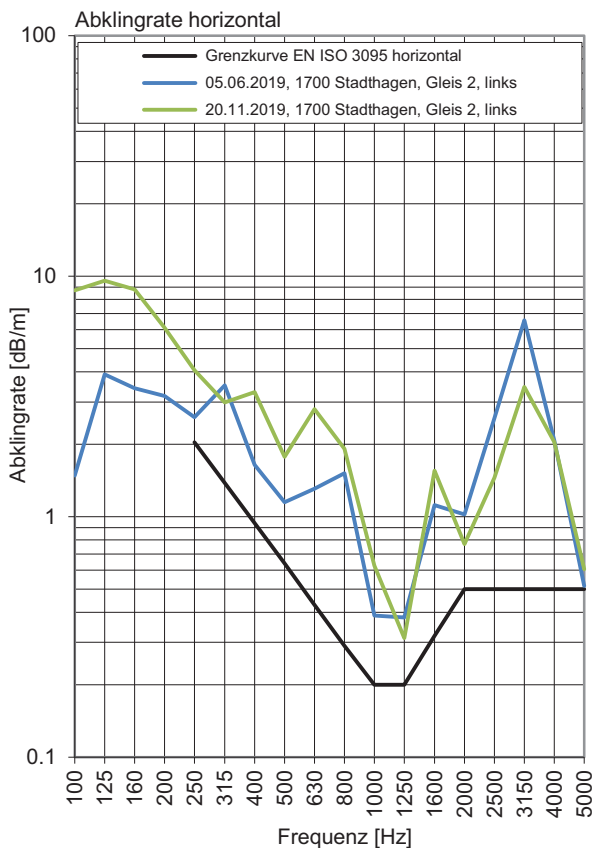
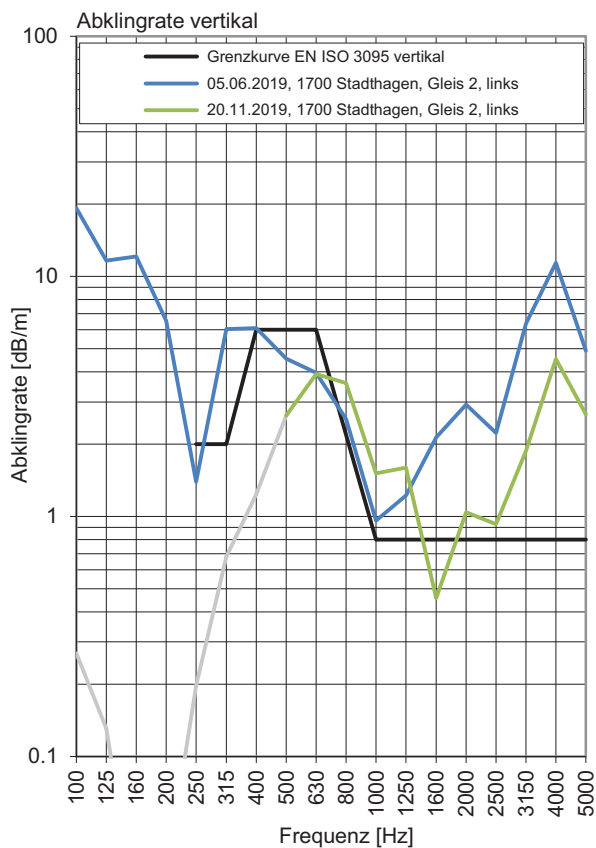
Gleis 2: Richtung Minden

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





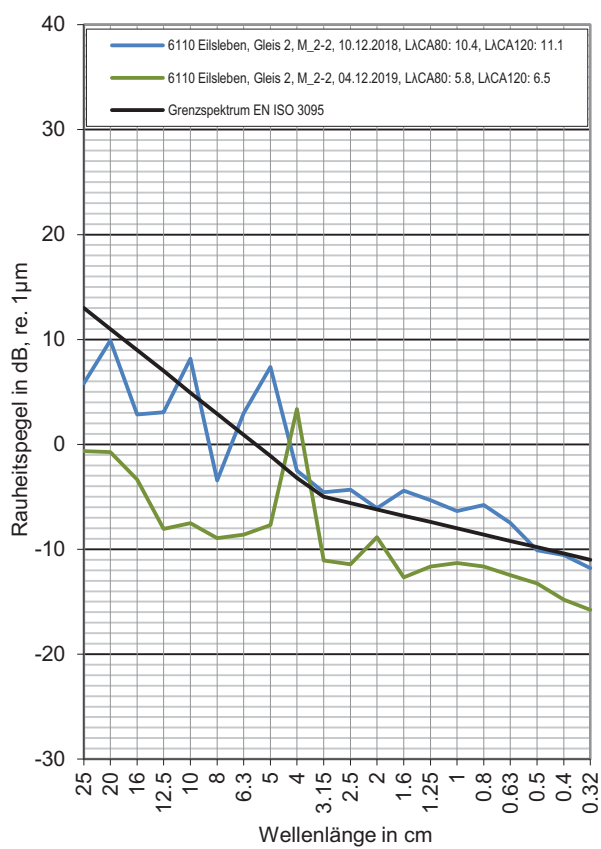
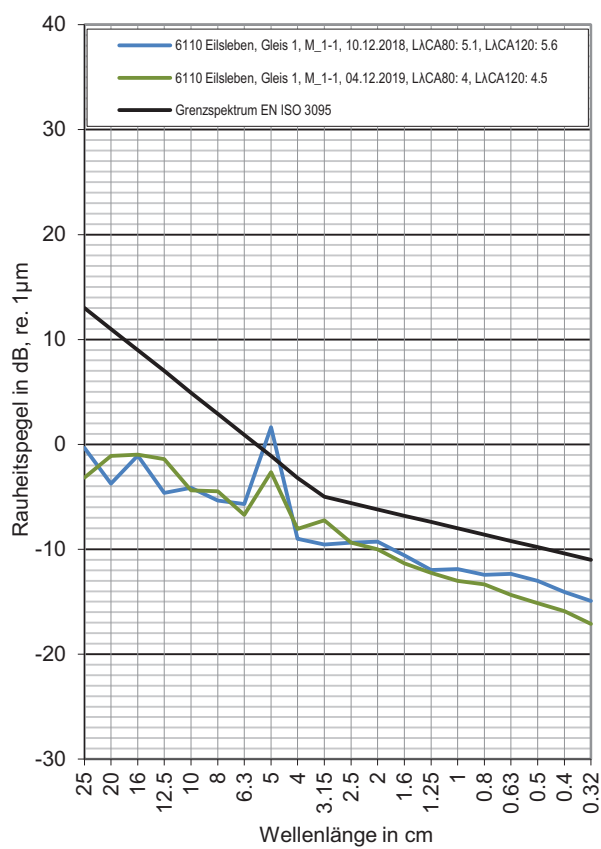
Messstelle Eilsleben

Strecke 6110, km 159,9

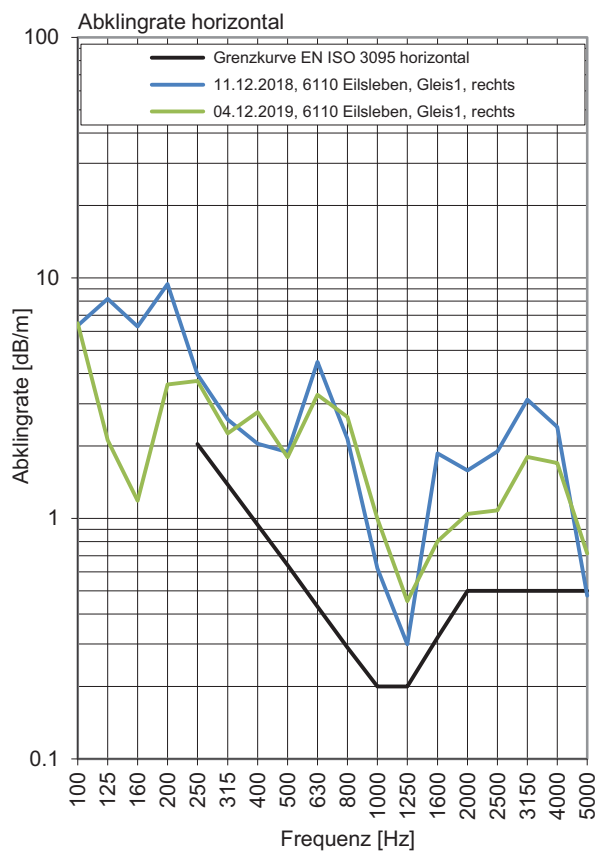
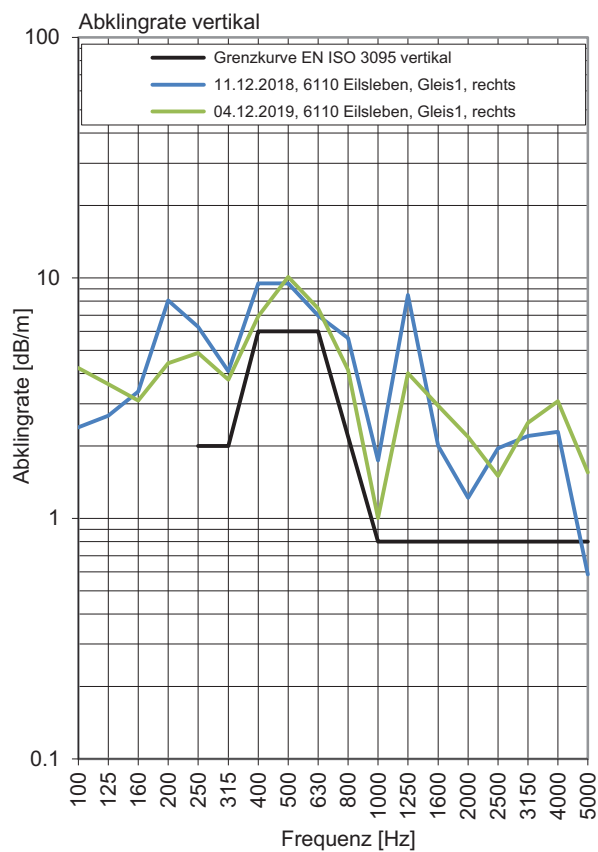
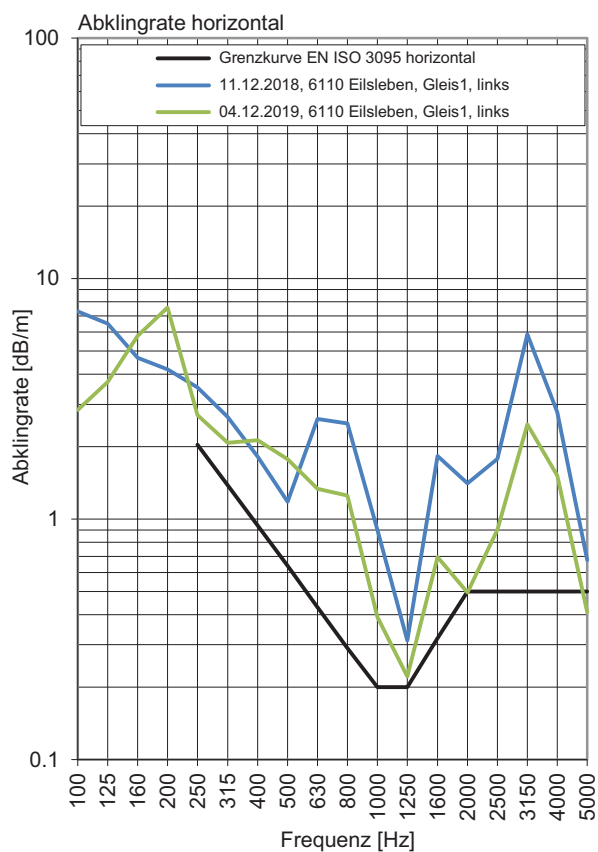
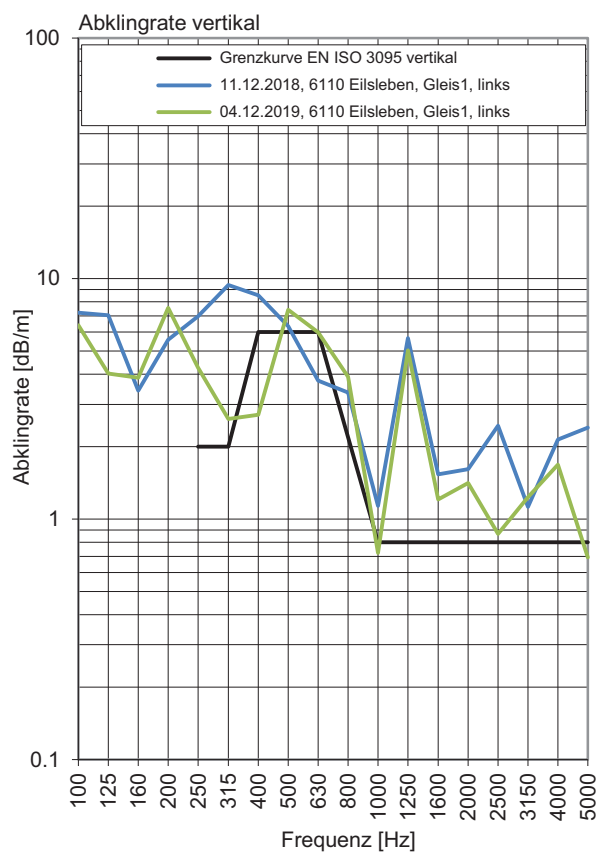
Gleis 1: Richtung Braunschweig

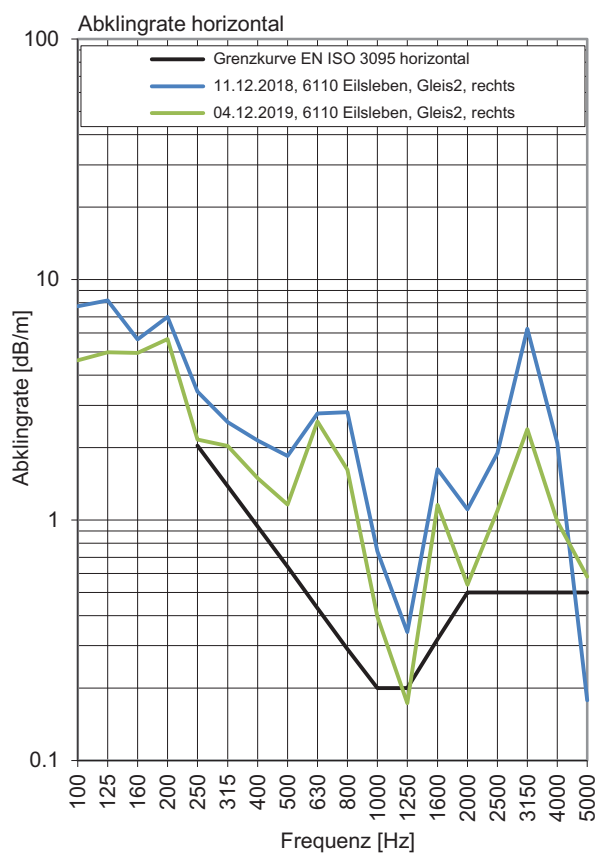
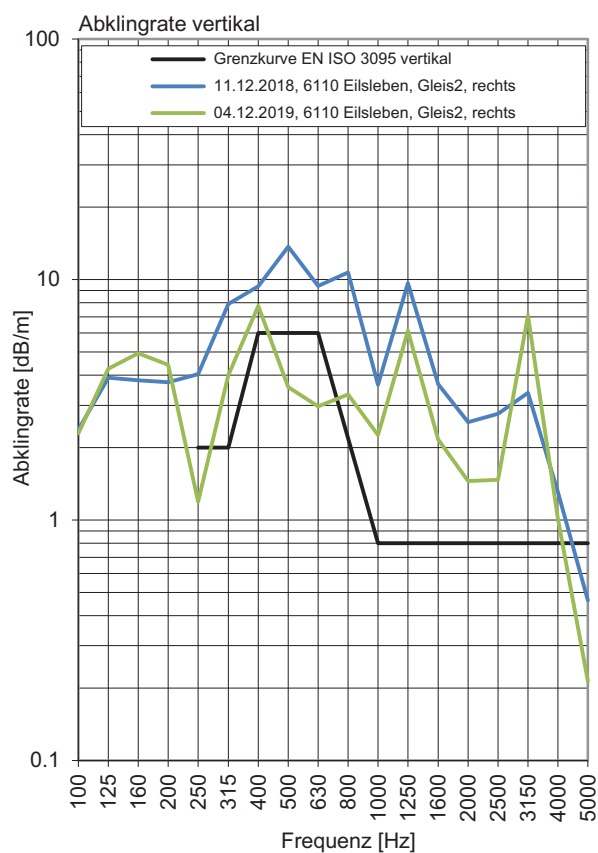
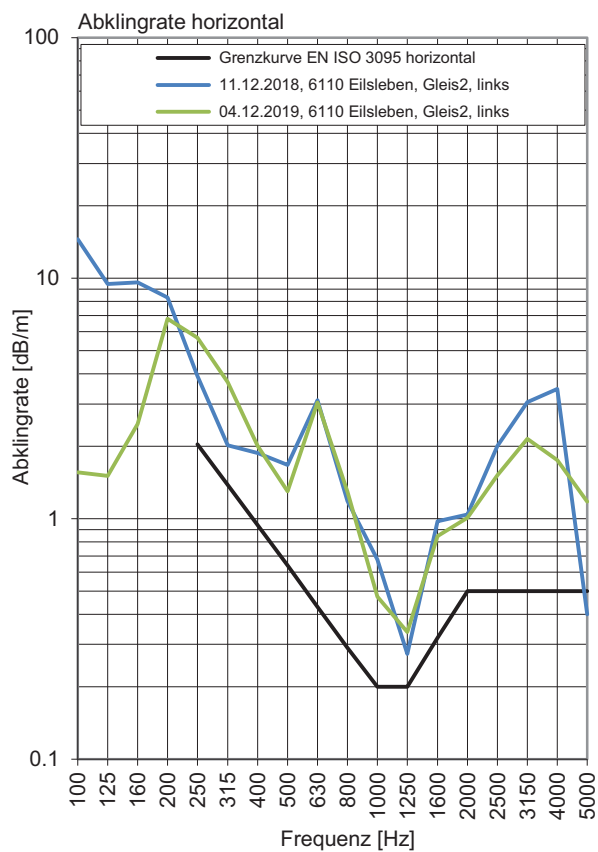
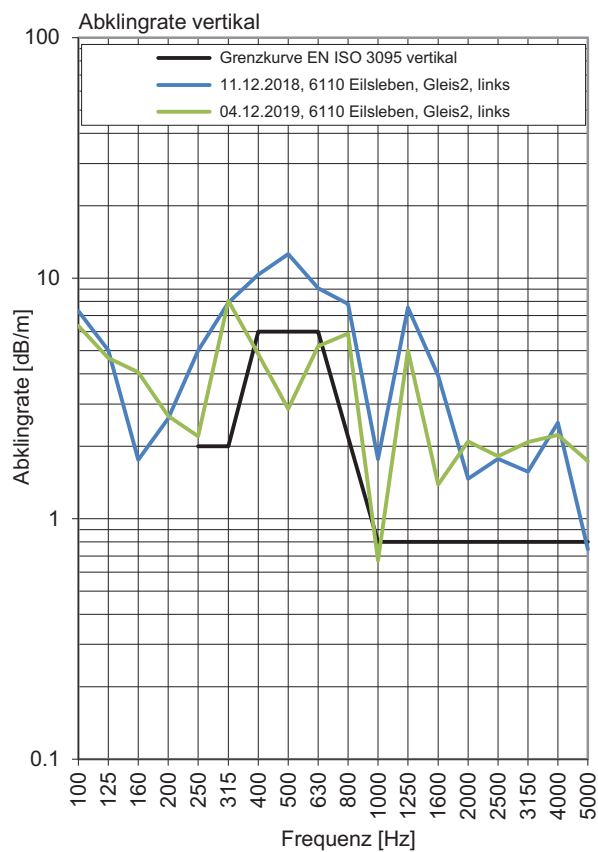
Gleis 2: Richtung Magdeburg

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





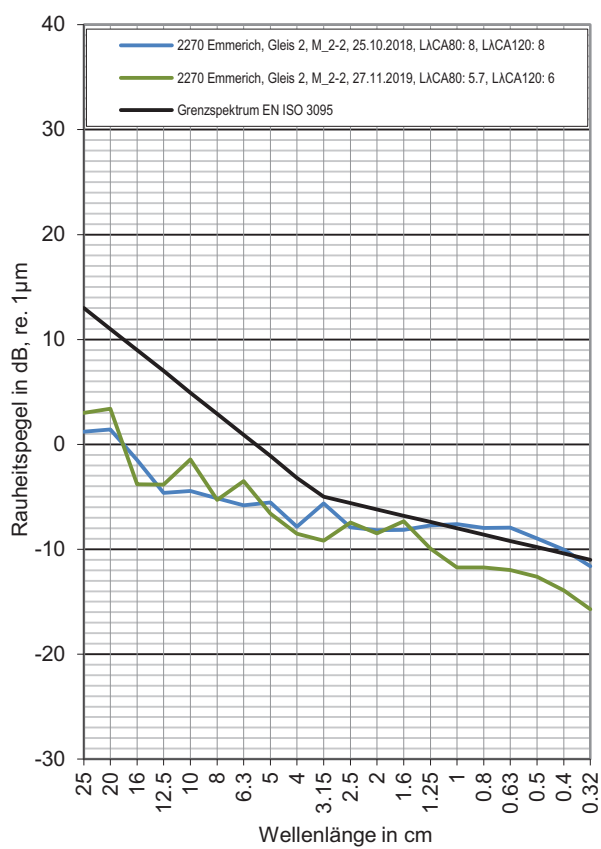
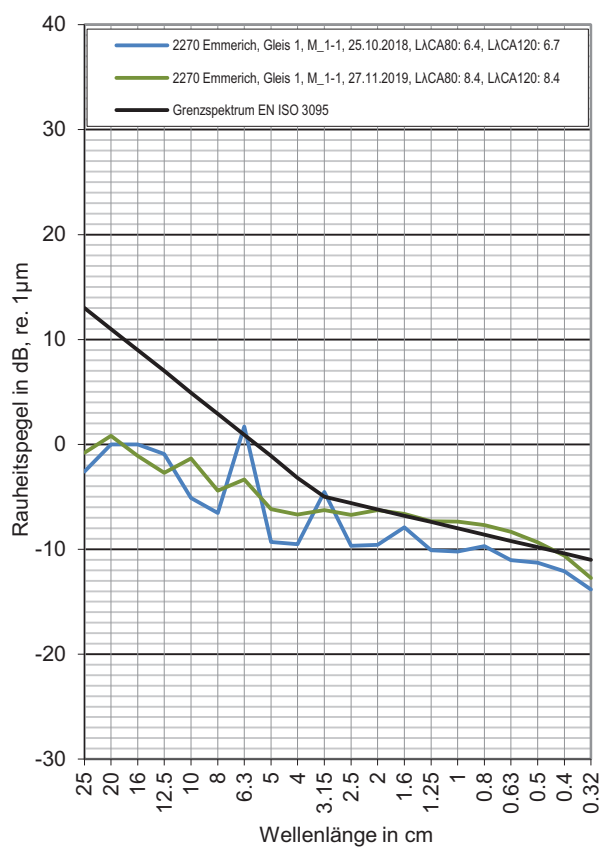
Messstelle Emmerich

Strecke 2270, km 45,9

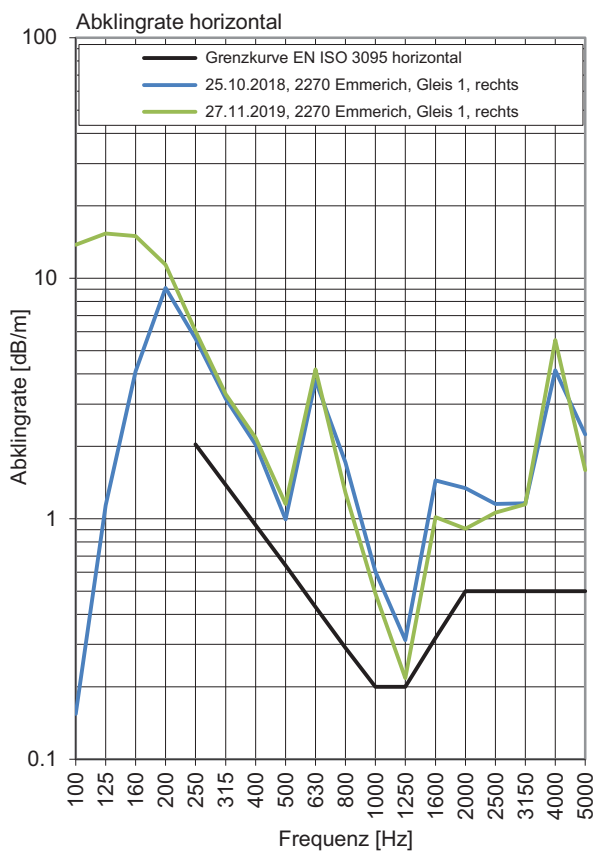
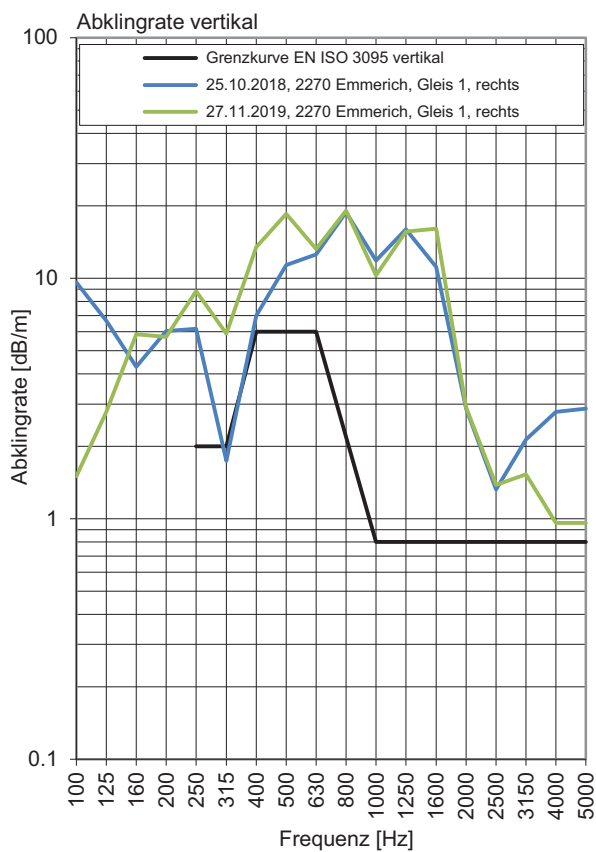
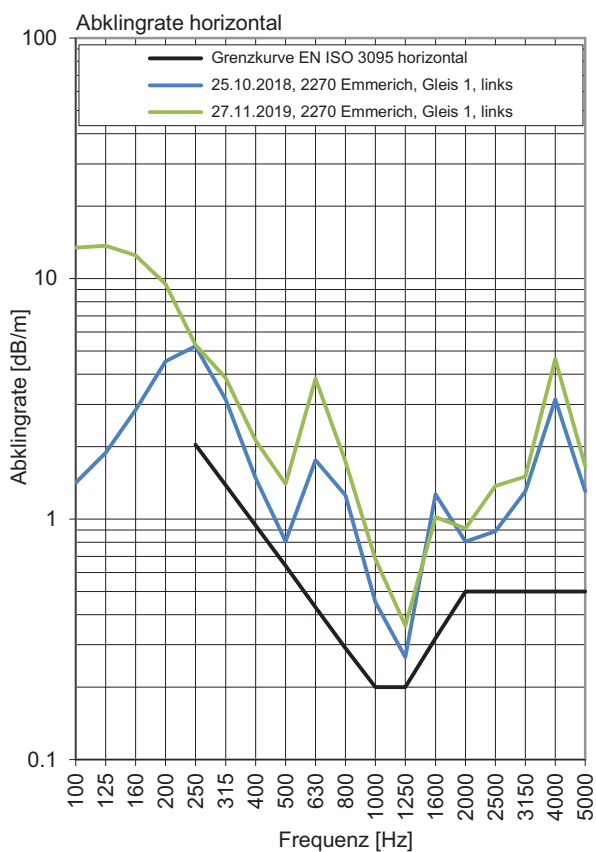
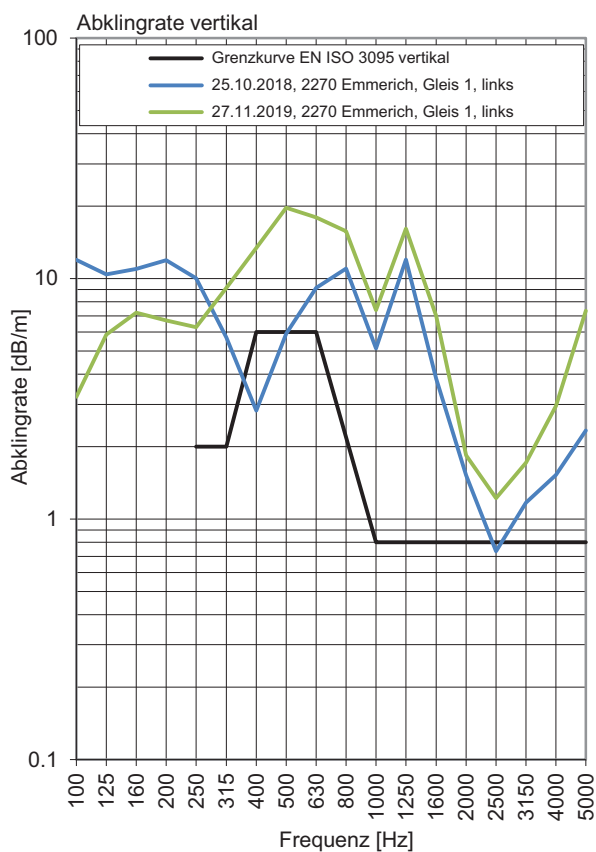
Gleis 1: Richtung Oberhausen

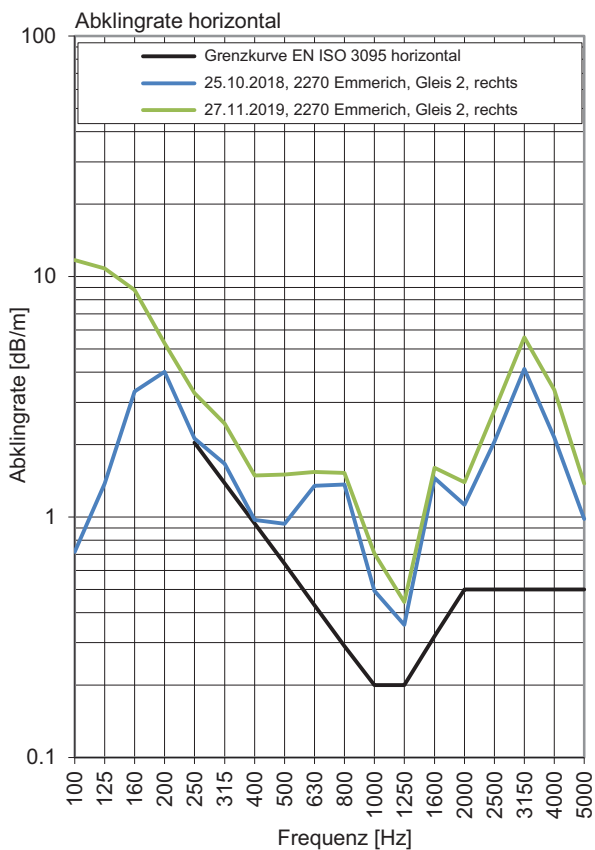
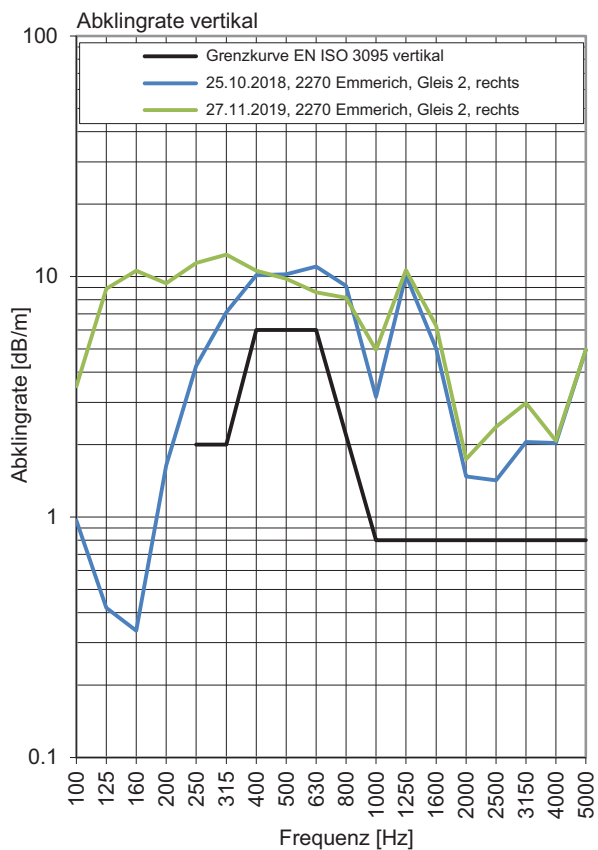
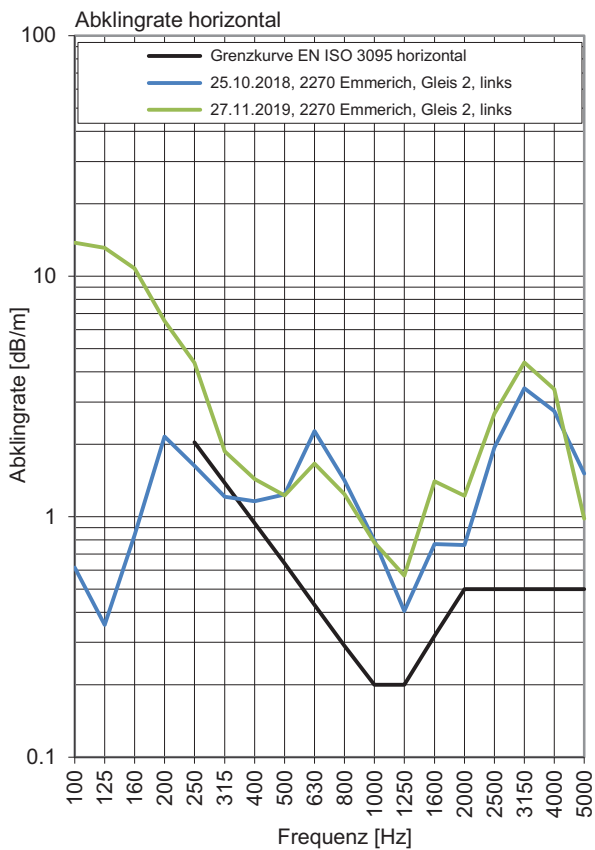
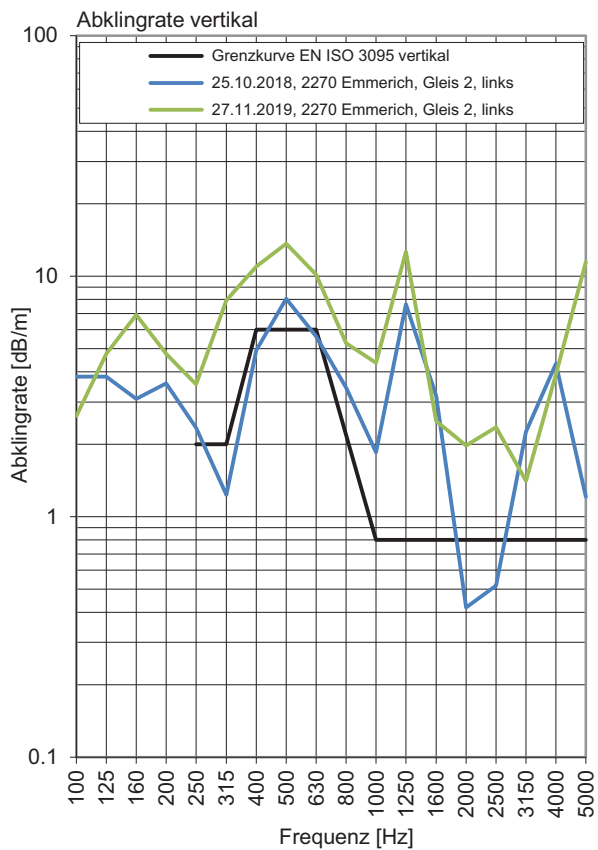
Gleis 2: Richtung Emmerich

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





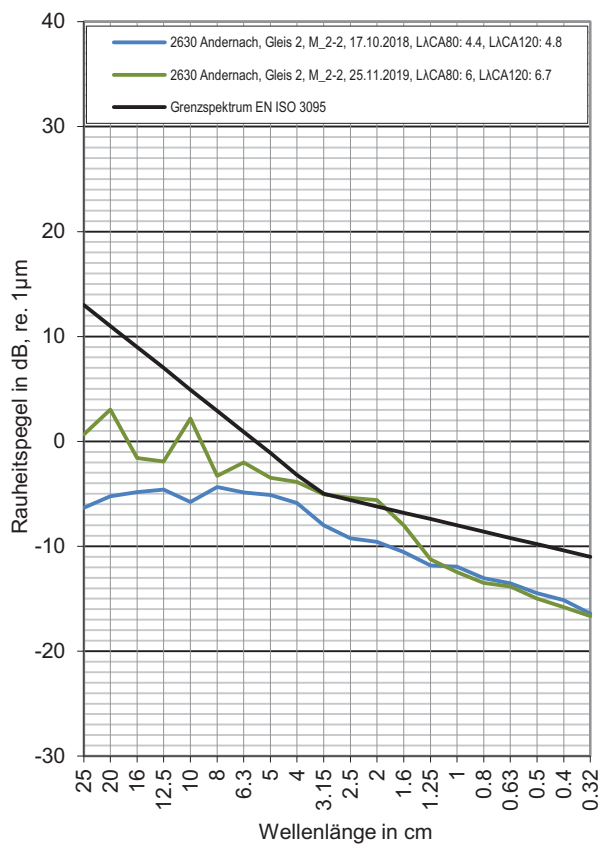
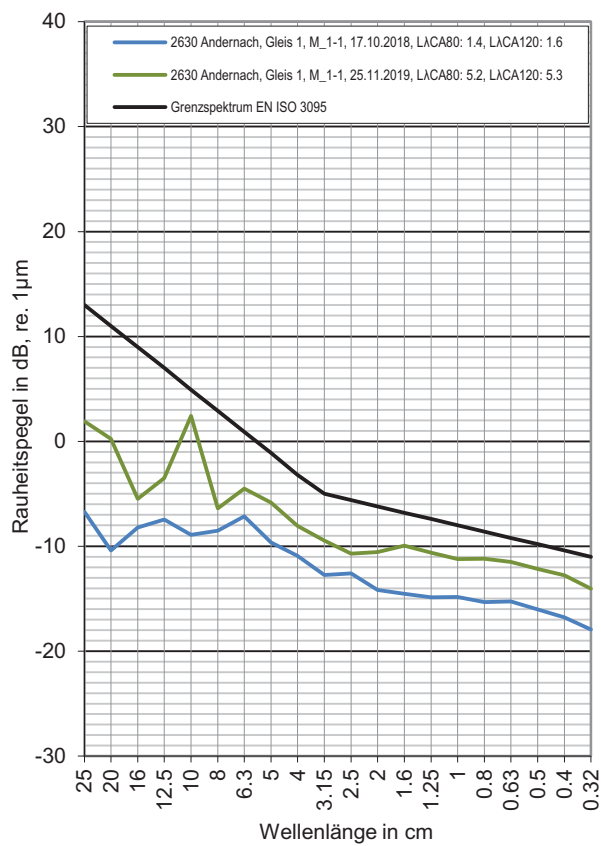
Messstelle Andernach

Strecke 2630, km 68,8

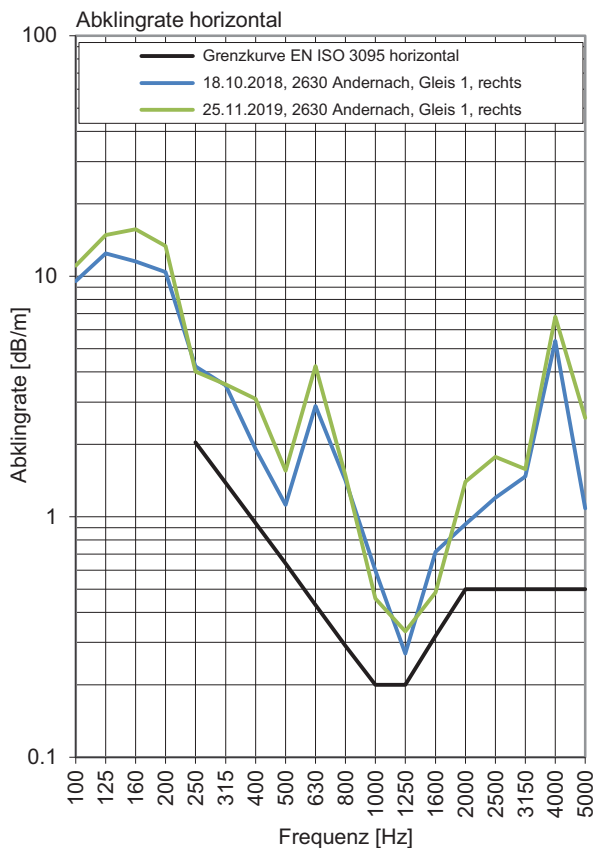
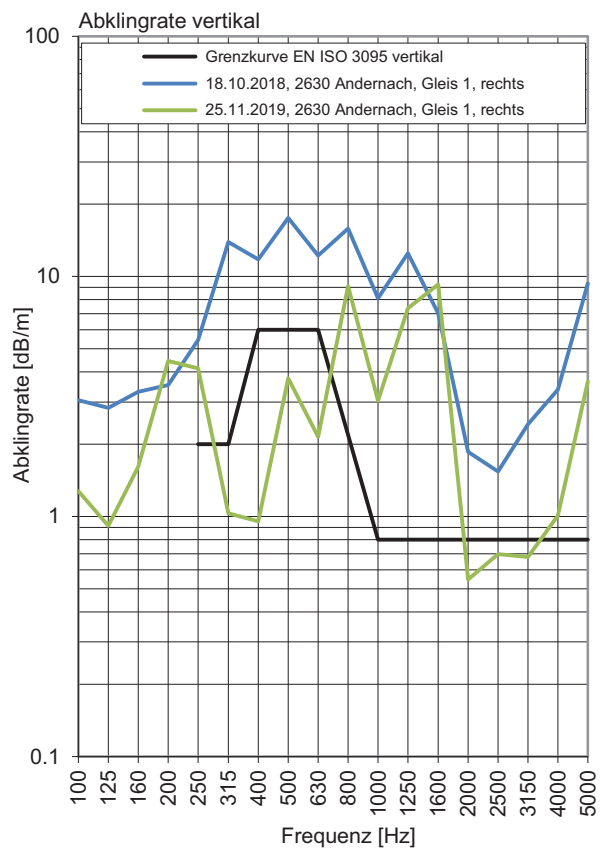
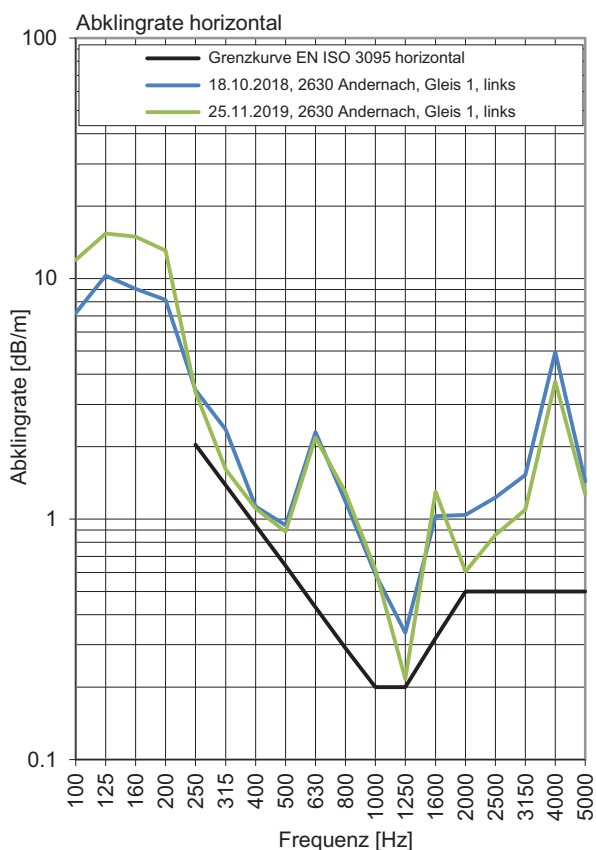
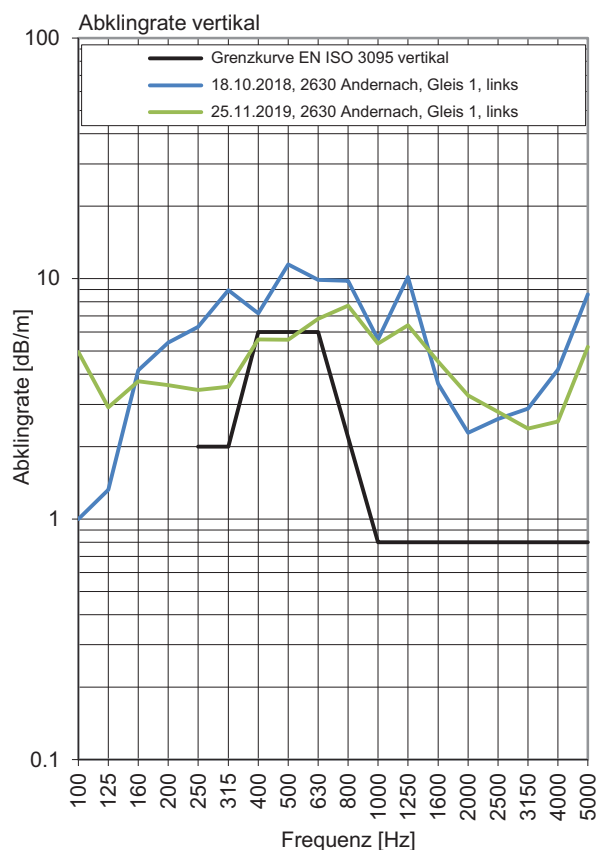
Gleis 1: Richtung Köln

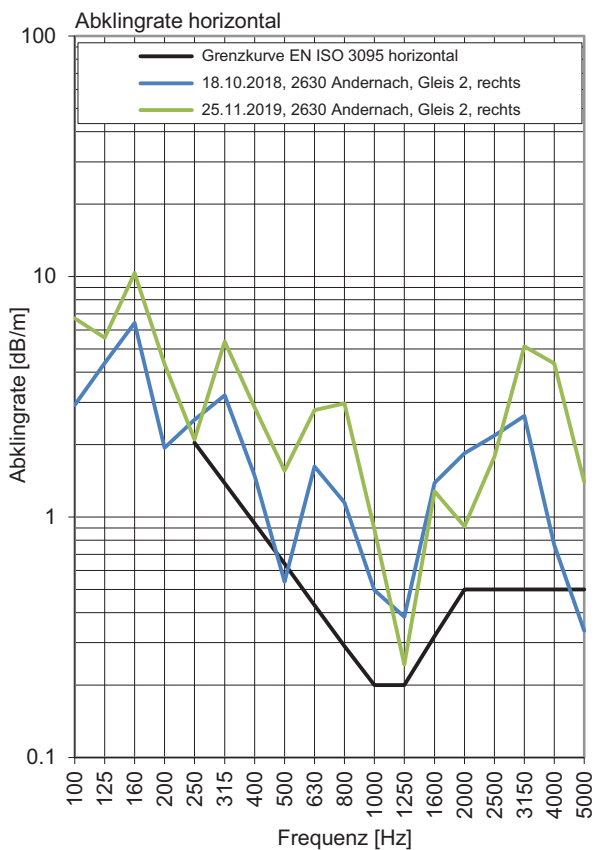
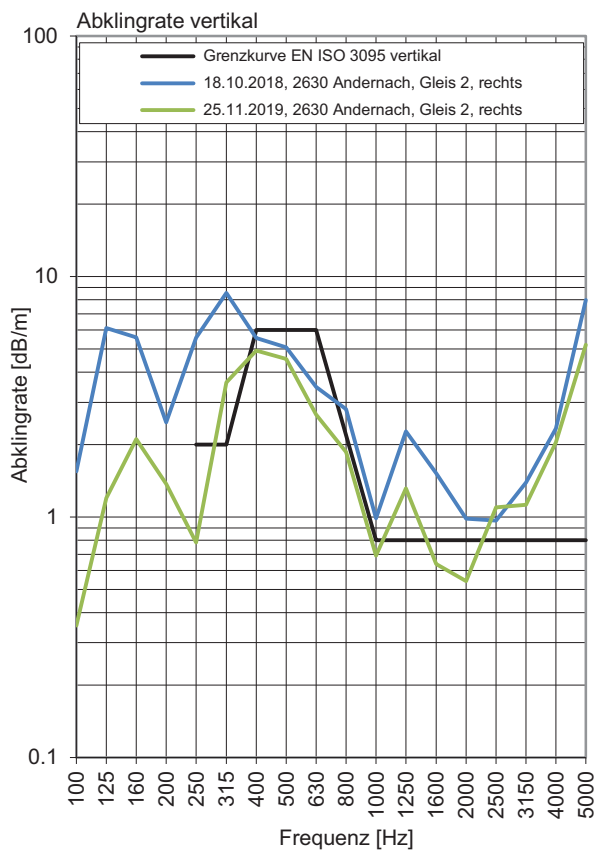
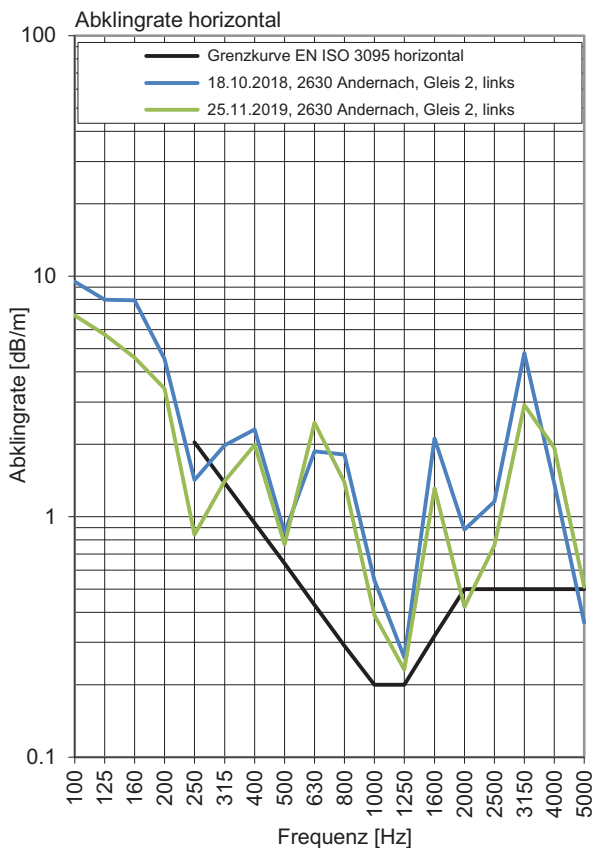
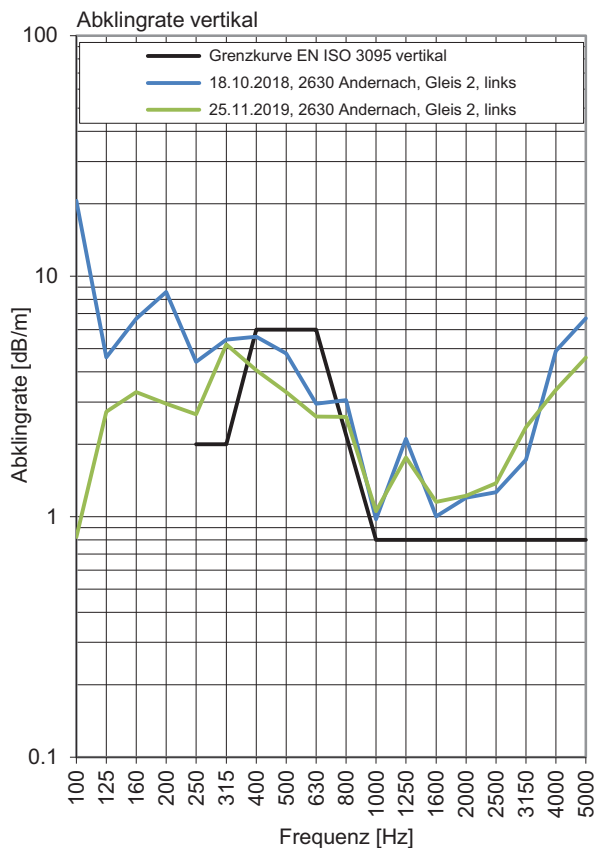
Gleis 2: Richtung Bingen

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





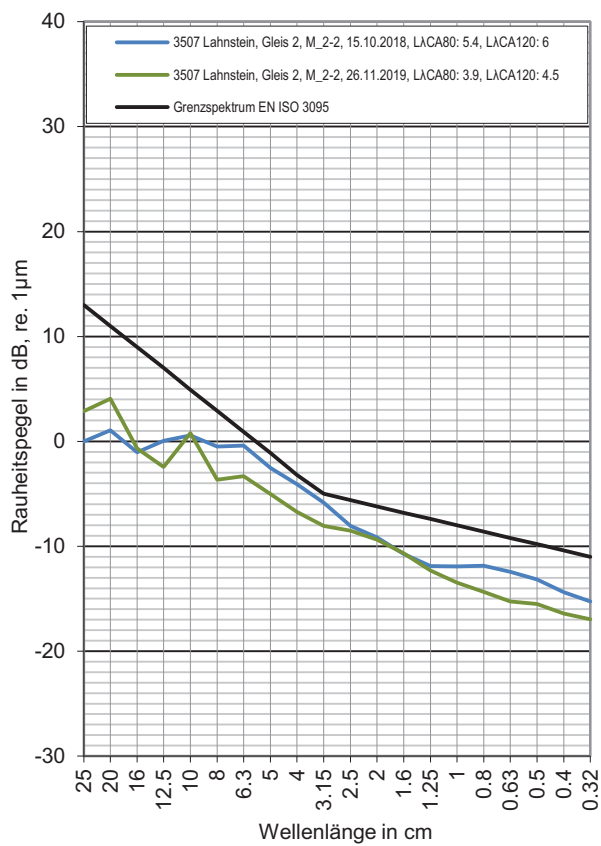
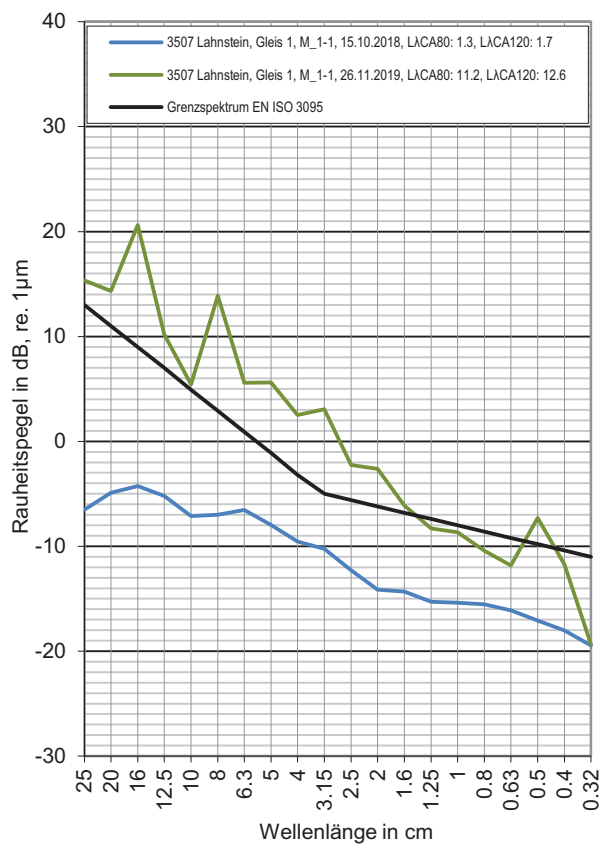
Messstelle Lahnstein

Strecke 3507, km 99,0

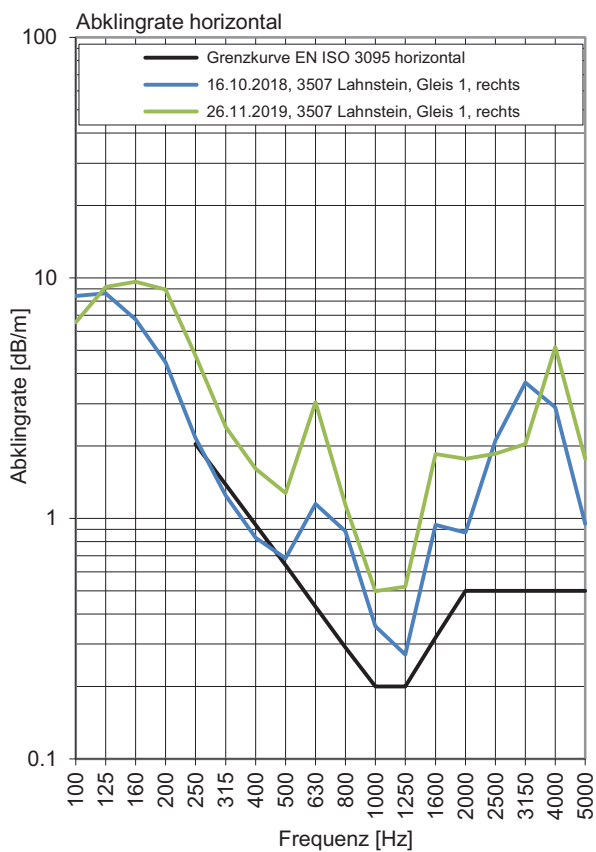
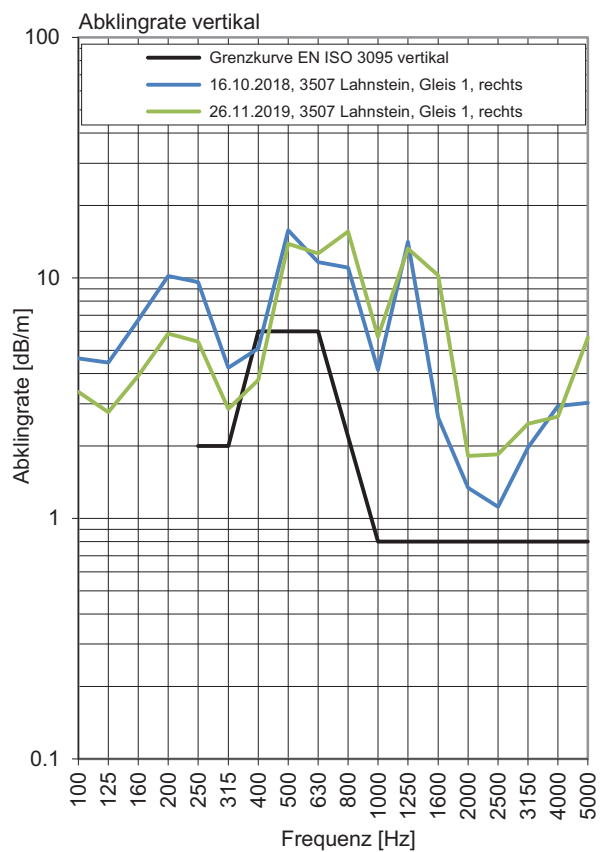
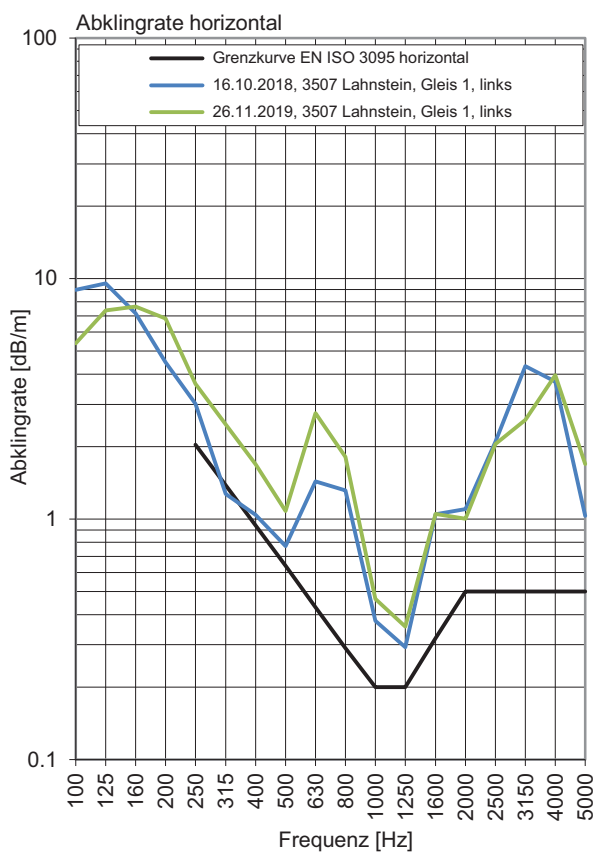
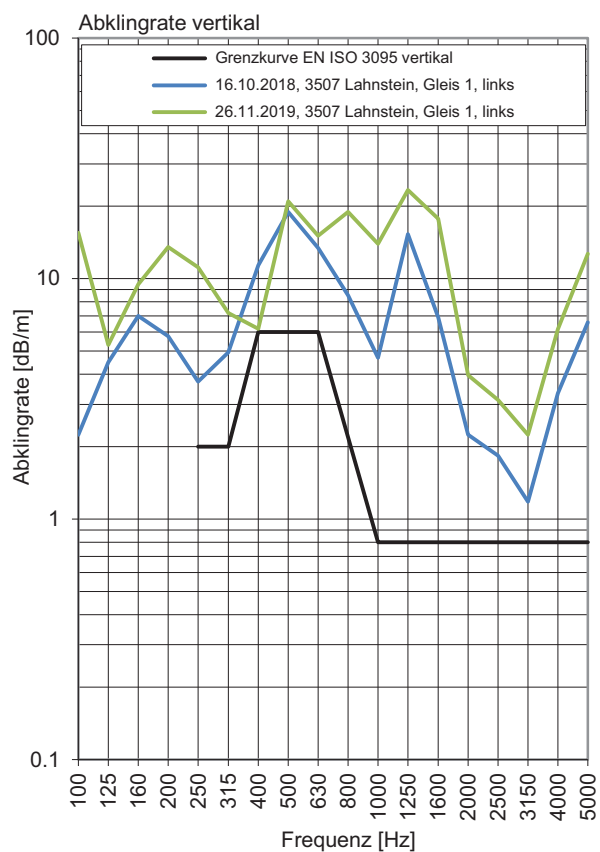
Gleis 1: Richtung Koblenz

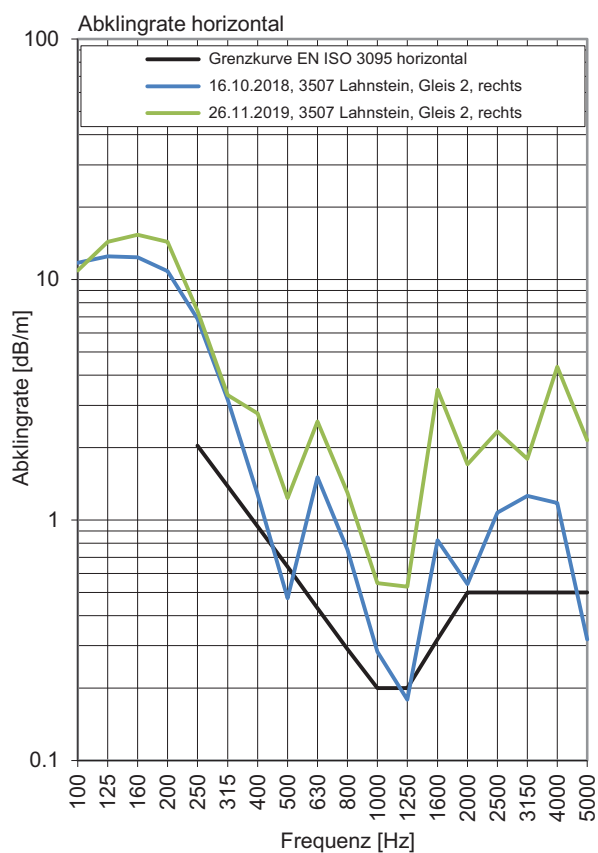
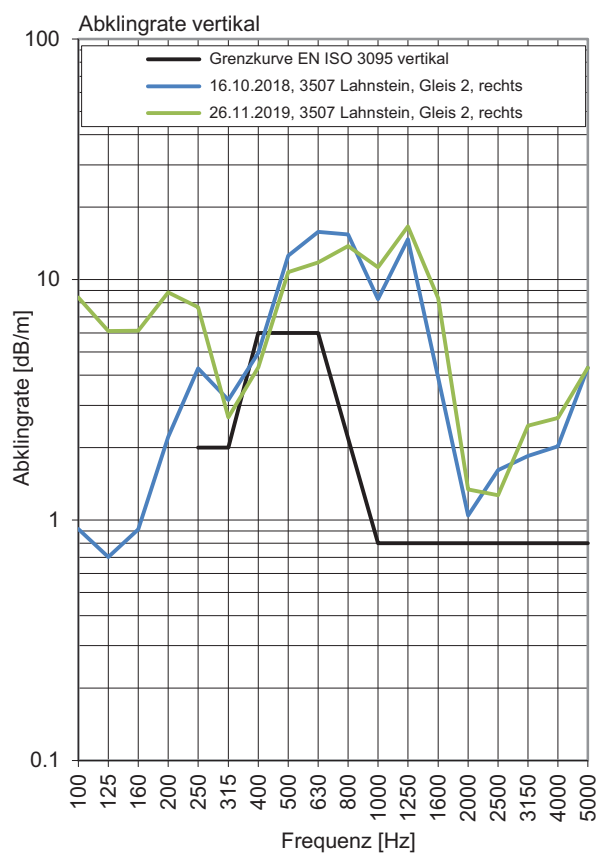
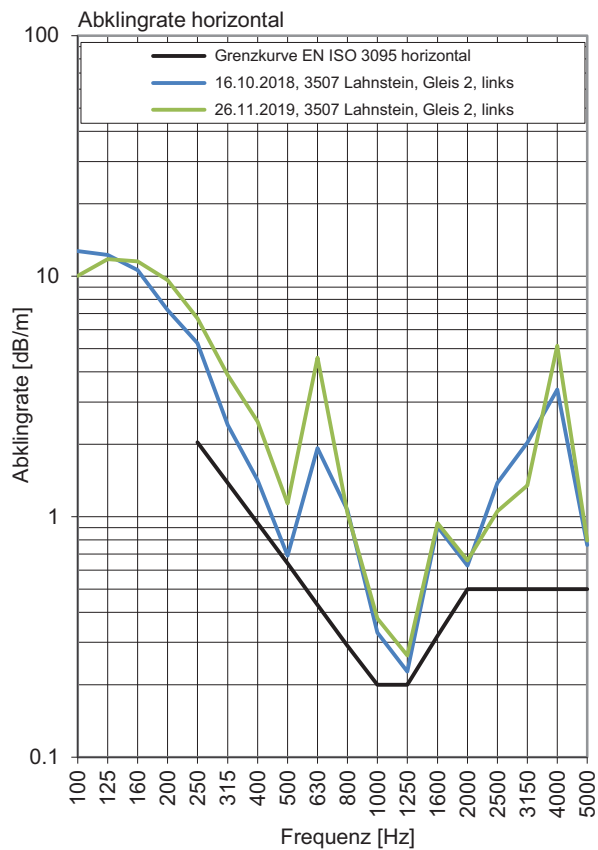
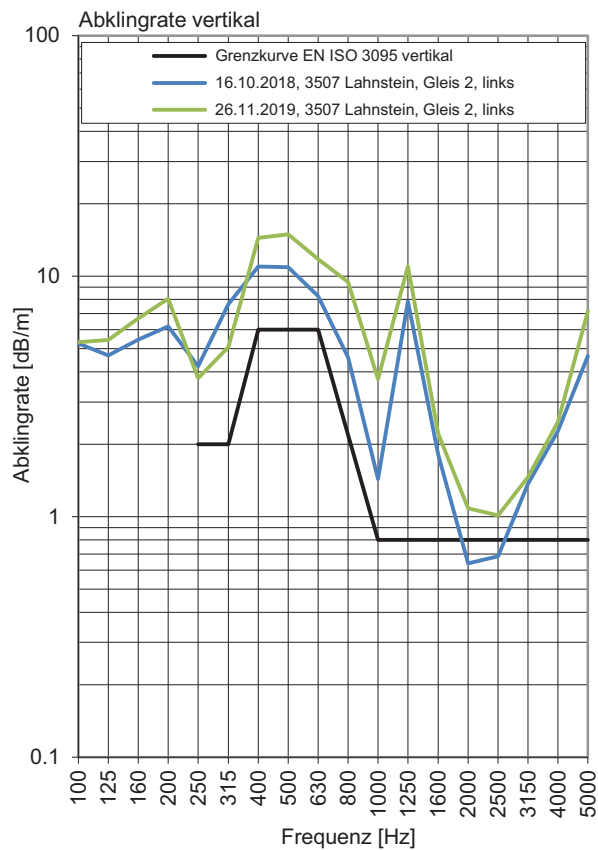
Gleis 2: Richtung Wiesbaden

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





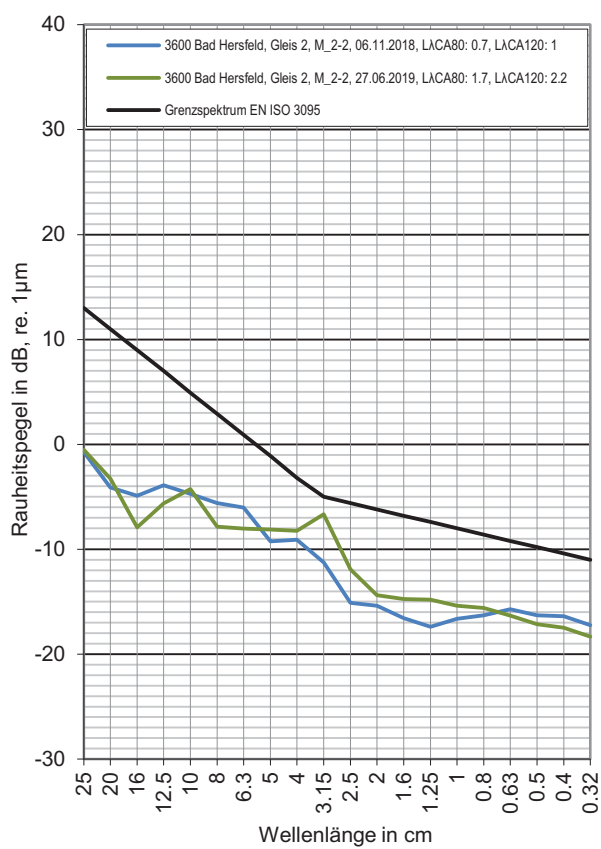
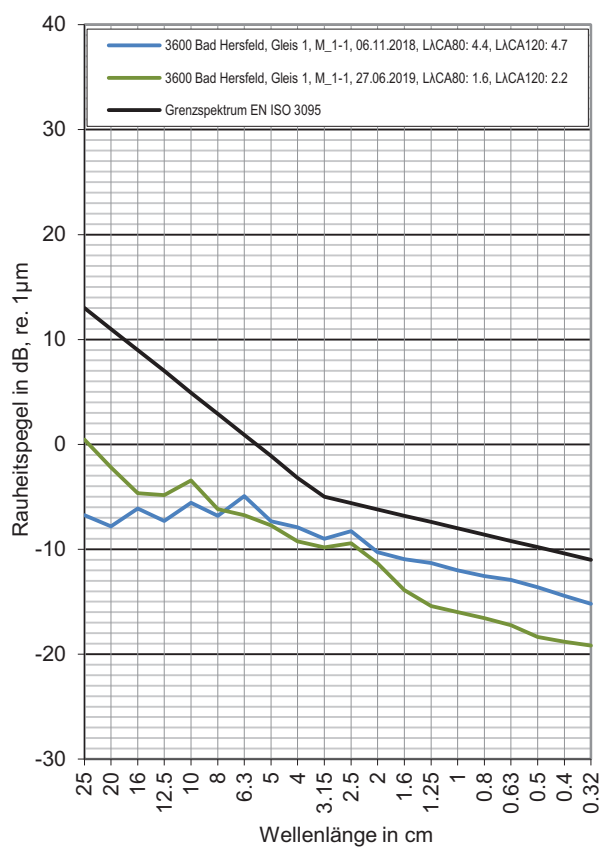
Messstelle Bad Hersfeld

Strecke 3600, km 158,4

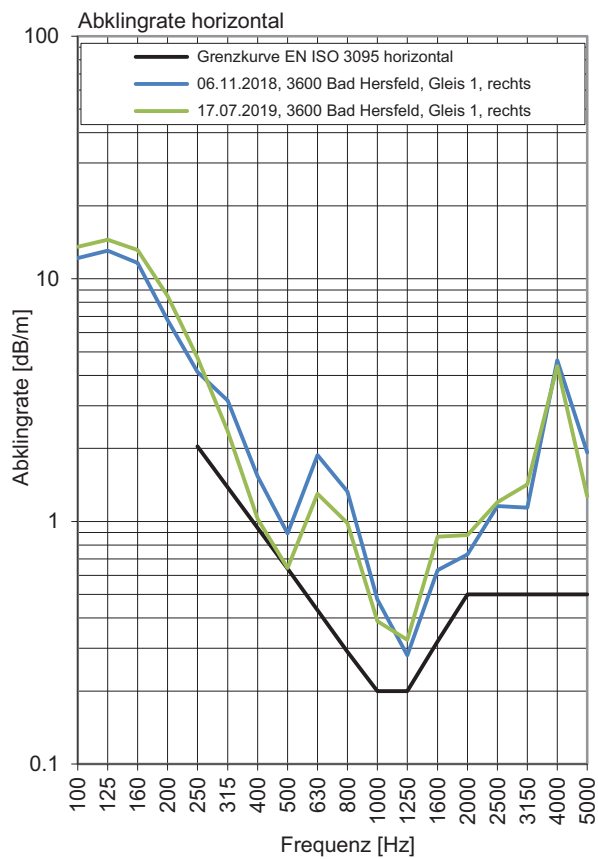
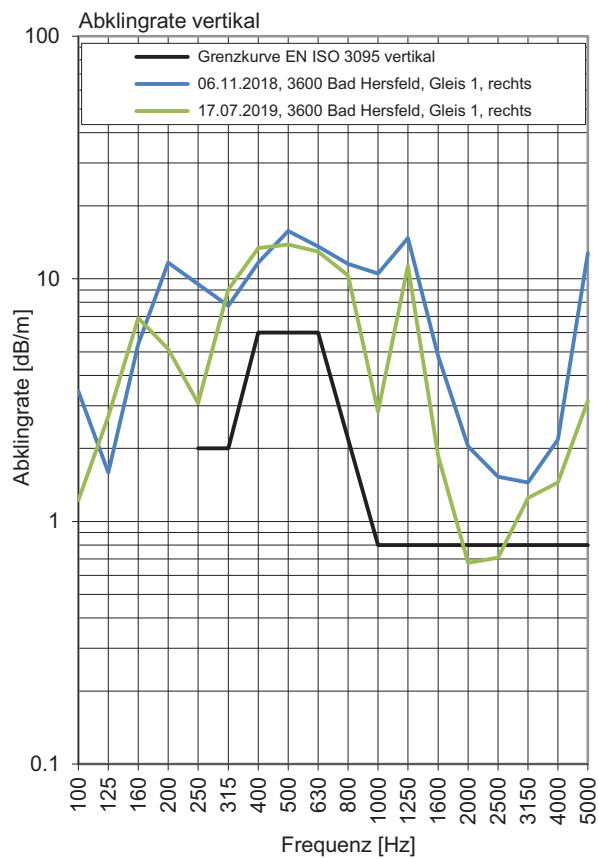
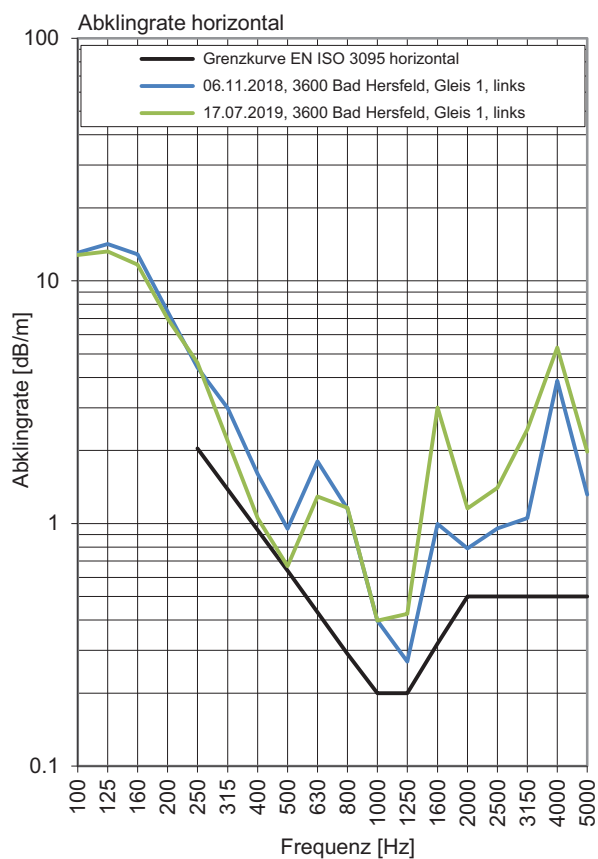
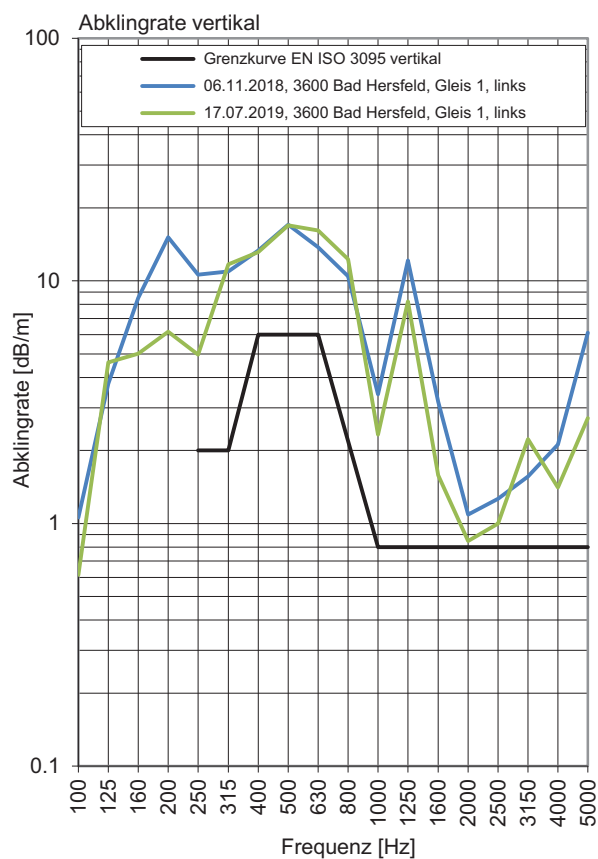
Gleis 1: Richtung Bebra

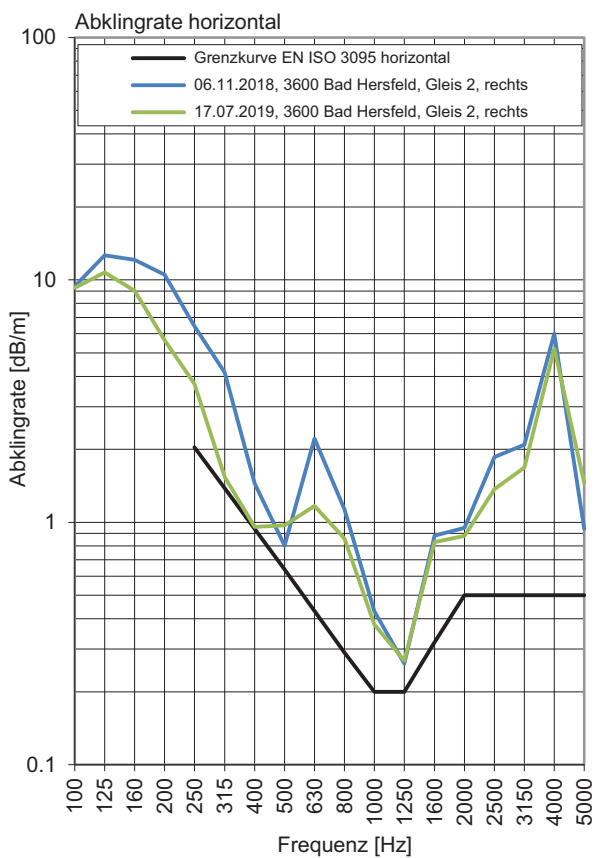
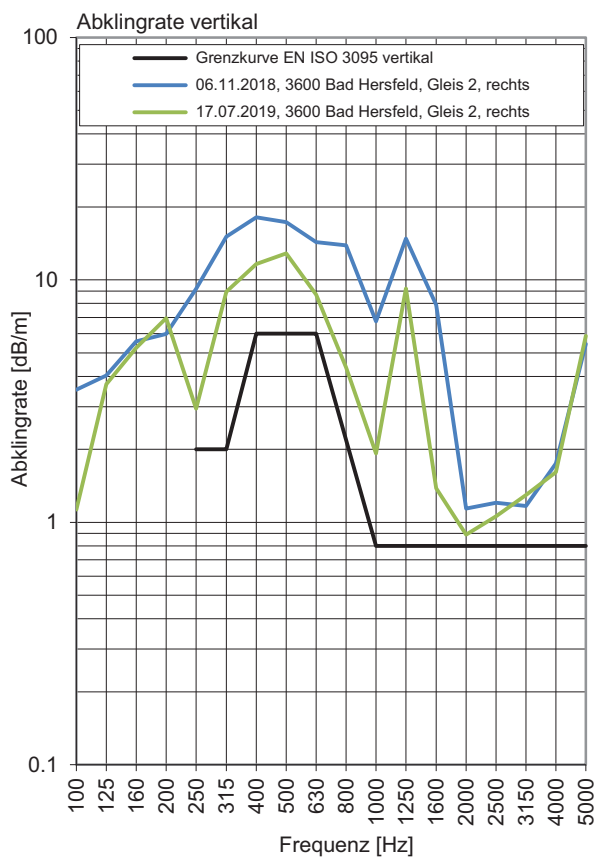
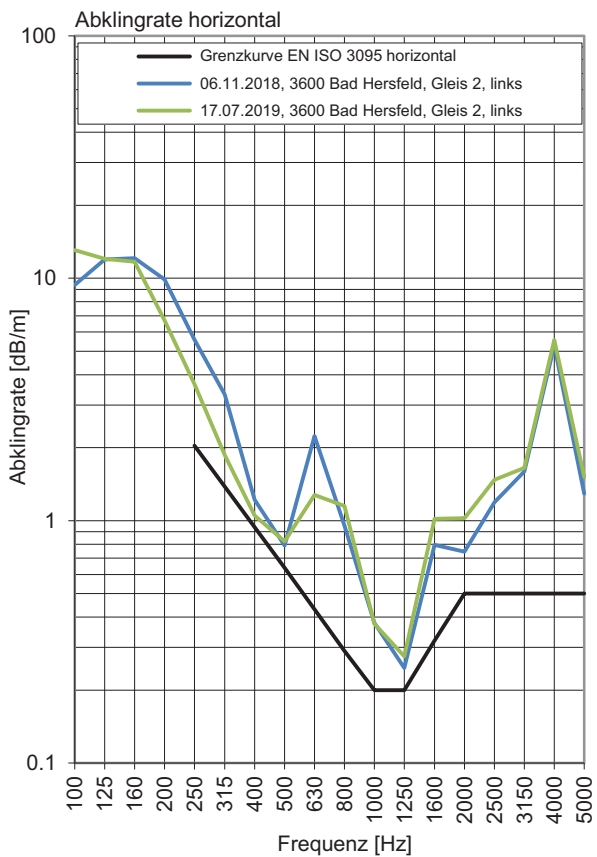
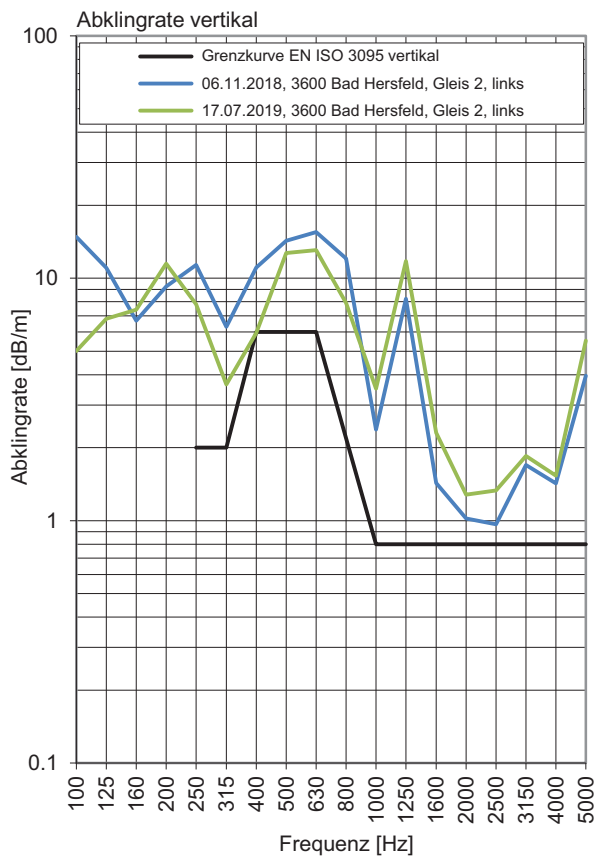
Gleis 2: Richtung Fulda

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





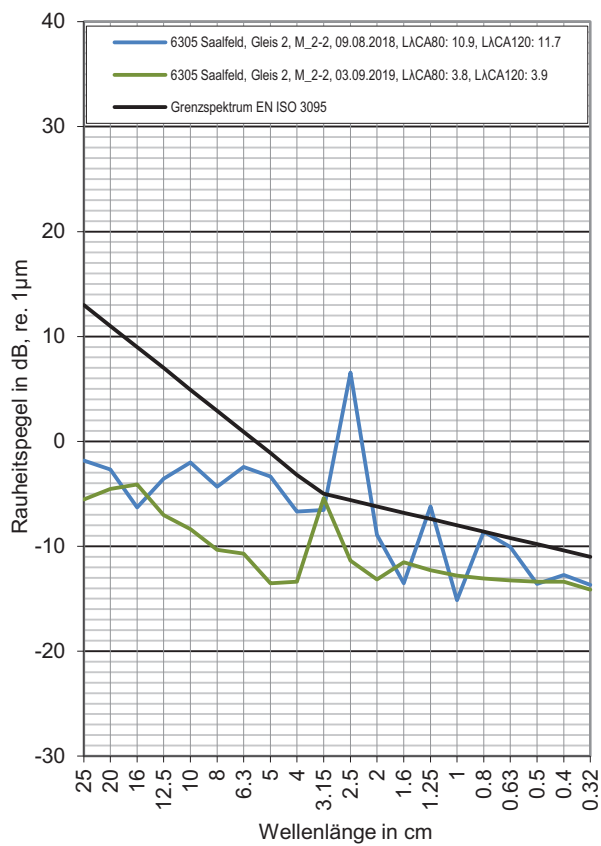
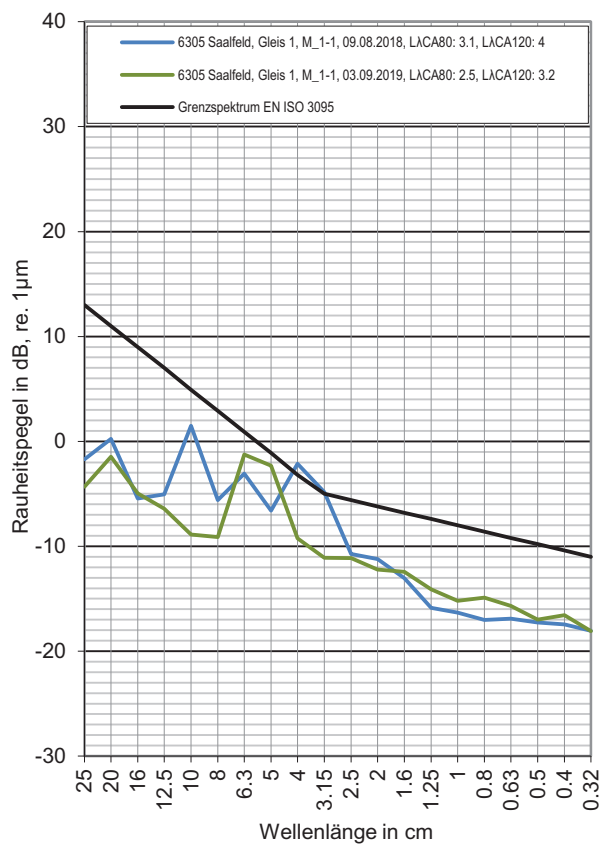
Messstelle Saalfeld

Strecke 6305, km 57,2

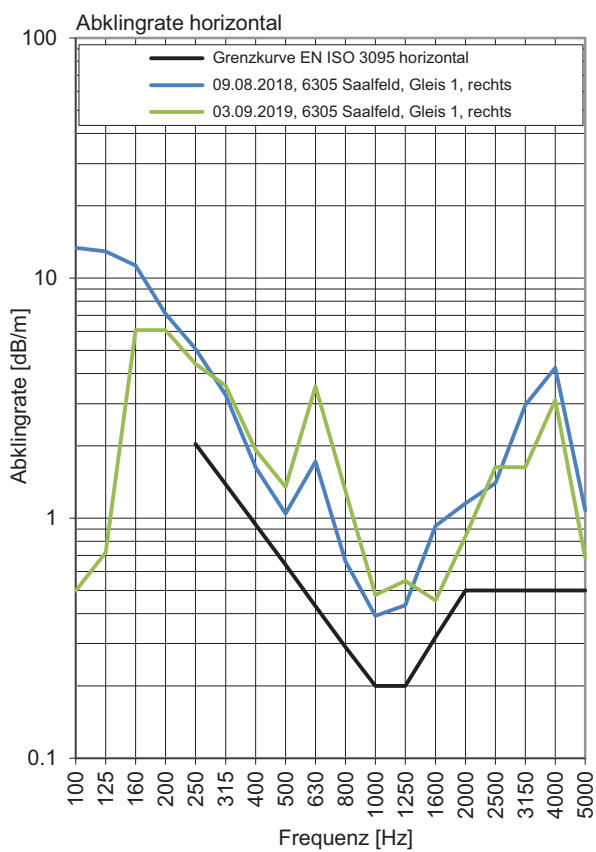
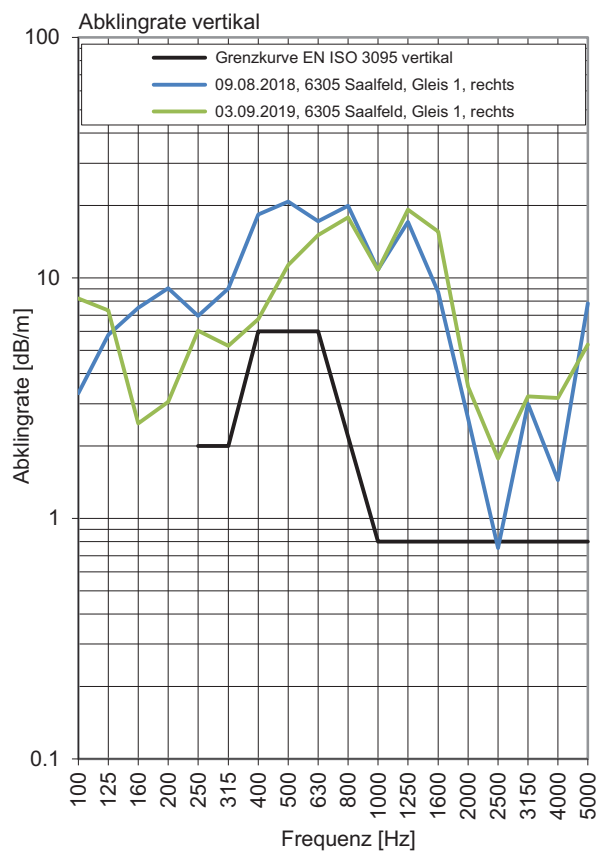
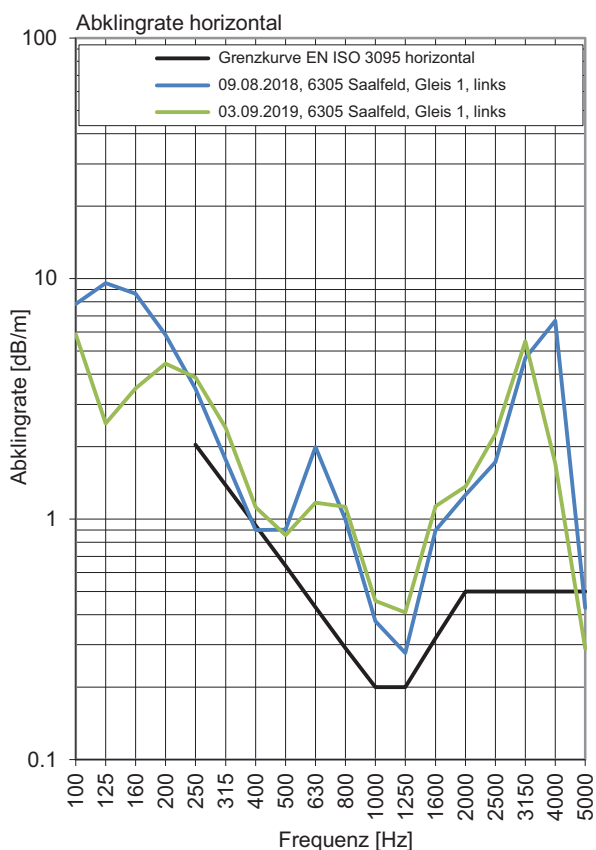
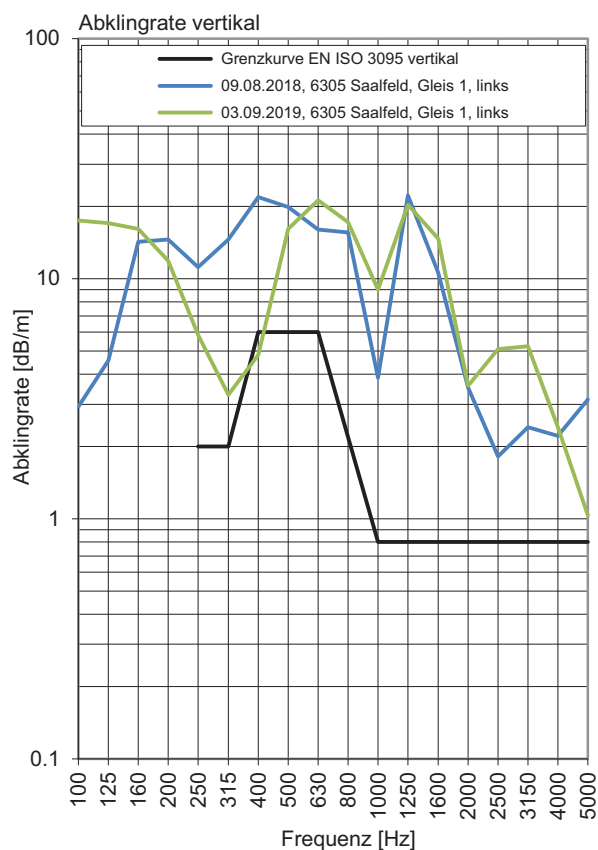
Gleis 1: Richtung Großheringen

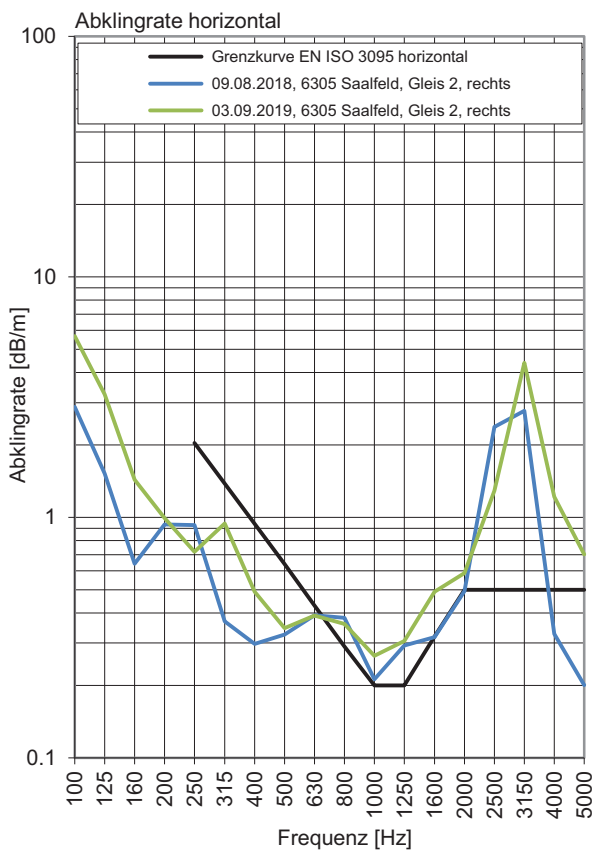
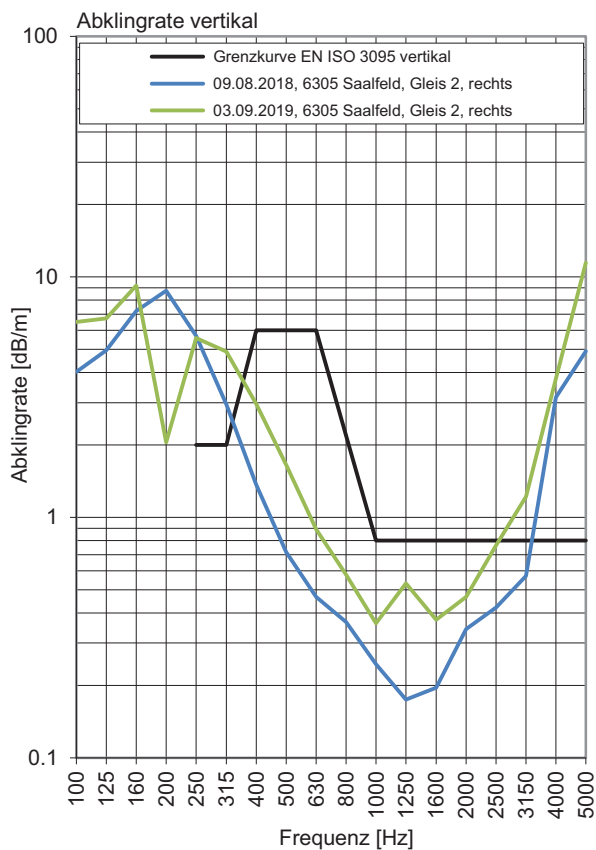
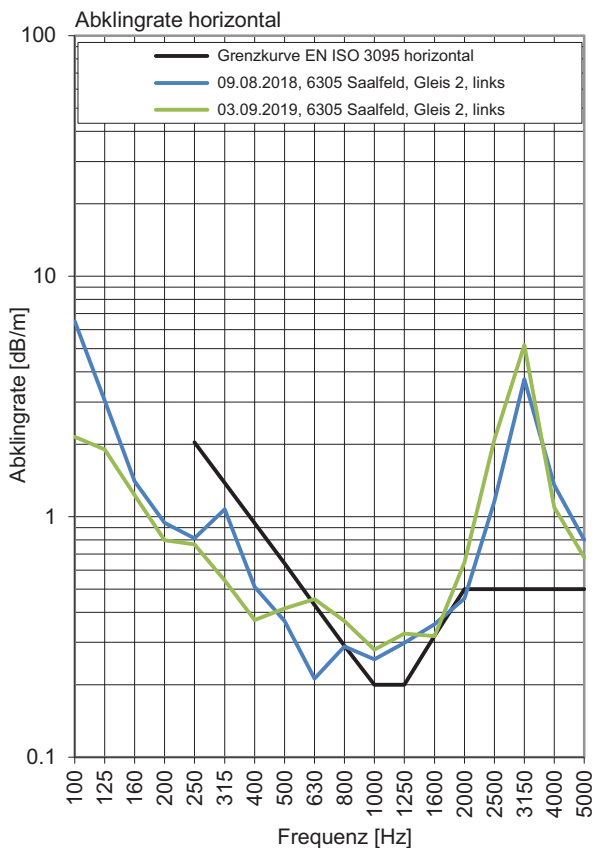
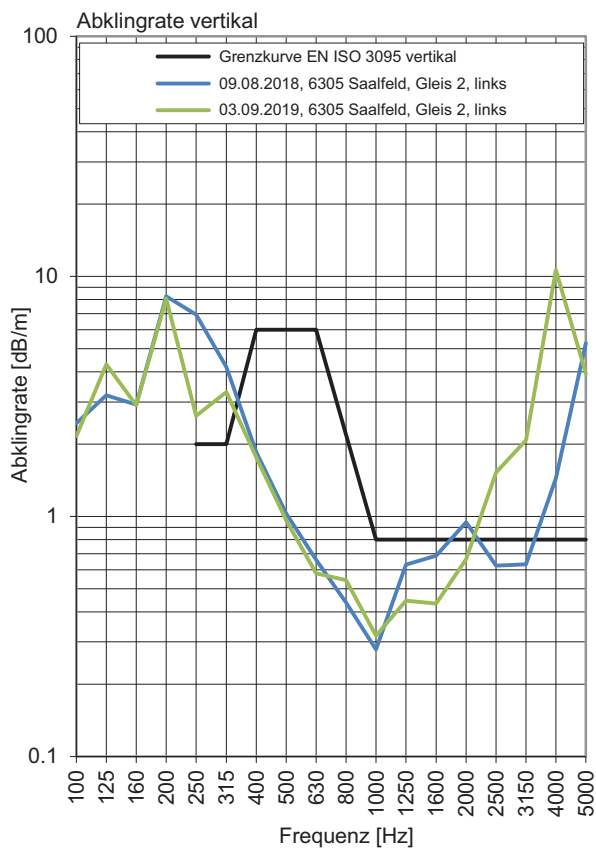
Gleis 2: Richtung Saalfeld

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





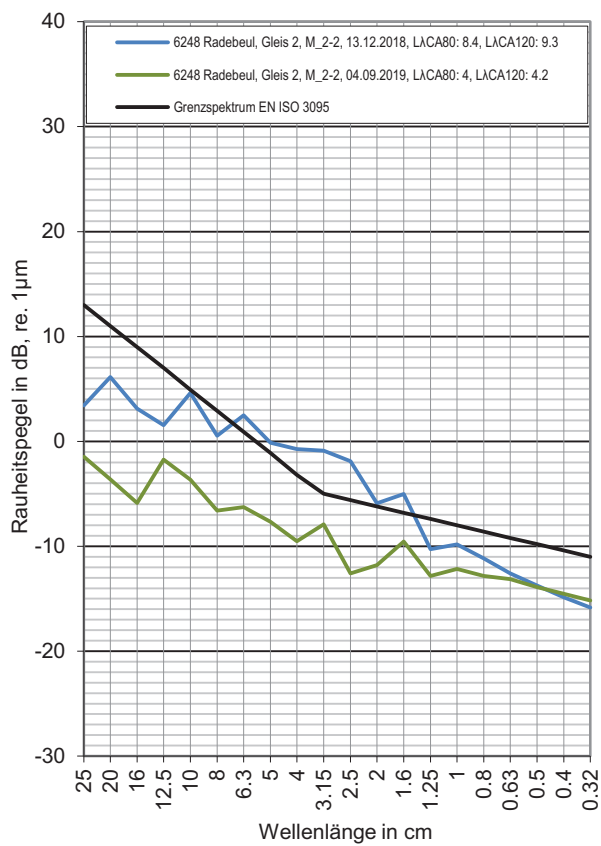
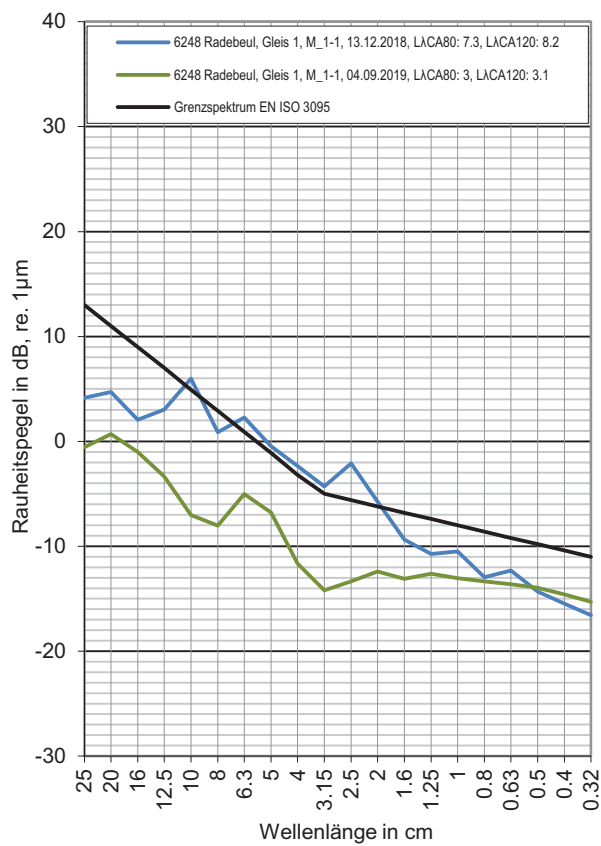
Messstelle Radebeul

Strecke 6248, km 18,8

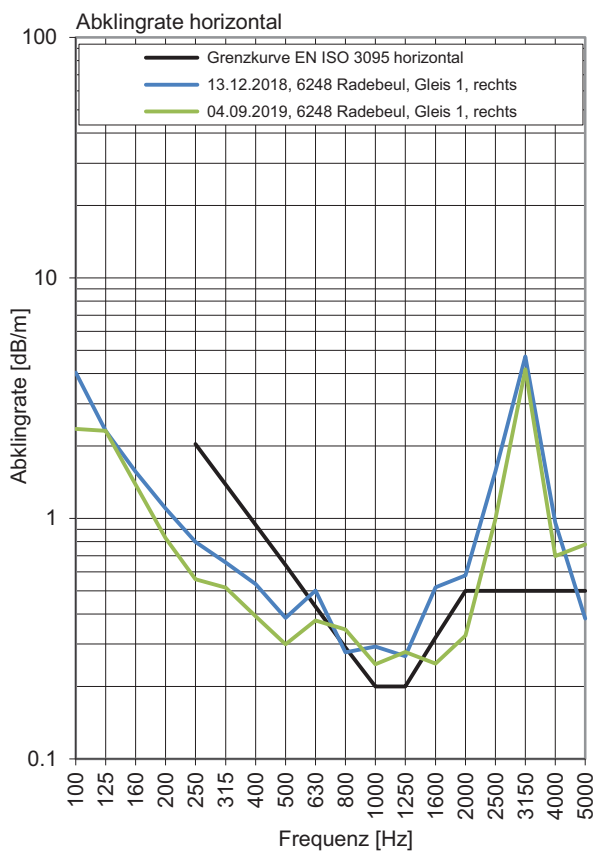
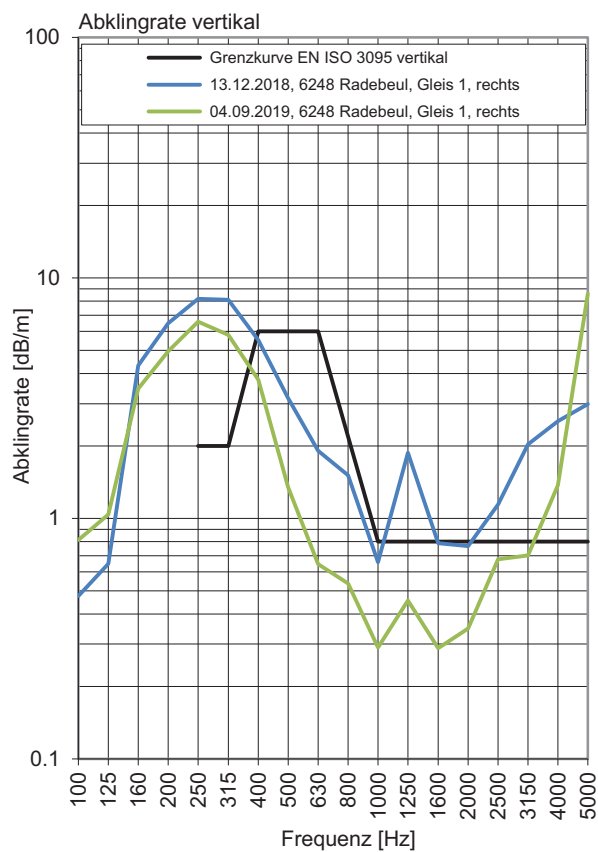
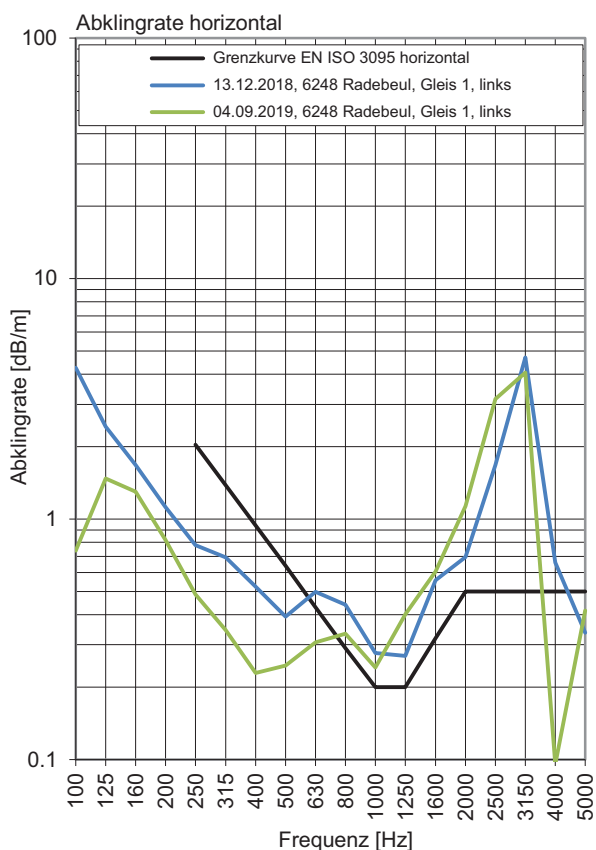
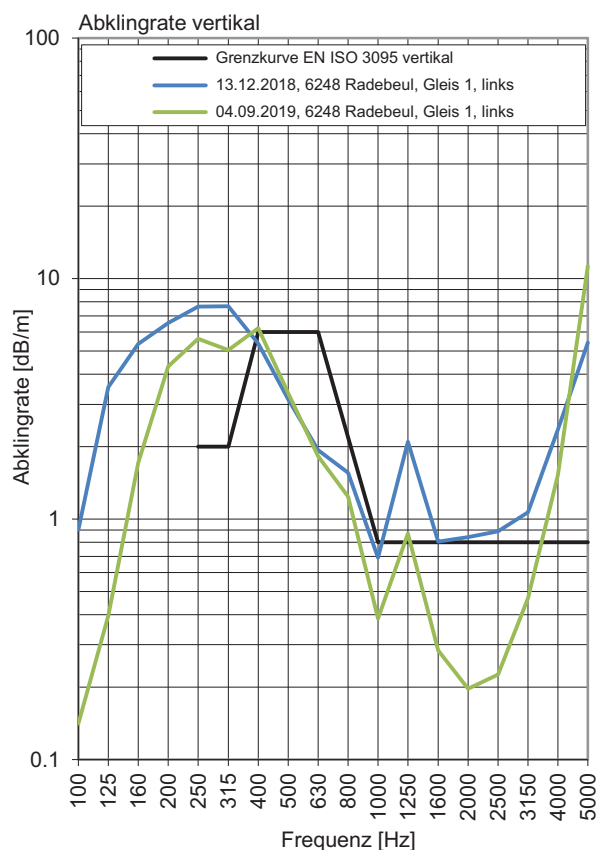
Gleis 1: Richtung Berlin

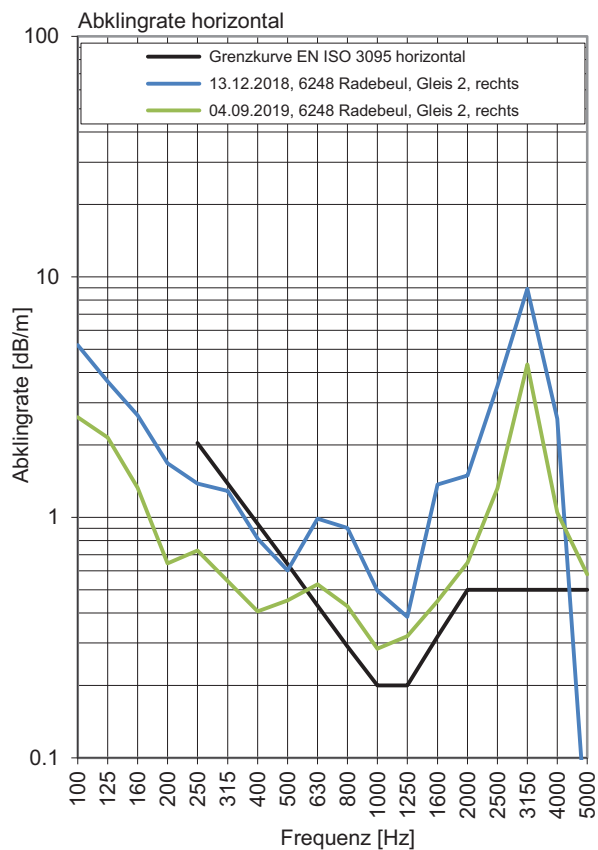
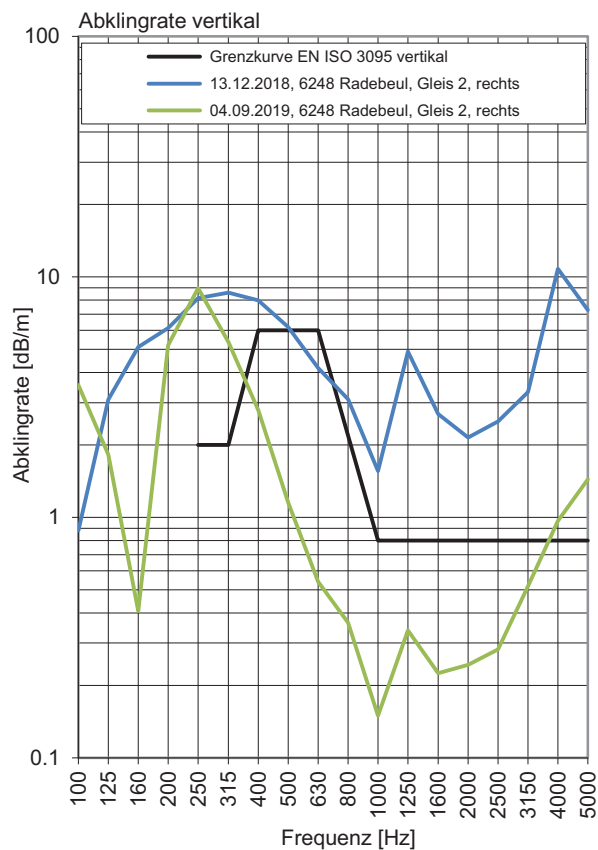
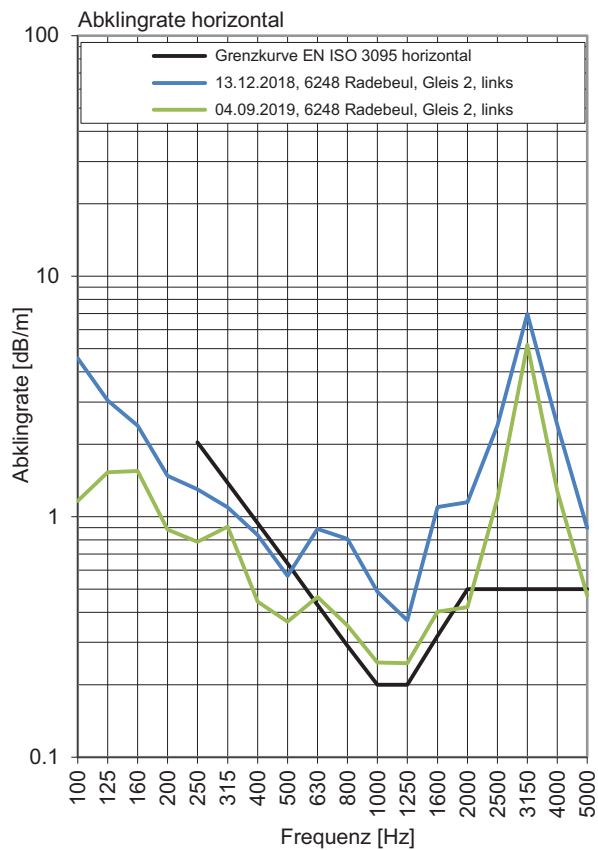
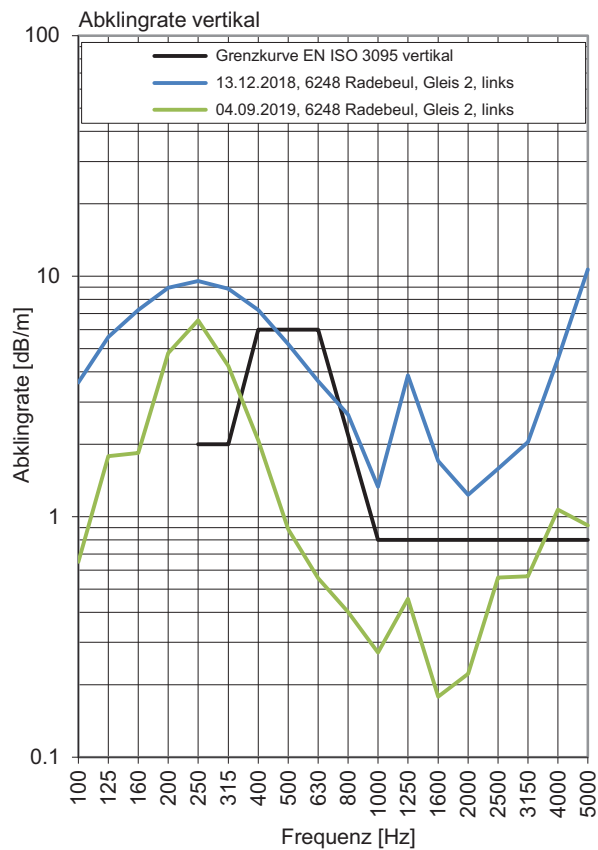
Gleis 2: Richtung Dresden

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





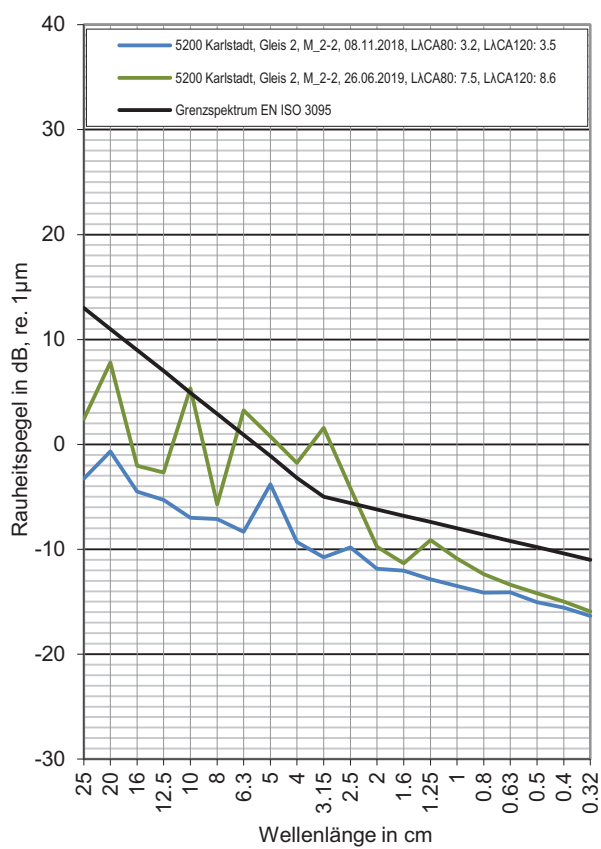
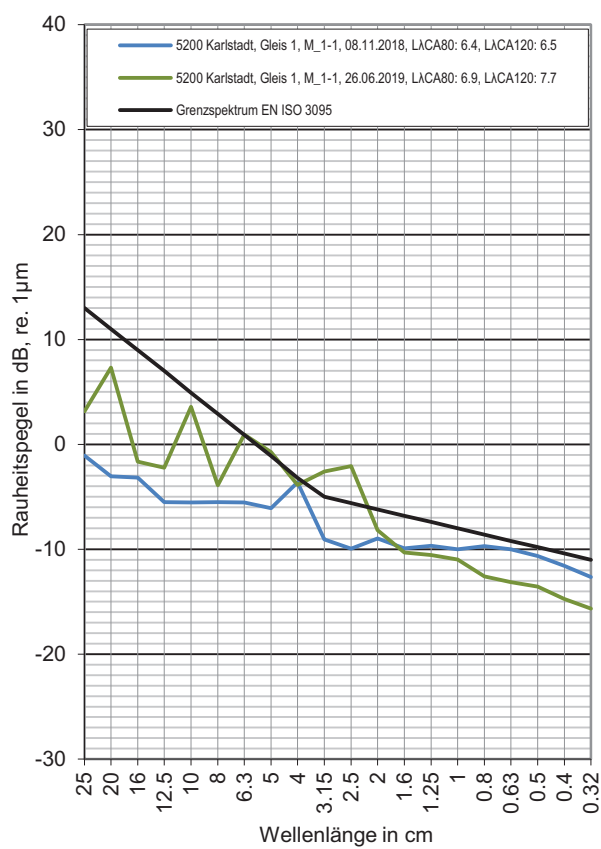
Messstelle Karlstadt

Strecke 5200, km 18,2

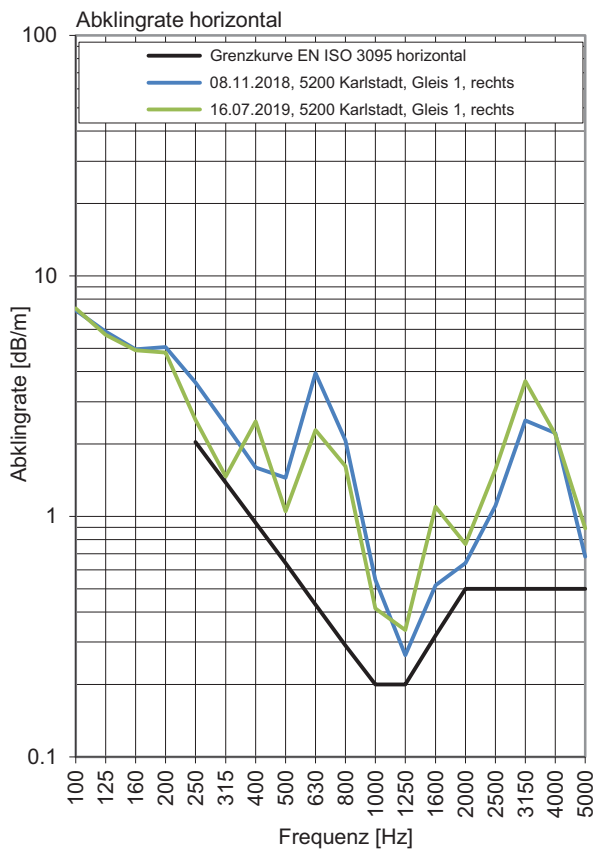
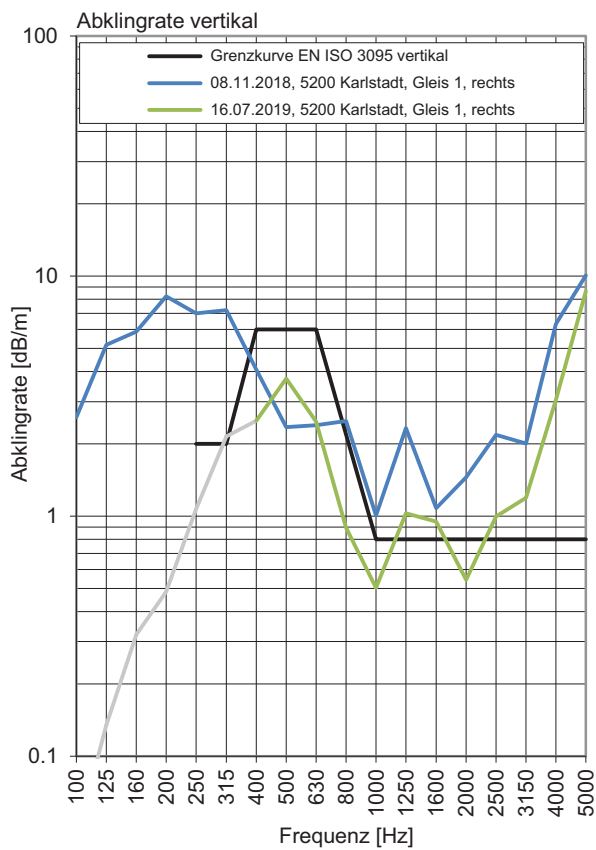
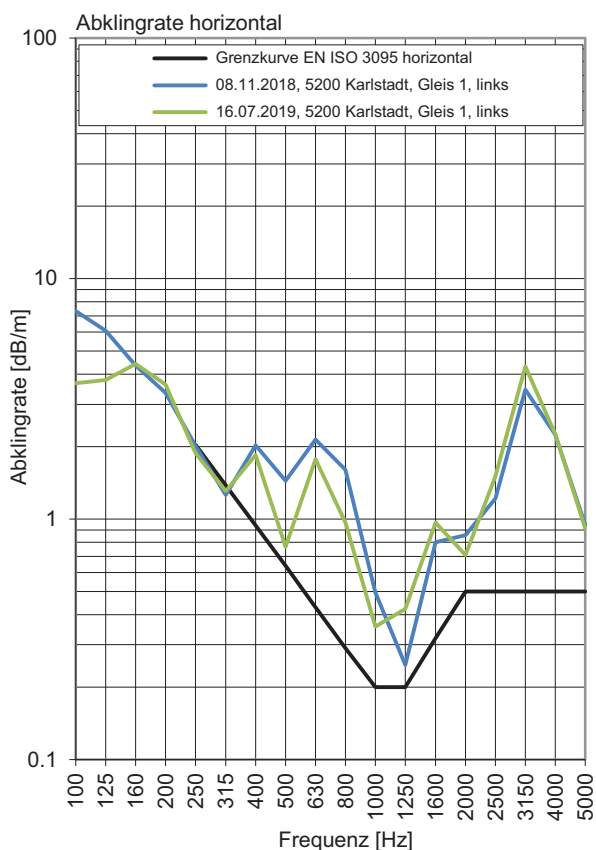
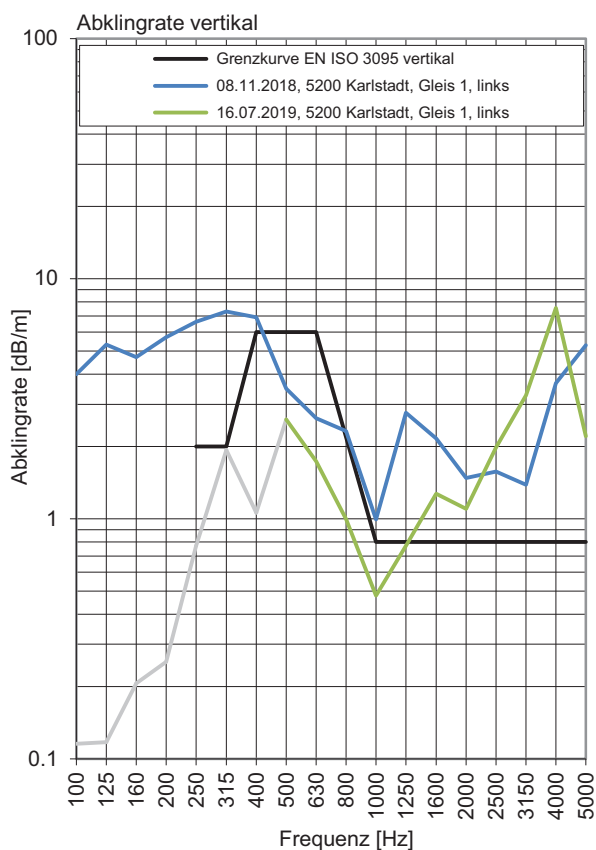
Gleis 1: Richtung Aschaffenburg

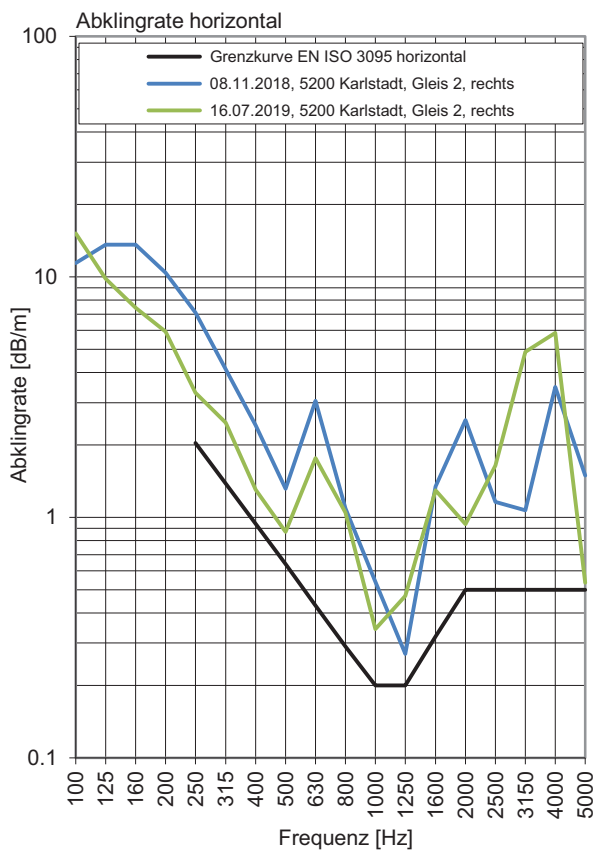
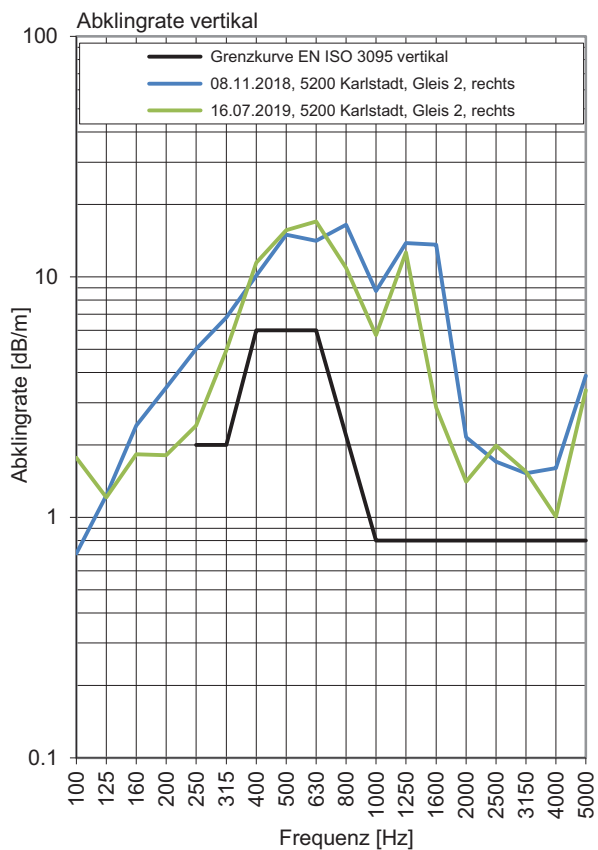
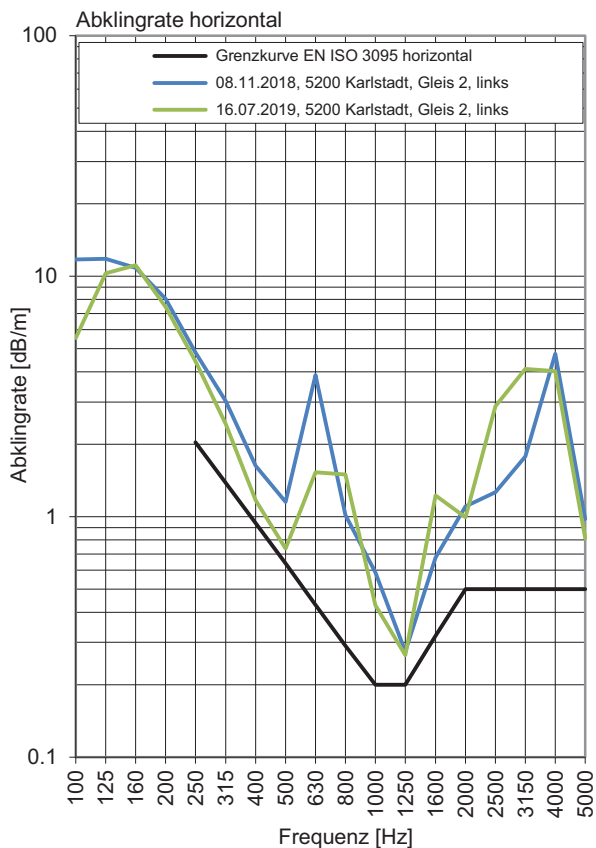
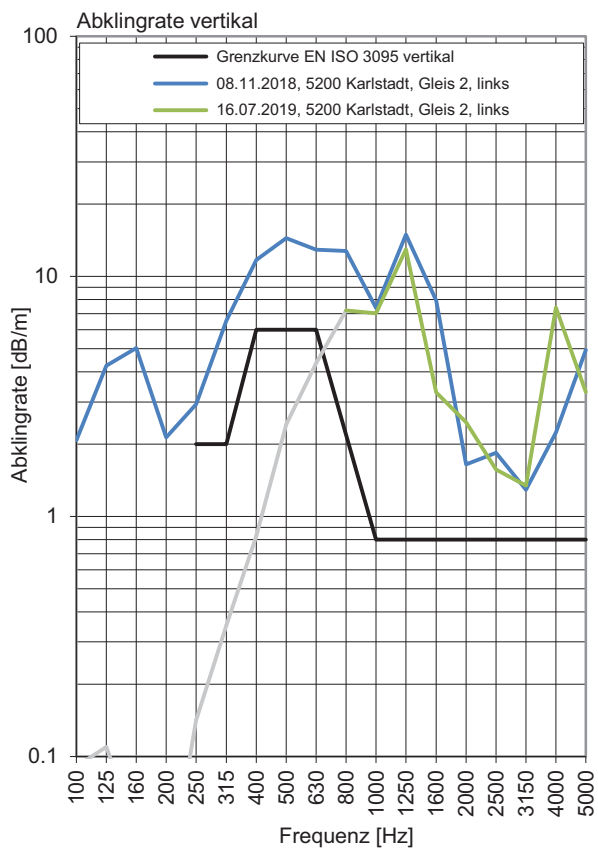
Gleis 2: Richtung Würzburg

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





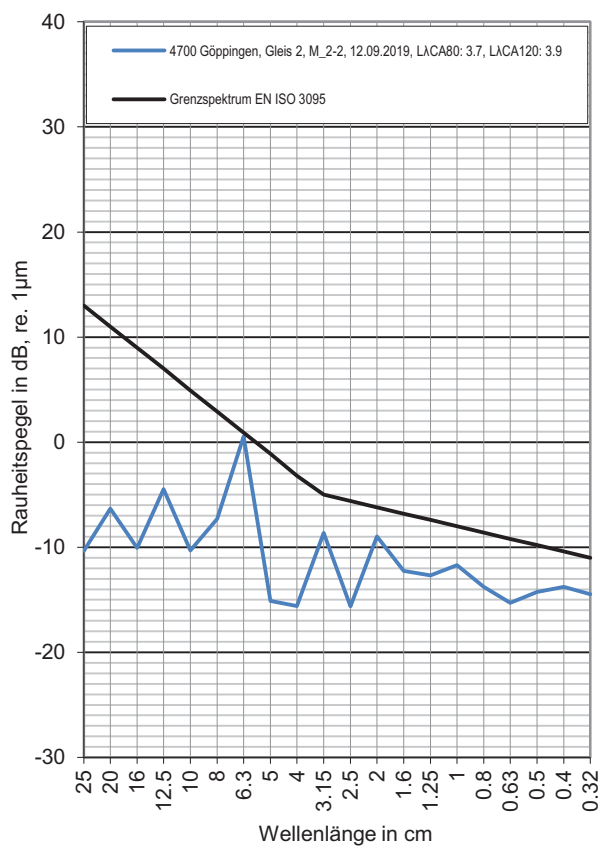
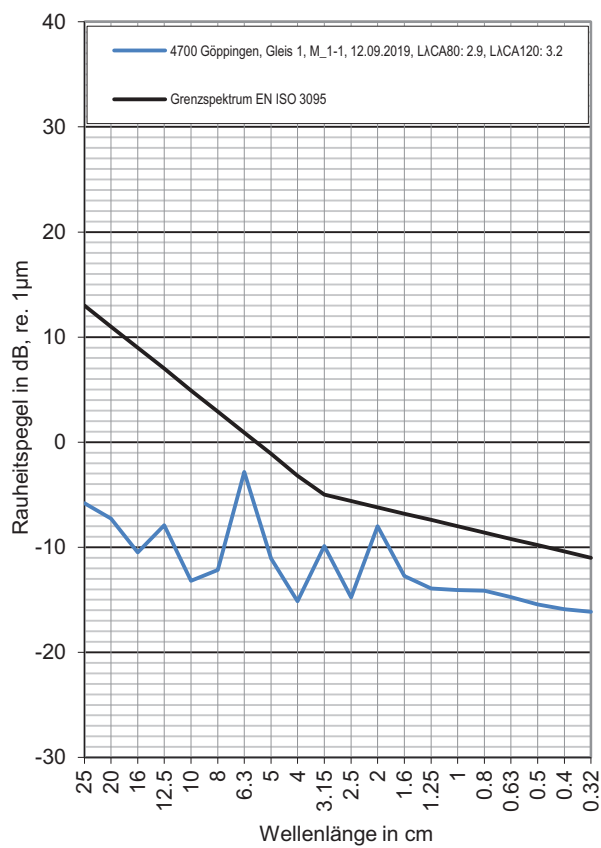
Messstelle Göppingen

Strecke 4700, km 51,2

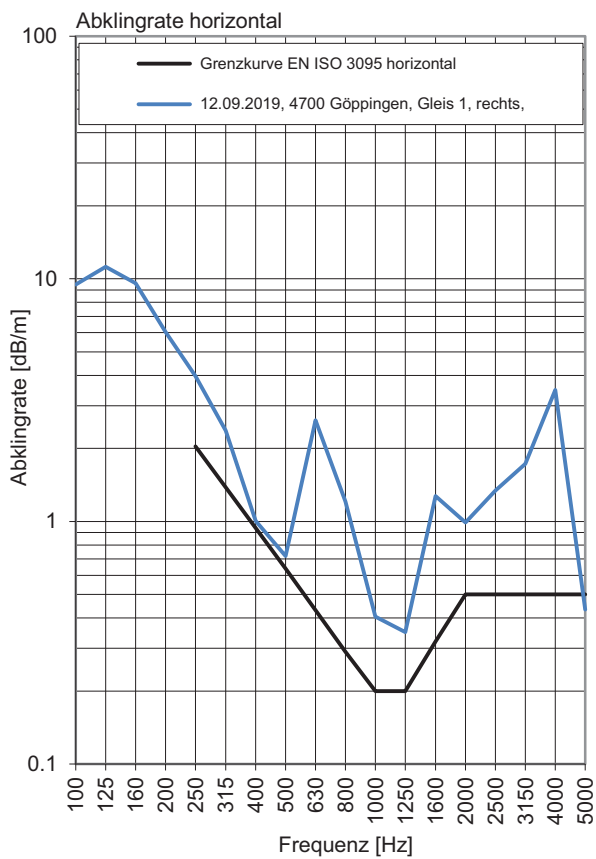
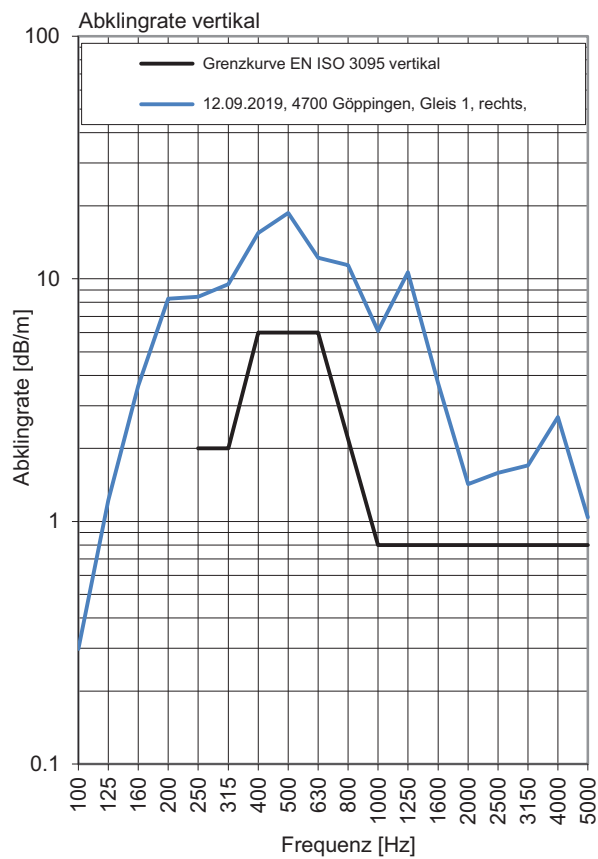
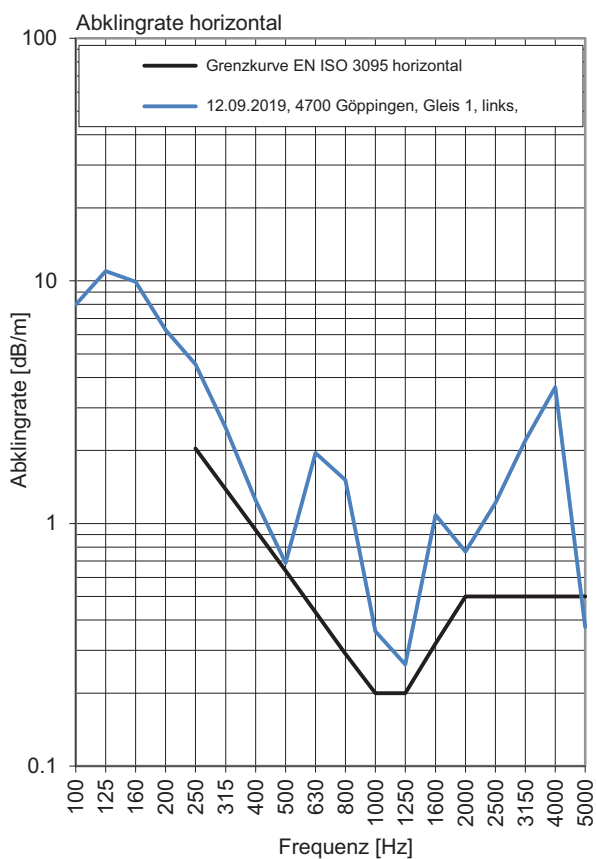
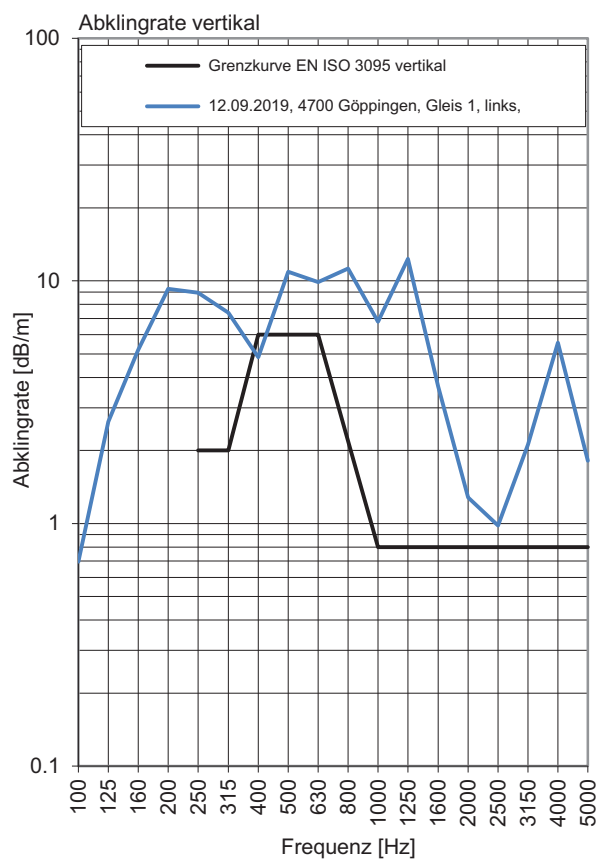
Gleis 1: Richtung Stuttgart

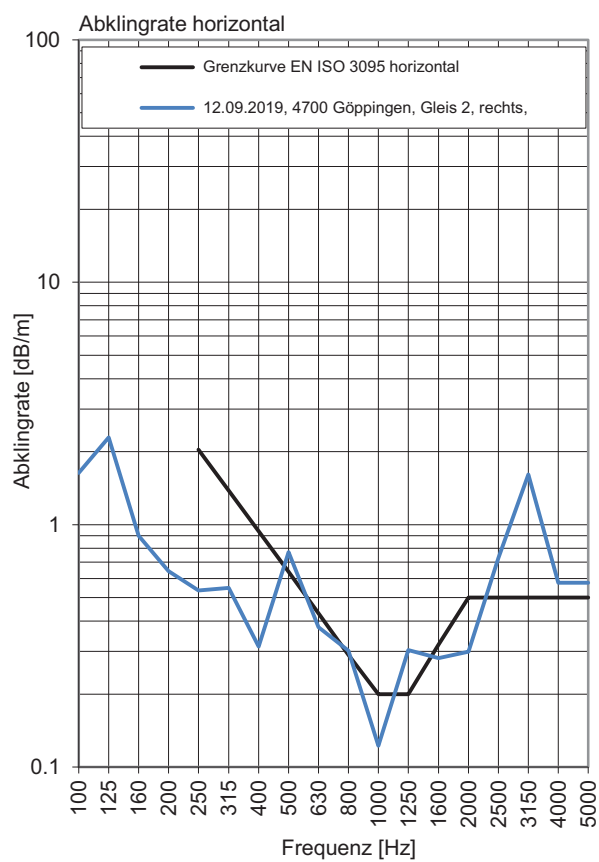
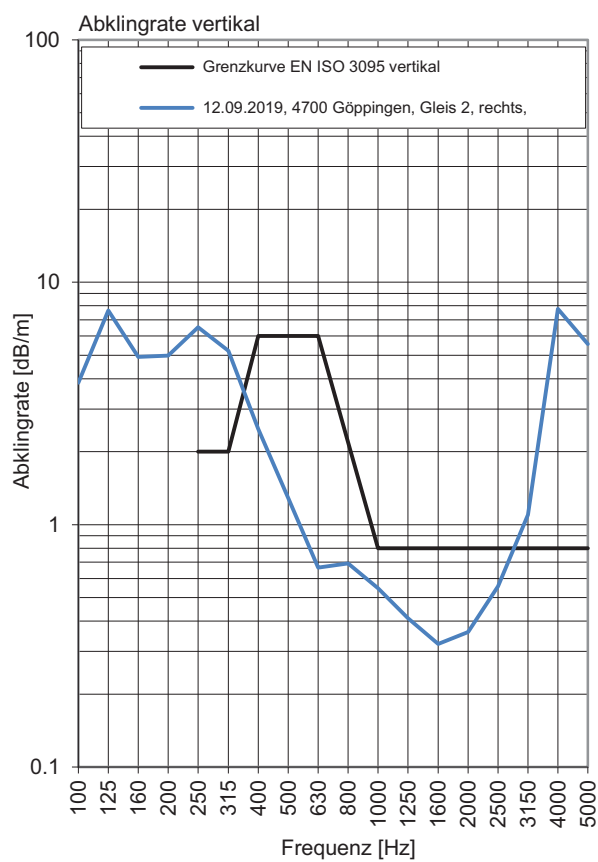
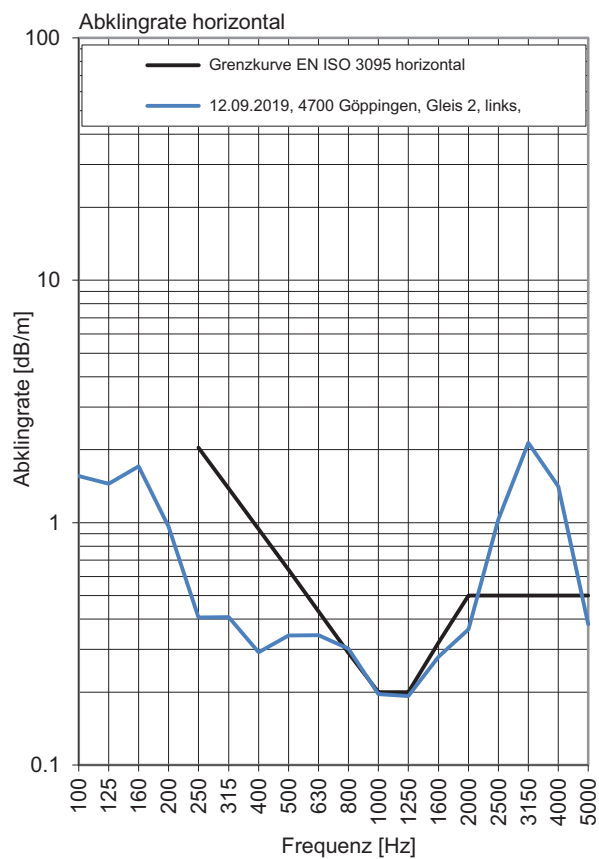
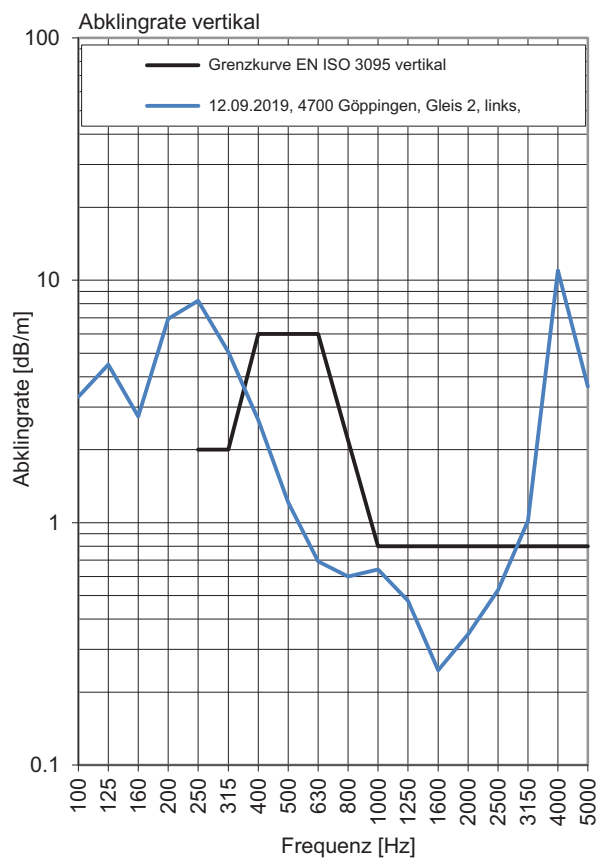
Gleis 2: Richtung Ulm

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





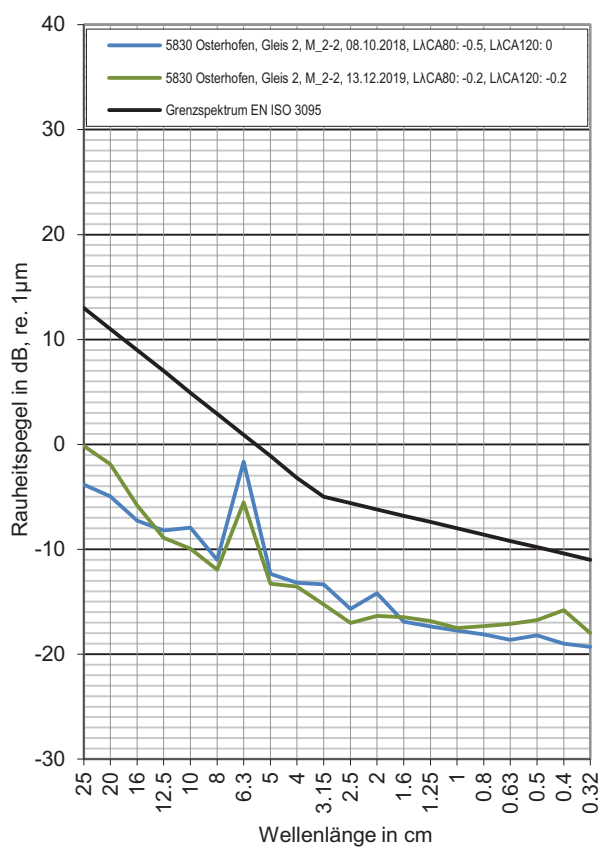
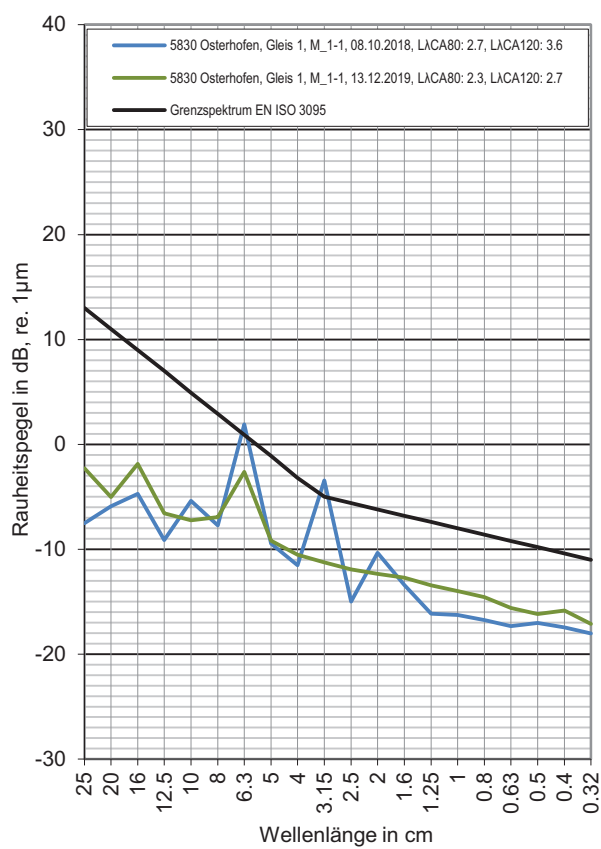
Messstelle Osterhofen

Strecke 5830, km 30,1

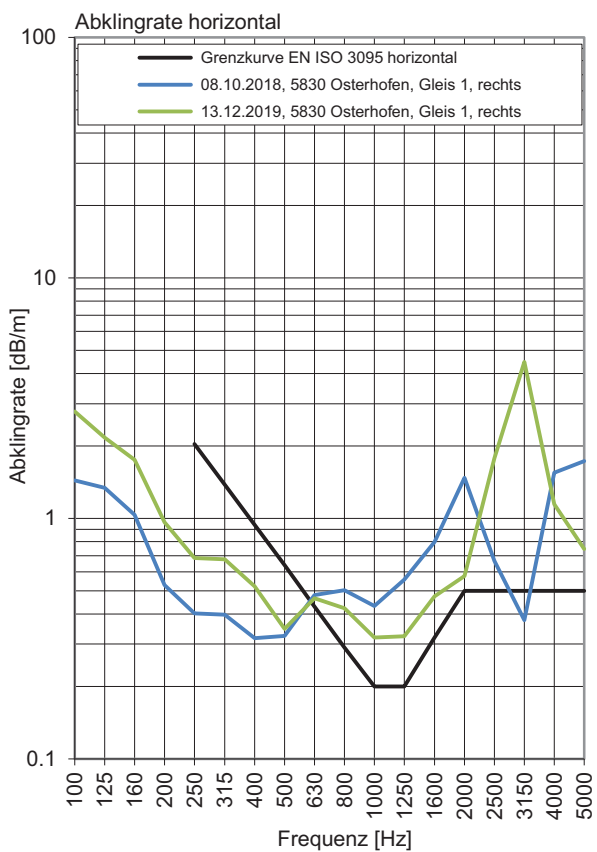
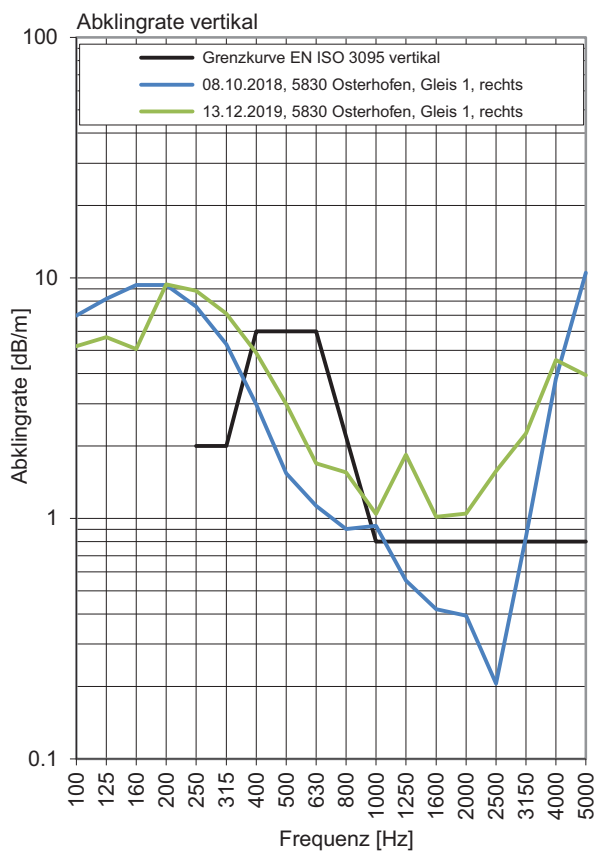
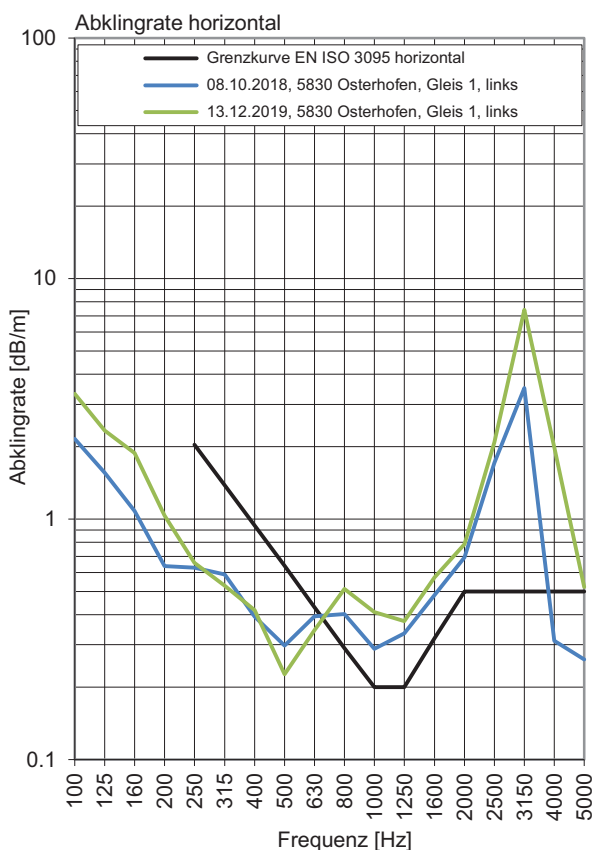
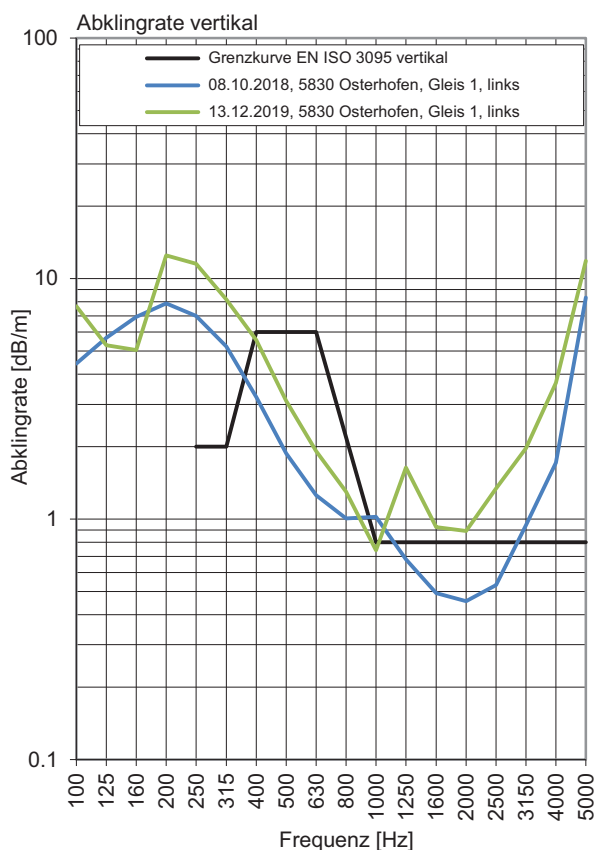
Gleis 1: Richtung Regensburg

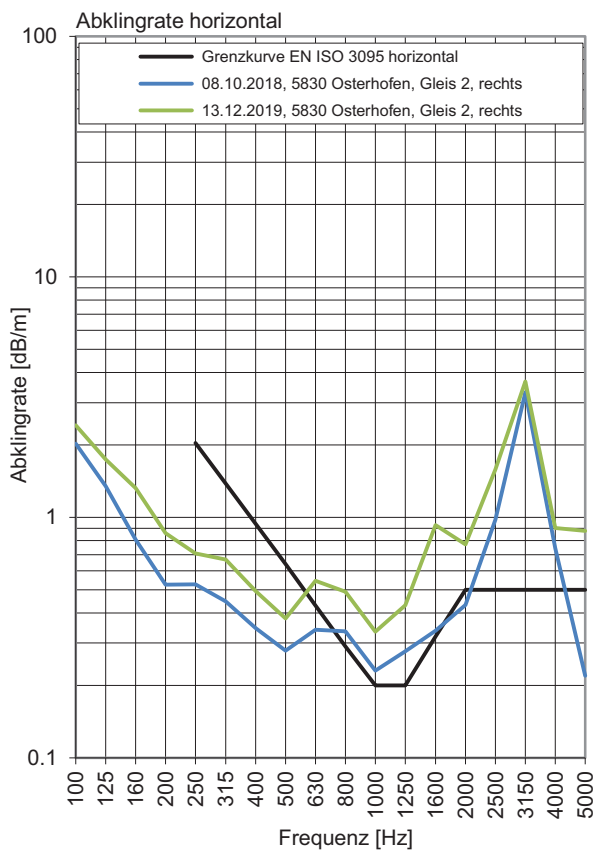
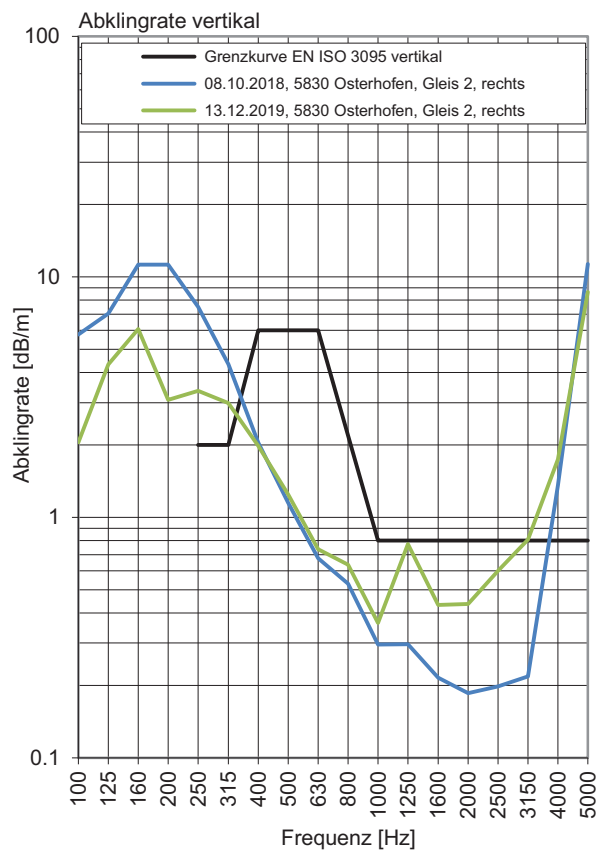
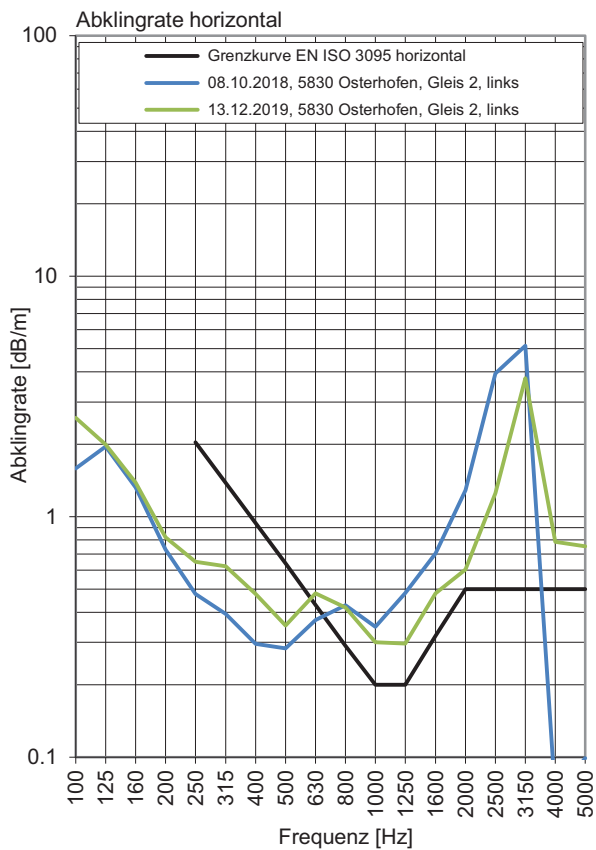
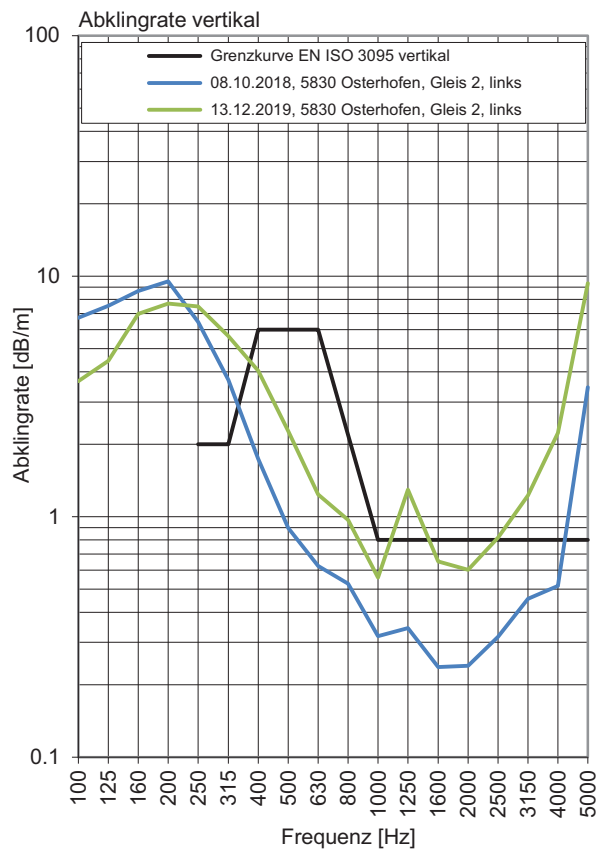
Gleis 2: Richtung Passau

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





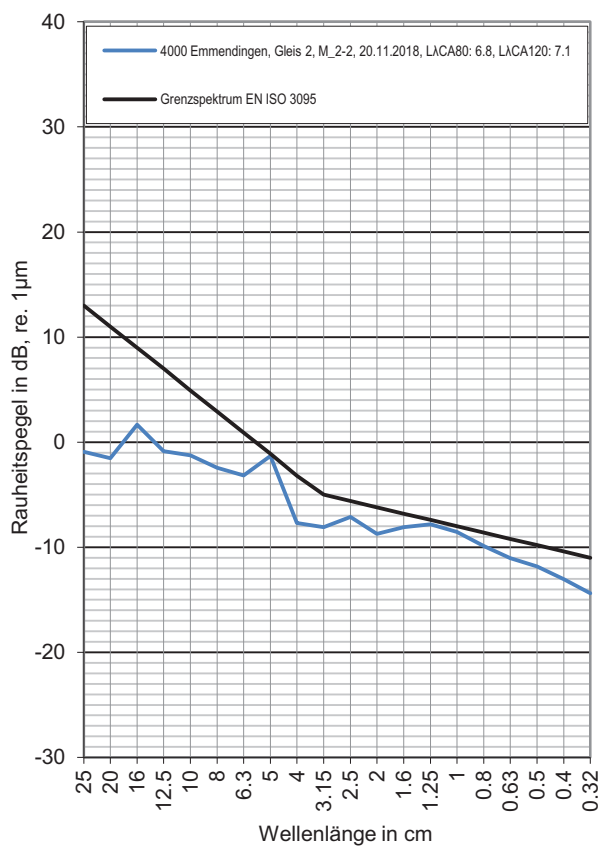
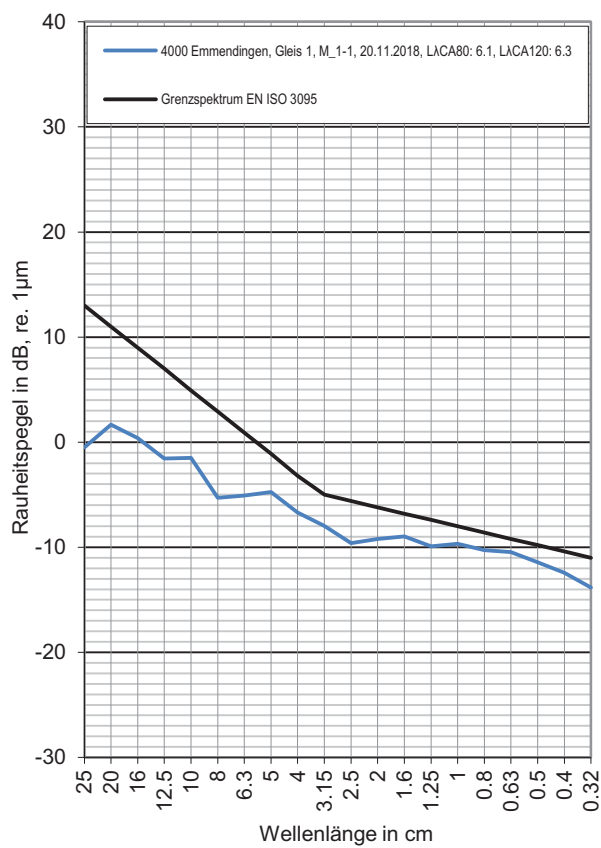
Messstelle Emmendingen

Strecke 4000, km 197,8

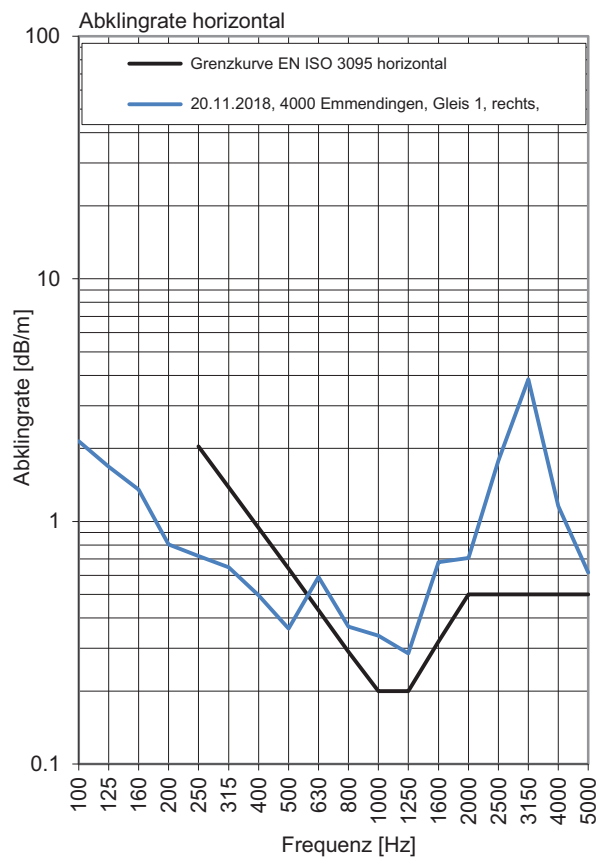
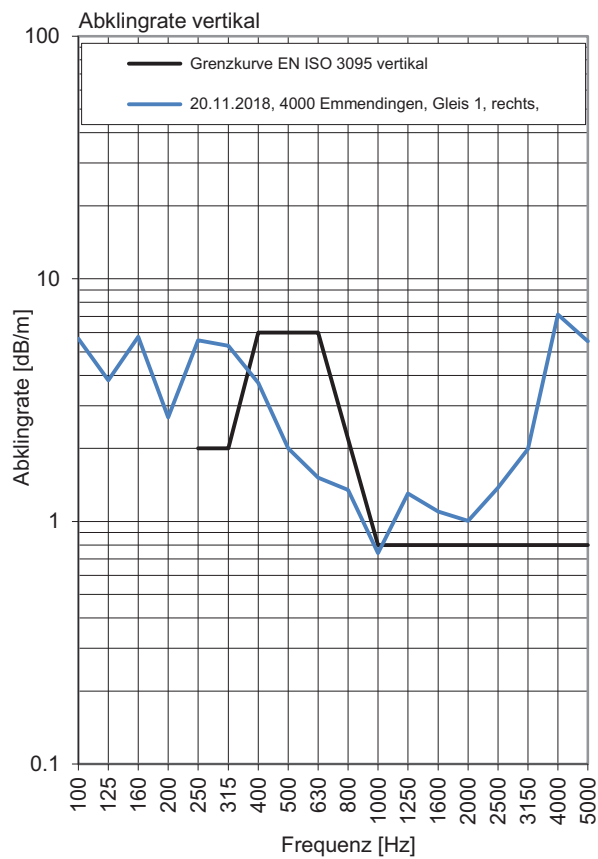
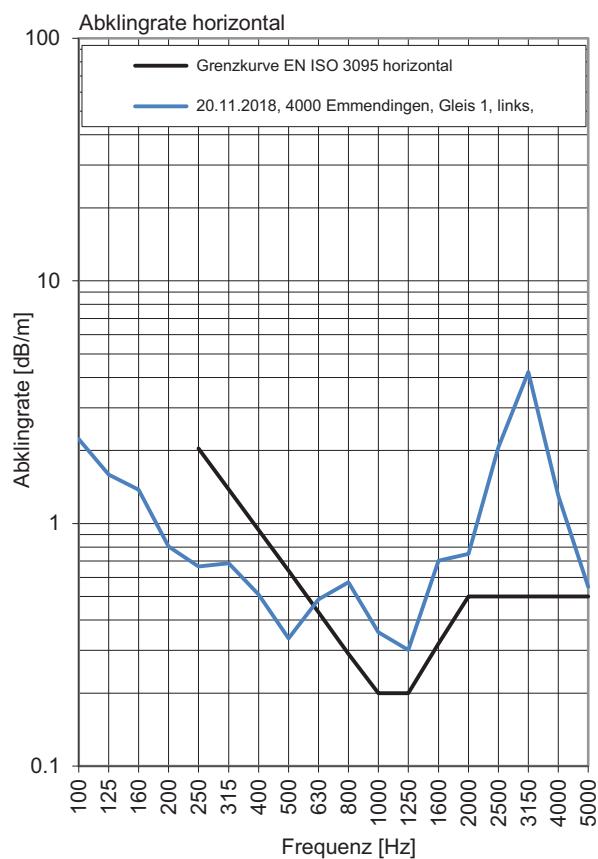
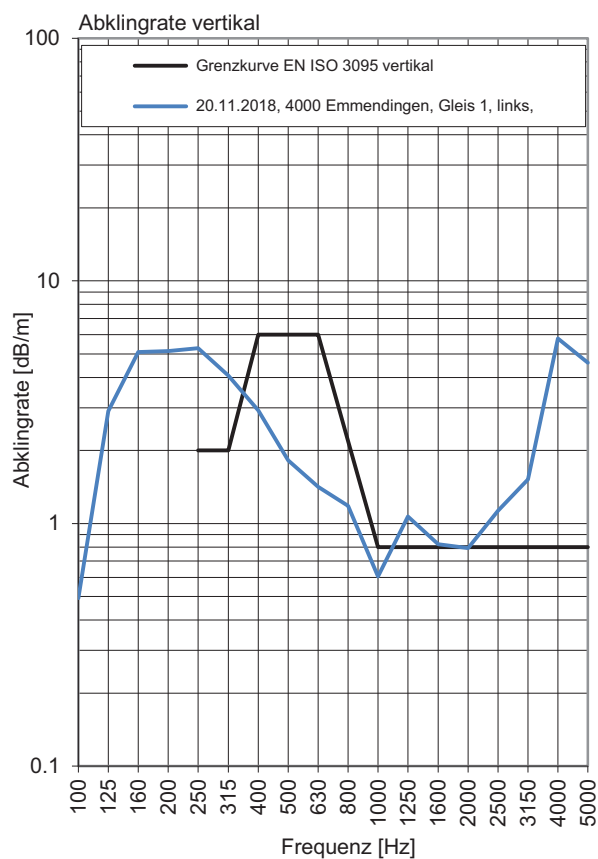
Gleis 1: Richtung Mannheim

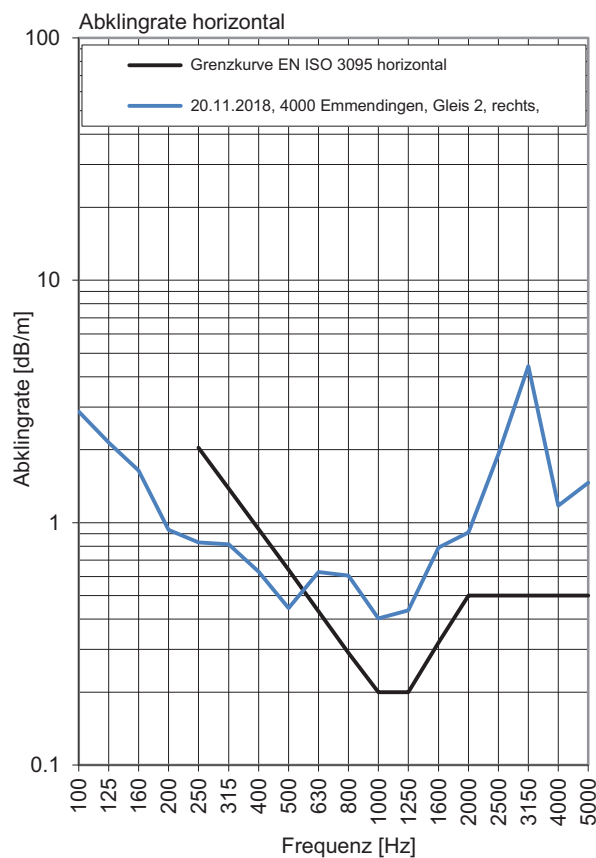
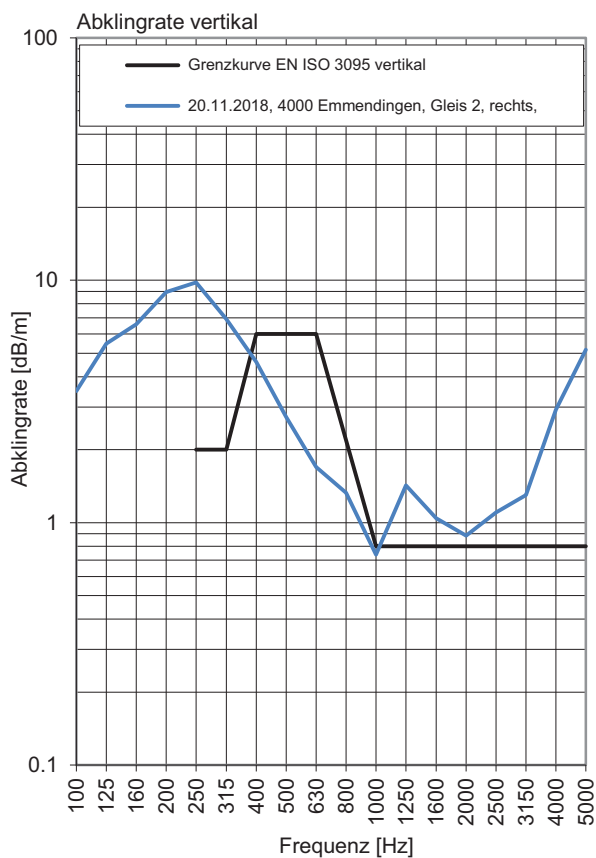
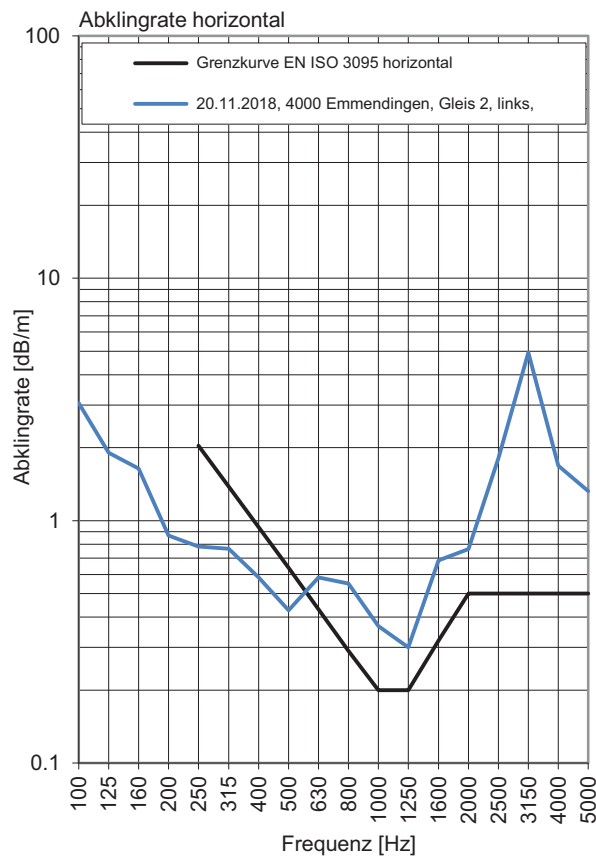
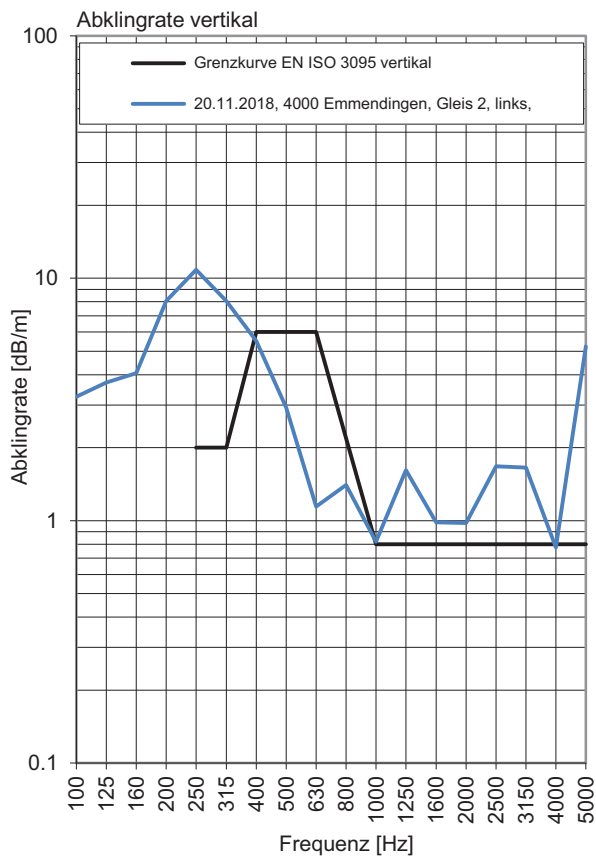
Gleis 2: Richtung Basel

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





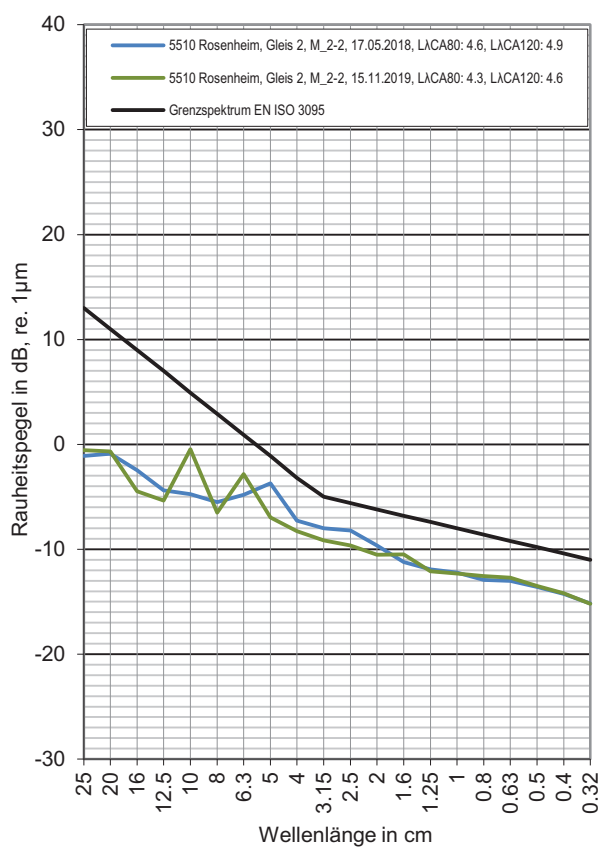
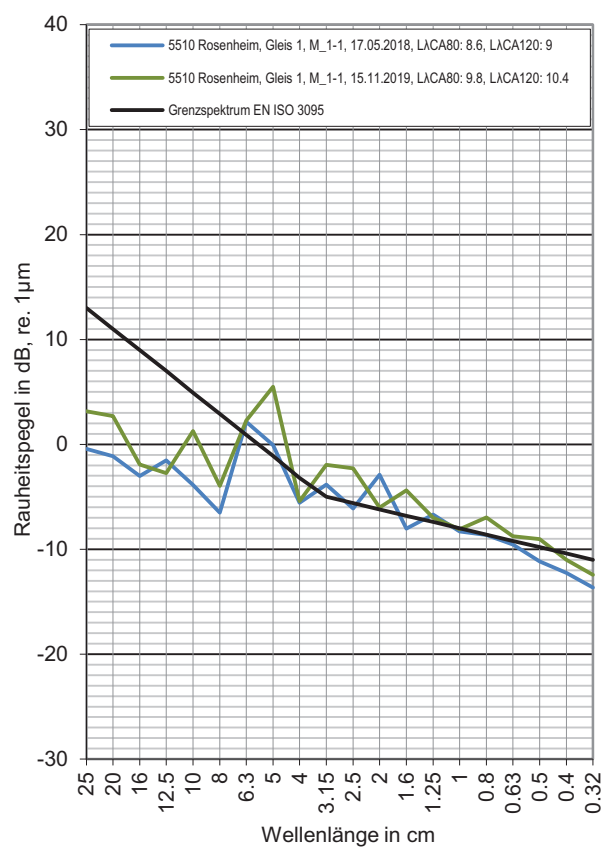
Messstelle Rosenheim

Strecke 5510, km 53,7

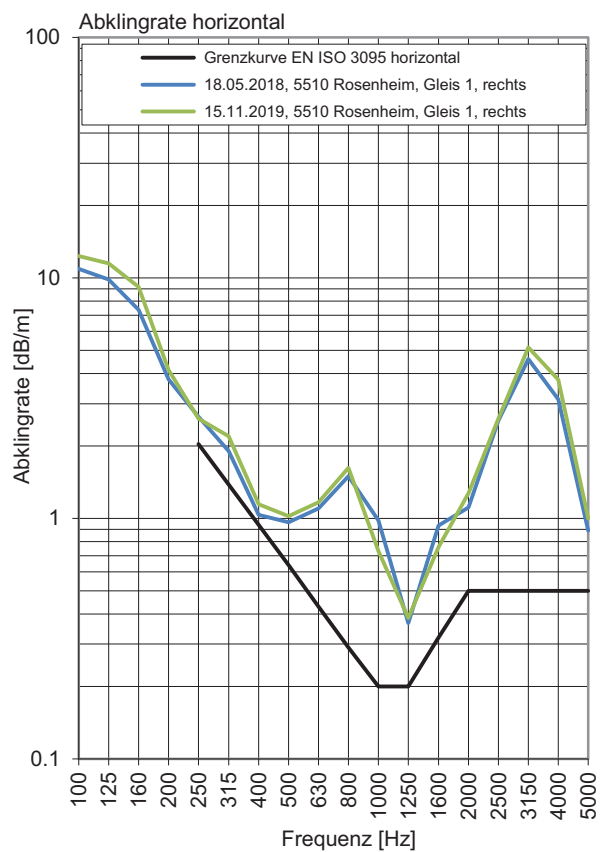
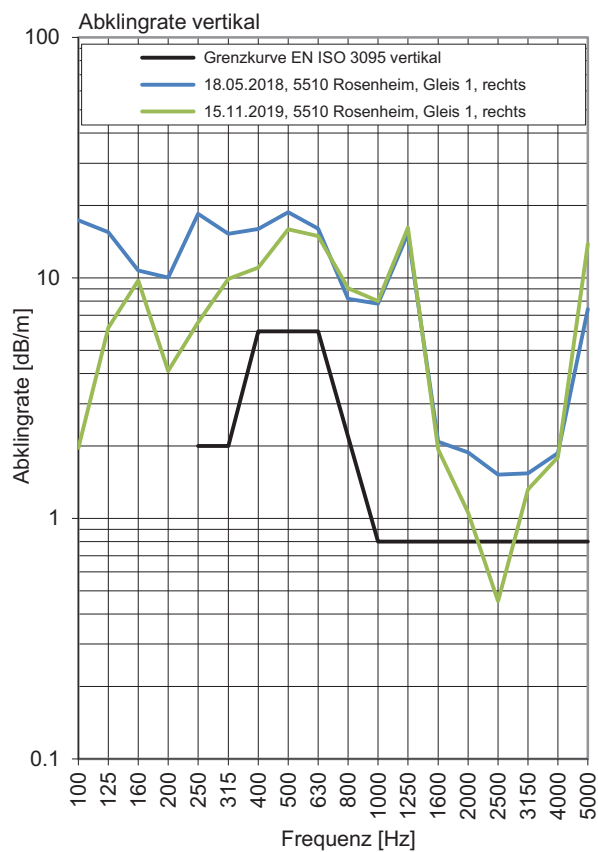
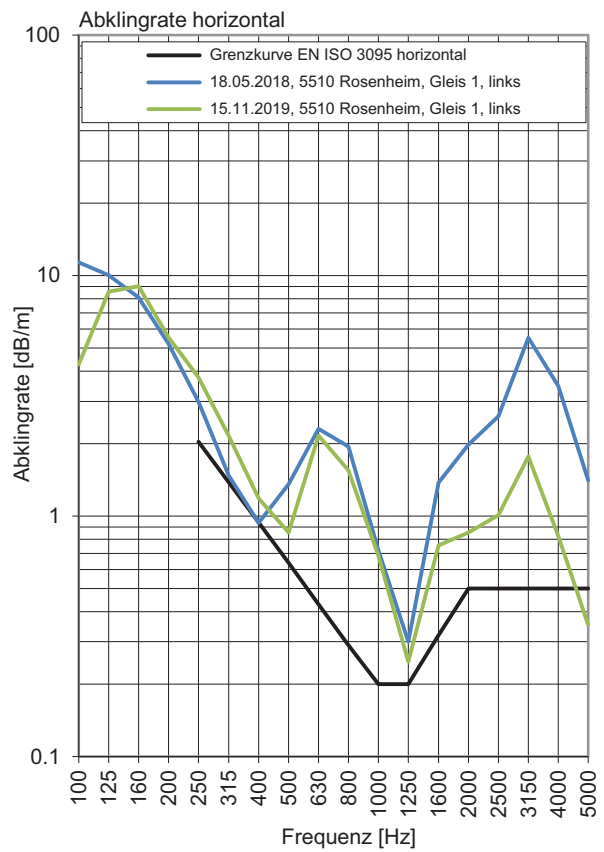
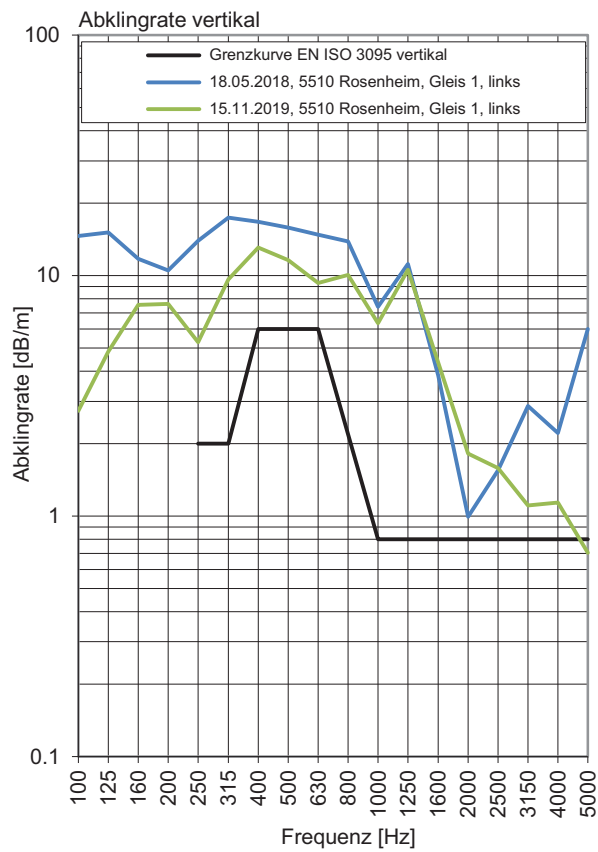
Gleis 1: Richtung Rosenheim

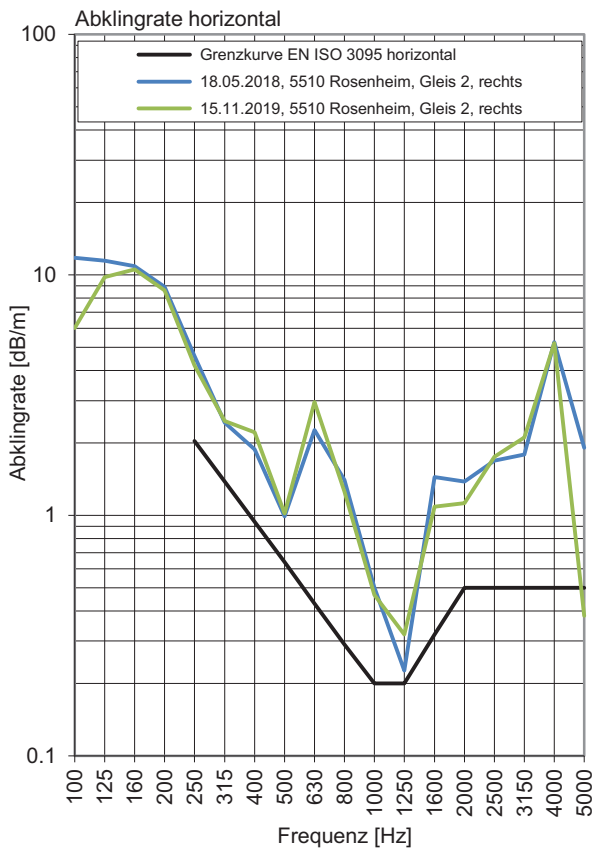
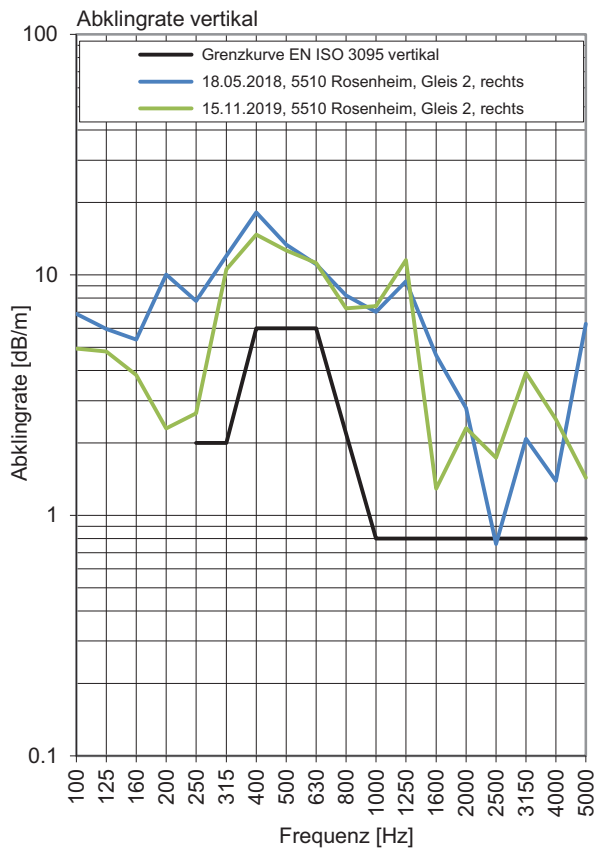
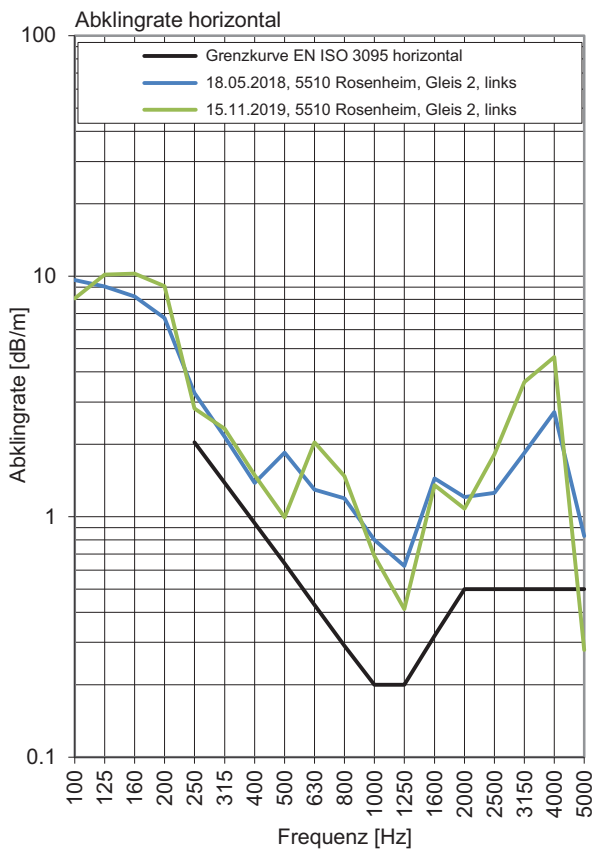
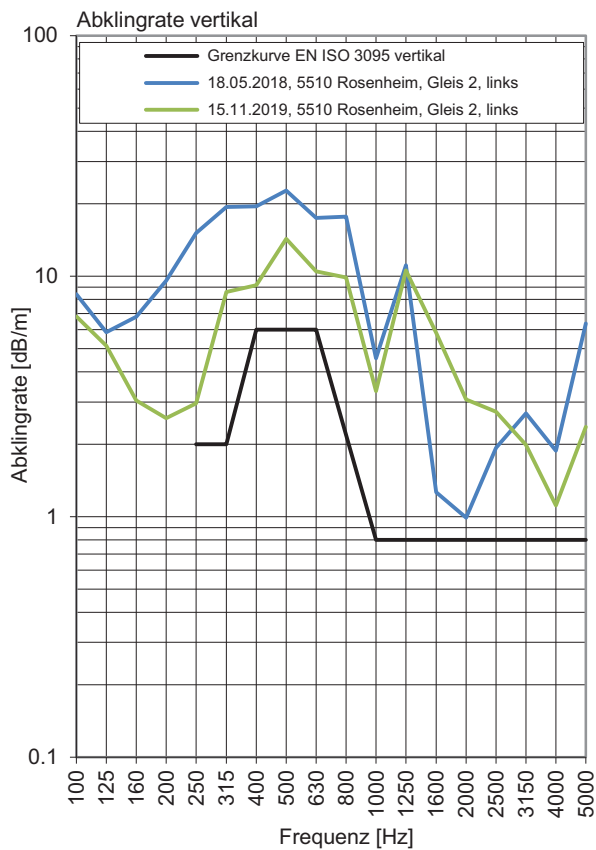
Gleis 2: Richtung München

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





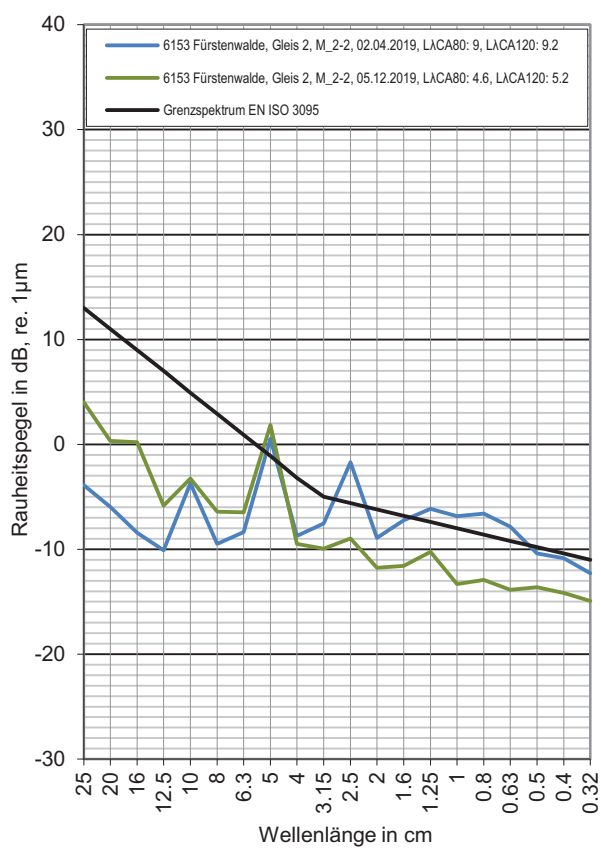
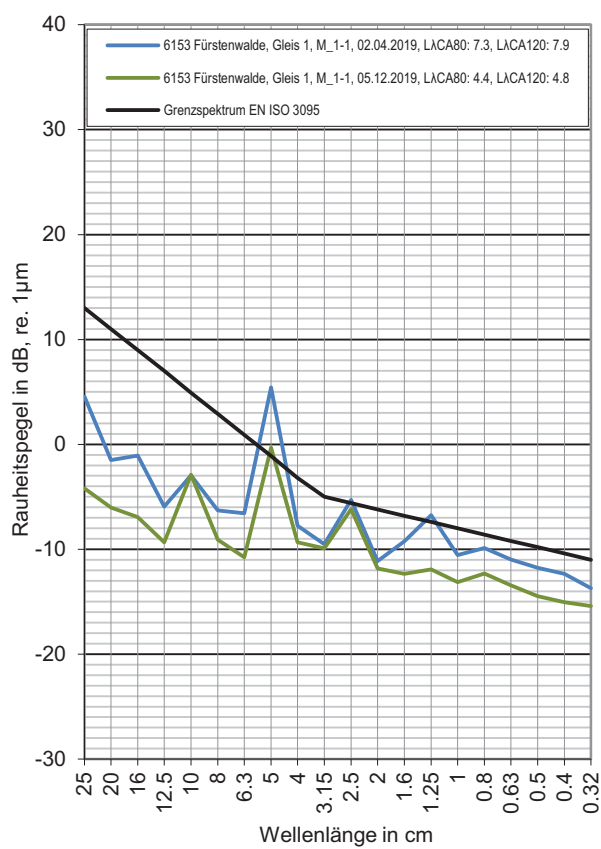
Messstelle Fürstenwalde

Strecke 6153, km 66,9

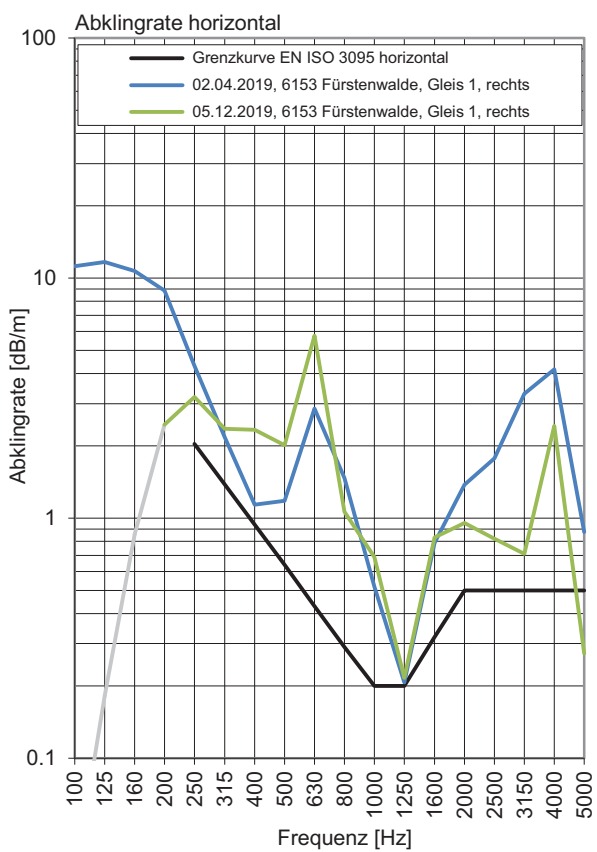
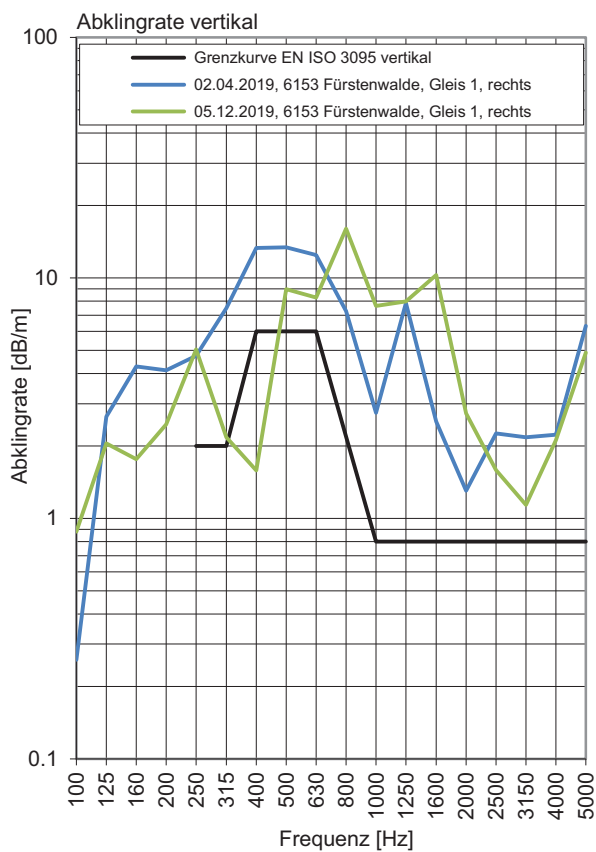
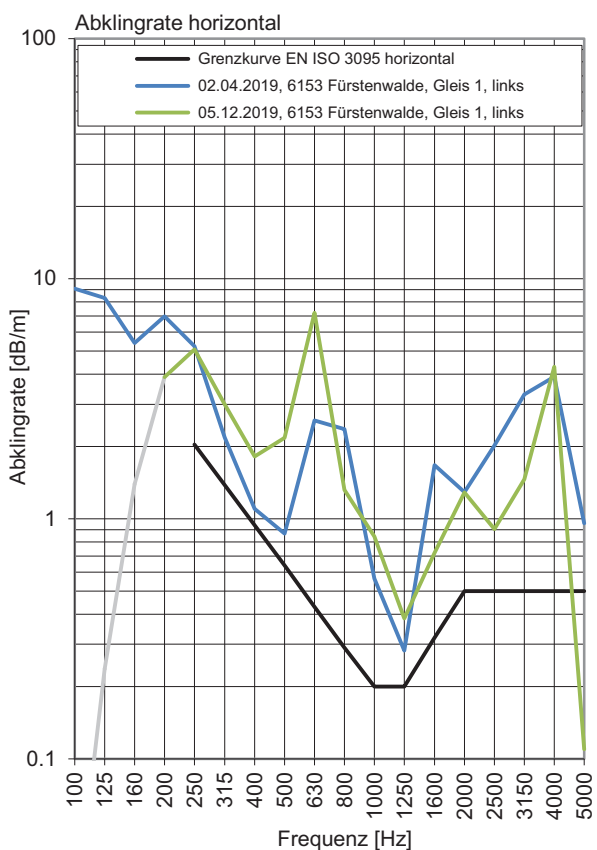
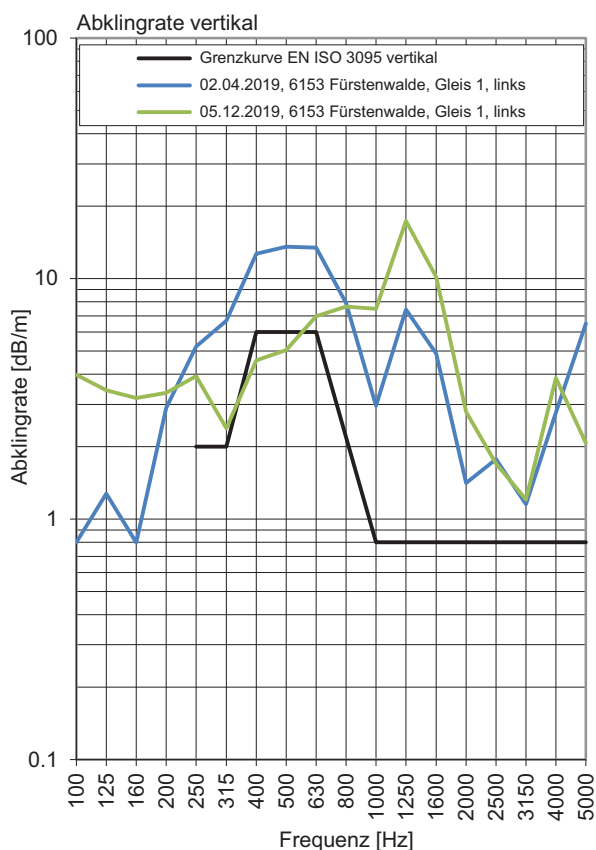
Gleis 1: Richtung Berlin

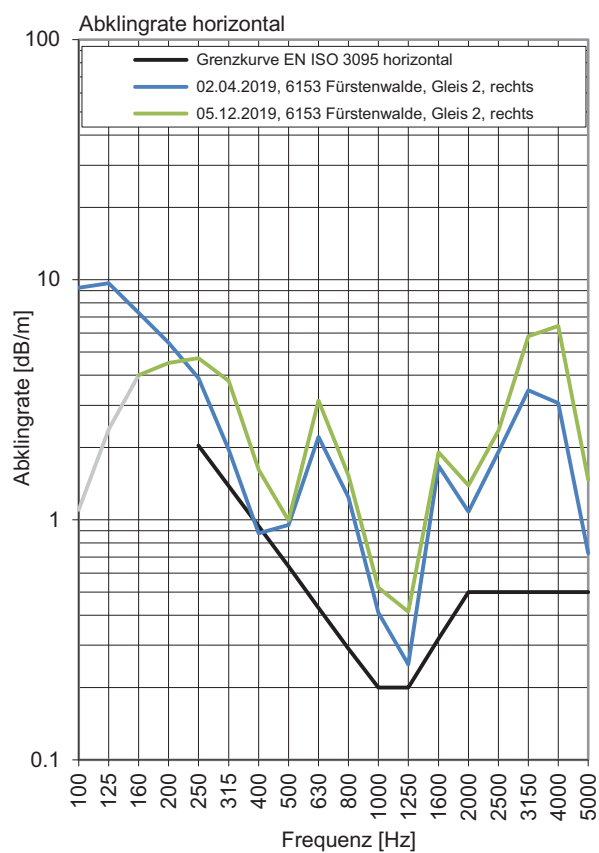
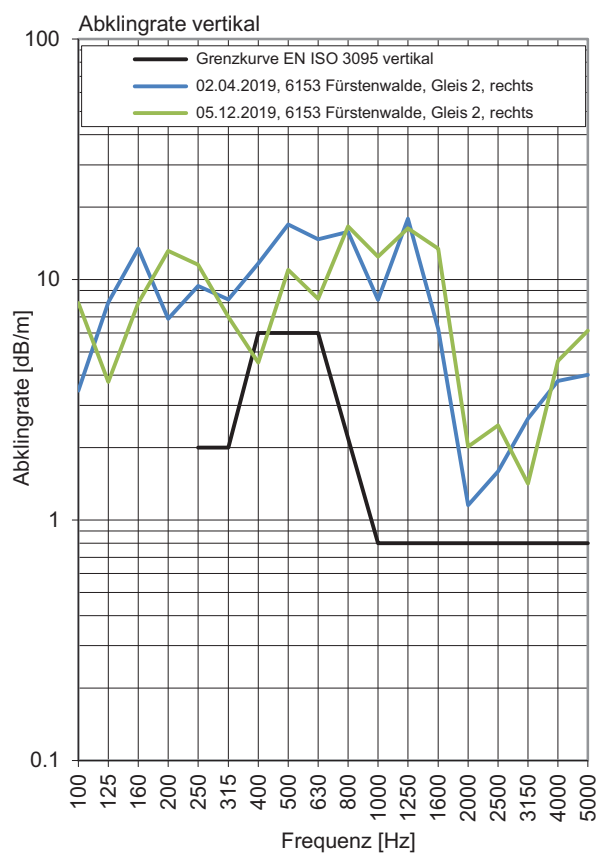
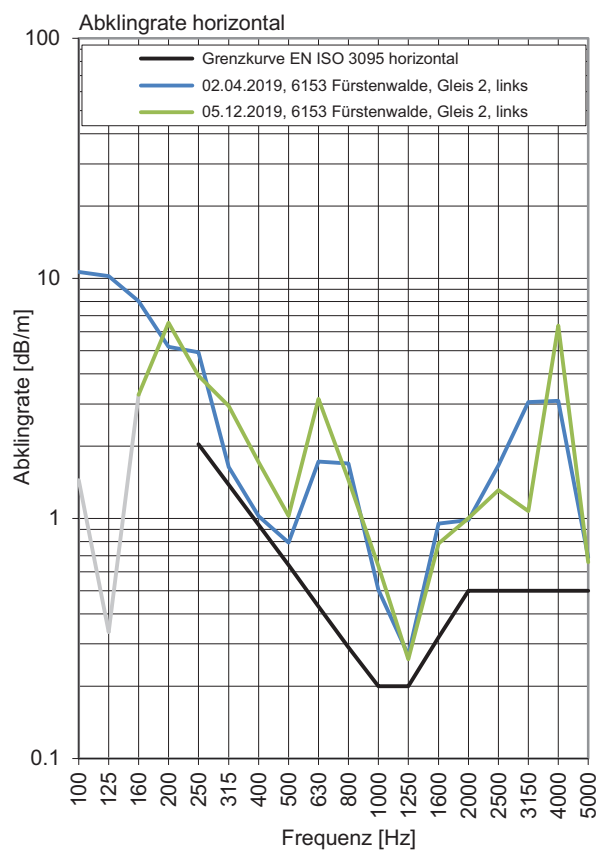
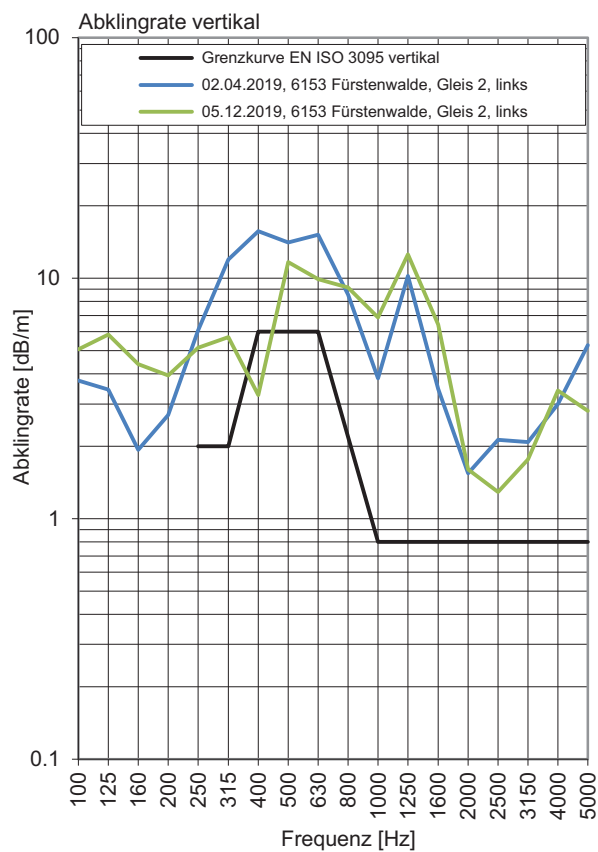
Gleis 2: Richtung Frankfurt/Oder

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





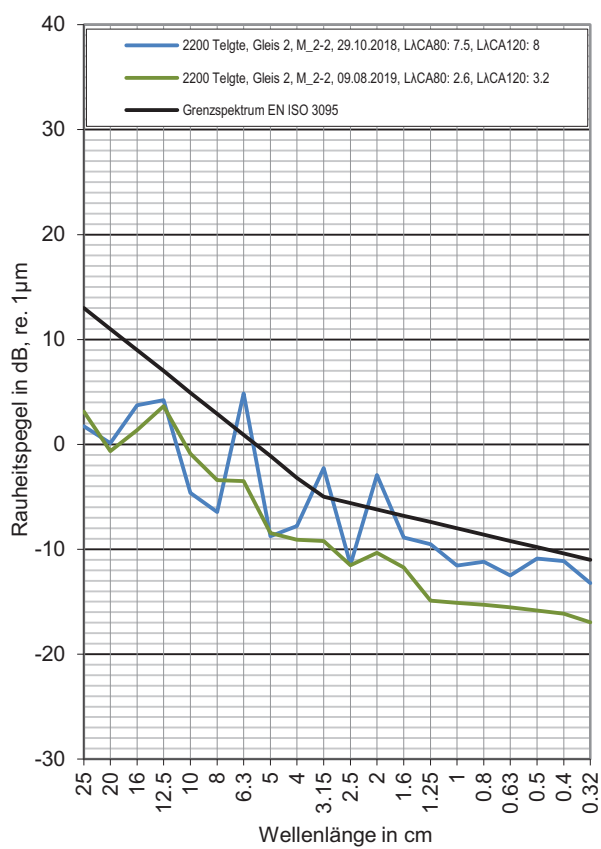
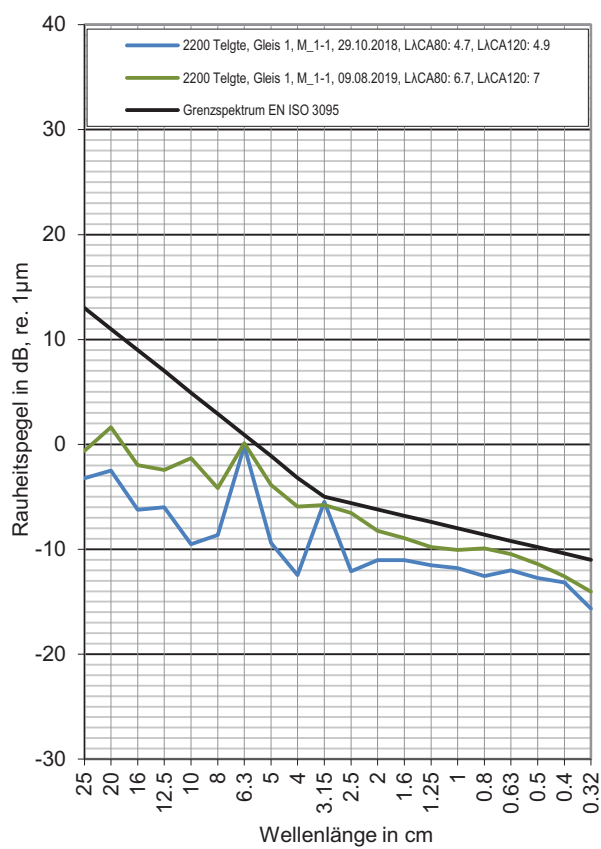
Messstelle Telgte

Strecke 2200, km 82,2

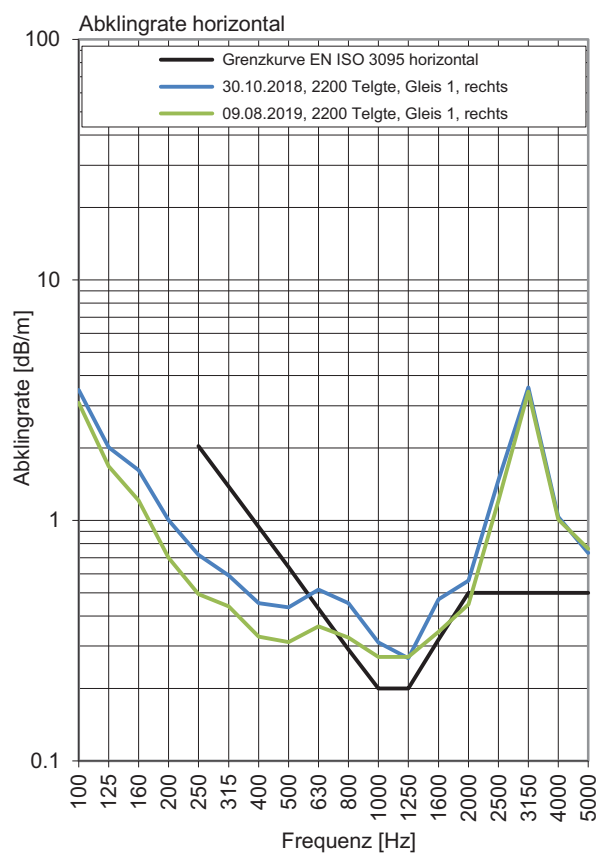
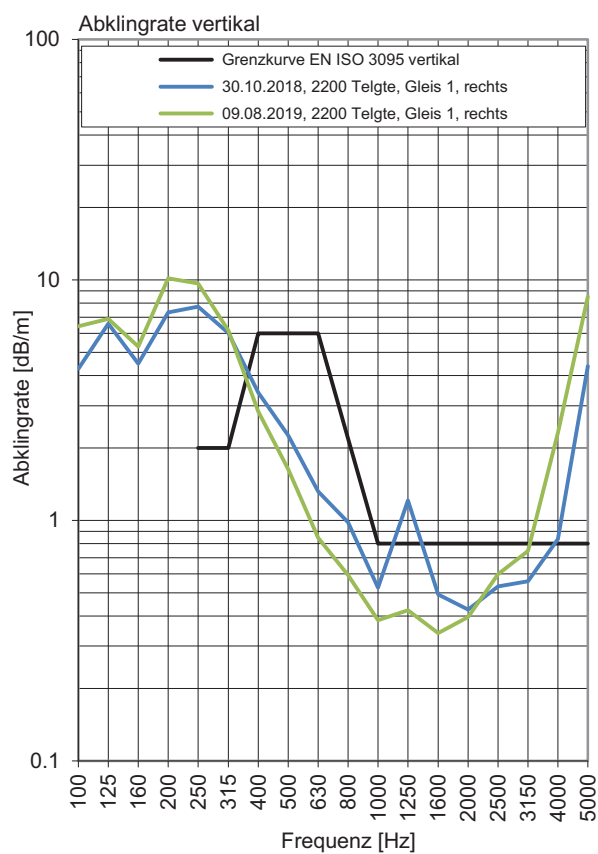
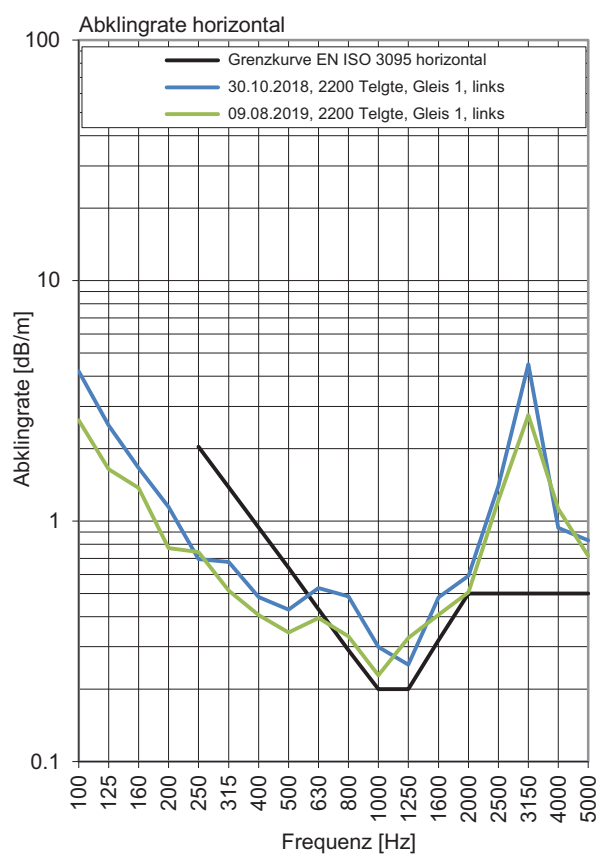
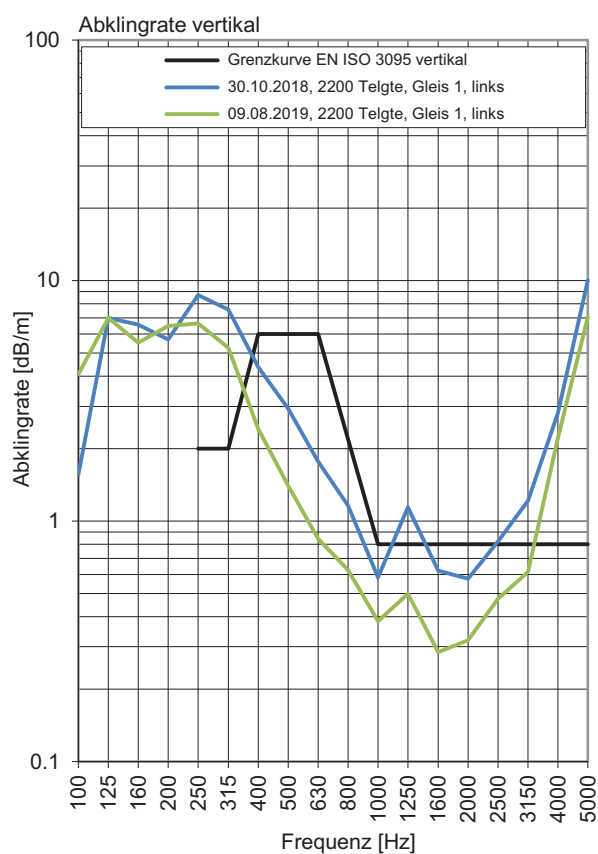
Gleis 1: Richtung Osnabrück

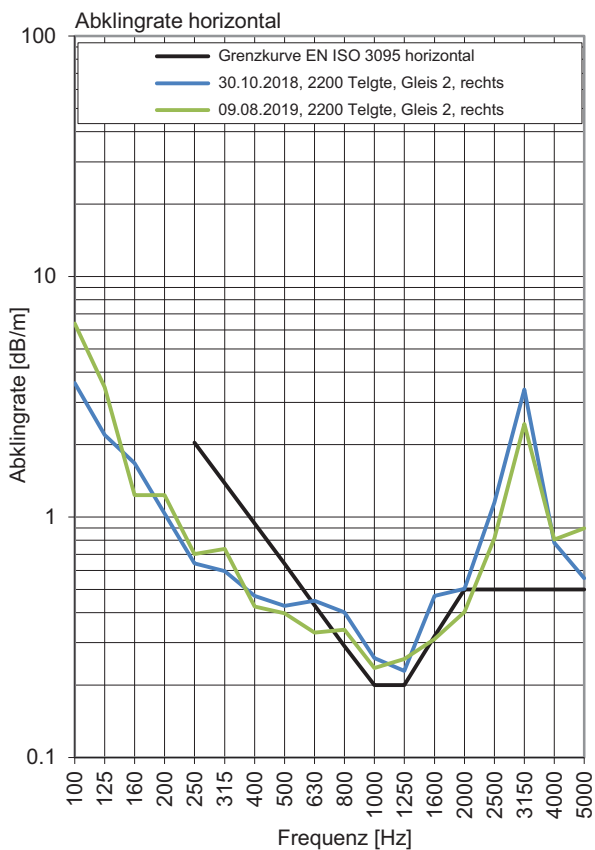
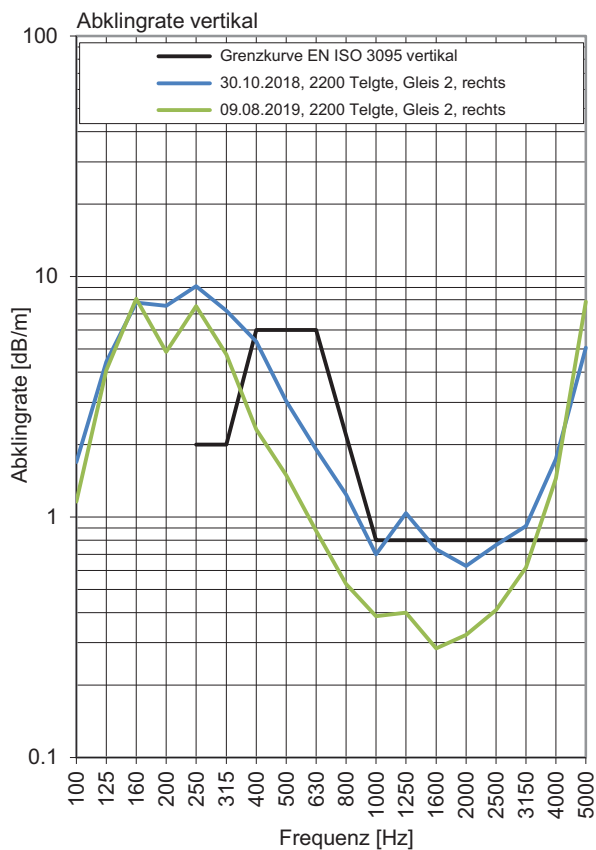
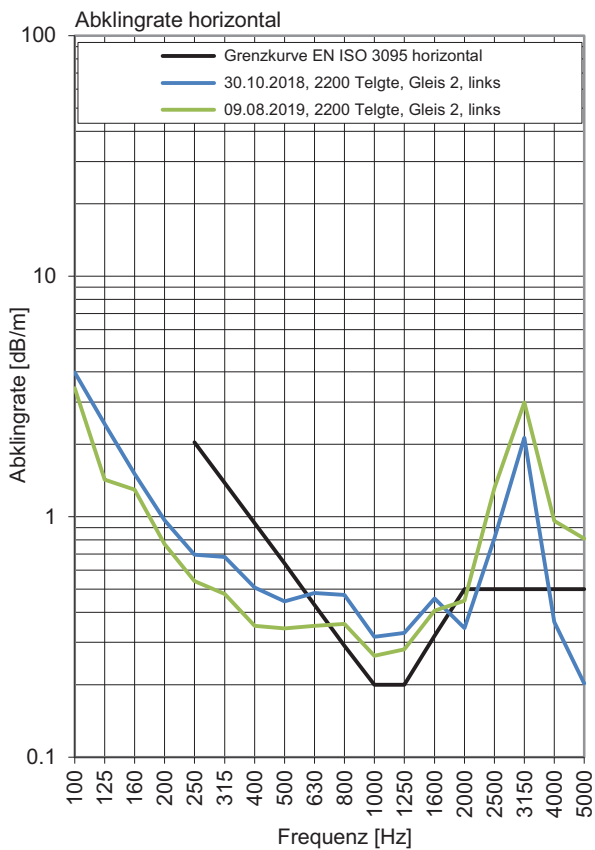
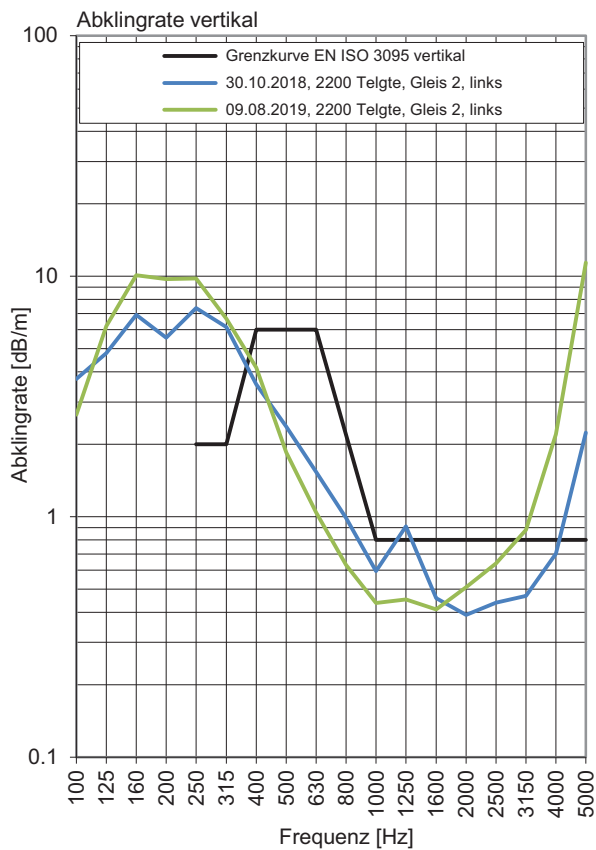
Gleis 2: Richtung Münster

Terzpegelspektrum der Schienenrauheit



Gleisabklingrate





6 Anhang: Literatur

- [1] E DIN 38452-1:2020-03; Langzeitmessung von Schienenverkehrsgeräuschen –Teil 1: Emissionen; Entwurf März 2020
- [2] 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
- [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 EI 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)