

Lärm, TDR und Rauheiten in engen Bögen

Messungen bei Samstagnern und Wollerau

Untersuchungsbericht 02-01653



Auftraggeber: Schweizerische Südostbahn AG

Projektnummer: CH01-02235

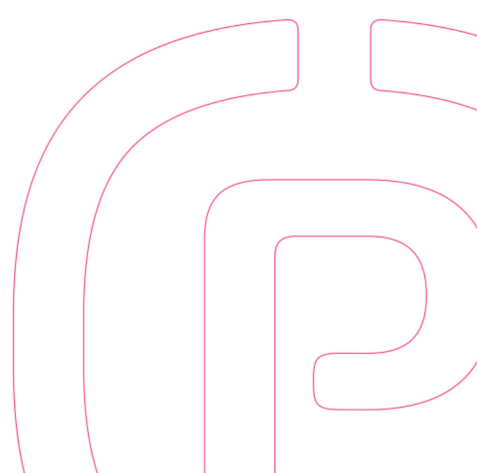
Druckdatum: 16. Juli 2021

PROSE AG

Zürcherstrasse 41
8400 Winterthur
Schweiz

www.prose.one

Tel +41 52 262 74 00
Fax +41 52 262 74 01
info.winterthur@prose.one



Erstellt	Geprüft	Freigeben		
C. Czolbe	H. Graf	C. Czolbe		
Ausgabedatum		Revision	Revisionsdatum	Status
02-01653	13.07.2021	2.00	16.07.2021	Released

Verteiler

Firma/Abteilung/Name	Bemerkungen
SOB, Reto Brülisauer VÖV, Verband öffentlicher Verkehr BAFU, Bundesamt für Umwelt BAV, Bundesamt für Verkehr	

Revisionsindex

	Ersteller	Prüfer	Freigebender	Datum
Rev.	C. Czolbe	H. Graf	C. Czolbe	13.07.2021
Rev. 2.00	C. Czolbe	H. Graf	C. Czolbe	16.07.2021
Rev.				
Rev.				
Rev.				
Rev.				

Modifikationen

Revision	Beschreibung
2.00	Neue Version angelegt durch 'A. Siegrist' am 14.07.2021

Die PROSE AG ist eine nach ISO/IEC 17025 akkreditierte Prüfstelle (durch die schweizerische Akkreditierungsstelle SAS) für Eisenbahn-Rollmaterial. Der Geltungsbereich ist auf der offiziellen Internetseite (<https://www.sas.admin.ch>) des Staatssekretariats für Wirtschaft SECO ersichtlich.

Allfällige bewertende Aussagen in diesem Bericht wurden durch den Autor erstellt. Falls der Autor dazu nicht qualifiziert ist, stammen sie von der freigebenden Person.

Dieses Dokument gibt Kenntnis von Gegenständen, an denen die PROSE AG, 8400 Winterthur (Schweiz), oder eines ihrer Tochterunternehmen Eigentumsrechte hat. Weder Erhalt noch Besitz dieses Dokuments verleihen oder übertragen das Recht, seinen Inhalt als Ganzes, einen Teil davon, eine darin enthaltene Information, oder irgendwelche Gegenstände oder Vorrichtungen zu kopieren oder bekannt zu machen oder irgendwelche Methoden oder Prozesse anzuwenden, ausser nach schriftlicher Genehmigung durch die PROSE AG, 8400 Winterthur (Schweiz) oder schriftlicher Vereinbarung mit dieser Firma.

Die Freigabe des Berichts erfolgt über das Dokumentenverwaltungssystem und ist ohne Unterschrift gültig.

Impressum

Auftraggeberin:	Schweizerische Eidgenossenschaft; Bundesämter für Umwelt (BAFU) und Verkehr (BAV), CH-3003 Bern. Das BAFU und das BAV sind Ämter des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)
Auftragnehmerin:	SOB
Autor/Autorin:	SOB / PROSE, Christian Czolbe
Begleitung BAFU / BAV:	Franz Kuster, Fredy Fischer Robert Attinger, Christoph Dürig
Hinweis:	Dieser Bericht wurde mit Unterstützung der Bundesämter für Umwelt (BAFU) und Verkehr (BAV) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	7
2 Ausgangslage	9
2.1 Voruntersuchungen	10
3 Projektziel und Vorgehen	11
4 Messungen im Doppelgleisbogen bei Samstagen	13
4.1 Messungen	13
4.2 Messgrößen	14
4.3 Vorbeifahrpegel	17
4.4 Abklingraten - TDR	18
4.5 Schienenrauheiten	18
4.6 Spektren	20
5 Messungen im Bogen und Gerade bei Wollerau - Riedmatt	22
5.1 Messungen	24
5.2 Messgrößen	24
5.3 Vorbeifahrpegel	24
5.4 Abklingraten - TDR	25
5.5 Schienenrauheiten	27
5.6 Spektren	28
6 Referenzen	29
A Messdaten	30
A.1 Messungen Doppelbogen bei Samstagen	30
A.1.1 Messgeräte	30
A.1.2 Messprotokolle	31
A.1.3 TDR Ergebnis	32
A.1.4 Schienenrauheiten	34
A.1.5 Schallpegel	35
A.1.6 Terzspektren	36
A.1.7 Vibrations Spektren	41
A.2 Messung Bogen Gerade bei Wollerau - Riedmatt	53
A.2.1 Messgeräte	53

A.2.2 Messprotokolle	54
A.2.3 TDR-Ergebnisse	55
A.2.4 Schienenrauheiten	61
A.2.5 Schallpegel	65
A.2.6 Terzpegel	66
A.3 Messunsicherheit bei Vorbeifahrmessungen	75

1 Zusammenfassung

In dem Forschungsprojekt Lärm und TDR in engen Gleisbögen geht es um die Fragestellung, welche Lärmemission in Gleisbögen bei unterschiedlichen Oberbauarten insbesondere Betonschwellen und Zwischenlagen mit unterschiedlicher Steifigkeit zu erwarten ist. Ferner wurde der Zusammenhang zwischen der Zwischenlagensteifigkeit und dem Riffelwachstum untersucht. Dazu wurden aktuelle Messungen der Schienenrauheit mit vorangegangenen Messungen verglichen.

Lärmemission enge Gleisbögen

Die Lärmemission in Gleisbögen mit Radien $< 300\text{m}$ unterscheidet sich von der Lärmemission in der Geraden bei gleichwertigem Oberbau in einem um etwa **5 dB** höheren Vorbeifahrpegel.

Die Lärmemission in einem Doppelgleisbogen mit unterschiedlichem Betonschwellenoberbauten fällt bei der Kombination 54E2 Schienen mit weicher Zwischenlage um **4 dB** höher aus als bei der Kombination 46E1 Schienen mit harter Zwischenlage. Auch der vorausseilende Schienenschall, das Schienensingen wird am Oberbau 46E1 Schienen mit harten Zwischenlagen um **5 dB** stärker bedämpft und beträgt im Mittel 12.5 dB pro 100m.

Im Forschungsprojekt von PROSE konnte nach dem Einbau von hochdämpfenden elastischen Zwischenlagen von BATEGU im Bogen km 9.1 in Riedmatt im September 2019 eine Pegelminderung von **5 dB** gegenüber der weichen Zwischenlagen Zw700 AT ermittelt werden.

Schienenrauheit und Riffelbildung

In engen Gleisbögen ist vor allem die Bogeninnenschiene verriffelt. Die Riffel sind allerdings langwellig zwischen 16 und 20 cm und führen nur im Terzband von 100 Hz zu einer Pegelerhöhung.

Aus vergangenen Forschungsprojekten mit unterschiedlich steifen Oberbauelemente ist eine Tendenz zur Wirksamkeit von weichen Zwischenlagen und Schwellenbesohlung gegen Riffelwachstum zu erkennen. Die Bogenabschnitte km 8.9 und km 9.1 mit einer Zwischenlagensteifigkeit von 200 kN/mm weisen nach 1.5 Jahren geringere Rauheiten auf, was die o.g. Erkenntnisse bestätigt.

Handlungsempfehlung

Da die Lärmemission in engen Bögen um **5 dB** höher ausfällt als auf der Geraden, sollten diese Abschnitte prioritär bei Lärminderungsmaßnahmen behandelt werden.

Riffel treten vor allem in Bögen mit Steigung auf der Bogeninnenschiene auf. Riffel und Schienenrauheiten können bei Verwendung von weichen Zwischenlagen, Schwellenbesohlung oder deren Kombination im Wachstum reduziert werden.

Hochdämpfende elastische Zwischenlagen eignen sich sowohl für die Lärmbekämpfung als auch für den Oberbauerhalt durch die Eindämmung des Riffel- und Schienenrauheitswachstums. Das Schienensingen kann mithilfe dieser Zwischenlagen ebenfalls reduziert werden.

Résumé

Le projet de recherche « Bruit et TDR en courbes étroites » s'attache à étudier les émissions sonores attendues en courbe en fonction des différents types de superstructures, en particulier des traverses en béton et des semelles sous-rail avec différentes raideurs. En outre, la relation entre la raideur de la semelle sous-rail et la croissance de l'ondulation des rails a été étudiée. A cet effet, les mesures actuelles de la rugosité du rail ont été comparées à des mesures réalisées précédemment.

Emissions sonore en courbes étroites

L'émission sonore dans les voies courbes de rayon < 300 m diffère de l'émission sonore en ligne droite avec une superstructure équivalente d'environ 5 dB sur le niveau sonore mesuré à vitesse constante (pass-by).

L'émission sonore sur un parcours à deux voies en courbe avec différentes traverses en béton est 4 dB plus élevée qu'avec la combinaison 54E2 rails avec une semelle sous-rail souple qu'avec la combinaison 46E1 rails avec une semelle plus raide. Le bruit émis par le rail annonçant le passage du train est atténué de 5 dB avec la superstructure de type 46E1 rails avec semelles raides et atteint en moyenne 12.5 dB sur une distance 100 m.

Dans le projet de recherche mené par PROSE, après l'installation de semelles sous-rail élastiques à amortissement élevé de l'entreprise BATEGU dans la courbe au point kilométrique 9,1 à Riedmatt en septembre 2019, une réduction de niveau de pression acoustique de 5 dB a été observée comparé aux semelles sous-rail souples Zw700 AT.

Rugosité et formation d'ondulation du rail

Dans les courbes étroites, le rail intérieur est en particulier touché par la formation d'ondulations. Cependant, ces ondulations possèdent des longueurs d'ondes entre 16 et 20 cm qui ne conduisent qu'à une augmentation de niveau de pression acoustique dans le domaine de fréquence autour de 100 Hz.

Dans le cadre de projets de recherche antérieurs en variant la rigidité des éléments de superstructure la tendance suivante a été mise en lumière : des semelles sous-rail et des semelles sous-traverses souples semblent efficaces contre la croissance des ondulations du rail. Les courbes aux points kilométriques 8.9 et 9.1 avec une raideur de la couche intermédiaire de 200 kN/mm montrent une rugosité plus faible après une année et demie, ce qui confirme les résultats ci-dessus.

Recommandations

Étant donné que l'émission sonore dans les courbes serrées est supérieure de 5 dB à celle en ligne droite, ces sections devraient être prioritaires dans la mise en œuvre des mesures de réduction du bruit.

Des ondulations du rail se forment principalement dans les courbes avec une déclivité positive sur la file de rail intérieure. La croissance des ondulations et de la rugosité peut être réduite utilisant des semelles sous-rail ou des semelles sous-traverse souples ou une combinaison d'entre elles.

Les semelles sous-rail élastiques à amortissement élevé contribuent à la fois à l'atténuation du bruit et à la préservation de la superstructure en ralentissant la croissance des ondulations et de la rugosité des rails. Le bruit émis par les rails annonçant l'arrivée du train peut également être réduit à l'aide de ces semelles.

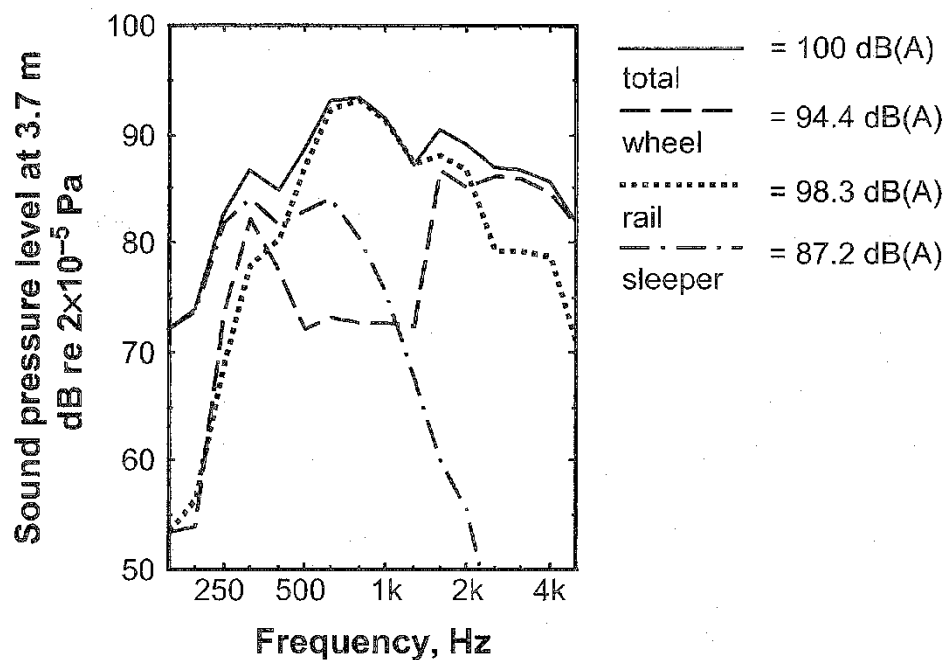


Abbildung 2-2: Lärmemission berechnet mit TWINS Modell zeigt die frequenzabhängigen Anteile von Rad, Schiene und Schwelle am Rollgeräusch (Quelle: D. Thompson, Railway Noise and Vibration)

Messungen an Gleisabschnitten mit Betonschwellen und unterschiedlich harten Zwischenlagen (PROSE Berichte [10][8]) haben z.B. ergeben, dass die Lärmemission an Gleisen mit UIC60-Schienen und weichen Zwischenlagen (100 kN/mm) für Personen- und Güterzüge zwischen 2 und 4 dB höher ausfallen als an Gleisen mit harten Zwischenlagen (>600 kN/mm). Durch weiche Zwischenlagen werden die Schienen weniger stark mit dem Oberbau gekoppelt, weisen deutlich geringere Abklingraten auf und strahlen mehr Luftschall ab.

Sowohl weiche als auch harte Zwischenlagen werden in der RTE-Dokumentation D RTE 22040 „Fahrbahnpraxis Normalspur“ des Verbandes öffentlicher Verkehr (VöV) aus dem Jahre 2009 erwähnt und können somit als Stand der Technik angesehen werden und im Streckennetz eingesetzt werden. Die BLS setzt bei Oberbauerneuerungen wie in Kerzers 2014 standardmässig weiche Zwischenlagen ein.

Weiche Zwischenlagen sind aus Aspekten der Instandhaltung beliebt, da sie Lastwechsel/Kraftspitzen des Rollmaterials besser abfedern und somit die Lebensdauer der Betonschwellen sowie des Schotters erhöhen. Dies führt zu weniger Wartungsaufwand und geringeren LCC. Werden in der Schweiz aufgrund dieser Vorteile die üblicherweise vorhandenen harten Zwischenlagen auf dem Streckennetz in den nächsten Jahren nach und nach mit weichen Zwischenlagen ausgetauscht, so führt dies zu einer parallel verlaufenden Erhöhung der Lärmemission $L_{r,e}(1m)$ im Mittel um 3 dB. (PROSE Bericht 02-00993 [11])

Durch neuartige hochdämpfende Zwischenlagen können beide Aspekte Schwingungsreduktion in den Oberbau und Lärminderung an einem Gleisabschnitt wirksam erreicht werden.

2.1 Voruntersuchungen

Den Einfluss von elastischen Zwischenlagen und besohlten Betonschwellen auf die Schallemission von Eisenbahnstrecken konnte bisher an einigen Messstellen im Vorbeifahrgeräusch nachgewiesen werden. Die Zwischenlagen beeinflussen dabei das Rollgeräusch bzw. Dämpfung unmittelbar durch ihre nieder- und hochfrequenten dynamischen Eigenschaften. Weich gelagerte Schienen weisen eine geringe Dämpfung und einen hohen Schienenschallanteil auf als dies bei hart gelagerten Schienen der Fall ist.

Über die Messung der Schienenabklingrate (Track Decay Rate) nach EN 15610 lässt sich zudem die Dämpfung eines Gleises im Frequenzbereich zwischen 50 und 5000 Hz bestimmen. Mit Kenntnis der TDR können im Vergleich zu anderen gemessenen Gleisabschnitten Aussagen über die Änderung des Schienenschallanteils gemacht werden.

In den BAFU Forschungsprojekten optimierte Betonschwelle und optimierte Zwischenlage aus den Jahren 2017 bis 2020 wurden von PROSE neue Bauteile für den Oberbau entwickelt und ihren Einfluss auf das Rollgeräusch untersucht. Bei BATEGU ist daraus ein bahntaugliches Produkt entstanden, eine hochdämpfende Zwischenlage mit etwa 200 kN/mm, welche den Lärm an der Strecke wirksam reduziert und den Schwingungseintrag ins Gleis ähnlich wie bei einer konventionellen weichen Zwischenlage begrenzt. Bei der SOB wurde 2019 an einem Bogen in Riedmatt km 9.1 eine BATEGU Zwischenlage installiert, welche zu einer Lärminderung von ca. 5 dB an diesem Abschnitt geführt hat.

3 Projektziel und Vorgehen

In dem Forschungsprojekt Lärm und TDR in engen Gleisbögen geht es um die Fragestellung, welche Lärmemission in Gleisbögen bei unterschiedlichen Oberbauarten insbesondere Betonschwellen und Zwischenlagen mit unterschiedlicher Steifigkeit zu erwarten ist. Ferner soll der Zusammenhang zwischen der Zwischenlagensteifigkeit und dem Riffelwachstum untersucht werden.

Im Oktober 2019 wurde ein 200 m langer Abschnitt beim Bahnhof Riedmatt SOB mit neuen Zwischenlagen umgebaut und der Lärm, TDR und Schienenrauheiten an diesem Abschnitt sowie einem zweiten Vergleichsbogen in Wollerau gemessen. Daher fanden hier nur Messungen der TDR und Schienenrauheiten statt.

An vier weiteren Abschnitten der SOB im Gebiet Samstageren wurden sowohl Vorbeifahrerlärm als auch TDR und Schienenrauheiten gemessen und somit ein vollständiges Bild erarbeitet.

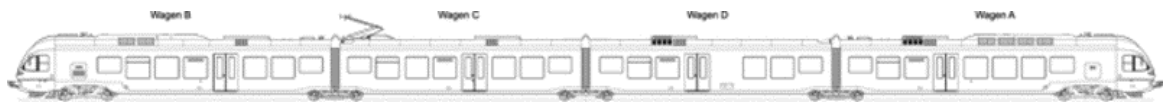
Die verkehrenden Züge vom Typ Flirt und Flirt Traverso (Voralpenexpress) sind identisch, es ist ein Gebiet mit hoher Steigung von 30 - 50 ‰ und die Geschwindigkeiten sind mit etwa 65 km/h vergleichbar. Bei den Lärmmessungen wurden die Vorbeifahrereignisse mit entsprechend langer Vor- und Nachlaufzeit von 15 Sekunden aufgezeichnet, sodass auch Auswertungen des Schienensingens vor und nach der Passage möglich waren. Bei 70 km/h bzw. 19.4 m/s können somit etwa 300 m vor und nach Passage untersucht werden.

Am 28.4.2021 wurde der doppelgleisige Bogenabschnitt in Samstageren km 6.4 mit Sensoren und Mikrofonen ausgestattet und die Vorbeifahrten auf beiden Gleisen in einem Messgerät erfasst. Zugskreuzungen wurden protokolliert und bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Gleis 706 besteht aus Betonschwellen, UIC 54 Schienen und einer weichen Zwischenlage. Gleis 806 ist mit Betonschwellen, E 46 Schienen und harten Zwischenlagen ausgestattet.

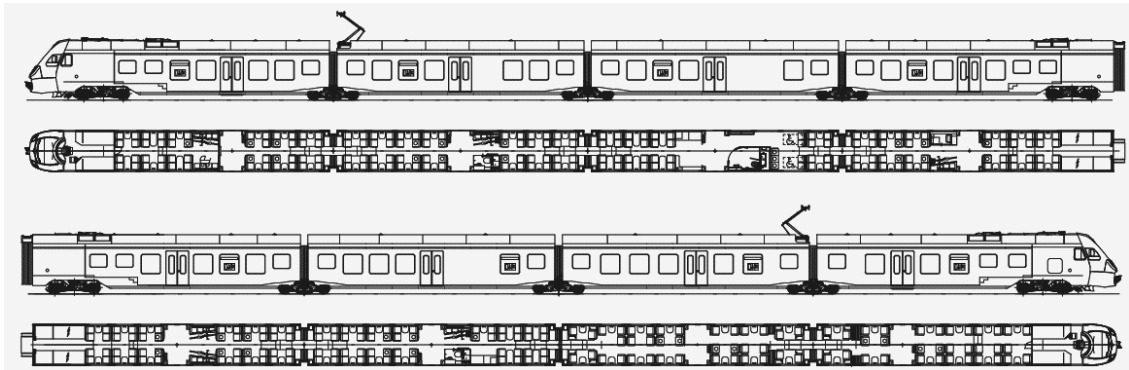
Am 29.4.2021 fanden parallele Messungen an der eingleisigen Strecke und den Abschnitten Riedmatt Bogen km 9.7 und Riedmatt Gerade km 9.9 statt. Dabei wurden beide Abschnitte mit Mikrofonen und zwei Beschleunigungssensoren als Trigger ausgestattet und über zwei automatische Messsysteme die Vorbeifahrerpegel gemessen. Die Zuordnung fand anschliessend über die Uhrzeit statt. Die Abschnitte im Bereich (km 9.8 – 10.5) weisen eine Steigung von 30‰ auf und sind mit Vossloh Zwischenlagen mit 200 kN/mm und Kippschutz sowie B91-Betonschwellen mit Besohlung von Getzner SLB 30007 G eingebaut.

Folgende Züge verkehren auf der Strecke zwischen Wollerau, Samstagen und Schindellegi:

Stadler Flirt 4-Teiler Länge 77m



Stadler Flirt Traverso 8-Teiler Länge 150m



4 Messungen im Doppelgleisbogen bei Samstagnern

Ein Doppelgleisbogen bei Samstagnern km 6.4 wurde ausgewählt, um die Lärmemission, TDR und Schienenrauheiten zweier unterschiedlicher Oberbautypen bei annähernd gleichen Rahmenbedingungen wie Steigung, Bogenradius und Fahrzeugverkehr zu bestimmen. Die Messungen am Doppelgleisbogen fanden am 28.04.2021 während eines Tages statt.

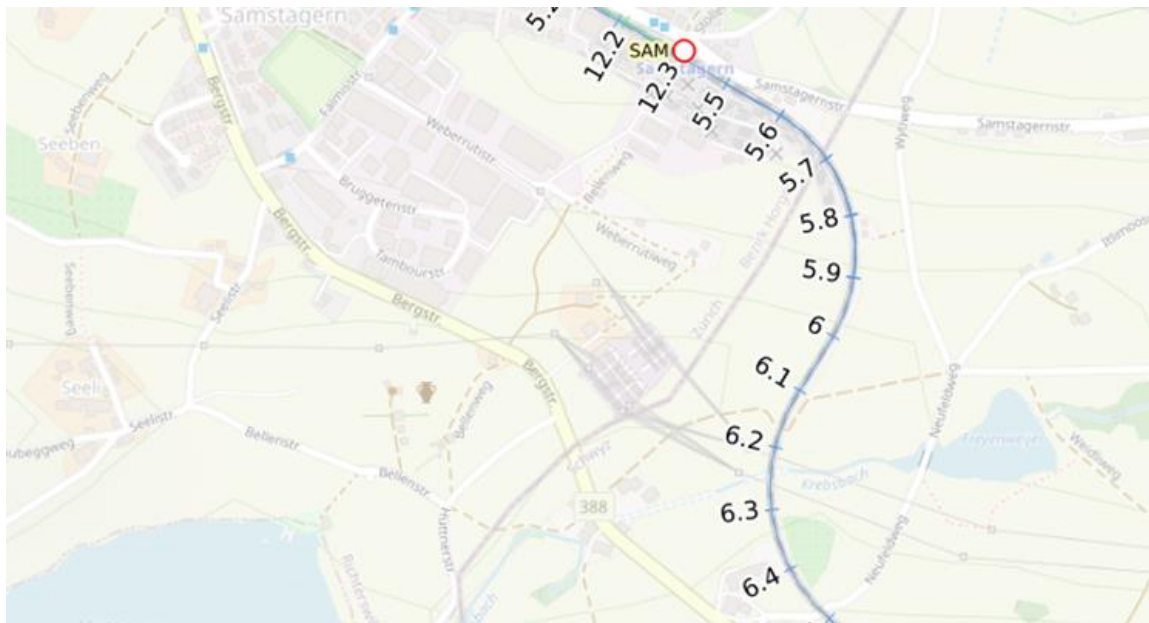


Abbildung 4-1: Gleiskilometer Doppelgleisbogen Samstagnern mit Messstelle bei km 6.4



Abbildung 4-2: Doppelgleisbogen km 6.4 bei Samstagnern

4.1 Messungen

Die Höchstgeschwindigkeit beträgt auf den Abschnitten 70 km/h und die Abschnitte im Kurvenbereich (km 6.4) weisen eine Steigung von 50‰ auf. Es verkehren dort Züge vom Typ Flirt und Flirt Traverso (Voralpenexpress).

Tabelle 4-1: Messprogramm Doppelgleisbogen km 6.4 in Samstagnern

Name	Oberbau	Radius	04.2021
Gleis 706 Ost, GI1	B70 unbesohlt 54E2 Zw700AT	R=276	Lärm TDR RR
Gleis 806 West, GI2	B70 unbesohlt 46E1 Zw123/180AT	R=280	Lärm TDR RR

4.2 Messgrößen

Bei den Versuchen wurden folgende Messgrößen ermittelt:

- Schienenrauheiten von allen Abschnitten einmal
- Track Decay Rate von beiden Abschnitten vor und nach Umbau
- Vorbeifahrpegel nach EN ISO 3095 in 7.5 m Entfernung zum Vergleich mit anderen Streckenabschnitten / Messdaten
- Schallpegel in Gleismitte von GI 706 und 806
- Schallpegel zwischen den Gleisen +50 m, 0 m und -50 m vom Messquerschnitt entfernt
- Vorbeifahrpegel in 3.7 m und 11.2 m Entfernung (ergibt sich aus dem Messaufbau mit vier Mikrofonen am Doppelgleisbogen)
- Vertikale und laterale Schienenfussbeschleunigungen
- Vertikale Schwellenbeschleunigungen

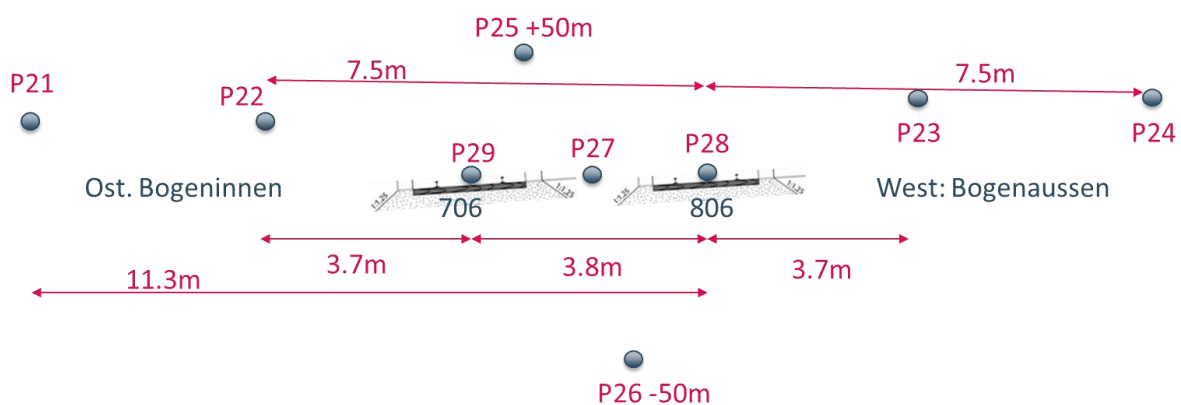


Abbildung 4-3: Anordnung der Mikrofone im Doppelbogen



Abbildung 4-4: Doppelgleisbogen km 6.4 bei Samstagen

Die Vorbeifahrten wurden über die Vorbeifahrdauer T_p nach EN ISO 3095 ausgewertet. Die 4-teiligen Flirt Fahrzeuge benötigen bei den dort gefahrenen Geschwindigkeiten zwischen 60 und 70 km/h etwa 5 s für eine Passage. Um den Einfluss des Schienenschalls im Vorbeifahrereignis zu untersuchen, wurde ein erweiterter Vorbeifahrpegel um jeweils 2.5s über T_p hinaus ermittelt.

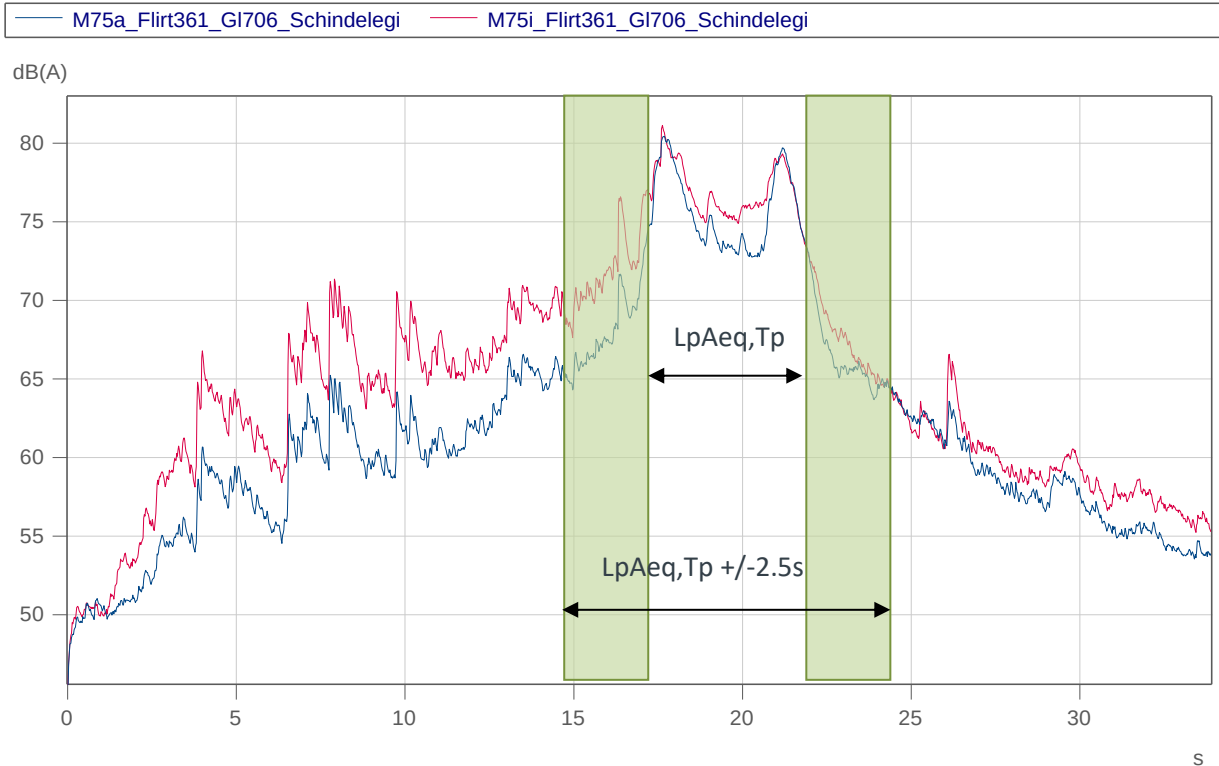


Abbildung 4-5: Auswertung der Vorbeifahrpegel am Doppelgleisbogen

Bei der Annäherung und Entfernung eines Zuges an der Messstelle verhalten sich gleiche Zugtypen bei gleicher Geschwindigkeit und Richtung bezüglich des Schienensingens deutlich unterschiedlich. Während auf dem Gleis 706 mit weicher Zw der Schalldruckpegel an den Mikrofonen in 7.5m Entfernung bereits lange vor der Passage hohe Werte erreicht, steigen die Pegel bei einem Zug auf dem benachbarten Gleis 806 mit harter Zw steiler an und fallen schneller ab. Dies ist auf die geringe TDR oder Schienendämpfung des Gleises 706 zurückzuführen und in folgender Grafik veranschaulicht.

Aufgrund der leicht unterschiedlichen Geschwindigkeiten im Betrieb bei Bergauf- und Bergabfahrt zwischen 50 und 70 km/h wurden die Vorbeifahrpegel mit nachfolgender Gleichung (1) aus der TSI Noise auf 60 km/h normiert.

$$L_{pAeq,Tp,60kmh} = L_{pAeq,Tp,vmess} + 30 * \log \left(\frac{60}{v_{mess}} \right) \quad \text{Gleichung (1)}$$

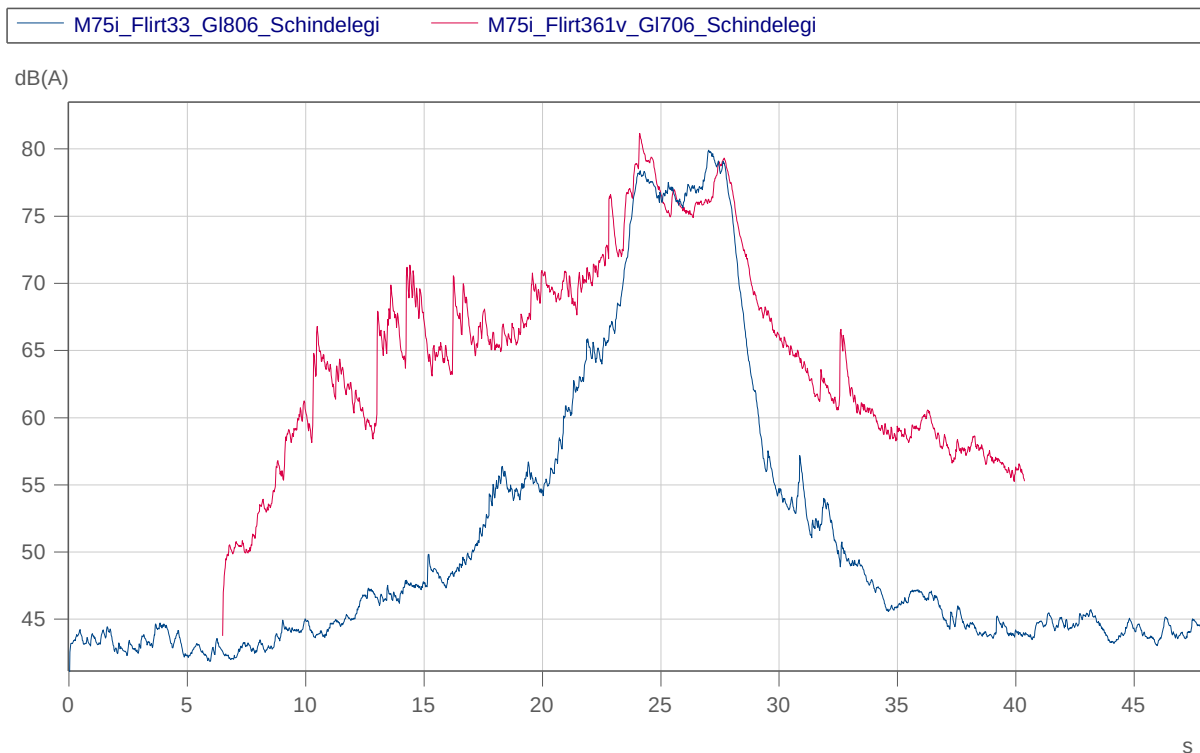


Abbildung 4-6: Vorbeifahrpegel zweier Flirt auf Gleis 706 und 806 bei etwa 68 km/h bergauf Richtung Schindellegi

Messtechnisch wurde das Schienensingen über zwei Mikrofone in der Mitte des Doppelgleises untersucht, welche 100 m auseinander lagen und bei dem zu einem Zeitpunkt t_0 vor der Passage die Schalldruckpegel über eine Sekunde gemittelt wurden. Die Differenz dieser Schalldruckpegel ergibt das Dämpfungsvermögen des Gleises über eine Distanz von 100 m.

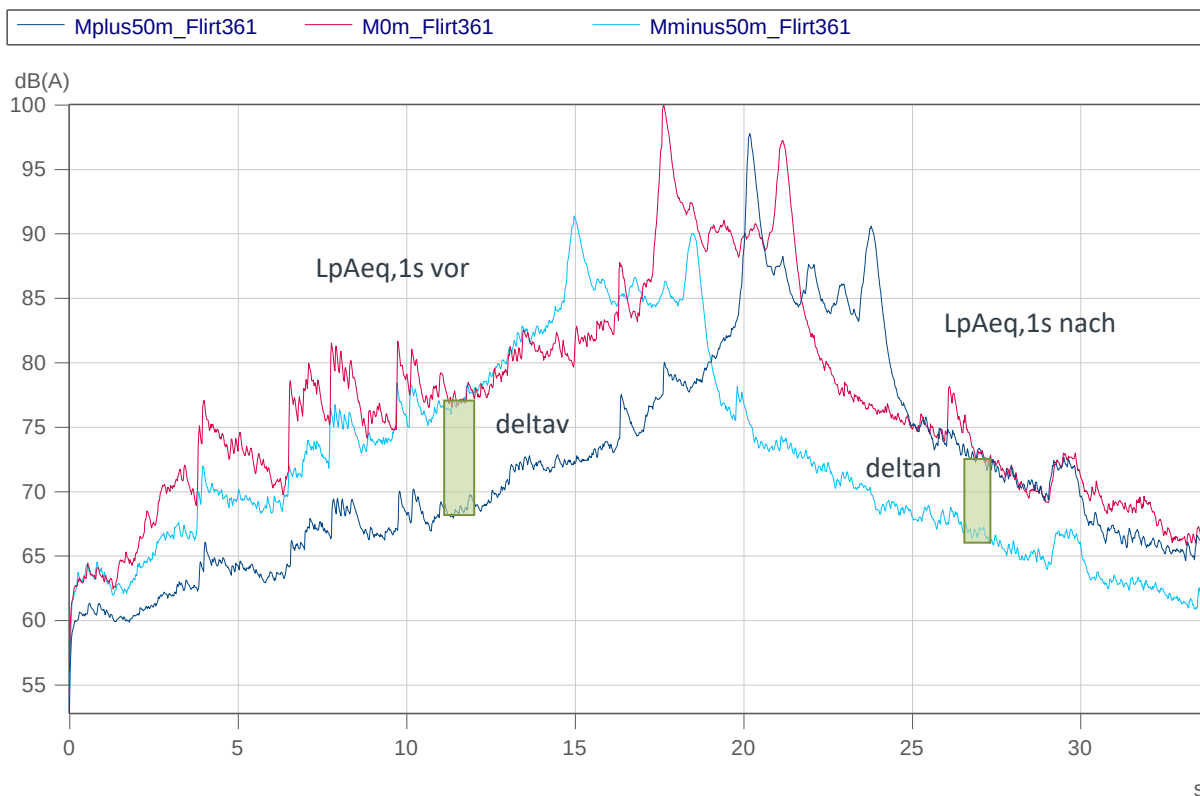


Abbildung 4-7: Vorbeifahrpegel zweier Flirt Fahrzeuge auf Gleis 706 und 806 bei etwa 68 km/h bergauf Richtung Schindellegi

Bei den Messungen wurde beobachtet, dass das Mikrofon im Messquerschnitt M0m stets etwas höhere Pegel zeigte, als die beiden Mikrofone in +/- 50m Entfernung (Mplus50m, Mminus50m).

4.3 Vorbeifahrpegel

Die ermittelten Vorbeifahrpegel sind in folgender Tabelle dargestellt. Je nach Gleis wurden die Schalldruckpegel ihrer Entfernung und Lage zugeordnet, so bilden z.B. die Mikrofonpositionen M21 und M23 die Entfernungen 7.5 m zur Gleismitte vom Gleis 706 und sind in der Tabelle nach Mbi (Bogeninnen) und Mba (Bogenaussen) benannt. Die Bezeichnung M3 steht für die nahe Mikrofonposition in 3.7 m und M4 für die entfernte Mikrofonposition in 11.3 m. Die Mikrofone im Gleis heissen MG und das Mikrofon im jeweils gegenüberliegenden Gleis MGG. Die Richtung 1 bedeutet bergauf nach Schindellegi und Richtung -1 bergab nach Samstagen. Ist keine Richtung angegeben, wurden die Ergebnisse aus beiden Richtungen gemittelt. Da der Flirt Traverso nur auf dem Gleis 1 verkehrte, wurden die Pegeldifferenzen von GI706 und GI806 nur bei den Flirt 4 Teilern ermittelt.

Tabelle 4-2: Ermittelte Vorbeifahrpegel normiert auf 60 km/h am Doppelgleisbogen in Samstagen km 6.4 von 04.2021

Vorbeifahrpegel in dB(A)				Vorbeifahrpegel					Vorbeifahrpegel +/- 2.5s					
Samstagen 28.04.2021				Mbi	Mba	M3	M4	MG	Mbi	Mba	M3	M4	MG	MGG
Zugtyp	Anzahl	Richtung	Gleis	7.5m	7.5m	3.7m	11.3m	Track	7.5m	7.5m	3.7m	11.3m	Gleis	Gleis
Flirt	4	-1	706	80.9	78.2	84.5	75.5	88.0	78.9	76.0	82.3	73.4	85.2	76.5
Flirt	4	-1	806	74.4	73.3	79.2	69.7	93.6	72.0	70.8	76.6	67.5	90.5	84.5
FlirtTraverso	3	-1	706	75.4	74.3	80.1	72.1	85.4	74.1	72.9	78.7	70.7	83.7	75.6
Flirt	4	1	706	77.5	75.0	82.1	72.5	86.3	75.6	72.7	79.9	70.3	83.2	74.5
Flirt	4	1	806	75.1	74.1	79.8	70.9	94.2	72.6	71.3	77.1	68.3	91.0	85.2
FlirtTraverso	3	1	706	75.8	75.5	80.4	72.5	85.7	74.4	74.0	79.0	71.2	83.9	78.8
Flirt	8		706	79.2	76.6	83.3	74.0	87.1	77.2	74.3	81.1	71.9	84.2	75.5
Flirt	8		806	74.8	73.7	79.5	70.3	93.9	72.3	71.1	76.9	67.9	90.8	84.9
delta GI706-GI806		-1		6.5	4.9	5.3	5.7	-5.5	6.9	5.2	5.7	6.0	-5.3	-8.0
delta GI706-GI806		1		2.4	0.9	2.3	1.6	-7.9	2.9	1.3	2.8	2.0	-7.8	-10.8
delta GI706-GI806				4.5	2.9	3.8	3.7	-6.7	4.9	3.3	4.3	4.0	-6.6	-9.4
delta GI706-GI806				3.7					4.1					

Die Vorbeifahrpegel in Tabelle 4-2 zeigen einen Pegelunterschied im Vorbeifahrpegel «delta GI706-GI806» von Fahrten auf Gleis 706 mit weicher Zw700AT gegenüber dem Gleis 806 mit harter Zw von etwa 4 dB auf (gemessen nach EN ISO 3095). Bogeninnen ist der Pegelunterschied etwa 1.5 dB höher als Bogenaussen. Bergauf sind die Vorbeifahrpegel an Gleis 706 etwas höher als bergab, während sie an Gleis 806 gleich hoch ausfallen. Auch die Pegelunterschiede sind bei Bergabfahrt zwischen den Gleisen höher ausgeprägt als bei Bergauffahrt.

In der nachfolgenden Tabelle werden nun die Vorbeifahrpegel zwischen den Gleisen dargestellt, sowie die Pegeldifferenzen zu einem Zeitpunkt t0 vor und nach der Passage. Die Pegelunterschiede deltav und deltan beziehen sich also auf den Schienenschall ohne Fahrzeug über eine Distanz von 100 m vor und nach der Passage.

Tabelle 4-3: Ermittelte Vorbeifahrpegel zwischen den Gleisen 706 und 806 bei 60 km/h in Samstagen km 6.4 von 04.2021

Vorbeifahrpegel in dB(A)				LpAeq,Tp				
Samstagen 28.04.2021				MSch	Mm	MSan	100m	100m
Zugtyp	Anzahl	Richtung	Gleis	50m	0m	-50m	deltav	deltan
Flirt	4	-1	706	88.2	95.6	89.1	7.7	8.4
Flirt	4	-1	806	85.0	76.9	86.7	14.2	13.2
Flirt	4	1	706	87.3	93.6	88.1	9.0	6.1
Flirt	4	1	806	85.5	77.5	87.4	12.2	11.0
Flirt	8		706	87.8	94.6	88.6	8.4	7.3
Flirt	8		806	85.2	77.2	87.0	13.2	12.1
delta GI706-GI806		-1		3.3	18.8	2.4	-6.5	-4.8
delta GI706-GI806		1		1.8	16.2	0.7	-3.2	-4.9
delta GI706-GI806				2.5	17.5	1.5	-4.8	-4.9
delta GI706-GI806							-5	

Im Mittel beträgt der Pegelunterschied des Schienenschalls über 100 m am Gleis 706 somit 7.5 dB, während er beim Gleis 806 mit harter Zwischenlage 12.5 dB beträgt. Das Schienensingen ist also am Gleis 706 um 5 dB höher ausgeprägt als am Gleis 806. Dies ist wahrscheinlich auf die höhere TDR und das kleinere Schienenprofil 46E1 des Gleises 806 zurückzuführen.

4.4 Abklingraten – TDR

Die Abklingraten wurden an beiden Bögen gemessen und sind im Anhang abgebildet. Zum Vergleich mit dem Abschnitt mit hochdämpfender Zw sind die TDR von Riedmatt BATEGU abgebildet.

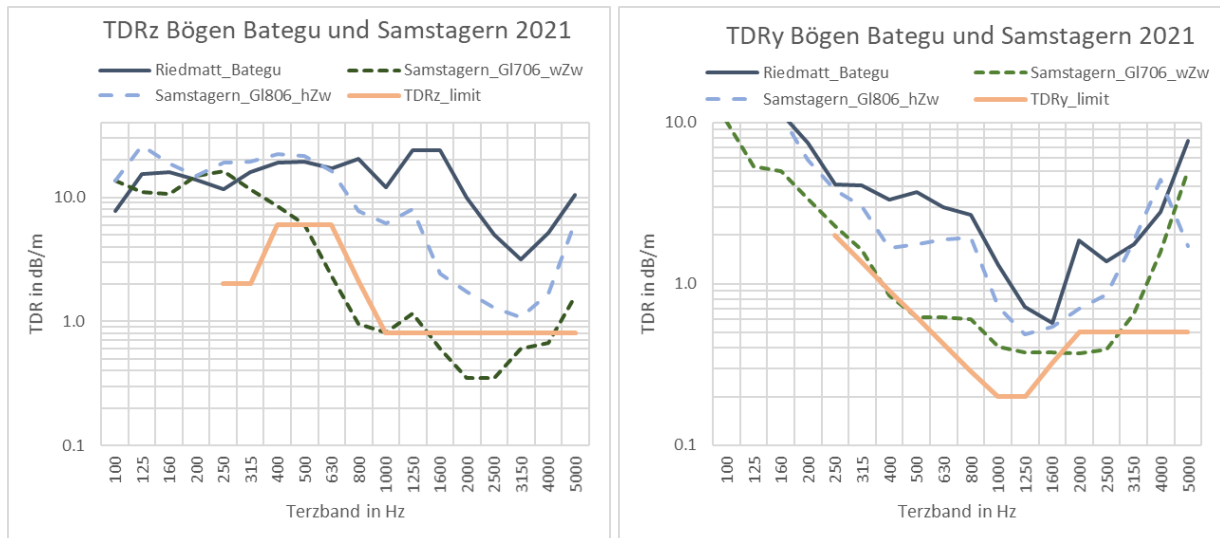


Abbildung 4-8: TDR Vergleich Gl 706 mit weicher Zw, Gl806 mit harter Zw und Riedmatt mit Bategu Zw

Der Unterschied in der TDR zwischen weicher Zw am Gleis 706 und harter Zw am Gleis 806 ist deutlich in vertikaler und horizontaler Richtung erkennbar. Diese Dämpfungsunterschiede zusammen mit der kleineren Schiene E46 erklären den Unterschied im Dämpfungsvermögen bzw. dem Schienensingen.

4.5 Schienenrauheiten

Die Schienenrauheiten wurden an beiden Gleisen 706 und 806 über eine Länge von 30 m gemessen. Dabei sind bei den Schienen auf Bogeninnenseite Riffel im Bereich von 16 cm Wellenlänge zu erkennen. Offenbar fallen die Riffel am Gleis 806 mit harter Zw höher aus als am Gleis 706 mit weicher Zw. Dies bestätigt auch Untersuchungen der KPZ Fahrbahn mit unterschiedlichen elastischen Zwischenlagen und Schwellenbesohlungen, bei der mit weichen Zwischenlagen ein geringeres Riffelwachstum festgestellt wurde.

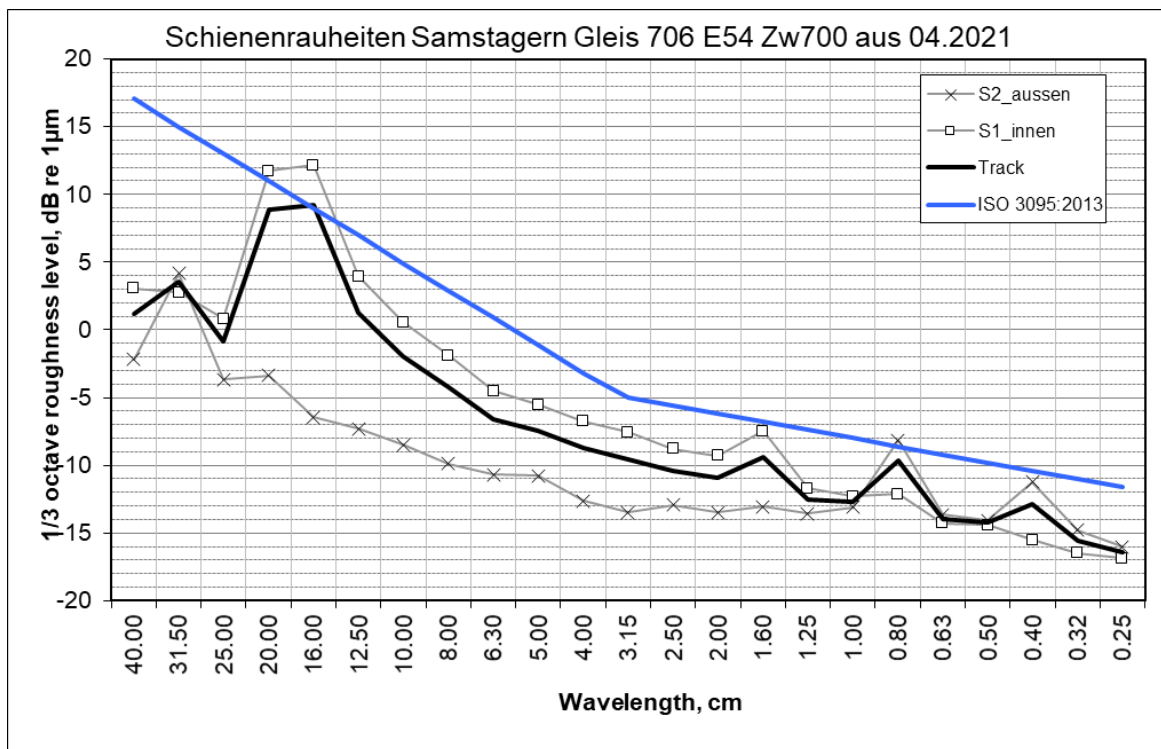


Abbildung 4-9: Schienenrauheiten Samstagn Gleis 706 gemessen am 28.04.2021

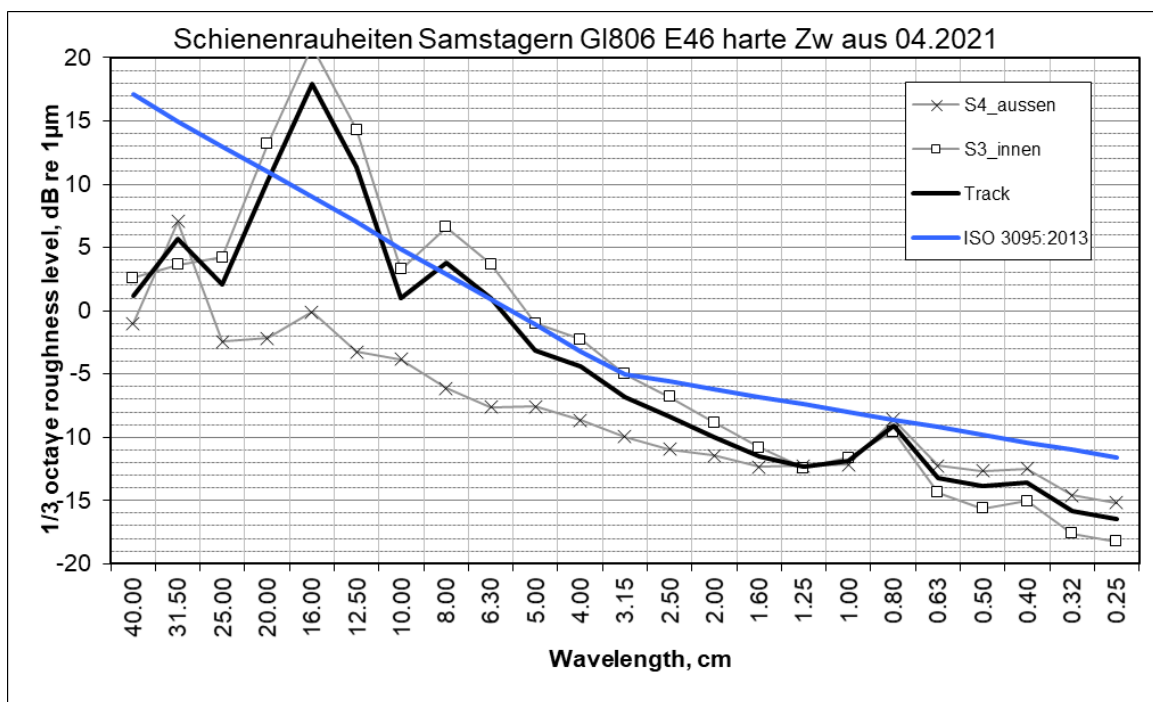


Abbildung 4-10: Schienenrauheiten Samstagn Gleis 806 gemessen am 28.04.2021

4.6 Spektren

Die Terzpegelspektren sind ausführlich in Anhang A.1 dargestellt.

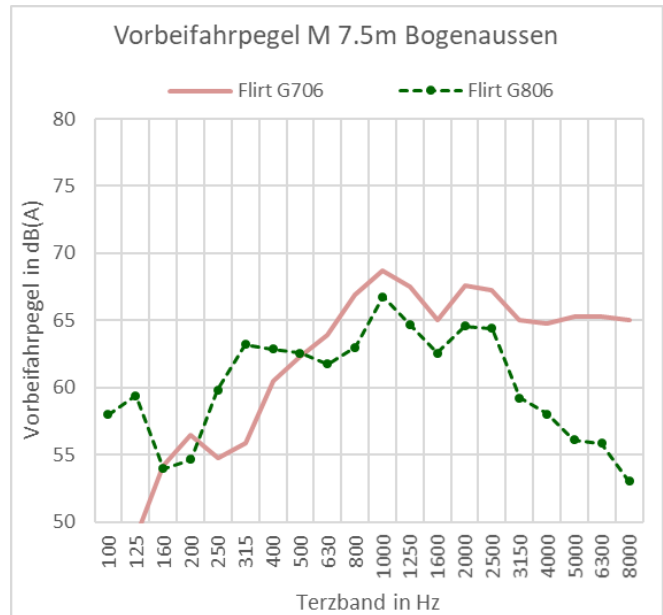
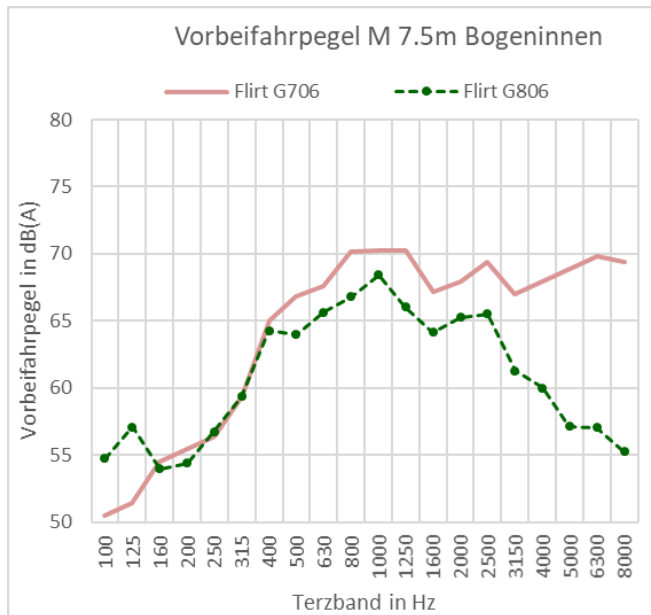


Abbildung 4-11: Vorbeifahrterterzpegel Tp Doppelgleisbogen km 6.4

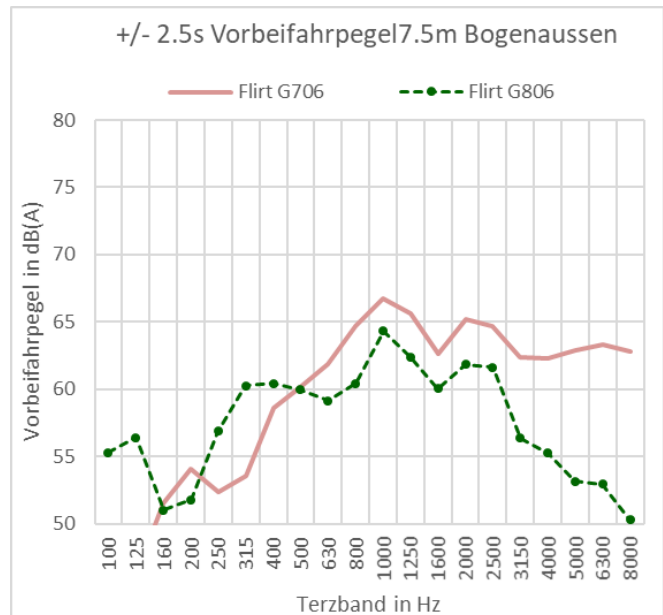
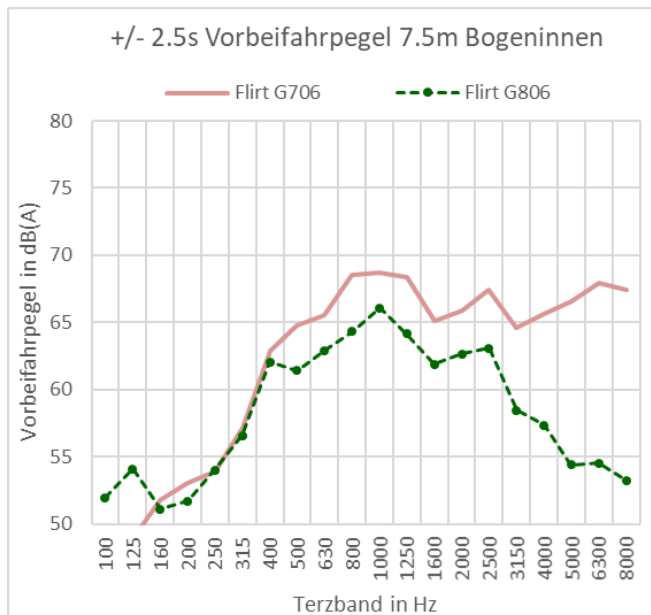


Abbildung 4-12: Vorbeifahrterterzpegel erweiterte Dauer Doppelgleisbogen km 6.4

Die Terzpegel fallen am Gleis 706 oberhalb von 500 Hz stets höher aus als am Gleis 806, was auch den um 4 dB höheren Summenpegel im Vorbeifahrergeräusch erklärt. Der Einfluss der Riffel bei 16 bis 20 cm Wellenlänge liegt bei den Geschwindigkeiten etwa bei 100 Hz, was in den Spektren von G806 stärker ausgeprägt ist als G706. Beim Gleis G806 mit der harten Zwischenlage kann zudem eine Pegelerhöhung Bogenaußen zwischen 250 und 400 Hz festgestellt werden, wahrscheinlich verursacht durch den höheren Schallanteil der Betonschwellen.

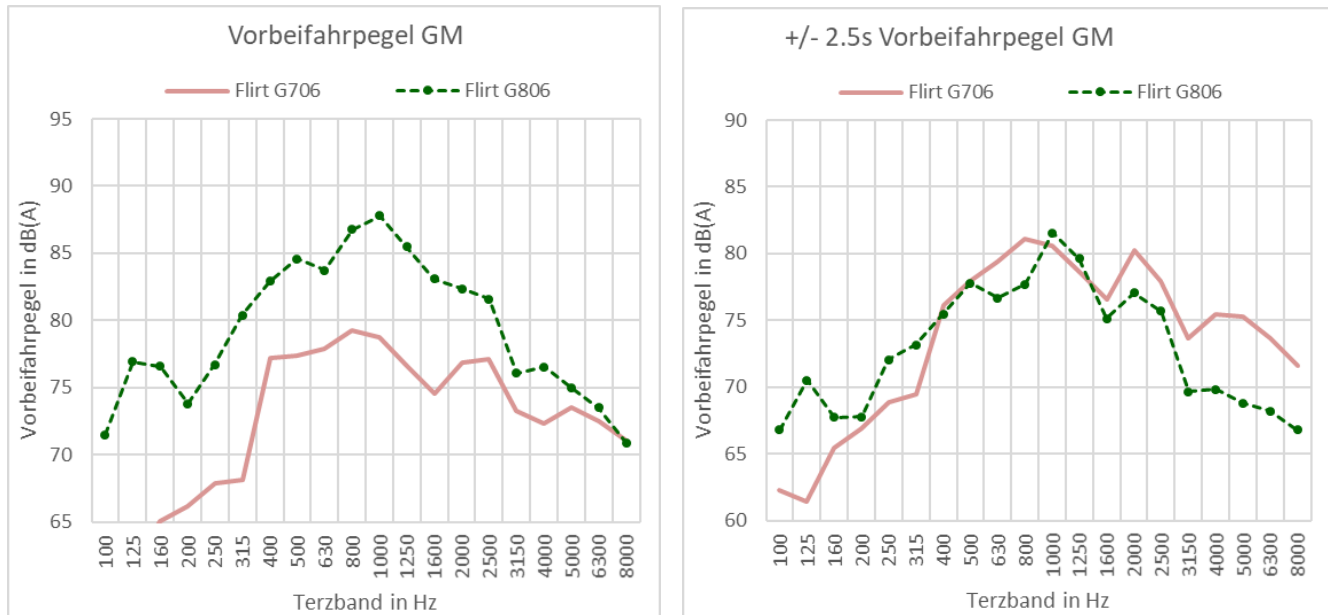


Abbildung 4-13: Vorbeifahrterzpegel an den Mikrofonen in Gleismitte am Doppelgleisbogen km 6.4

Mit Blick auf die Vorbeifahrerpegel in Gleismitte kann beobachtet werden, dass bei unmittelbarer Passage über die Vorbeifahrdauer T_p das Gleis 806 mit harter Zw deutlich höhere Pegel aufweist als das benachbarte Gleis 706. Wird der erweiterte Vorbeifahrerpegel herangezogen, stellen sich beide Terzverläufe annähernd gleich dar.

Die Beschleunigungspegel wurden linear berechnet und weisen während der Dauer des Vorbeifahrerpegels wenig Interessantes auf. Den Anteil des vorausseilenden Schienenschalls kann man allerdings innerhalb der Schienenschwingungen sichtbar machen, indem die Terzpegel der Beschleunigungen zu einem Zeitpunkt t_0 jeweils 100m vor der Passage (über die jeweilige Geschwindigkeit des Fahrzeugs berechnet) gebildet werden.

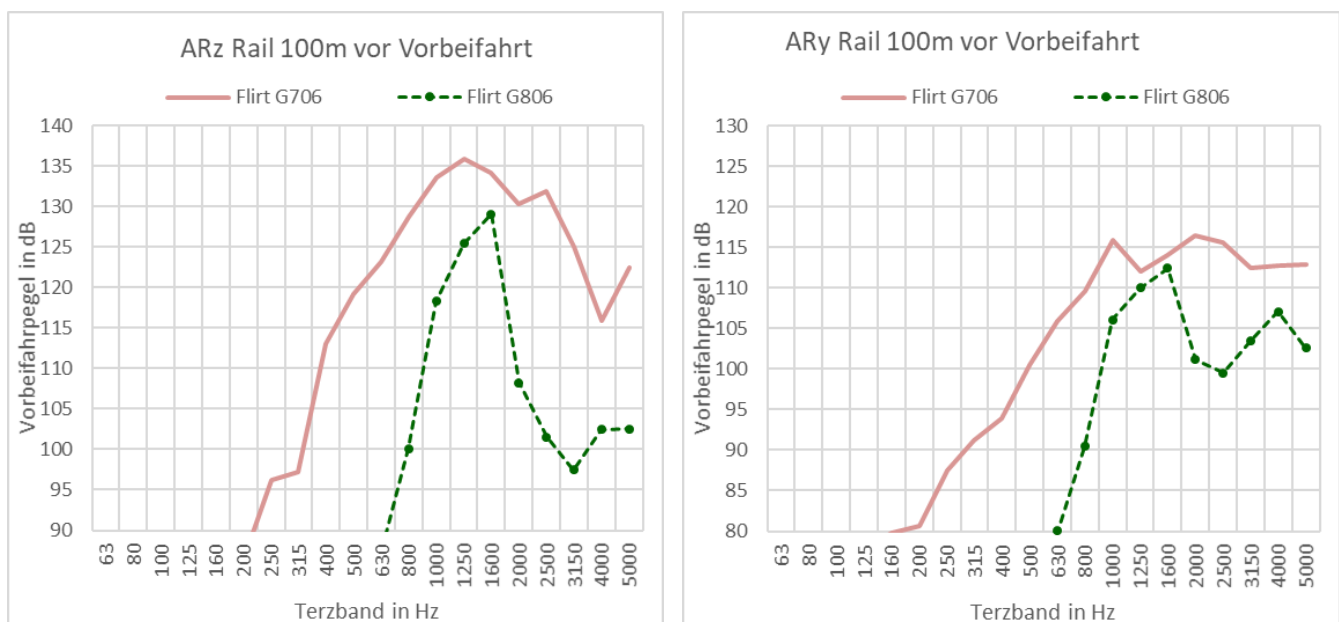


Abbildung 4-14: Vorbeifahrterzpegel an den Mikrofonen in Gleismitte am Doppelgleisbogen km 6.4

Im vorausseilenden Schienenschall ist erkennbar, dass die Terzpegel im Bereich zwischen 250 und 5000 Hz auf dem Gleis 706 mit weicher Zwischenlage deutlich höher ausfallen als am Gleis 806.

5 Messungen im Bogen und Gerade bei Wollerau – Riedmatt

Im Bereich Wollerau Riedmatt wurden von vier Abschnitten Schienenrauheiten und TDR gemessen und an zwei Abschnitten noch die Vorbeifahrpegel.

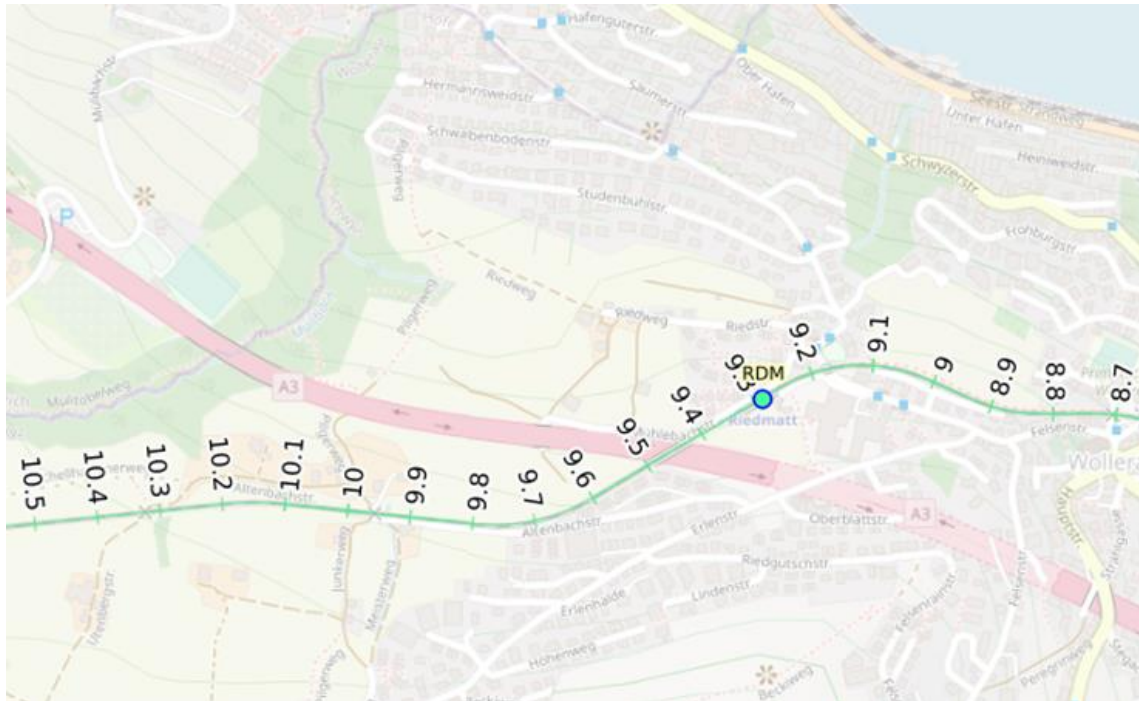


Abbildung 5-1: Lager der untersuchten Abschnitte in Wollerau – Riedmatt

Tabelle 5-1: Messprogramm Bögen und Gerade in Wollerau, Riedmatt

Name	Oberbau	Radius	09.2019	04.2021
Wollerau km8.9	B91 besohlt 54E2 Zw700AT	R=250	Lärm TDR RR	TDR RR
RDM_BTG km9.1	B91 besohlt 54E2 BTG	R=250	Lärm TDR RR	TDR RR
RDM_Bogen km9.7	B91 besohlt 54E2 Zw700AT	R=300		Lärm TDR RR
RDM_Gerade km9.9	B91 besohlt 54E2 Zw700AT	Gerade		Lärm TDR RR

Bei der SOB wurde in der Nähe von Samstagnern dazu ein Abschnitt mit besohnten B91-Betonschwellen (Getzner SLB 30007 G) und UIC54-Schienen im engen Bogen ausgerüstet, bei dem der Oberbau erst vor wenigen Jahren komplett erneuert wurde und eine Lärmerhöhung durch weiche Zwischenlagen (~ 200 kN/mm) und besohlte Schwellen registriert wurde.



Abbildung 5-2: Versuchsbogen Riedmatt SOB

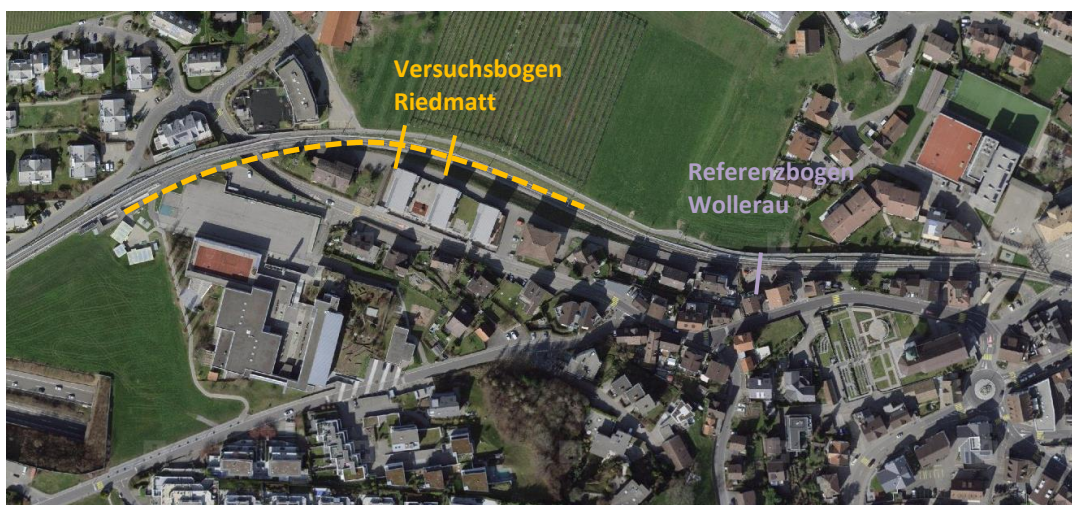
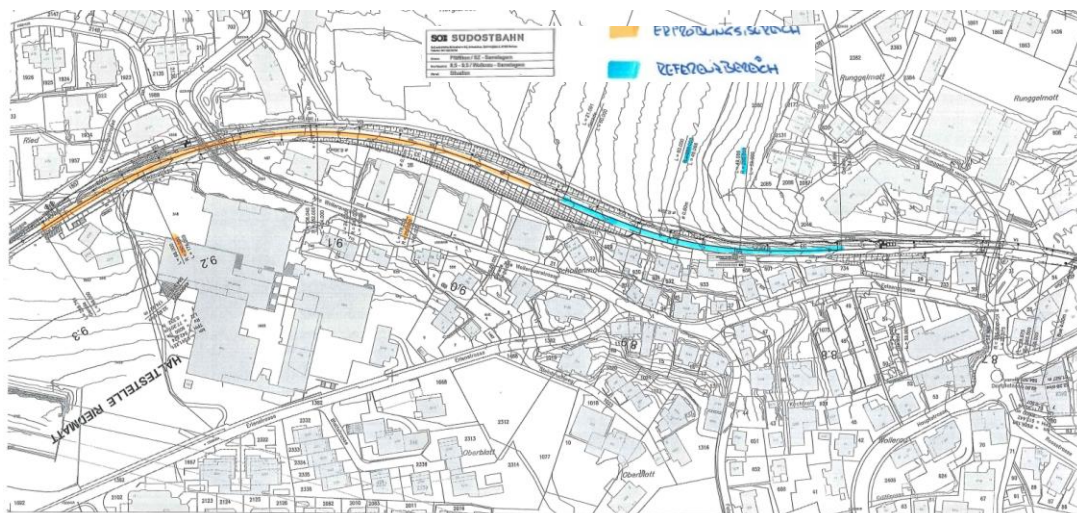


Abbildung 5-3: Abschnitte Einbauorte im Bogen bei Wollerau (SOB) – siehe auch Anhang A.4

5.1 Messungen

5.2 Messgrößen

Bei den Versuchen wurden folgende Messgrößen ermittelt:

- Schienenrauheiten von vier Abschnitten
- Track Decay Rate von vier Abschnitten
- Vorbeifahrpegel nach EN ISO 3095 in 7.5 m Entfernung von Bogen km 9.7 und Gerade km 9.9
- Vertikale Schienenfussbeschleunigungen
- Vertikale Schwellenbeschleunigungen

5.3 Vorbeifahrpegel

Die ermittelten Vorbeifahrpegel sind in folgender Tabelle dargestellt. Je nach Abschnitt wurden die Schalldruckpegel Lage zum Gleis zugeordnet, d.h. Süd- und Nordseite. Beim Bogen ist die Südseite Bogenaussen und die Nordseite Bogeninnen. Die Richtung 1 bedeutet bergauf nach Samstagen und Richtung -1 bergab nach Wollerau. Im unteren Teil der Tabelle Die Geschwindigkeiten der vorbeifahrenden Züge bewegen sich im Bereich zwischen 52 und 72 km/h und die Vorbeifahrpegel wurden auf 60 km/h normiert.

Tabelle 5-2: Ergebnisse Vorbeifahrpegel bei 60 km/h Bogen / Gerade Riedmatt 2021

	Vorbeifahrpegel			LpAeq,Tp		LpAeq,Tp +/- 2.5s	
	Riedmatt 29.04.2021			M_Süd	M_Nord	M_Süd	M_Nord
Zugtyp	Anzahl	Richtung	Abschnitt	7.5m	7.5m	7.5m	7.5m
Flirt	8	-1	Bogen	76.1	79.9	73.6	77.3
Flirt	8	-1	Gerade	72.2	73.6	70.0	71.6
FlirtTraverso	5	-1	Bogen	78.7	82.8	77.1	81.1
FlirtTraverso	3	-1	Gerade	72.7	74.0	71.0	72.4
Flirt	8	1	Bogen	76.3	79.1	73.7	76.4
Flirt	8	1	Gerade	73.1	74.6	70.6	72.1
FlirtTraverso	5	1	Bogen	76.4	79.5	74.9	77.9
FlirtTraverso	3	1	Gerade	73.2	74.6	72.3	74.1

Tabelle 5-3: Ergebnisse Vorbeifahrpegel bei 60 km/h Bogen / Gerade Riedmatt 2021 mit Pegelunterschieden

	Vorbeifahrpegel			LpAeq,Tp		LpAeq,Tp +/- 2.5s	
	Riedmatt 29.04.2021			M_Süd	M_Nord	M_Süd	M_Nord
Zugtyp	Anzahl	Richtung	Abschnitt	7.5m	7.5m	7.5m	7.5m
Flirt	16		Bogen	76.2	79.5	73.7	76.8
Flirt	16		Gerade	72.6	74.1	70.3	71.8
FlirtTraverso	10		Bogen	77.5	81.1	76.0	79.5
FlirtTraverso	6		Gerade	73.0	74.3	71.7	73.2
Flirt		delta Bogen-Gerade		3.6	5.4	3.4	5.0
FlirtTraverso		delta Bogen-Gerade		4.6	6.9	4.3	6.3

5.4 Abklingraten – TDR

Zunächst werden die Abklingraten aus dem Zwischenlagenprojekt vor und nach dem Umbau am Versuchsbogen gezeigt.

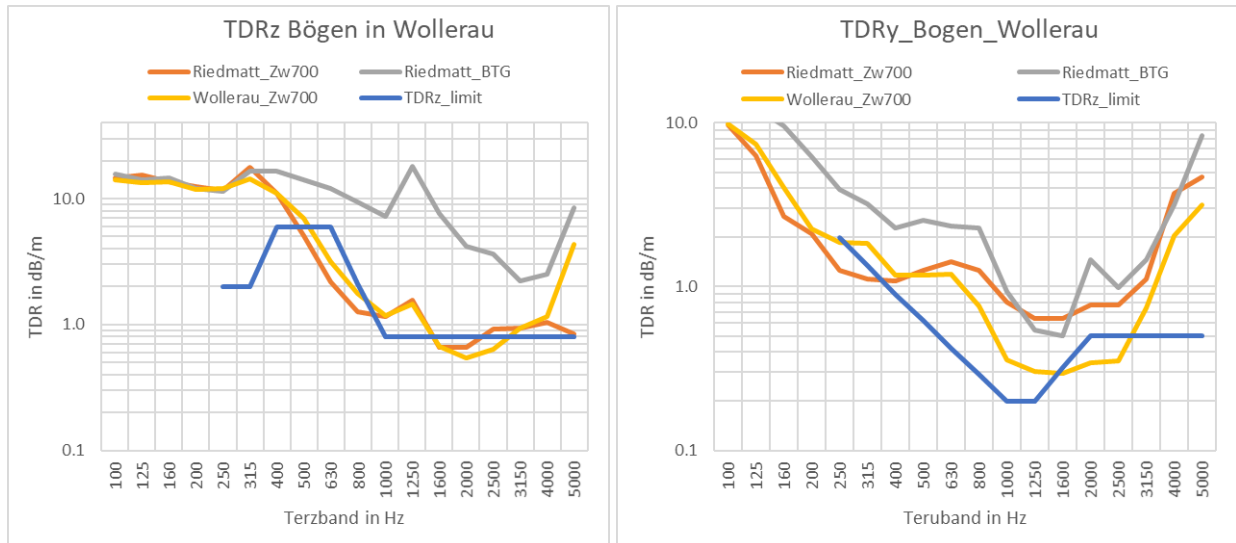


Abbildung 5-4: TDR Vergleich vor und nach der Umrüstung in Wollerau 2019

Die TDR im Ausgangszustand liegen bei beiden Bögen dicht aufeinander, insbesondere die vertikalen TDR verlaufen nahezu deckungsgleich. Sowohl vertikale als auch laterale TDR unterschreiten in einigen Frequenzbereichen die Mindestanforderungen für TSI-Noise-Typentests.

Nach Umbau des Bogens Riedmatt (BPZw) steigen die vertikalen TDR oberhalb von 400 Hz stark an. Sowohl vertikale als auch laterale TDR des Bogens Riedmatt liegen nun über den Mindestanforderungen der TSI Noise.

Bei den TDR Verläufen der Abschnitte mit weicher Zwischenlage vom Typ Zw700 AT hat sich gegenüber den Messungen von 2019 keine grosse Änderung gezeigt.

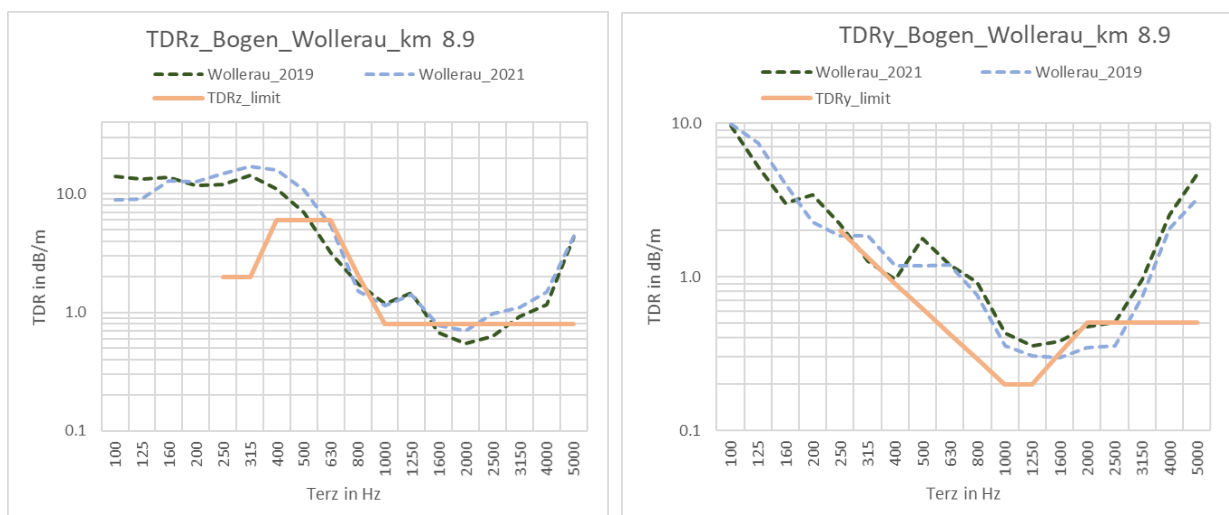


Abbildung 5-5: TDR Vergleich Messungen 2019 und 2021 Bogen Wollerau km 8.9

Die TDR Verläufe im Bogen Wollerau km 8.9 mit weicher Zw700 AT zeigen sich nach 1.5 Jahren Liegedauer als unverändert.

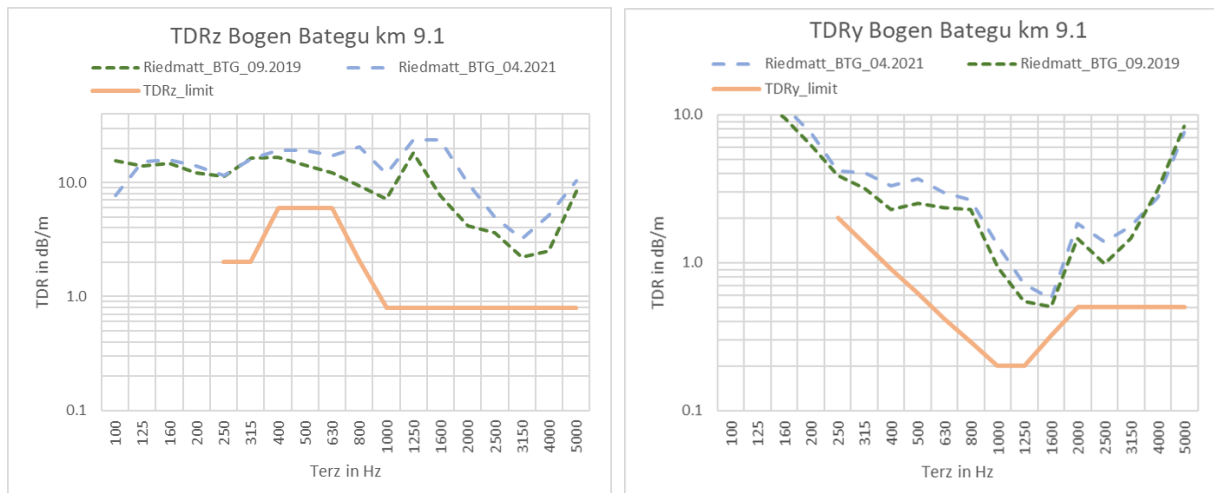


Abbildung 5-6: TDR Vergleich Messungen 2019 und 2021 Bategu Abschnitt km 9.1 in Riedmatt

Die Dämpfungswerte im Bogen Riedmatt km 9.1 mit Bategu Zw haben sich nach 1.5 Jahren Liegedauer kaum verändert, sowohl bei den vertikalen TDR als auch bei den lateralen TDR ist eine leichter Anstieg zu erkennen. Damit kann gezeigt werden, dass die Bategu Zwischenlage ihre dämpfende Wirkung auf den Schienenschall auch nach einer ersten Liegedauer von 1.5 Jahren beibehält.

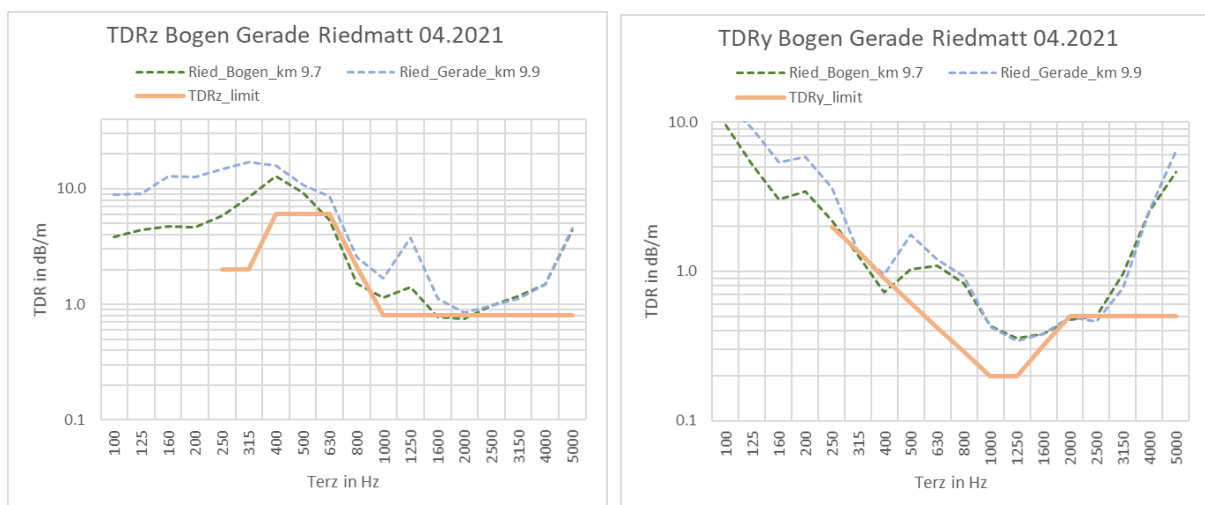


Abbildung 5-7: TDR Vergleich Messungen 2021 Reidmatt Bogen km 9.7 und Gerade km 9.9

Die TDR Verläufe von gleichwertigem Oberbau mit weichen Zw700 AT unterscheiden sich nicht wesentlich im Bogen oder auf der Geraden im Hinblick auf die Schallabstrahlung. Tendenziell sind sie auf der Geraden etwas höher.

5.5 Schienenrauheiten

Die Schienenrauheiten sind detailliert im Anhang A.2.4 enthalten und hier als Vergleich aufgeführt.

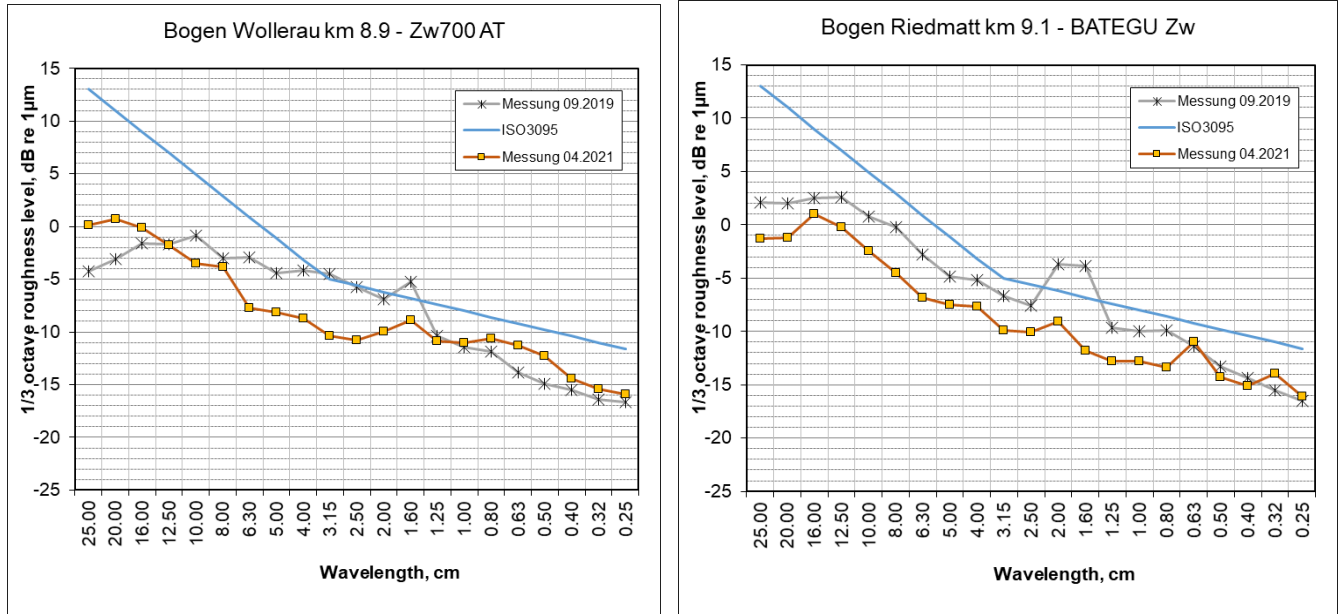


Abbildung 5-8: Vergleich Schienenrauheiten der Bögen in Wollerau mit Zw700AT und BATEGU

An beiden Bögen gingen die Rauheiten innerhalb der gleichen Zeitspanne von 1.5 Jahren zurück. Im September 2019 sind bei 1.6 bis 2.0cm Wellenlänge noch die Schleifmarken vom letzten Schienenschleifens erkennbar, welche im April 2021 dann deutlich geringer ausfallen. Riffel aus der Rolldynamik in Gleisbögen treten auf der Innenseite im Bogen und eher im langwelligen Bereich bei 8 bis 20 cm auf. Die Ergebnisse in Abbildung 5-8 bestätigen bisherige Erkenntnisse, dass Oberbauten mit weichen elastischen Zwischenlagen (Zw700 AT, BATEGU mit 200 kN/mm) ein langsames Riffelwachstum aufweisen als solche mit harten Zwischenlagen.

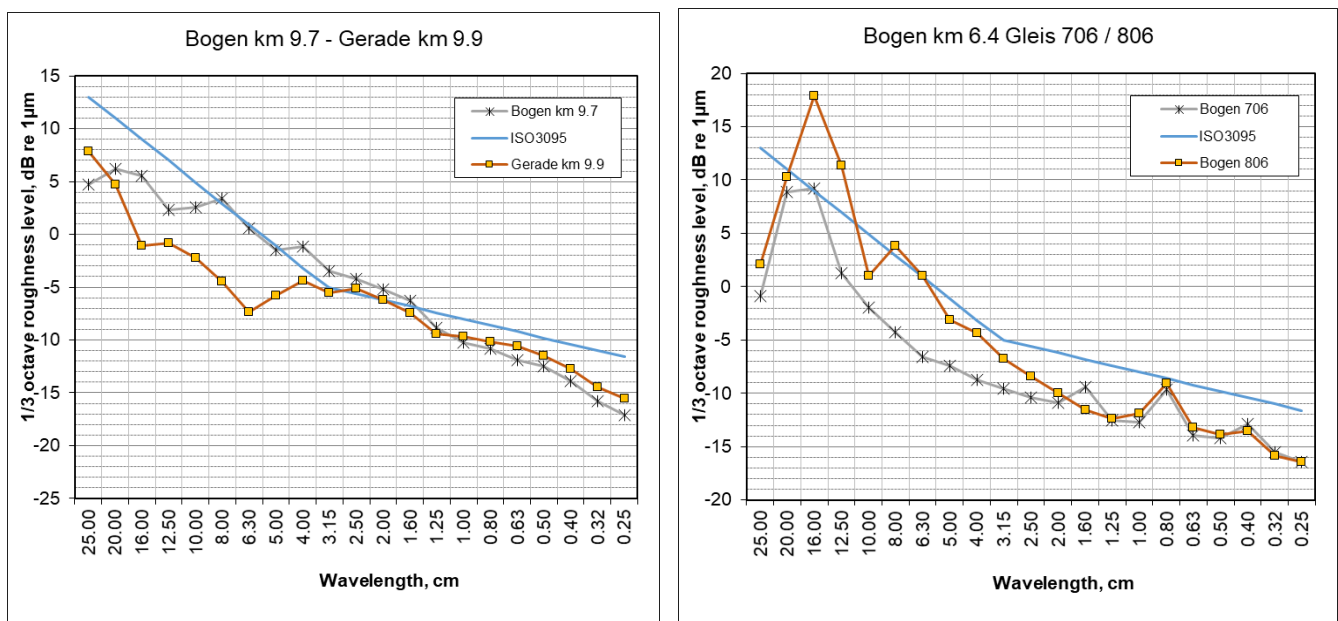


Abbildung 5-9: Vergleich Schienenrauheiten von Bogen km 9.7, Gerade km 9.9, Bogen km 6.4 Gleis 706 und 806

Die Schienenrauheiten von Bogen km 9.7 und Gerade km 9.9 sind relativ glatt und überschreiten nur in einigen Wellenlängen die Grenzkurve. Die Rauheiten im Bogen km 9.7 sind plausibel höher als auf der Geraden. Im Doppelgleisbogen km 6.4 sind langwellige Riffel zwischen 16 und 20 cm im Schienenrauheitsspektrum erkennbar, welche sich auf der Innenseite befinden.

5.6 Spektren

Im Folgenden sind die Schalldruckpegelterzspektren der Vorbeifahrgeräusche an Bogen und Gerade in Riedmatt abgebildet.

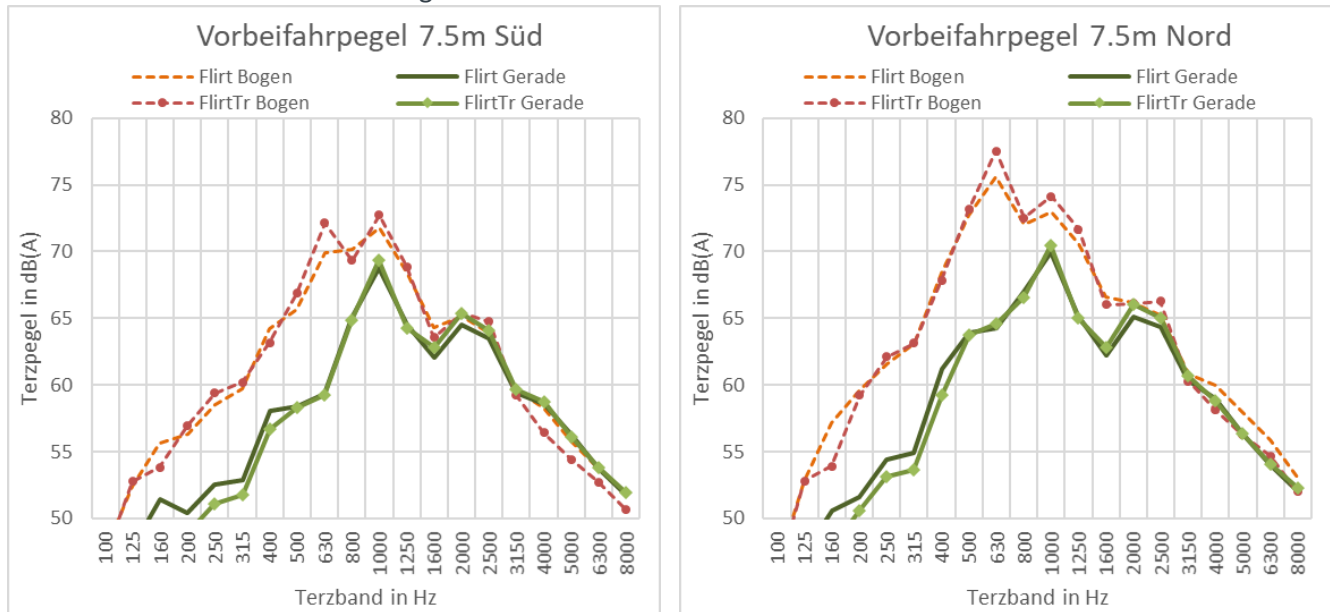


Abbildung 5-10: Vergleich Schallpegelterzspektren Bogen km 9.7 vs. Gerade km 9.9

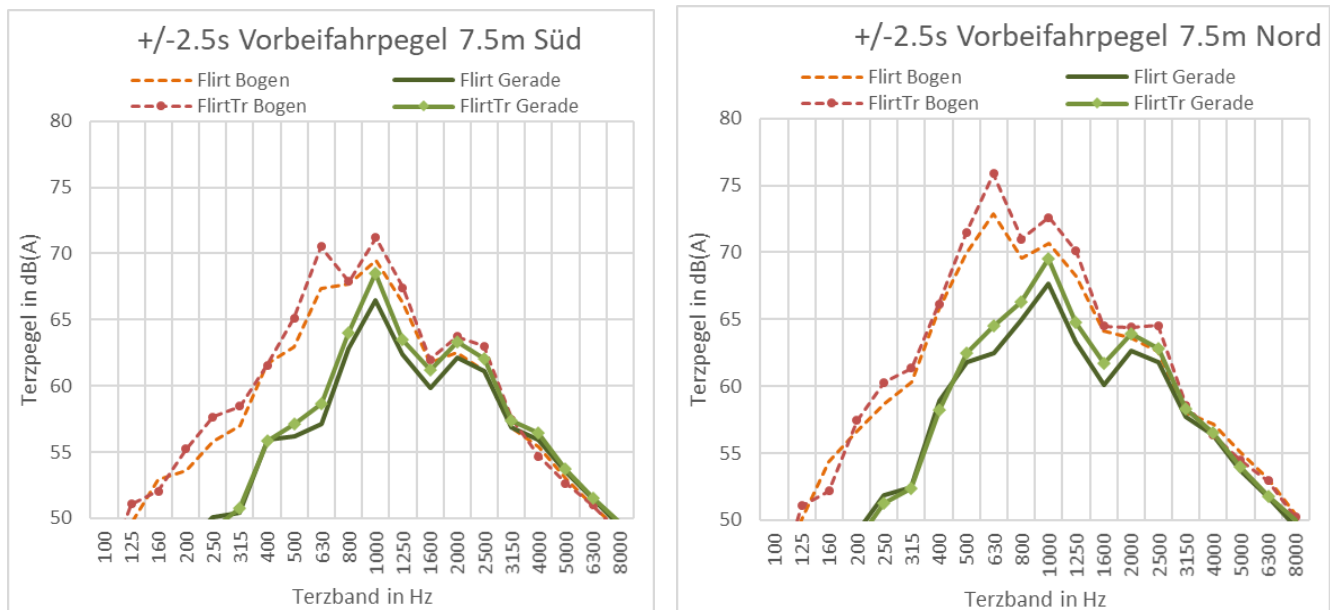


Abbildung 5-11: Vergleich Schallpegelterzspektren erweiterte Vorbeifahrdauer Bogen km 9.7 vs. Gerade km 9.9

Der Pegelunterschied von Bogen und Gerade wird vor allem durch die erhöhten Terzpegel zwischen 100 und 1600 Hz im Bogen verursacht. Da die Schiene an dem Tag der Messung meistens feucht war trat kaum Kurvenkreischen auf. Vielmehr sind die Geräusche im Bogen auf die besonderen Laufeigenschaften und Stellung der Drehgestelle zurückzuführen.

Auf der Bogeninnenseite bzw. Nordseite fallen die Vorbeifahrpegel etwas höher aus als auf der Bogenaußenseite bzw. Südseite.

6 Referenzen

- [1] *Harmonoise, EU Projekt, <https://cordis.europa.eu/project/rcn/57829/factsheet/de>*
- [2] *B. Lichtenberger, Handbuch Gleis, Tetzlaff Verlag 2004*
- [3] *BAFU, sonRAIL Projektdokumentation 2010*
- [4] *SBB, Schlussbericht Erprobung Schienendämpfer 04-2016*
- [5] *IMAGINE EU Improved Methods for the Assessment of Generic Impact of Noise in the Environment, EU 2006, <https://cordis.europa.eu/project/rcn/73857/reporting/en>*
- [6] *F. Auer. Diss. Zur Verschleißreduktion von Gleisen in engen Bögen, TU Graz 2010, <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=57ff5f64547d4&location=browse>*
- [7] *David Thompson, Railway Noise and Vibration, 2009*
- [8] *PROSE, 02-00952 Vergleich Zwischenlagen, Projekt 15.043*
- [9] *PROSE, 02-03-00293 Lärmzunahme Unterschottermatten, Projekt 14.138 und 14.140*
- [10] *PROSE, 04-03-01033 Lärmzunahme bei Schwellenbesohlung, Projekt 14.105*
- [11] *PROSE, 02-00993 Schienenstegabschirmungen Projekt 15.033*
- [12] *C. Czolbe, H-R. Graf, Schienenschall Messungen, DAGA 2018*
- [13] *PROSE, 04-03-01718, Akustische Wirkung von Betonschwellen B70 und B91, 2018*
- [14] *PROSE, 04-03-01959, Messung Schallabstrahlung B70 Schwellen, 12-2018*
- [15] *PROSE, 02-01329, Akustische Wirkung von Zwischenlagen in engen Bögen BLS AG, 2018*
- [16] *G. Schleinzner et.al., Roll²Rail Projekt, MBBM Bahnakustik Tagungsband 11-2018*
- [17] *H.R. Graf, C.Czolbe, Sound radiation from the rail, ICA 2019*
- [18] *DIN EN 13481-2:2017-05 Bahnanwendungen - Oberbau - Leistungsanforderungen für Schienenbefestigungssysteme - Teil 2: Befestigungssysteme für Betonschwellen*
- [19] *EN 13146-9:2020 rail fastening systems dynamic parameters*
- [20] *ISO 3095:2013 Acoustics - Railway applications - Measurement of noise emitted by railbound vehicles (ISO 3095:2013)*
- [21] *EN 15461:2011-01 Railway applications - Noise emission - Characterisation of the dynamic properties of track sections for pass by noise measurements*
- [22] *SN EN 15610:2019-11 Bahnanwendungen - Akustik - Messung der Schienen- und Radrauhheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräuschen*
- [23] *PROSE, Schlussbericht Zwischenlage 04-03-02153-01 vom 30.09.2020*
- [24] *S. Werner, Untersuchung von besohlenen Schwellen in engen Radien, 13.08.2020*

A Messdaten

A.1 Messungen Doppelbogen bei Samstagnern

A.1.1 Messgeräte

Sensorbezeichnung	Messquerschnitt	Position	PROSE Nr.	Faktor	Typ	SN Kapsel
P21	km 6.4	O706 7.5m 1.2m	1	50 mV/Pa	B&K 4189 + 2671 ICP	2117577
P22	km 6.4	O706 3.7m 1.2m	2	50 mV/Pa	B&K 4189 + 2671 ICP	2199610
P23	km 6.4	W706 7.5m 1.2m	3	50 mV/Pa	B&K 4189 + 2671 ICP	2117578
P24	km 6.4	W706 10.2m 1.2m	4	50 mV/Pa	B&K 4189 + 2671 ICP	2199611
P25	km 6.45	zw 706 & 806	5	50 mV/Pa	B&K 4189 + 2671 ICP	2117580
P26	km 6.35	zw 706 & 806	6	50 mV/Pa	B&K 4189 + 2671 ICP	2117581
P27	km 6.4	zw 706 & 806	7	50 mV/Pa	B&K 4189 + 2671 ICP	2117582
P28	km 6.4	GM 806	8	50 mV/Pa	B&K 4189 + 2671 ICP	2117583
P29	km 6.4	GM 706	9	50 mV/Pa	B&K 4189 + 2671 ICP	2117584
A21	km 6.4	706	AR1z	10 mV/g	Kistler 8702B500	
A22	km 6.4	706	AR1y	10 mV/g	Kistler 8702B500	
A23	km 6.4	706	AR2z	10 mV/g	Kistler 8702B500	
A24	km 6.4	706	AR2y	10 mV/g	Kistler 8702B500	
A25	km 6.4	806	AR3z	10 mV/g	Kistler 8702B500	
A26	km 6.4	806	AR3y	10 mV/g	Kistler 8702B500	
A27	km 6.4	806	AR4z	10 mV/g	Kistler 8702B500	
A28	km 6.4	806	AR4y	10 mV/g	Kistler 8702B500	
A29	km 6.4	706	AS1z	100 mV/g	Kistler 8702B50	
A30	km 6.4	806	AS3z	100 mV/g	Kistler 8702B50	
A31	km 6.406	706	AS11z	50 mV/g	Kistler 8702B100	
A32	km 6.406	806	AS13z	50 mV/g	Kistler 8702B100	
Hammer					PCB 086D05	

Akustischer Kalibrator: B&K 4231 SN 2671438

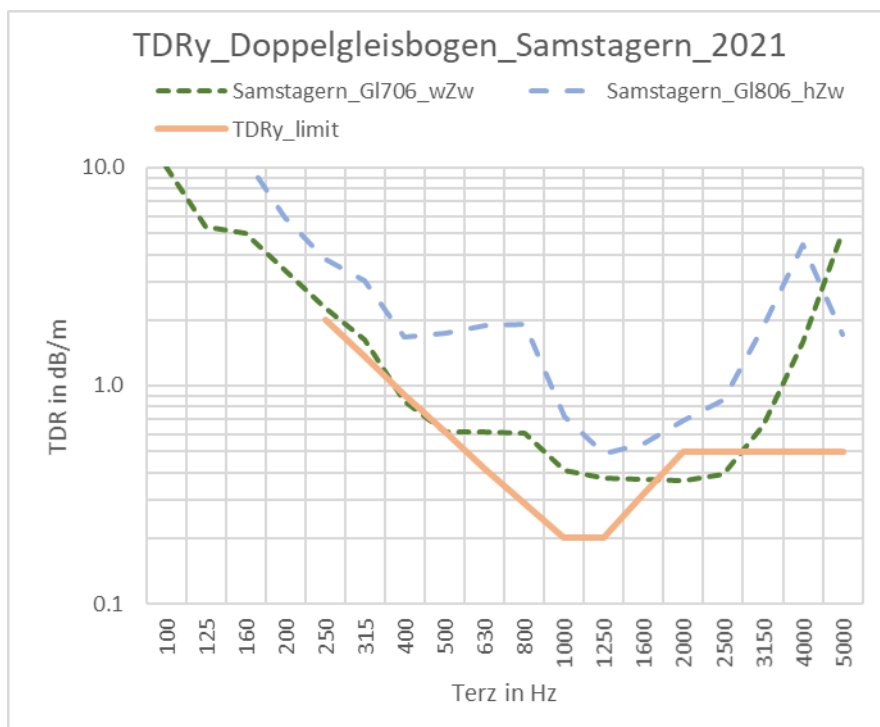
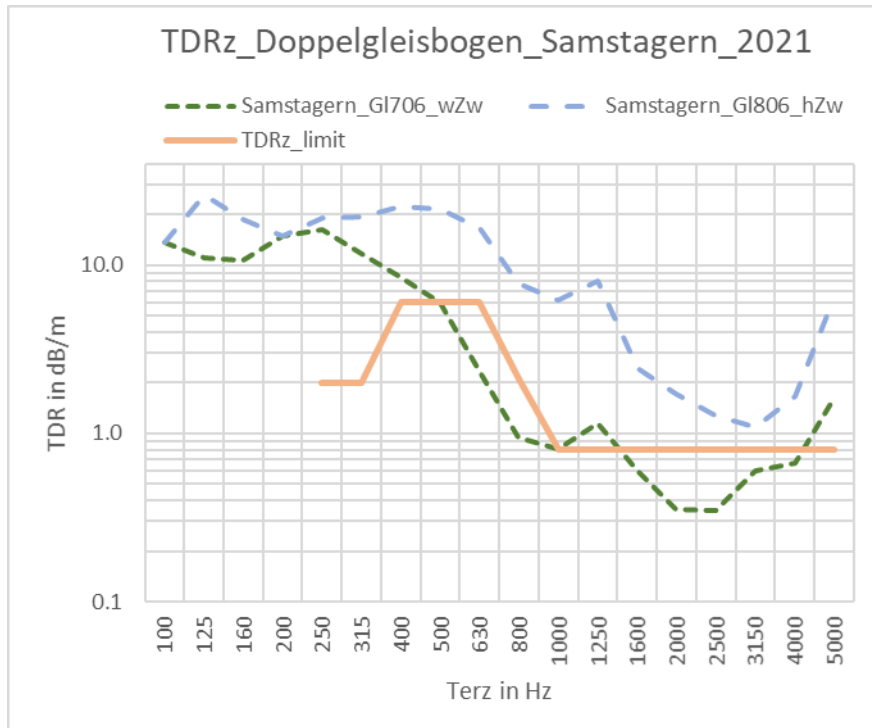
Aufzeichnungsgerät NI cDAQ 9135 Nidaq07 mit NI 9234 4CH Eingangskarten

Aufgezeichnet wurde mit 25.6 kHz Samplefrequenz und einem Antialiasing Filter.

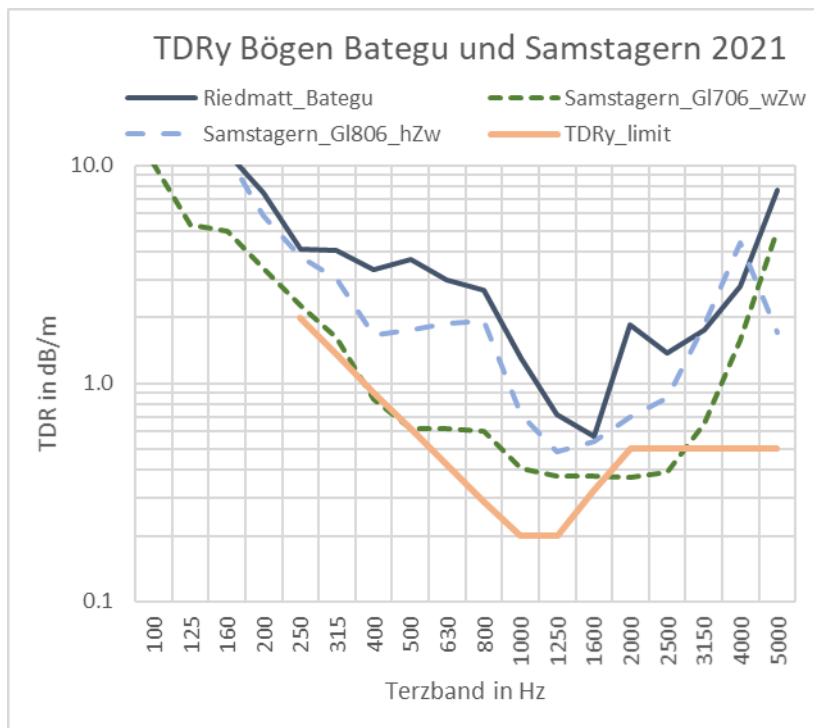
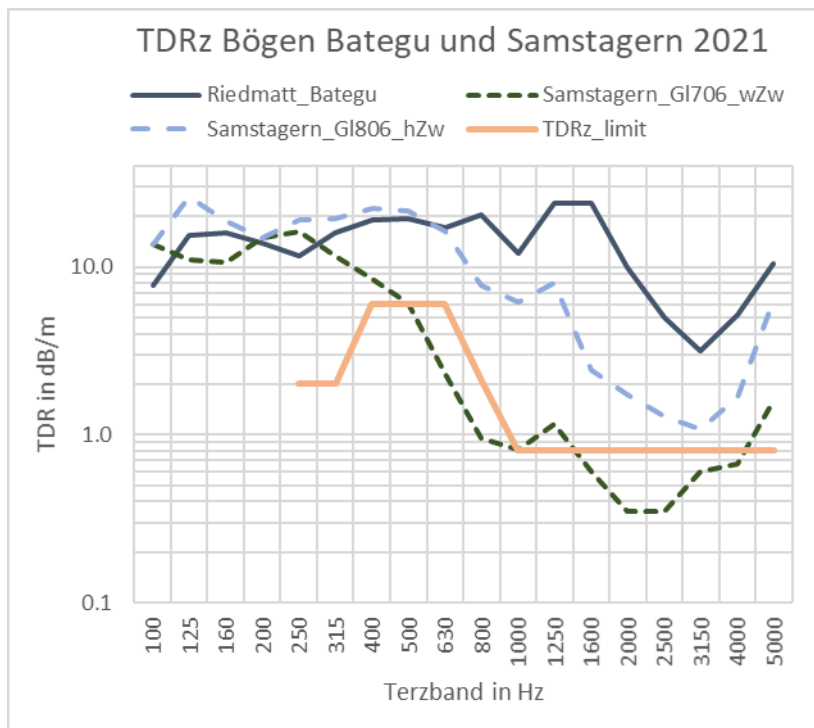
Messprotokoll																															
Thema:				Datum				Fahrzeug:				Projektnummer:																			
Lärm TDR in Gleisbögen				28.04.2021				Flirt; FlirtTraverso				CH01-02235																			
Wetter						Sensorik [Sensormame - S.-Nr.]						Teststrecke						Teilnehmer													
Zeit:			10.00	14.00	18.00							Koordinaten	Samstagern	km	6.4			PROSE	Hansrudolf Graf												
Wind [m/s]			2	15	2							Hintergrundschalpegel [dB(A)]:	45					Christian Czolibe													
Windrichtung			W	SW	W													Sonstige													
Lufttemperatur [°C]			12	16	15							M1-M9 Bogen	G1706, G1806																		
Luftfeuchtigkeit [%]			65	60	60																										
Wetter			trocken	trocken	trocken							Typ/I-Bereich: Kalibrator:						B&K, Typ 4231													
Luftdruck [hPa]			950	950	950							S-Nr.:																			
						LpAeq,Tp	LpAeq,Tp	LpAeq,Tp	LpAeq,Tp	LpAeq,Tp	LpAeq,Tp	LpAeq,Tp	LpAeq,Tp	LpAeq,Tp	LpAeq,Tp	LpAeq,Tp	LpAeq,Tp	Lötschberger 3-teilig:				0									
Laufnr.	Zeit	v[km/h]	start	stop		M1	M2	M3	M4	MG	MGG	M5-50m	M7	M6+50m	PW mit Re465:				0												
						7.5m	7.5m	3.7m	10.2m	0	3.8m	2m	2m	2m	Bemerkungen:																
e7000004	11:40	1000	0.1	20.0		43.7	42.9	44.4	93.9									Kal													
e7000005	11:42	1000	0.1	20.0		45.9	42.9	47.0	46.3									Kal													
e7000006	11:45	1000	0.1	20.0		45.9	46.4	93.9	43.1									Kal													
e7000007	11:48	1000	0.1	20.0		93.9	42.3	43.0	44.2									Kal													
e7000008	11:58	62	316	36																											

A.1.3 TDR Ergebnis

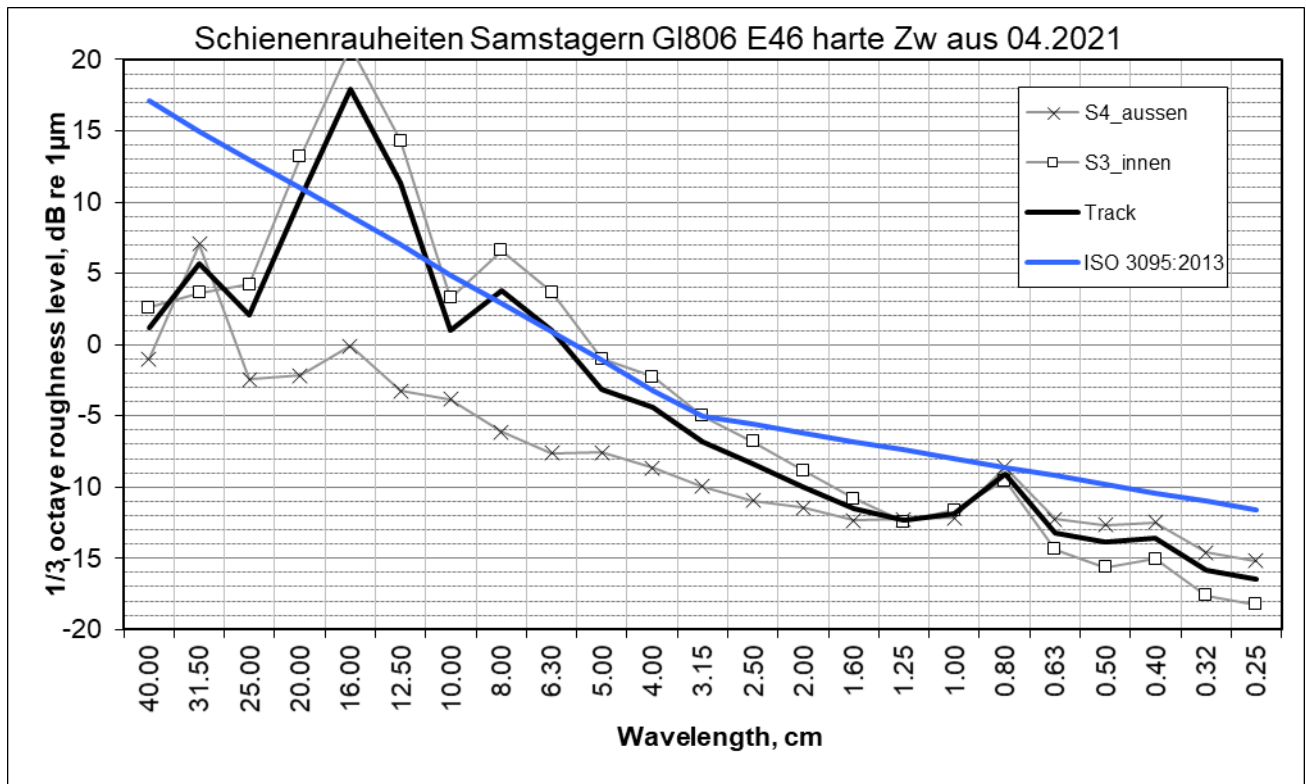
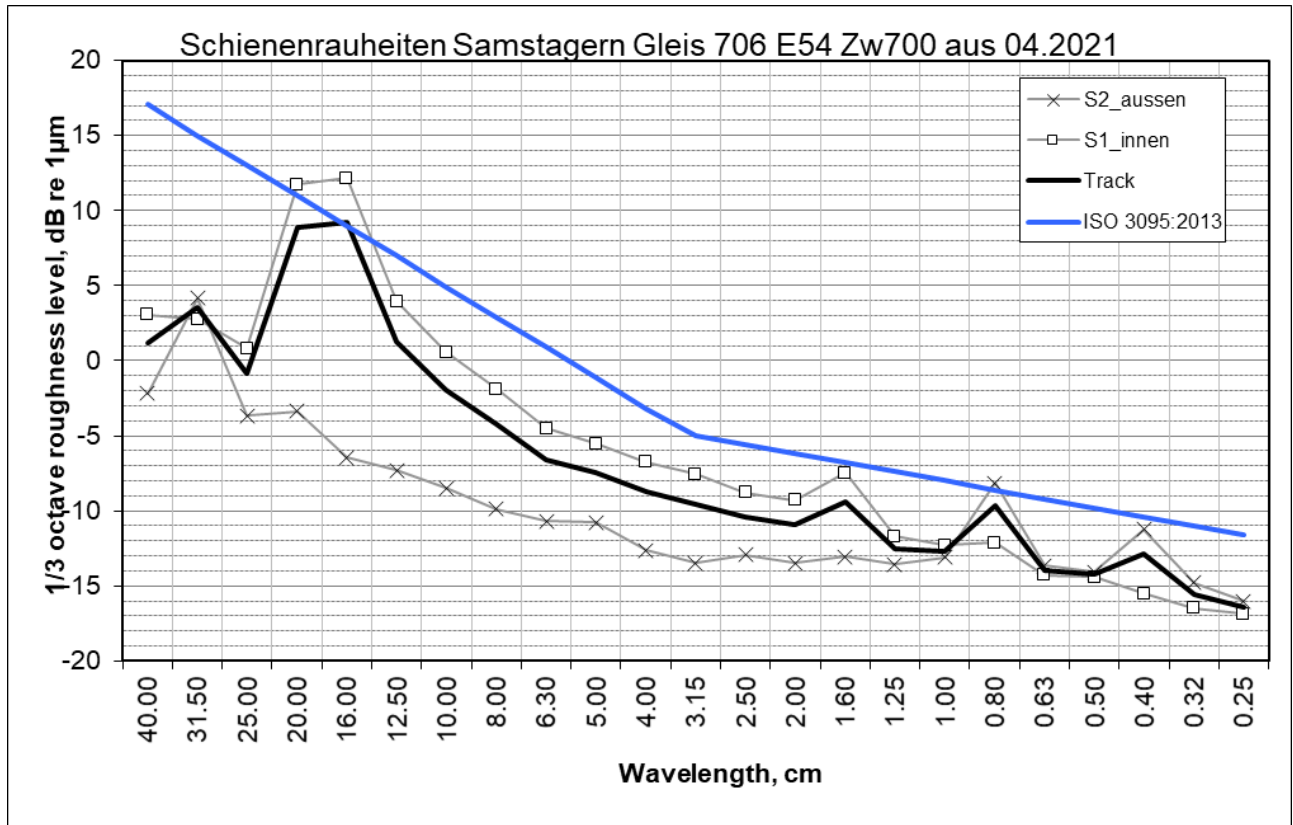
TDR Gleis 706 E54 Zw700 und 806 mit E46 und harter Zw 04.2021



TDR Gleis 706 E54 Zw700 und 806 mit E46 und harter Zw und Riedmatt Bategu km 9.1 von 04.2021



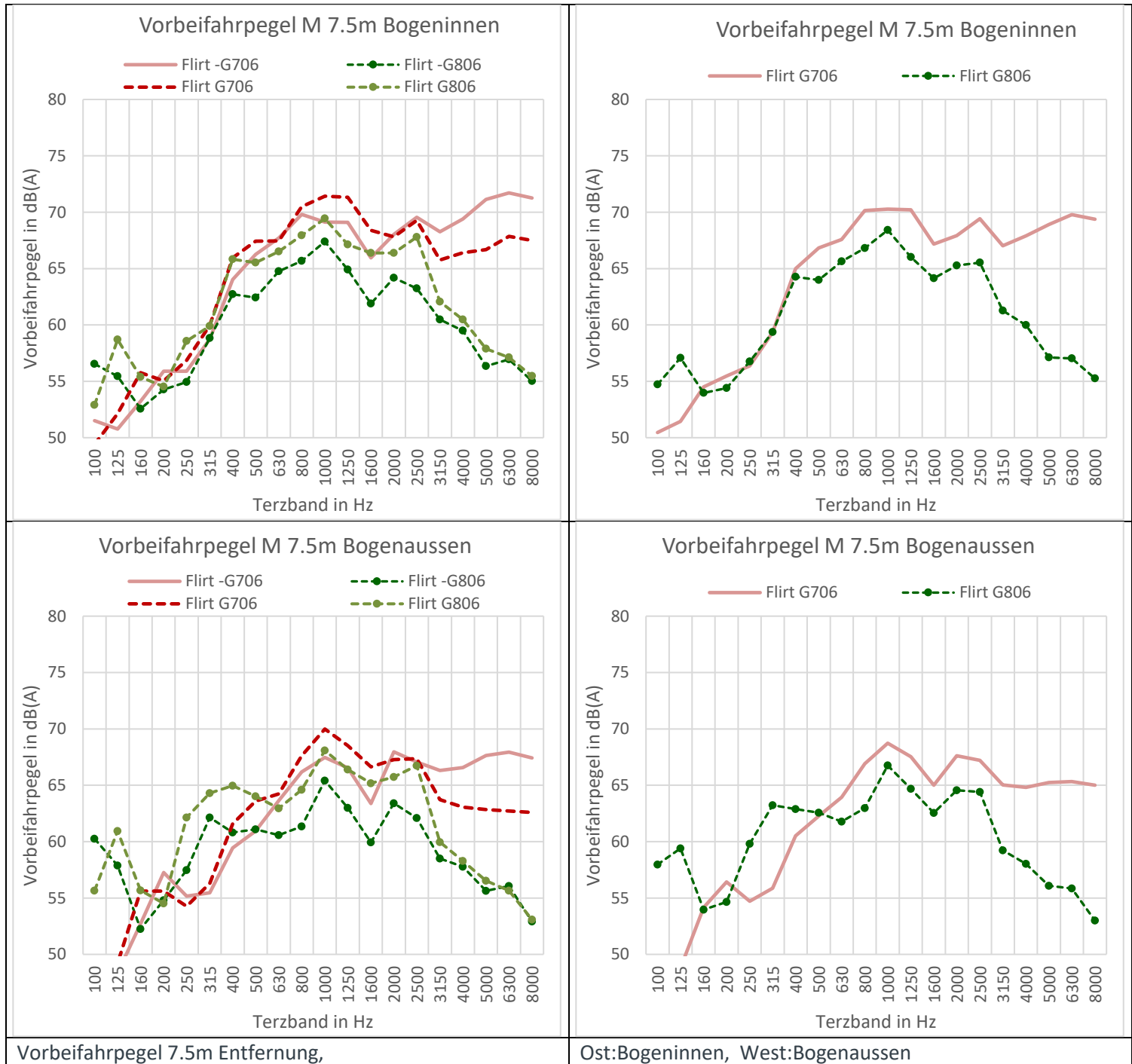
A.1.4 Schienenrauheiten

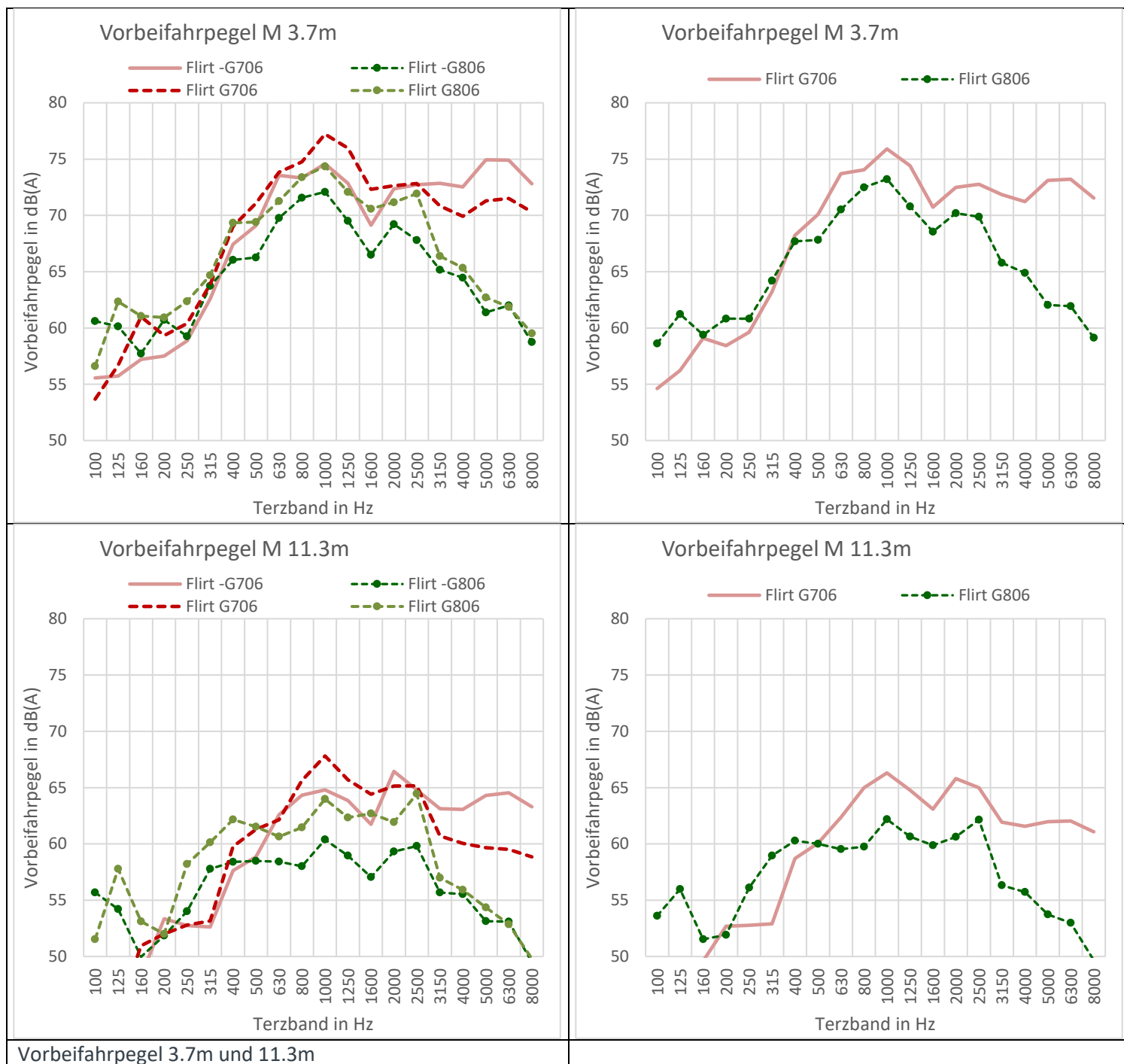


A.1.5 Schallpegel

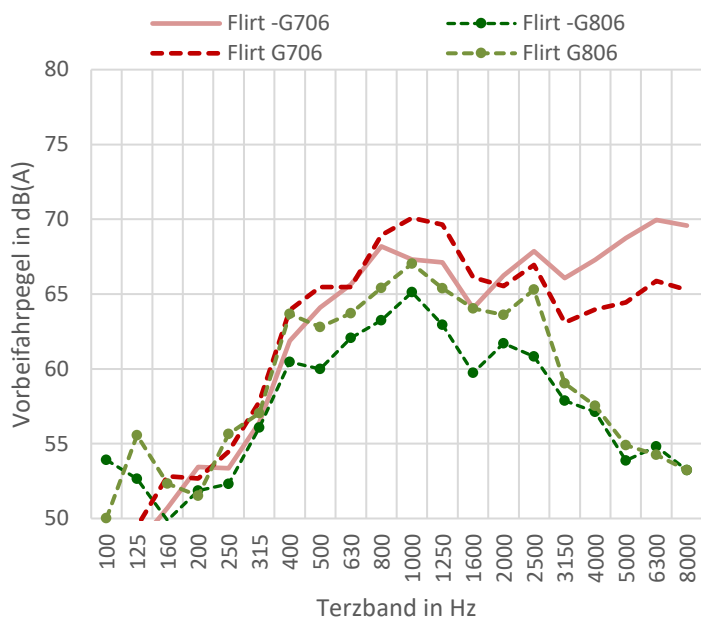
						1 = Schindeleggi, -1->Samstagen						LpAeq	LpAeq	LpAeq	LpAeq	LpAeq	LpAeq	LpAeq	LpAeq	LpAeq		
												7.5	7.5	3.7	11.2	GM	GM	50mSc	0m	50mSa	M5-M6	100m
Type	time	File	start	end	gesamt	dt	Ri GI1	Ri GI2	v_ist	Gleit	M1	M2	M3	M4	MG	MGG	M5	M7	M6	deltav	deltan	
			s	s	s	s			km/h		dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB	dB	
Flirt	13:32	00021	25.14	29.55	63.7	4.4	-1	0	61	1	78.9	76.0	83.0	73.6	86.5	75.5	71.4	93.8	88.5	0.3	6.7	
Flirt	14:39	00032	25.60	30.20	52.0	4.6	-1	0	61	1	84.5	79.8	88.6	77.6	89.5	78.4	88.9	98.3	89.0	6.3	11.1	
Flirt	17:40	00367	18.80	23.80	55.5	5.0	-1	0	62	1	82.2	82.0	83.9	78.6	90.1	78.6	91.5	97.4	91.2	6.4	9.4	
Flirt	15:39	00041	25.30	30.00	50.6	4.7	-1	0	62	1	80.7	77.3	85.3	74.4	88.4	76.6	87.3	95.8	89.0	5.6	11.1	
Flirt	12:39	00014	24.67	29.58	50.7	4.9	-1	0	62	1	90.3	80.5	88.2	89.1	90.3	78.7	71.6	97.6	91.4	2.1	3.6	
Flirt	16:37	00343	110.45	115.3	212.3	4.8	-1	0	62	1	77.5	75.3	81.5	72.8	85.6	73.9	86.7	92.5	88.7	7.2	9.6	
Flirt	13:43	00022	21.42	25.86	46.4	4.4	1	0	68	1	77.1	76.2	81.1	73.6	86.1	75.2	73.2	92.1	86.1	4.7	6.4	
Flirt	17:27	00361	17.40	21.30	33.9	3.9	1	0	68	1	77.5	76.5	81.6	73.3	87.0	75.9	89.0	93.1	86.9	9.5	6.1	
Flirt	12:25	00011	20.75	25.2	44.2	4.5	1	0	68	1	76.5	74.8	81.5	72.0	85.4	75.2	72.9	91.6	89.5	3.6	6.0	
Flirt	16:23	00339	146.40	150.40	212.3	4.0	1	0	72	1	80.2	77.6	84.6	74.9	88.5	76.7	89.8	95.9	90.5	9.0	6.5	
Flirt	14:25	00030	24.30	28.29	50.7	4.0	1	0	72	1	81.5	78.4	85.9	76.1	88.8	76.9	90.0	96.4	90.4	8.8	5.1	
Flirt	13:58	00025	21.60	25.60	47.8	4.0	1	0	72	1	86.4	82.0	90.3	78.7	91.0	79.8	72.3	101.7	91.3	9.4	0.1	
Flirt	15:55	00331	52.44	56.37	212.3	3.9	1	0	72	1	79.8	77.6	84.6	75.1	89.3	77.4	89.9	96.4	91.6	8.8	6.2	
Flirt	12:18	00010	21.51	25.91	45.4	4.4	1	0	72	1	82.8	78.8	87.8	76.4	91.1	81.0	71.4	97.7	91.4	8.2	4.1	
Flirt	17:18	00354	58.90	62.50	83.5	3.6	1	0	72	1	78.9	76.6	83.7	74.2	88.1	76.4	89.0	95.6	89.6	9.2	6.0	
Flirt	14:56	00035	22.00	26.30	47.0	4.3	1	0	72	1	80.8	77.7	84.9	75.3	88.5	76.8	89.9	96.0	90.0	9.2	5.9	
Flirt	12:55	00017	23.54	27.70	49.6	4.2	1	0	72	1	82.4	79.0	86.5	76.5	90.4	78.3	73.4	97.7	91.9	9.5	3.7	
Flirt	15:26	00039	20.80	24.91	45.9	4.1	1	0	72	1	81.6	79.7	85.6	77.0	90.2	78.4	91.1	97.6	91.4	9.0	5.9	
Flirt	16:52	00347	202.80	206.70	212.3	3.9	1	0	72	1	82.0	79.6	86.5	77.0	90.2	77.9	90.3	97.4	91.5	8.6	5.2	
Flirt	14:18	00029	24.30	28.29	51.2	4.0	1	0	72	1	85.2	81.3	88.6	78.6	91.3	79.4	92.7	99.7	91.3	8.6	6.6	
Flirt	16:16	00337	151.77	155.84	212.3	4.1	1	0	72	1	79.6	77.3	82.9	74.9	89.0	77.5	89.4	96.9	91.0	10.4	5.5	
Flirt	13:20	00020	25.14	29.55	49.8	4.4	1	0	72	1	82.4	78.5	86.8	76.2	89.3	78.3	71.7	97.0	92.0	12.6	3.2	
Flirt	12:31	00013	27.32	32.75	52.5	5.4	0	-1	54	2	72.3	71.1	77.0	67.8	91.0	82.0	71.0	75.2	84.0	15.8	10.4	
Flirt	13:13	00019	20.60	25.85	67.4	5.3	0	-1	59	2	73.1	73.4	78.3	69.8	91.6	82.1	71.4	78.0	85.1	10.6	6.9	
Flirt	14:31	00031	20.95	25.70	45.6	4.8	0	-1	59	2	72.5	71.6	77.5	68.1	91.3	81.8	83.1	74.8	84.9	13.3	9.4	
Flirt	15:13	00037	31.50	36.30	56.3	4.8	0	-1	61	2	76.6	73.8	81.5	70.8	94.1	84.8	85.4	77.0	87.4	13.7	14.2	
Flirt	12:12	00009	49.00	54.10	74.7	5.1	0	-1	61	2	77.3	77.2	81.8	73.7	95.3	85.8	71.6	77.3	88.0	10.4	6.7	
Flirt	16:30	00341	29.90	34.40	212.3	4.5	0	-1	61	2	75.0	73.6	80.0	70.2	95.2	85.8	85.0	77.9	86.6	13.7	13.7	
Flirt	14:13	00027	16.05	20.80	43.4	4.8	0	-1	61	2	75.8	74.6	80.4	70.8	94.6	86.1	86.3	78.5	88.7	15.3	12.1	
Flirt	12:59	00018	27.20	32.10	51.8	4.9	0	-1	61	2	75.7	75.0	80.4	71.8	94.5	86.1	71.2	77.1	87.3	10.7	3.0	
Flirt	17:11	00352	128.90	134.10	212.3	5.2	0	-1	62	2	74.9	75.6	79.6	72.0	94.4	86.0	86.9	80.5	88.6	4.7	11.3	
Flirt	15:58	00332	18.70	23.22	212.3	4.5	0	-1	62	2	74.9	74.2	79.6	70.6	93.9	85.1	86.2	77.0	87.3	13.9	12.9	
Flirt	16:13	00336	25.00	29.73	212.3	4.7	0	-1	62	2	75.9	80.6	80.5	76.1	94.0	87.8	89.9	90.9	86.9	15.0	0.6	
Flirt	11:58	00008	31.6387	36.15	66.2	4.5	0	-1	62	2	75.3	73.8	80.0	71.4	94.6	84.8	71.1	78.2	87.4	11.3	6.0	
Flirt	13:59	00026	30.30	35.40	57.1	5.1	0	-1	62	2	77.0	76.4	81.3	73.5	94.9	87.1	70.9	78.2	88.5	10.7	1.1	
Flirt	13:43	00023	30.80	35.40	56.2	4.6	0	-1	62	2	76.1	74.6	80.8	71.3	95.4	85.4	71.0	77.8	87.8	9.1	4.7	
Flirt	14:58	00036	30.40	35.30	55.2	4.9	0	-1	62	2	76.5	75.3	81.0	72.0	95.7	86.6	86.3	78.3	88.2	13.7	10.7	
Flirt	15:32	00040	31.17	35.80	56.8	4.6	0	-1	63	2	75.7	74.8	80.3	71.1	94.5	85.8	87.0	78.3	88.4	13.6	13.0	
Flirt	14:42	00033	23.72	28.00	47.8	4.3	0	1	69	2	78.0	77.5	82.3	74.5	96.8	88.4	87.7	80.1	90.3	11.3	10.1	
Flirt	15:42	00042	21.90	26.00	45.9	4.1	0	1	71	2	76.8	75.2	81.6	72.0	95.3	86.4	87.8	78.7	88.6	11.5	6.1	
Flirt	16:41	00344	140.7	144.80	214.1	4.1	0	1	71	2	76.7	75.5	81.4	72.3	96.0	86.8	87.1	79.2	89.1	12.1	8.2	
Flirt	12:42	00015	22.43	26.74	48.3	4.3	0	1	71	2	77.3	76.4	81.7	73.2	95.6	86.9	71.1	79.1	89.3	5.9	13.4	
Flirt	13:32	00021	39.40	43.80	63.7	4.4	0	1	72	2	77.1	76.6	81.6	73.3	95.9	87.5	71.3	80.0	89.5	6.3	11.8	
Flirt	17:44	00369	8.70	13.06	20.0	4.4	0	1	72	2	77.7	76.8	82.4	73.4	97.3	88.1	88.1	80.6	90.2	12.0	12.9	
Flirt	16:56	00348	165.5	170.00	232.3	4.5	0	-1	64	2	72.5	71.8	77.0	68.4	90.9	82.5	82.9	75.2	85.2	13.5	14.4	
FlirtTr	16:41	00344	165.1	174.3	214.1	9.2	-1	0	59	1	74.9	73.9	79.6	71.4	84.8	74.9	85.9	91.0	87.3	5.1	8.6	
FlirtTr	14:44	00034	20.40	29.70	40.2	9.3	-1	0	59	1	74.6	73.4	78.8	71.0	84.1	74.0	85.4	90.7	86.1	5.2	10.2	
FlirtTr	12:43	00016	19.80	29.60	49.9	9.8	-1	0	59	1	77.3	75.0	81.2	72.8	85.3	76.6	71.6	92.1	86.5	5.2	3.0	
FlirtTr	17:43	00368	0.10	9.15	27.7	9.1	-1	0	59	1	79.5	80.2	82.5	77.0	89.4	79.1	89.7	95.3	90.1	0.0	9.8	
FlirtTr	15:42	00042	37.25	45.90	45.9	8.7	-1	0	59	1	76.3	75.2	81.4	73.2	86.7	77.4	87.2	93.6	85.4	6.4	0.0	
FlirtTr	13:46	00024	20.25	29.44	40.2	9.2	-1	0	59	1	82.9	77.9	86.5	76.1	89.1	80.7	72.1	95.3	88.5	6.1	3.5	
FlirtTr	17:11	00352	139.70	147.80	212.3	8.1	1	0	69	1	77.4	76.2	81.5	73.5	86.4	76.1	87.9	92.8	88.2	16.1	6.1	
FlirtTr	14:14	00028	3.50	11.56	32.0	8.1	1	0	69	1	80.4	78.1	84.7	76.0	89.2	79.0	89.1	95.4	90.2	0.0	6.3	
FlirtTr	12:12	00009	20.45	28.6653	74.7	8.2	1	0	69	1	80.3	77.7	85.2	75.1	90.7	79.4	72.8	95.2	91.2	1.6	7.5	
FlirtTr	16:13	00336	20.42	28.80	212.3	8.4	1	0	69	1	78.7	79.4	84.1	75.7	89.3	89.9	89.2	94.4	90.3	7.4	1.9	
FlirtTr	13:13	00019	37.30	45.73	67.4	8.4	1	0	69	1	81.5	80.9	85.0	78.6	89.9	78.6	73.0	95.8	89.6	7.3	4.9	
FlirtTr	15:15	00038	20.30	28.50	40.4																	

A.1.6 Terzspektren

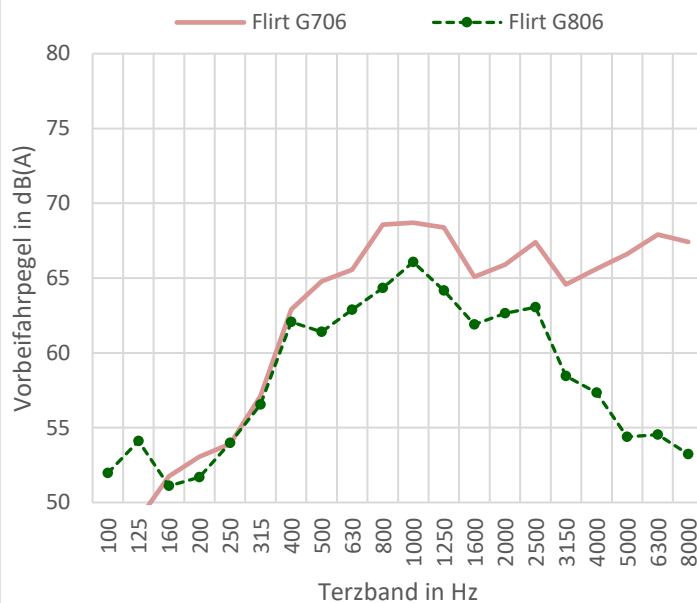




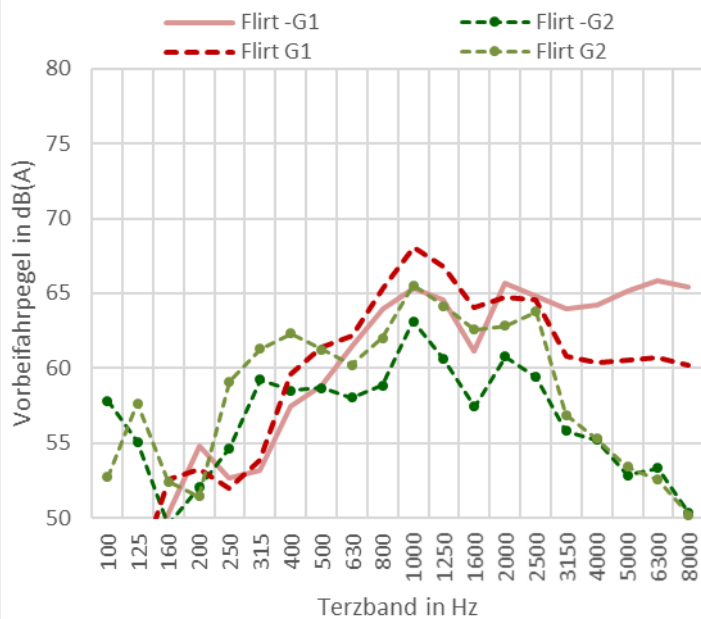
+/- 2.5s Vorbeifahrpegel 7.5m Bogeninnen



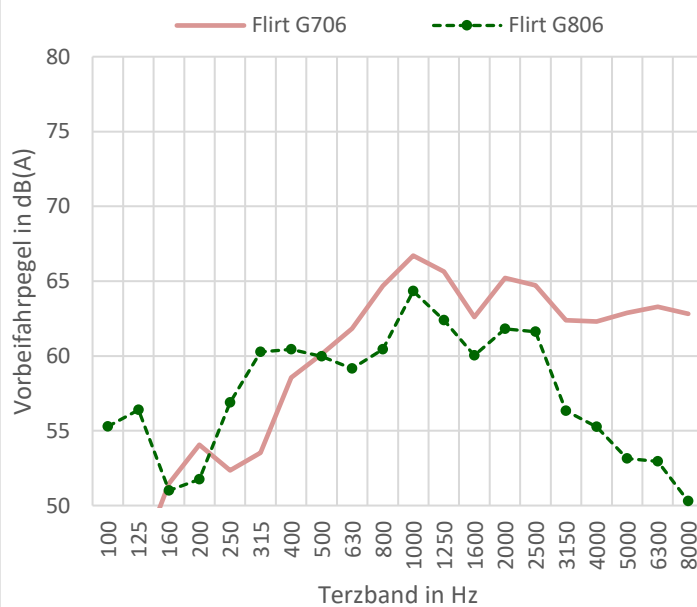
+/- 2.5s Vorbeifahrpegel 7.5m Bogeninnen



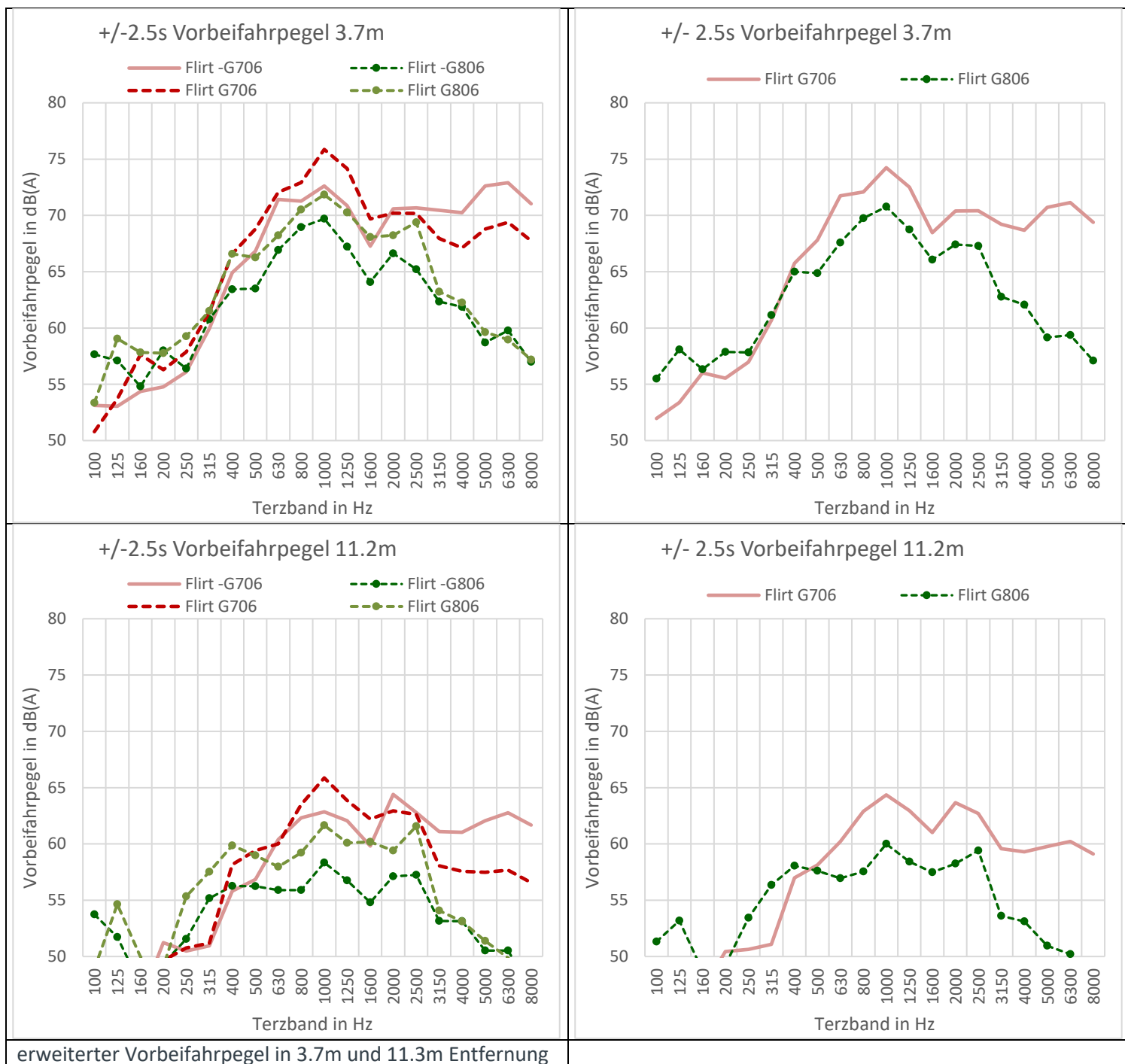
+/- 2.5s Vorbeifahrpegel 7.5m Bogenaußen



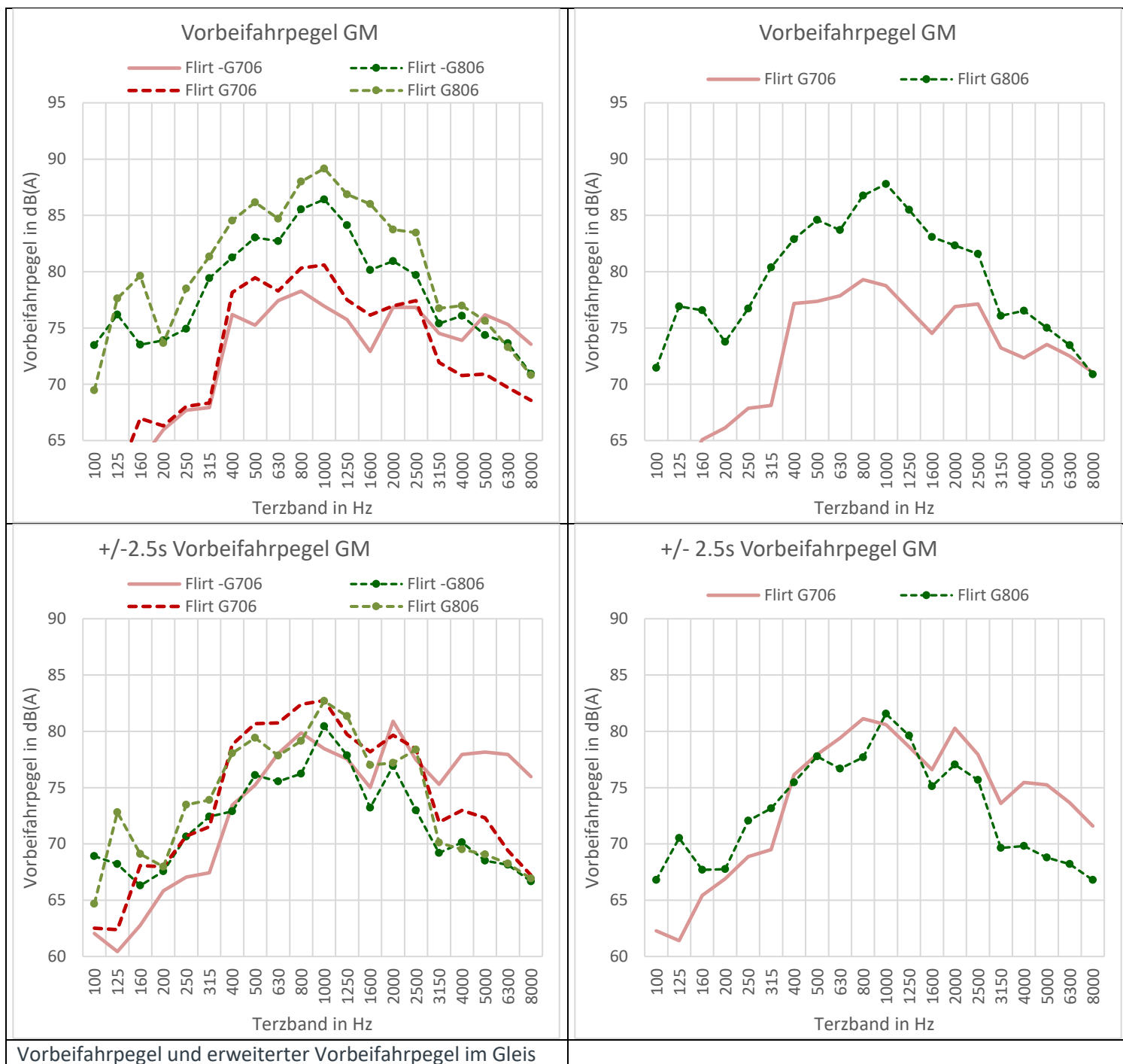
+/- 2.5s Vorbeifahrpegel 7.5m Bogenaußen



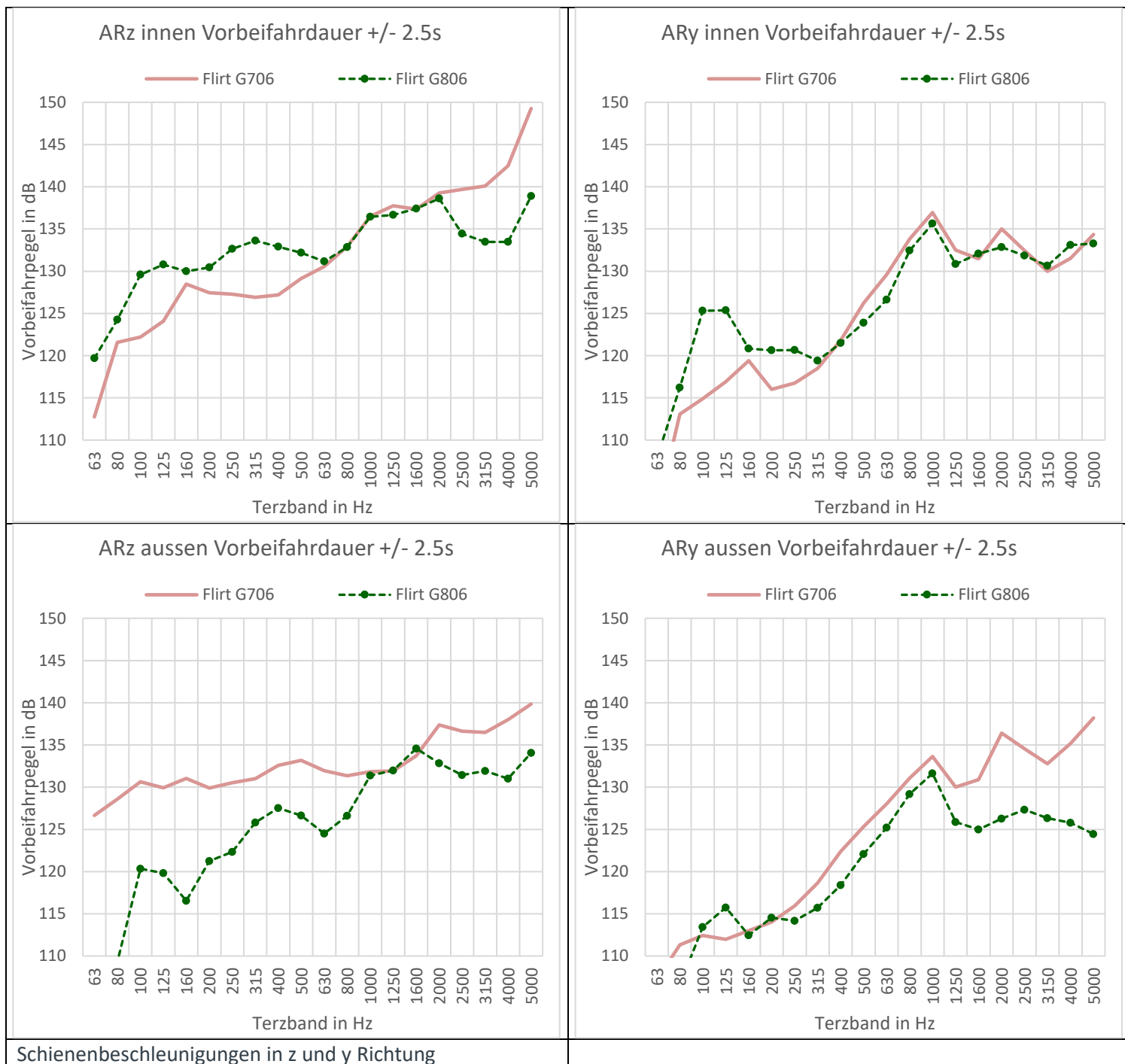
Erweiterter Vorbeifahrpegel in 7.5m Entfernung



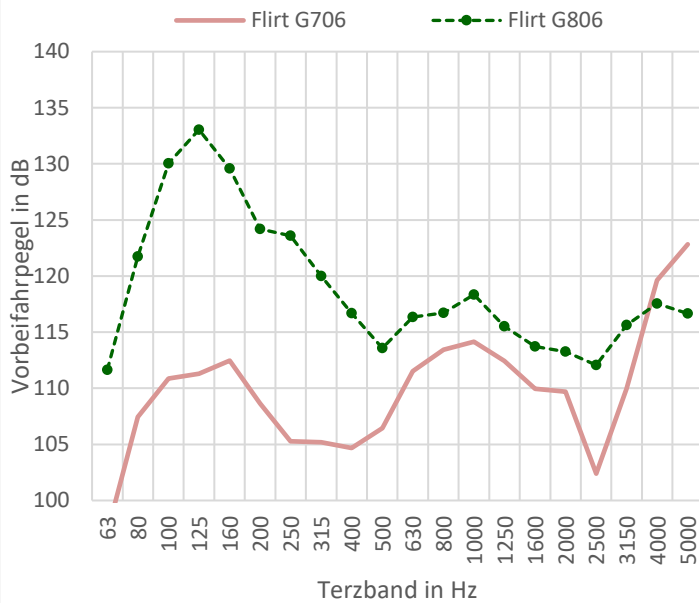
erweiterter Vorbeifahrpegel in 3.7m und 11.3m Entfernung



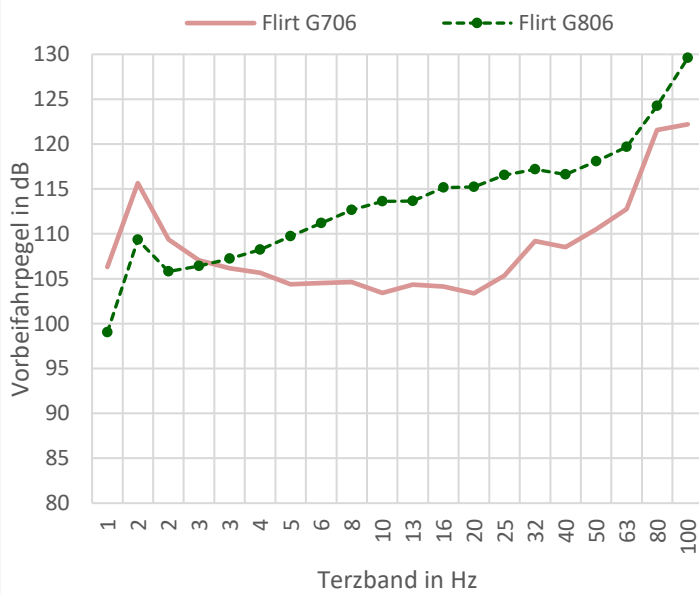
A.1.7 Vibrations Spektren



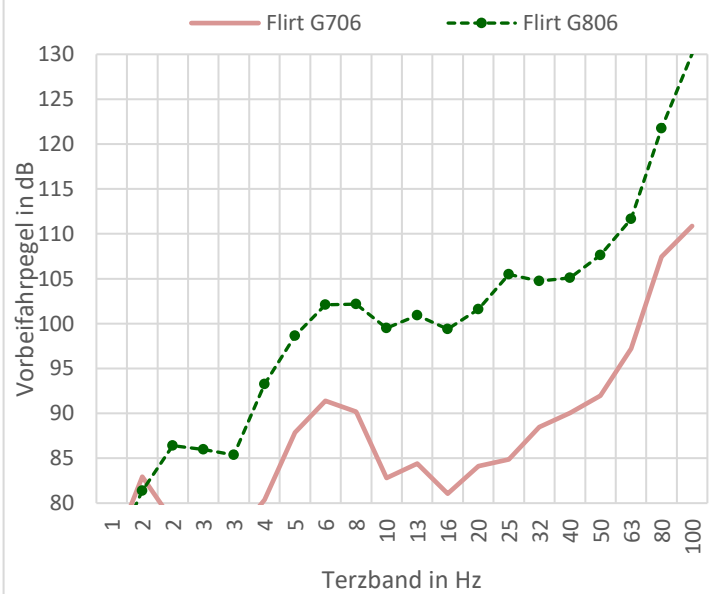
ASz Schwelle Vorbeifahrdauer +/- 2.5s



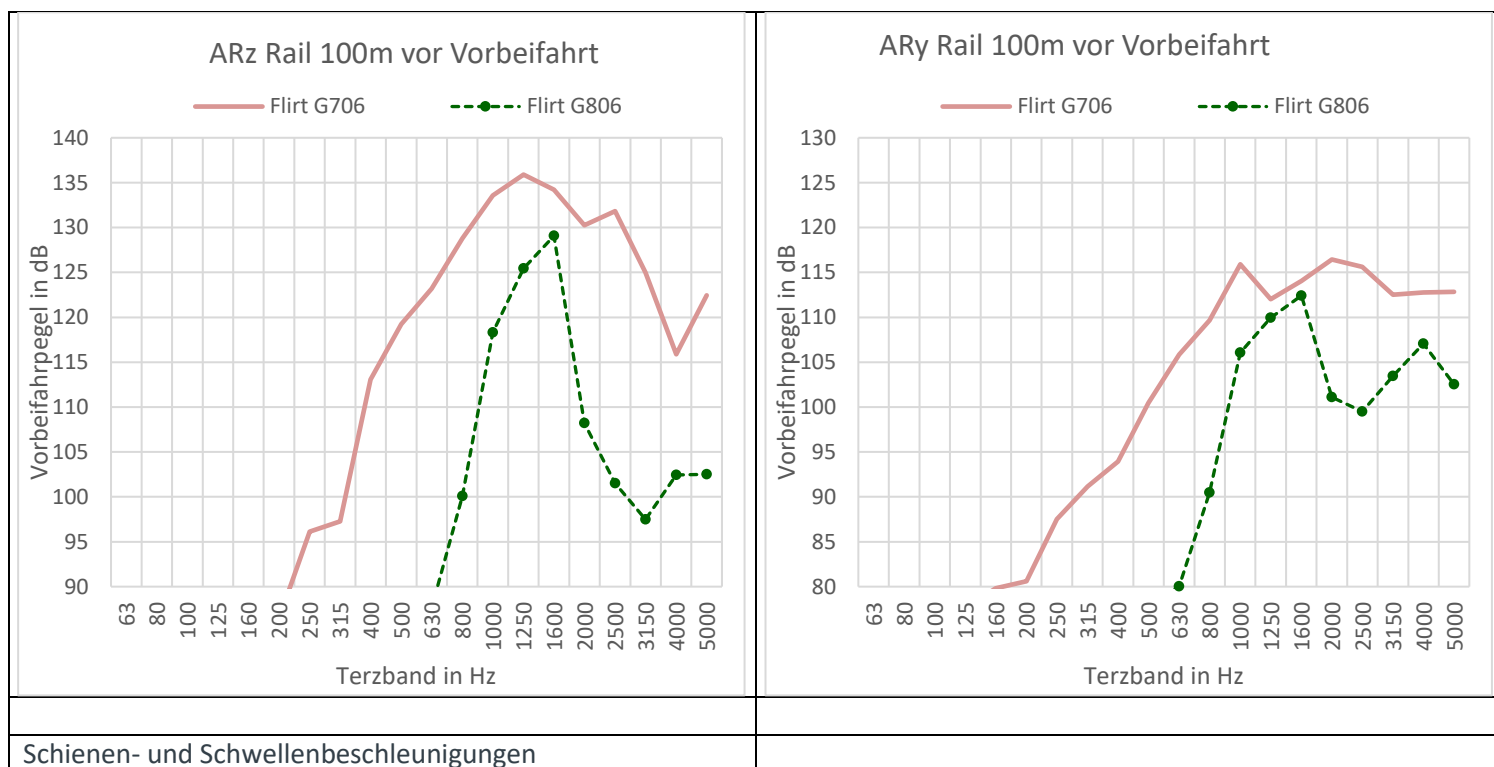
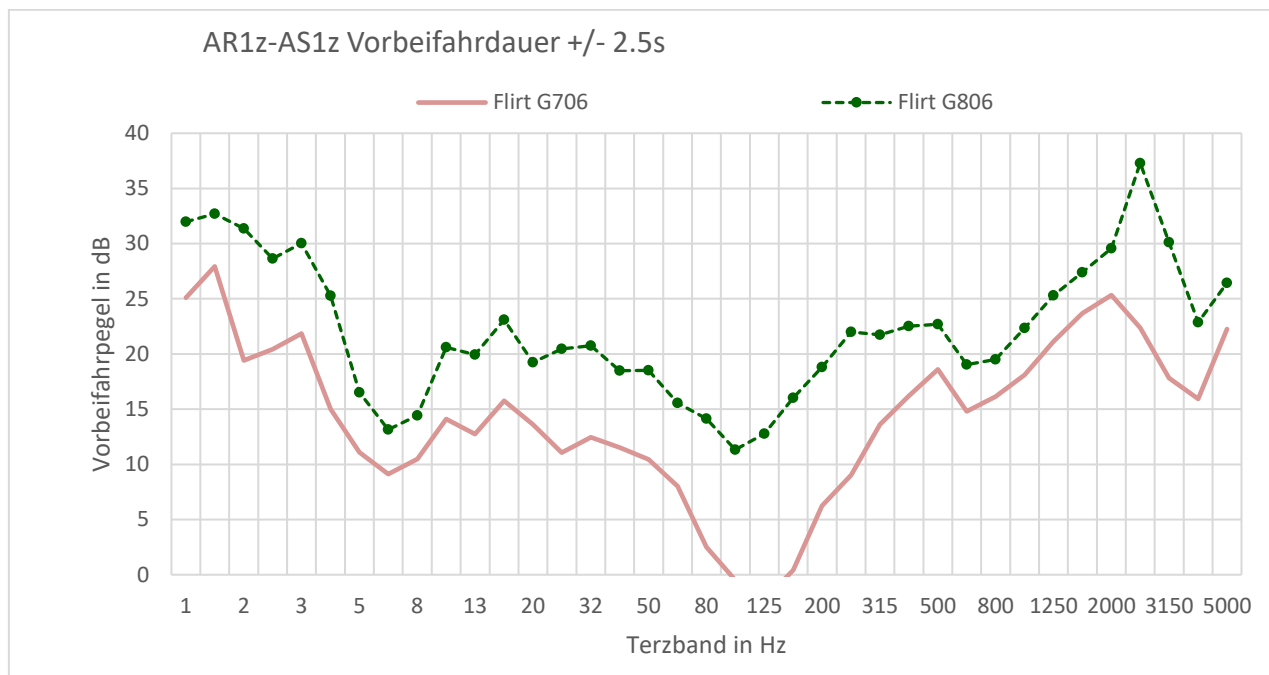
ARz Rail Vorbeifahrdauer +/- 2.5s



ASz Schwelle Vorbeifahrdauer +/- 2.5s



Schienen- und Schwellenbeschleunigungen



Fotos



28.04.2021
Km 6.4



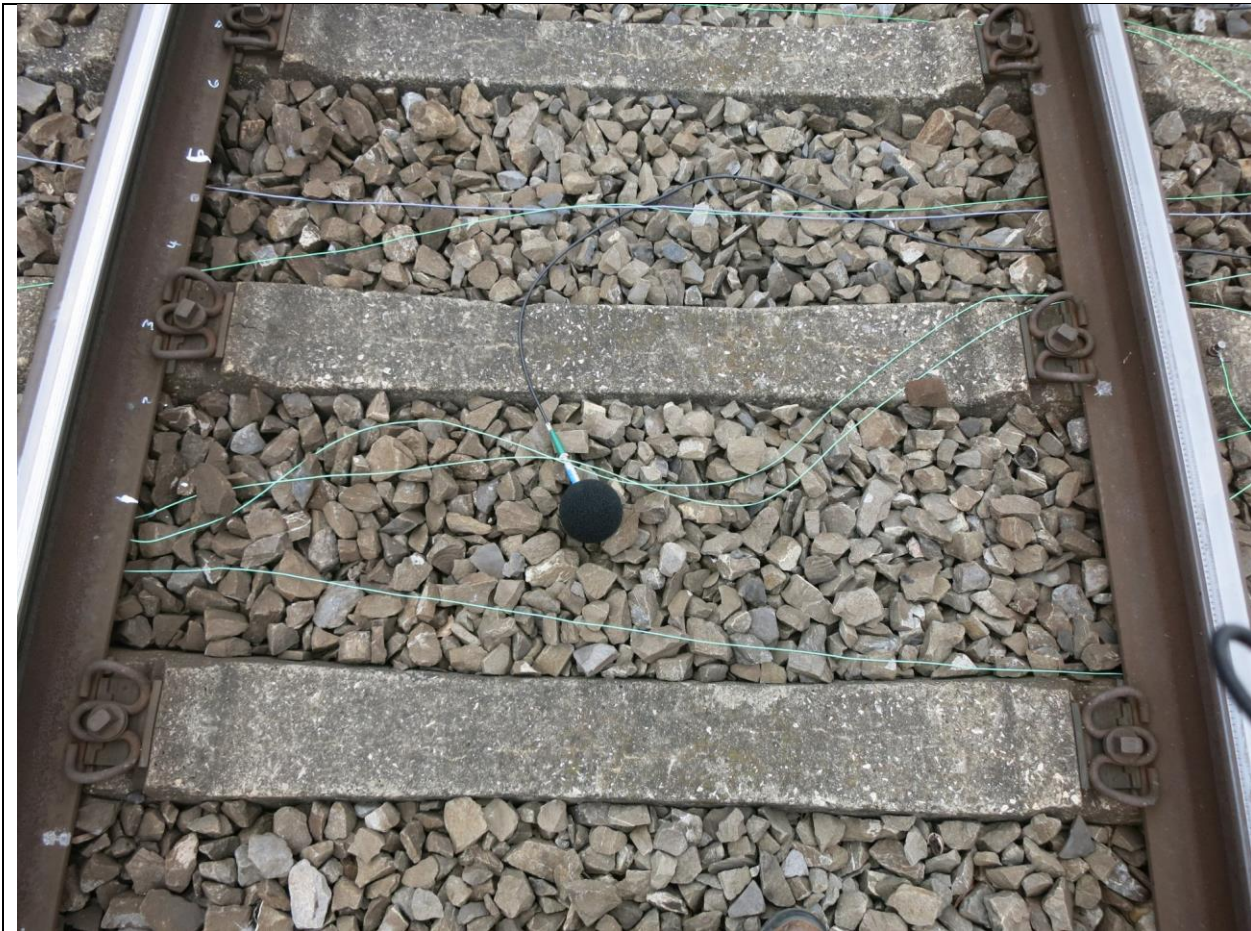
28.04.2021
Km 6.4



28.04.2021
Km 6.4



28.04.2021
Km 6.4



28.04.2021
Km 6.4
Mikrofon in
Gleismitte



28.04.2021
Km 6.4
Beschleunigungs-
sensoren



28.04.2021
Km 6.4



28.04.2021
Km 6.4



28.04.2021
Km 6.4



28.04.2021
Km 6.4



28.04.2021
Km 6.4



28.04.2021
Km 6.4



28.04.2021
Km 6.4



28.04.2021
Km 6.4



28.04.2021
Km 6.4



28.04.2021
Km 6.4



28.04.2021
Km 6.4



28.04.2021
Km 6.4

A.2 Messung Bogen Gerade bei Wollerau – Riedmatt

A.2.1 Messgeräte

Sensorbezeichnung	Messquerschnitt	Position	PROSE Nr.	Faktor	Typ	SN Kapsel
P41	km 9.7	S 7.5m 1.2m	P1	50 mV/Pa	B&K 4189 + 2671 ICP	2117577
P42	km 9.7	N 3.7m 1.2m	P2	50 mV/Pa	B&K 4189 + 2671 ICP	2199610
A41	km 9.7	MQ	AR1z	10 mV/g	Kistler 8702B500	
A42	km 9.7	MQ	AS1y	100 mV/g	Kistler 8702B50	
P51	km 9.9	S 7.5m 1.2m	P1	50 mV/Pa	B&K 4189 + 2671 ICP	2117578
P52	km 9.9	N 3.7m 1.2m	P2	50 mV/Pa	B&K 4189 + 2671 ICP	2199611
A51	km 9.9	706	AR1z	10 mV/g	Kistler 8702B500	
A52	km 9.9	706	AS1y	100 mV/g	Kistler 8702B50	

Akustischer Kalibrator: B&K 4231 SN 2671438

Aufzeichnungsgerät NI cDAQ 9135 Nidaq06 und Nidaq07 mit NI 9234 4CH Slots

Aufgezeichnet wurde mit 25.6 kHz Samplefrequenz und einem Antialiasing Filter.

Messprotokoll

PDF-Print 16. Juli 2021 13:54

A.2.3 TDR-Ergebnisse



TDR Messung 06.04.2021

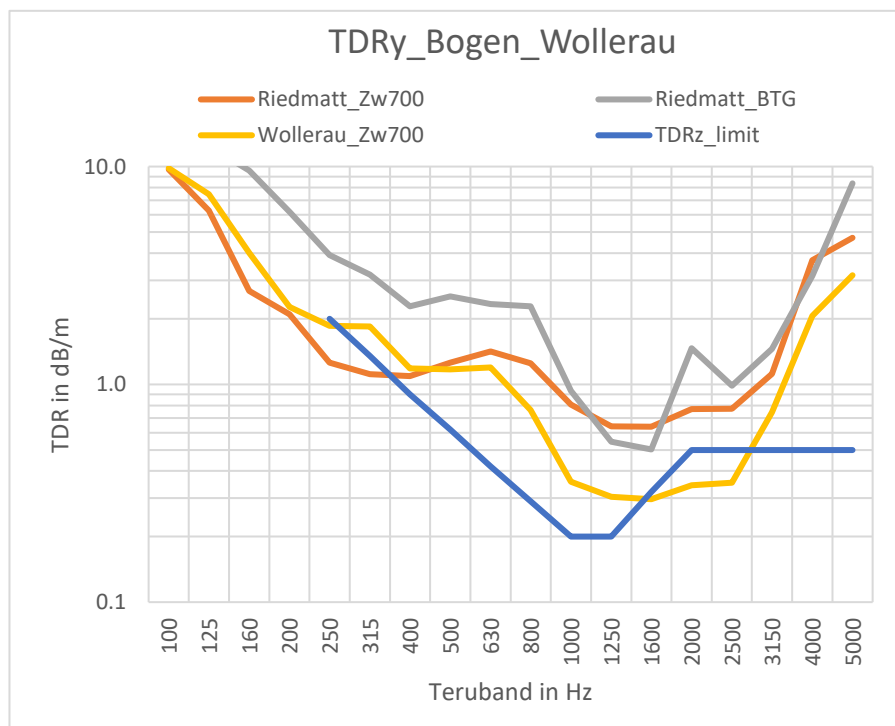
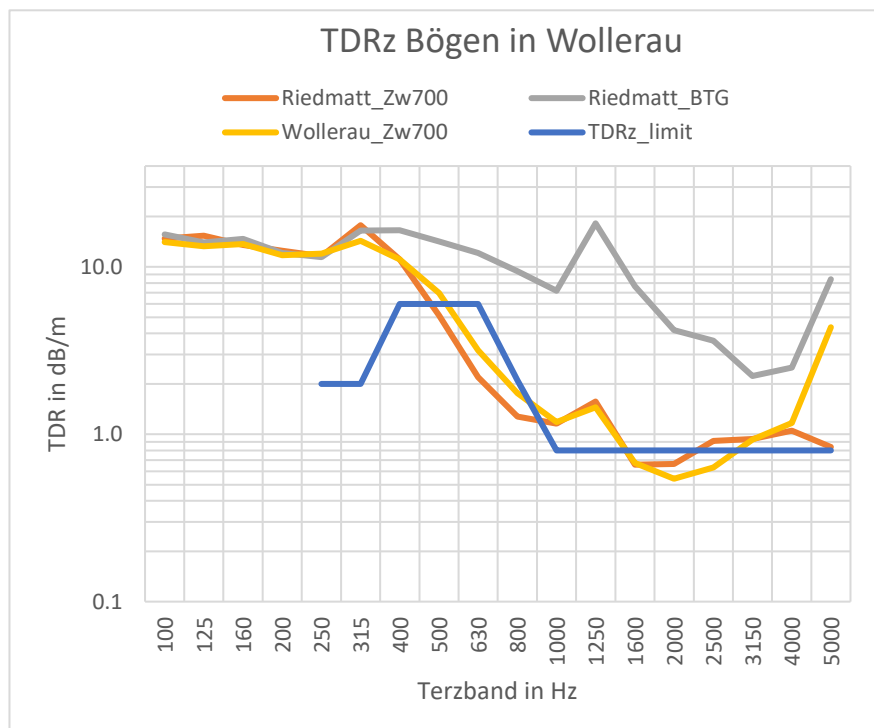


TDR Messung 06.04.2021

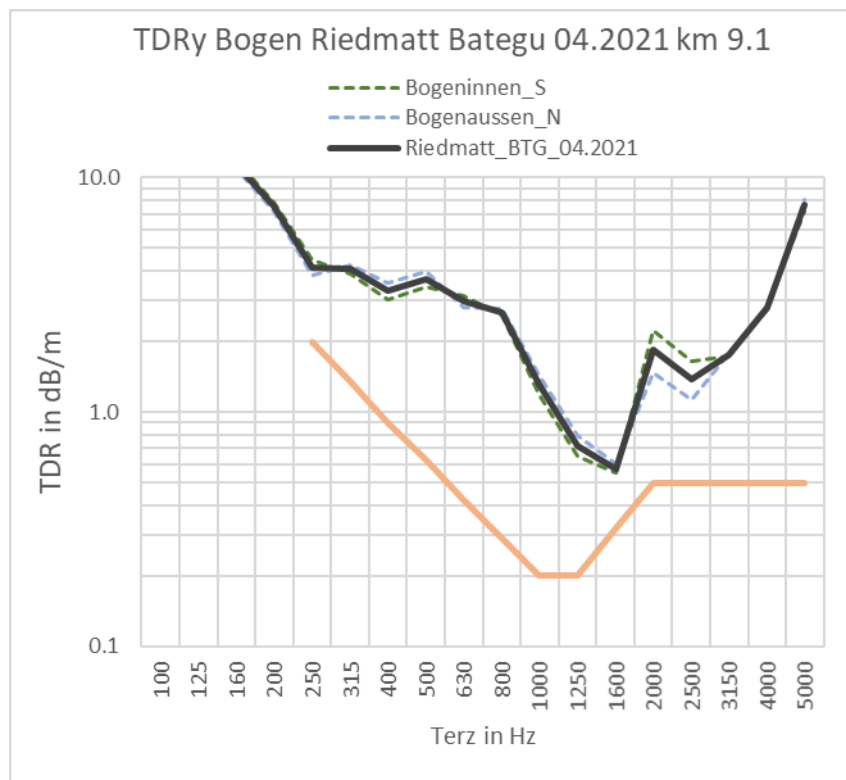
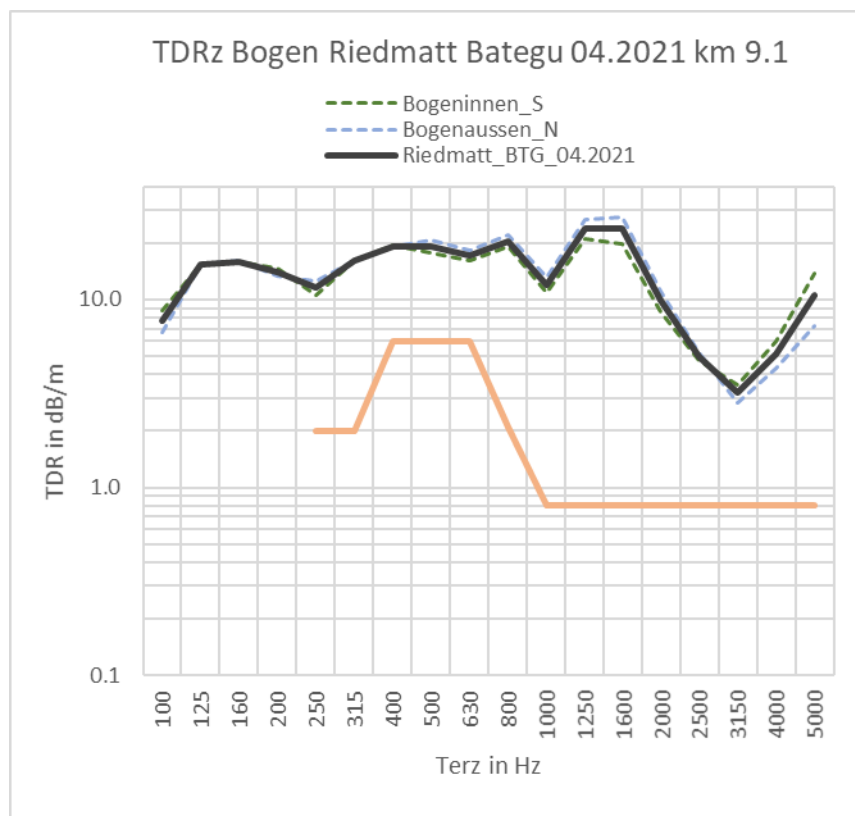


TDR Messung 06.04.2021

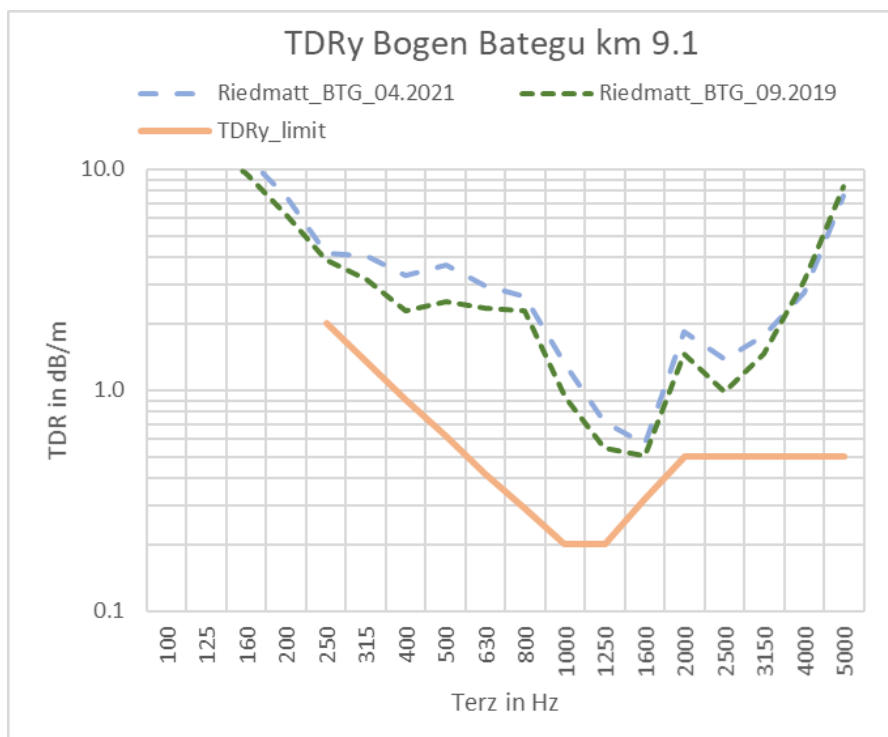
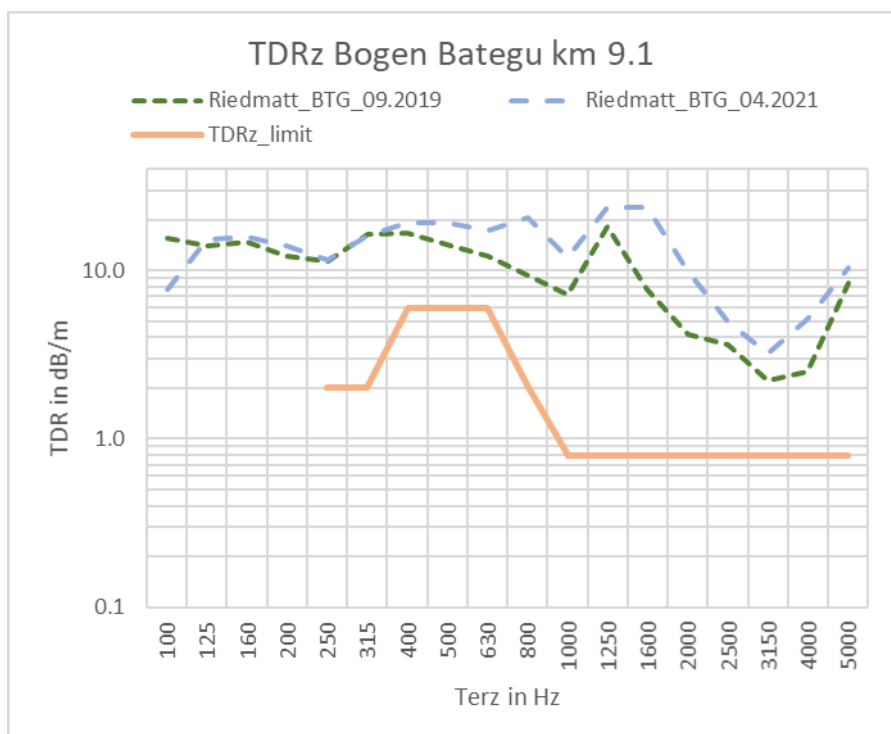
Messungen 2019 aus Schlussbericht Zwischenlage



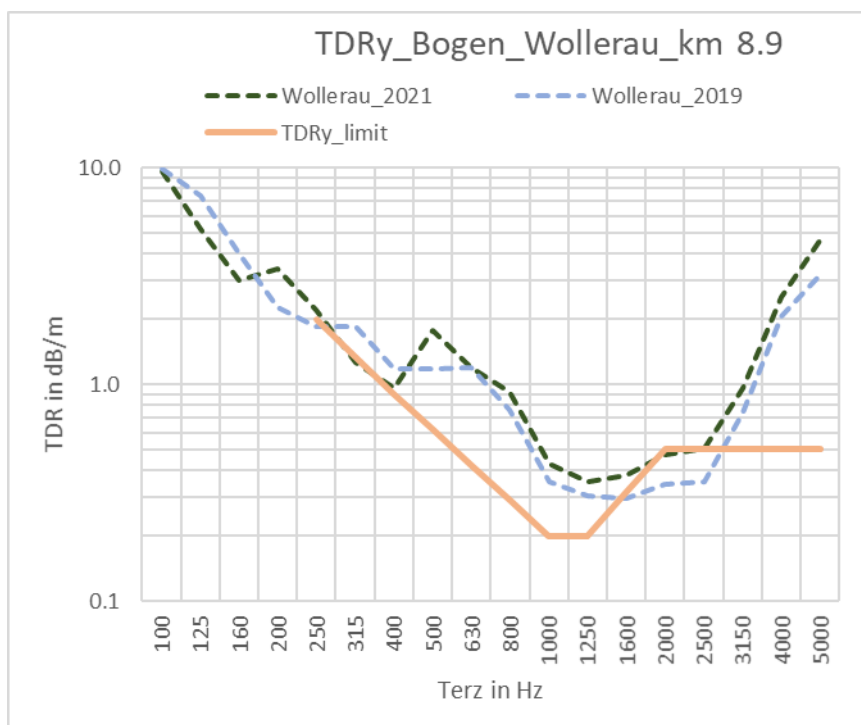
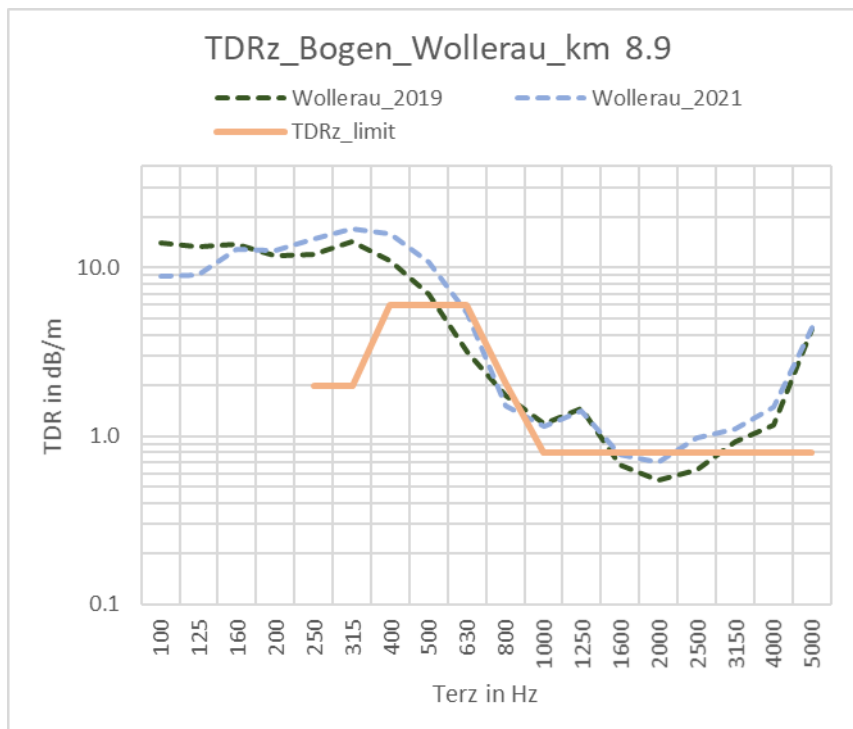
TDR Ergebnisse vom Bogen Riedmatt km 9.1 mit Bategu Zw



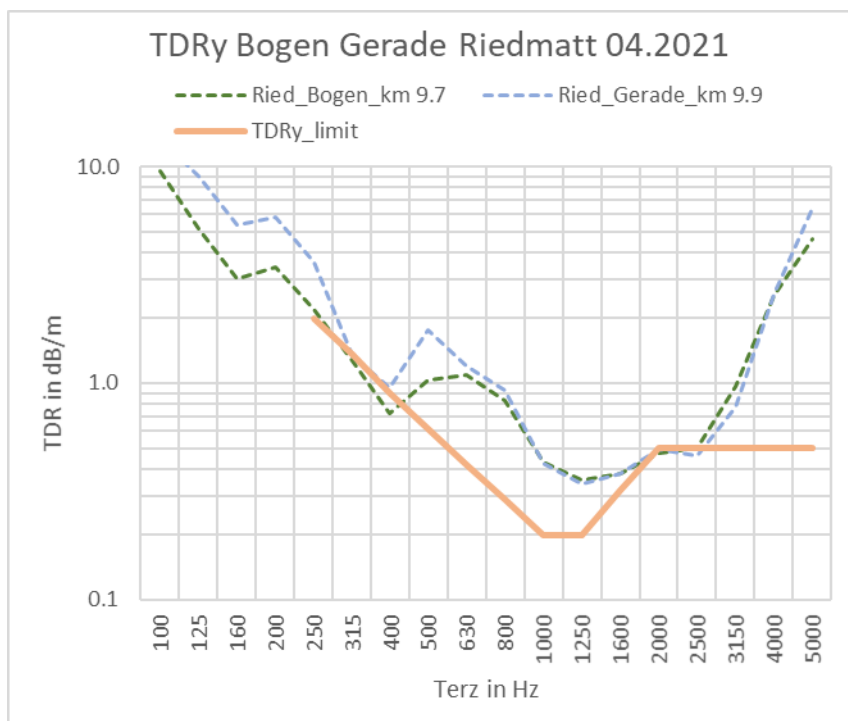
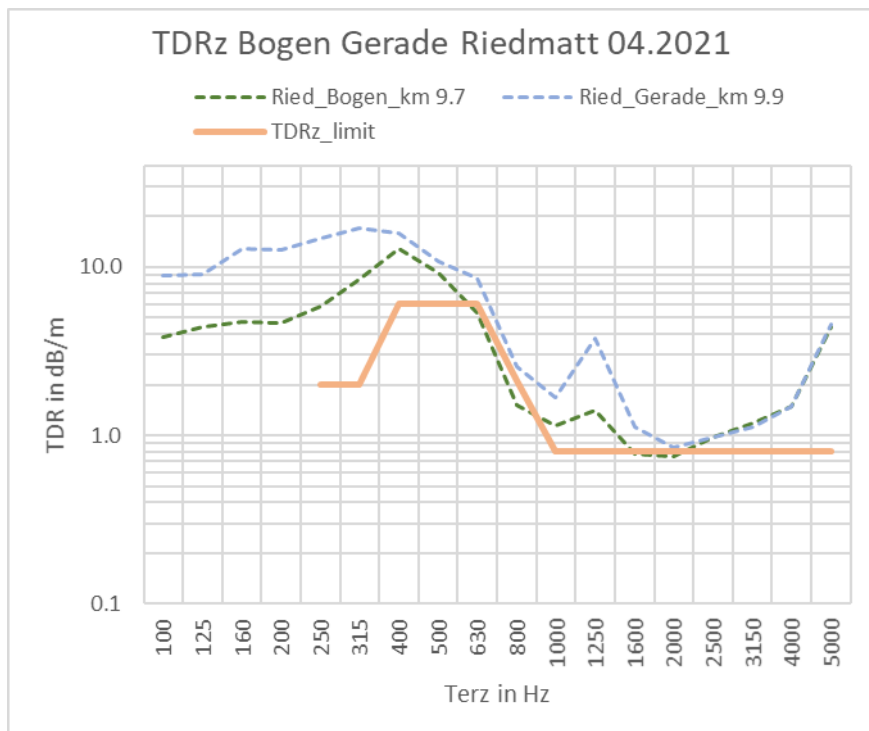
TDR Ergebnisse vom Bogen Riedmatt km 9.1 mit Bategu Zw



TDR Ergebnisse vom Bogen Wollerau km 8.9 mit Zw700 und 200 kN/mm



TDR Ergebnisse Riedmatt Bogen km 9.7 und Gerade km 9.9 mit Zw700 und 200 kN/mm



A.2.4 Schienenrauheiten



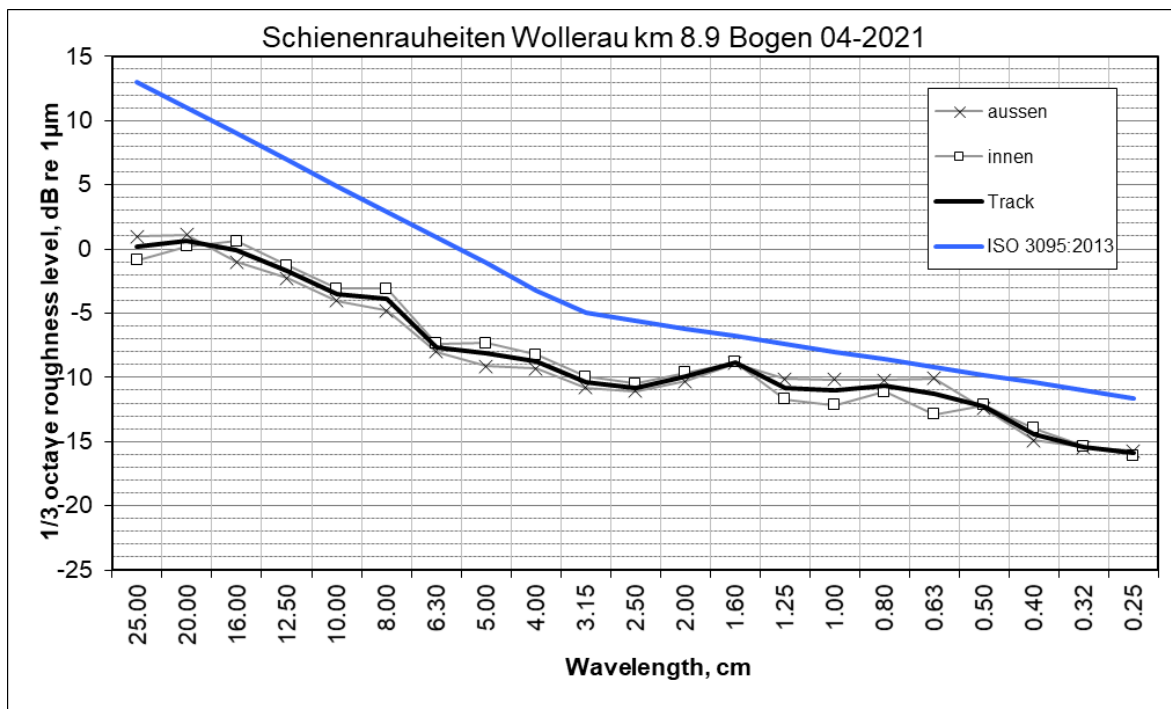
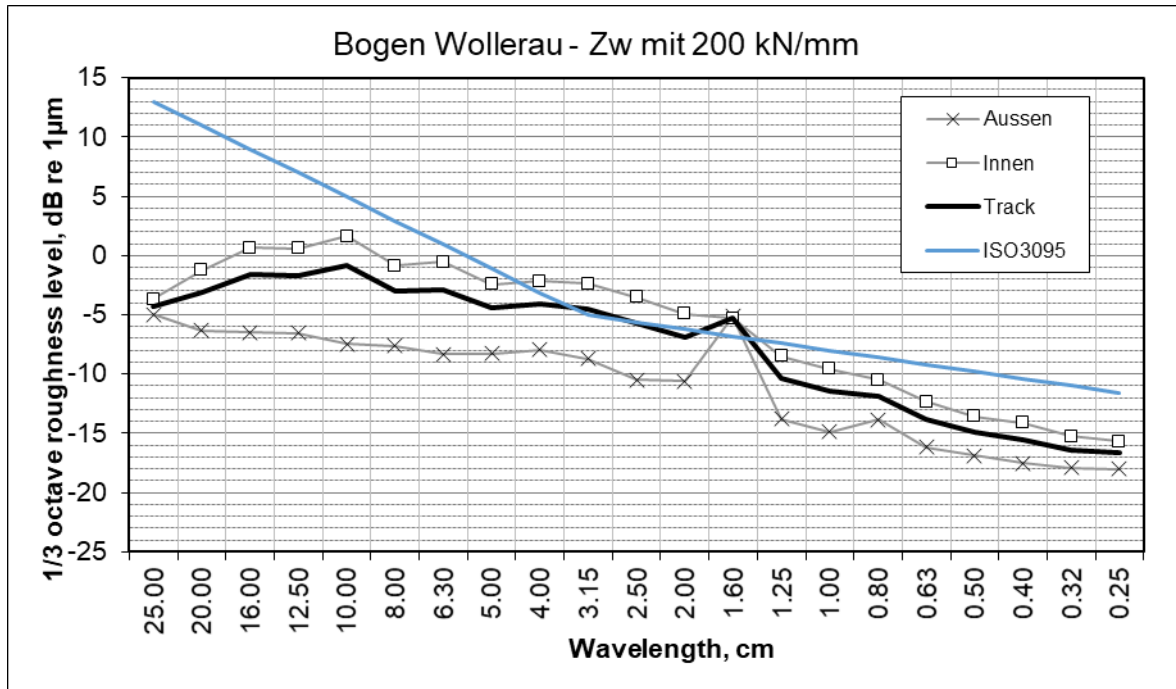
29.04.2021
Schienenrauheiten in
Riedmatt km 9.9

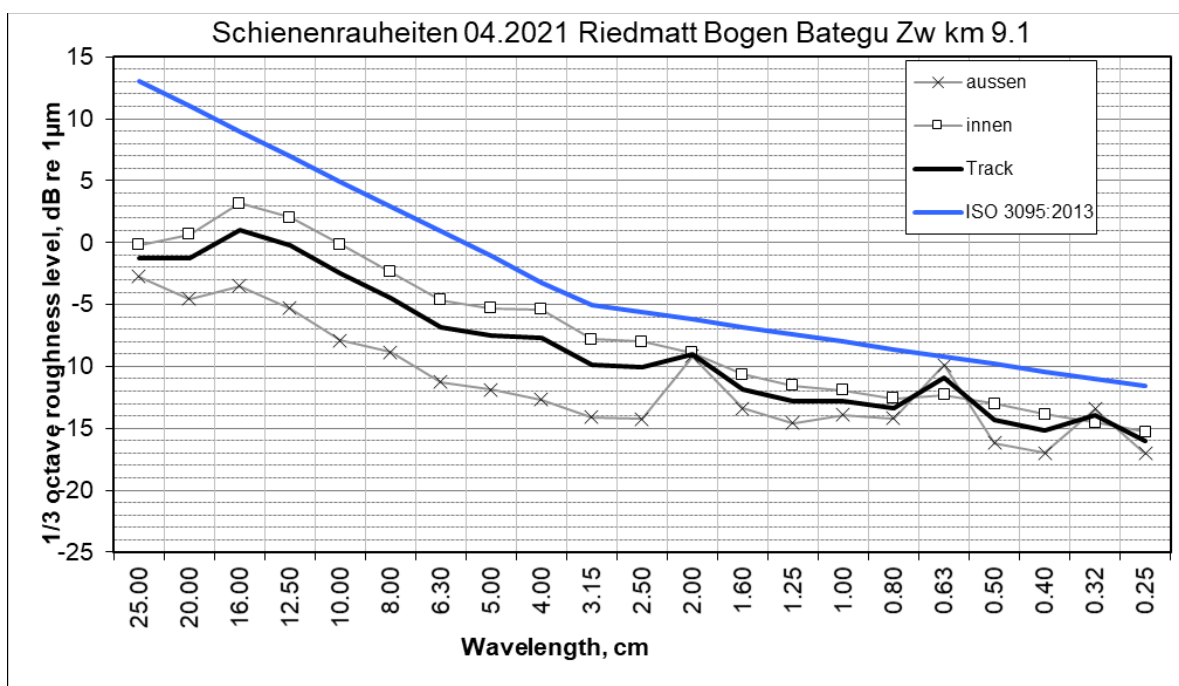
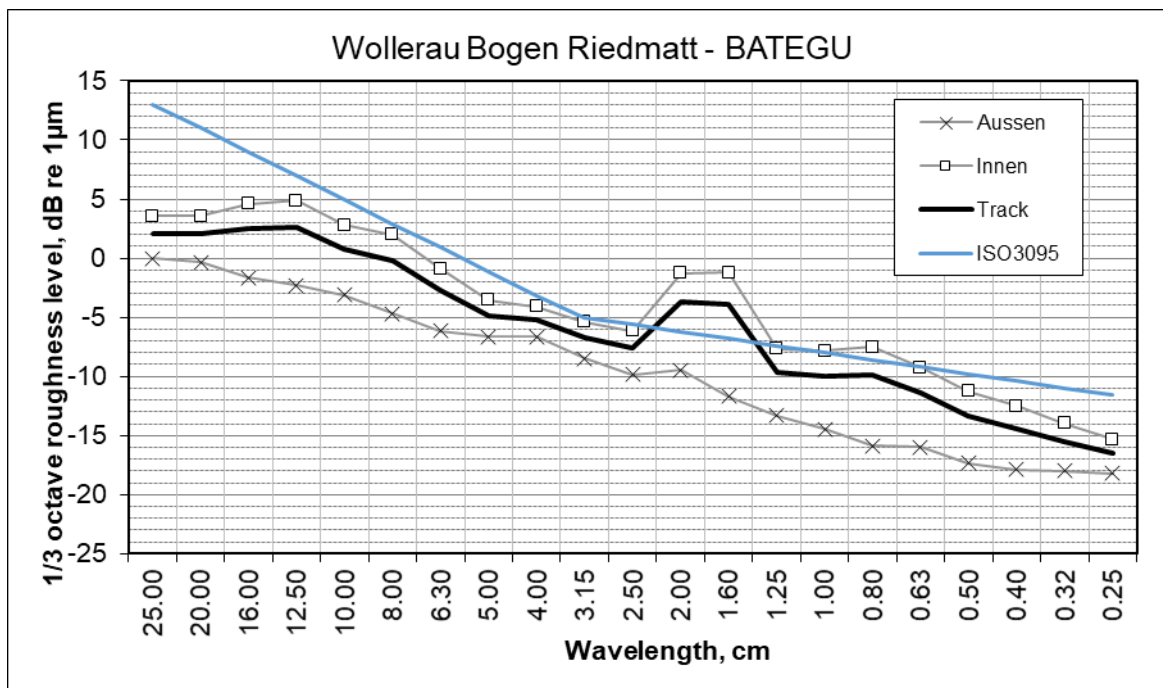


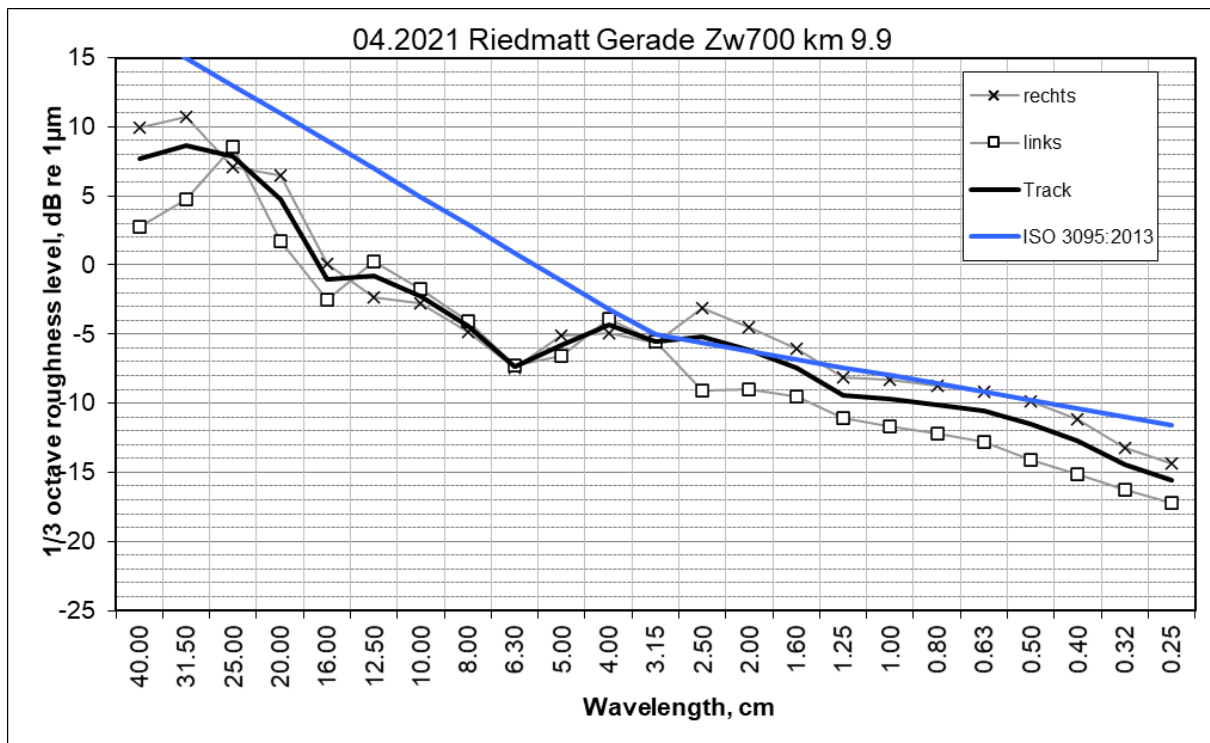
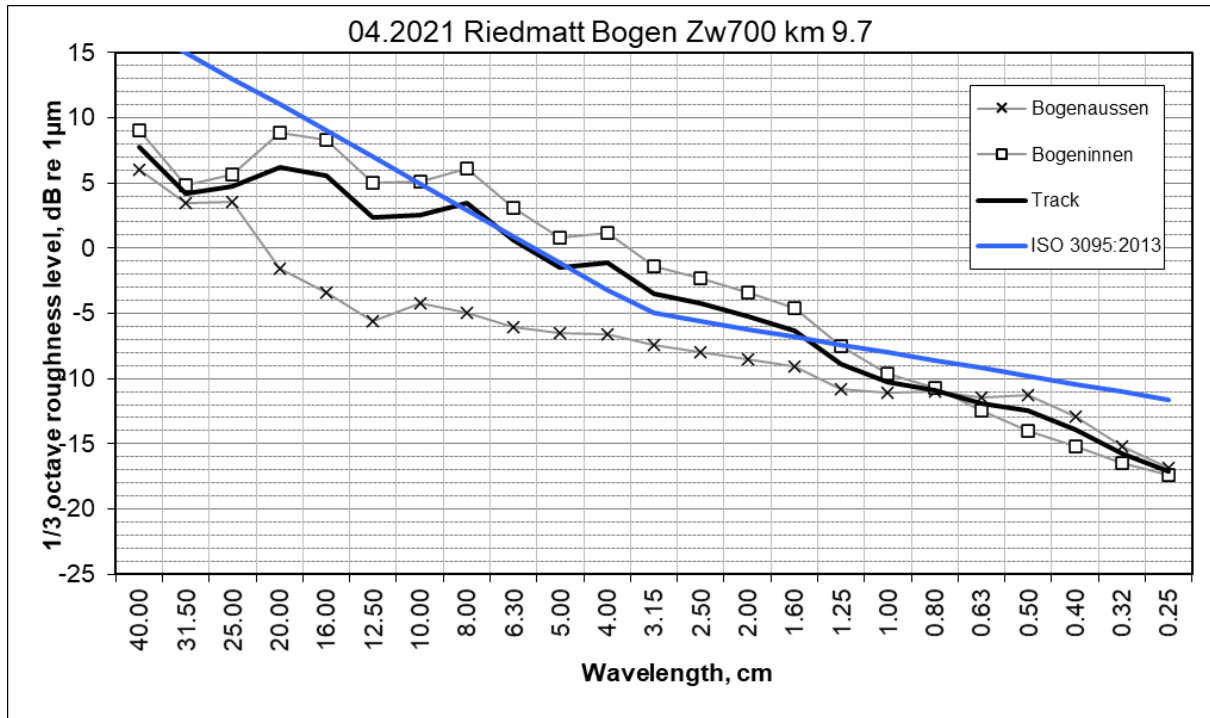
29.04.2021
Schienenrauheiten in
Riedmatt km 9.9



29.04.2021
Schienenrauheiten in
Riedmatt km 9.9





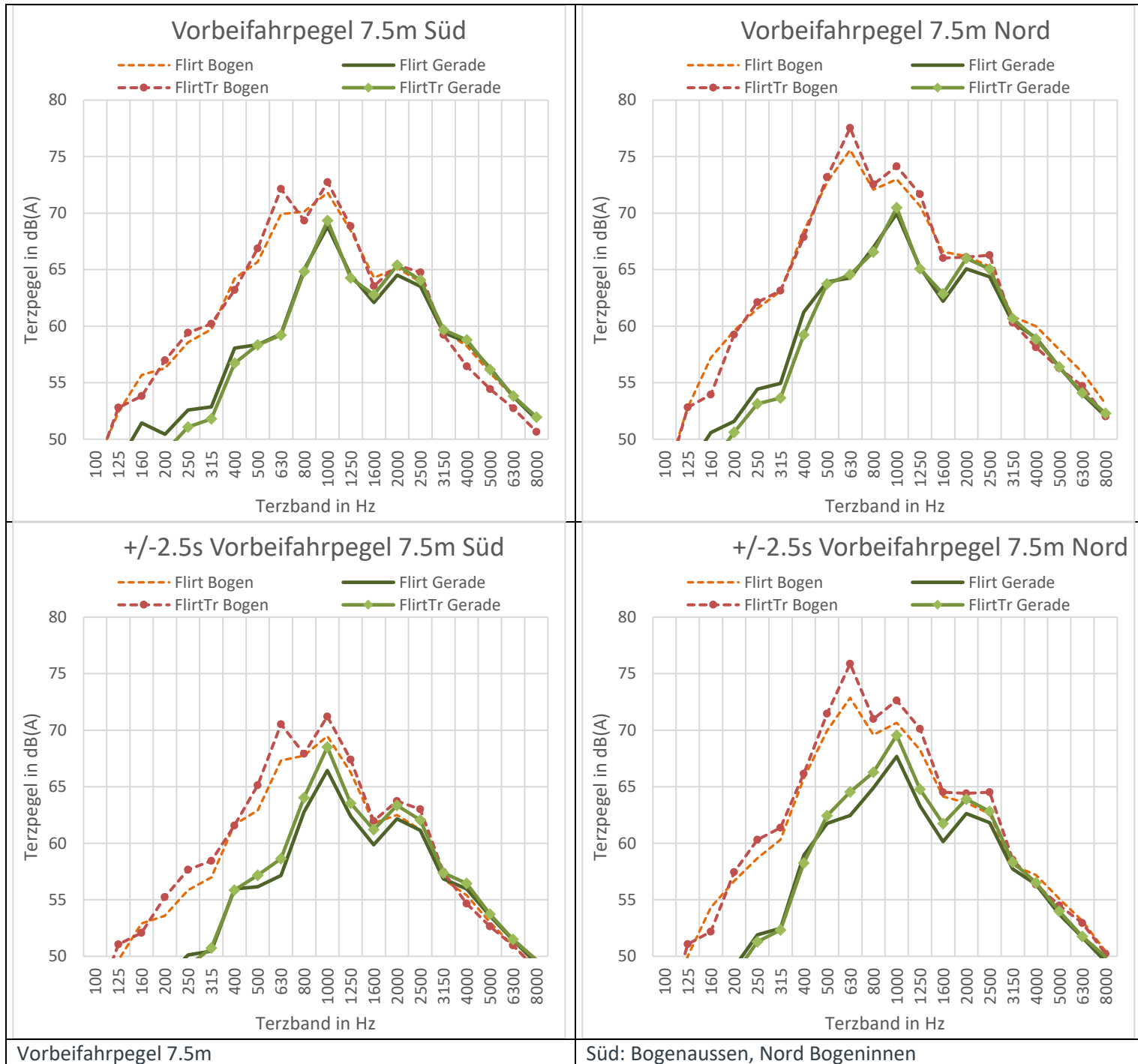


A.2.5 Schallpegel

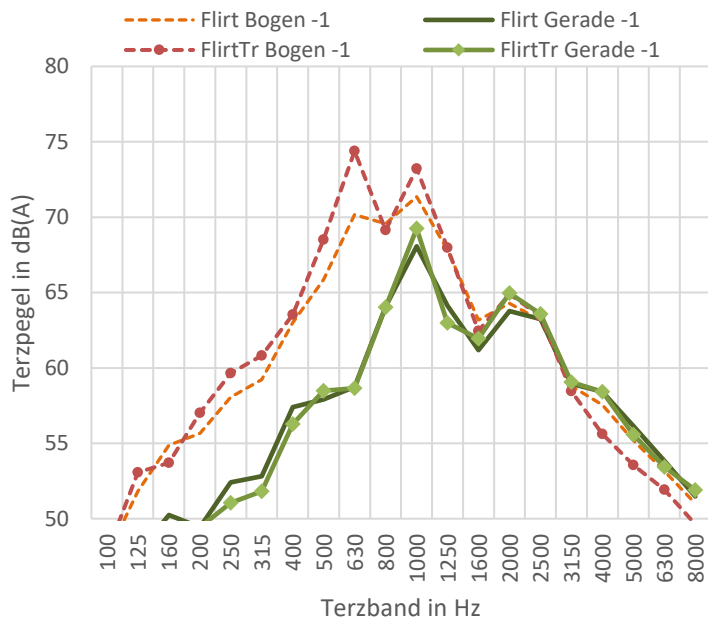
Bogen Riedmatt km 8.9 am 29.04.2021									LpAeq,Tp		LpAeq,Tp,60		LpAeq,Tp ext		LpAeq,Tp,60 ext	
			1 = Samstagen, -1->Wollerau						7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Type	Zeit	File	start	end	gesamt	dt	Richtung	v_ist	MS	MN	MS	MN	MS	MN	MS	MN
			s	s	s	s		km/h	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Flirt	10:05	ce7000383	21.90	27.90	50.4	6.0	-1	52	74.8	77.8	76.7	79.7	72.7	75.6	74.6	77.5
Flirt	11:37	ce7000392	23.90	29.50	52.2	5.6	-1	60	80.3	83.8	80.4	83.9	78.9	82.1	79.0	82.2
Flirt	13:04	ce7000401	22.50	28.20	51.0	5.7	-1	62	77.7	82.5	77.3	82.2	75.2	79.9	74.9	79.6
Flirt	10:36	ce7000386	22.00	27.5	49.6	5.5	-1	62	79.1	85.3	78.7	84.9	76.5	82.6	76.1	82.2
Flirt	14:03	ce7000428	29.30	34.30	50.1	5.0	-1	62	78.6	83.7	78.2	83.2	76.2	81.1	75.8	80.7
Flirt	12:36	ce7000398	22.90	28.16	51.0	5.3	-1	62	77.7	83.0	77.2	82.4	75.3	80.3	74.8	79.8
Flirt	09:37	ce7000380	21.80	26.50	48.5	4.7	-1	68	75.4	78.6	73.8	77.0	72.9	75.9	71.4	74.3
Flirt	13:35	ce7000416	22.70	27.80	50.6	5.1	-1	68	76.2	79.2	74.6	77.6	73.6	76.6	72.0	75.0
Flirt	11:04	ce7000389	21.80	26.83	49.0	5.0	-1	69	77.3	80.2	75.5	78.5	74.7	77.5	72.9	75.8
Flirt	12:03	ce7000395	23.56	28.50	51.4	4.9	-1	72	78.7	81.4	76.4	79.1	76.3	78.8	74.0	76.5
Flirt	09:03	ce7000377	21.70	26.20	48.2	4.5	-1	72	78.3	81.7	75.9	79.3	75.5	78.8	73.1	76.4
Flirt	08:35	ce7000373	21.99	26.43	48.3	4.4	-1	72	77.8	79.3	75.3	76.9	75.1	76.5	72.6	74.1
FlirtTr	12:45	ce7000399	22.90	33.00	55.8	10.1	-1	59	80.0	84.9	80.2	85.2	78.3	83.2	78.6	83.5
FlirtTr	08:48	ce7000374	21.70	31.70	53.6	10.0	-1	59	80.9	85.6	81.1	85.8	79.3	83.9	79.5	84.1
FlirtTr	10:47	ce7000387	21.40	31.65	53.3	10.3	-1	59	78.1	82.2	78.2	82.4	76.4	80.6	76.6	80.8
FlirtTr	13:46	ce7000424	22.40	32.30	54.6	9.9	-1	59	80.7	85.5	80.8	85.7	79.0	83.8	79.1	84.0
FlirtTr	09:48	ce7000381	21.80	31.05	52.8	9.3	-1	64	78.3	81.5	77.5	80.7	76.6	79.8	75.8	79.0
FlirtTr	11:45	ce7000393	22.20	31.70	54.4	9.5	-1	68	78.5	81.8	76.8	80.1	76.9	80.1	75.2	78.4
Flirt	13:51	ce7000425	22.30	27.40	50.6	5.1	1	62	77.7	82.1	77.2	81.6	75.2	79.4	74.7	78.9
Flirt	11:21	ce7000391	23.80	28.90	52.0	5.1	1	66	80.6	84.5	79.3	83.2	78.9	82.6	77.6	81.3
Flirt	08:53	ce7000375	21.70	26.60	48.6	4.9	1	67	76.7	80.2	75.3	78.8	74.1	77.4	72.7	76.0
Flirt	10:51	ce7000388	21.40	26.11	48.0	4.7	1	71	78.4	81.1	76.2	79.0	75.7	78.4	73.6	76.3
Flirt	12:20	ce7000397	22.60	27.90	50.6	5.3	1	71	78.7	80.4	76.5	78.2	76.2	77.9	74.0	75.7
Flirt	12:51	ce7000400	22.20	27.00	49.9	4.8	1	71	78.5	81.9	76.3	79.7	75.8	79.2	73.7	77.0
Flirt	09:51	ce7000382	21.90	26.45	49.0	4.6	1	72	78.8	81.6	76.5	79.3	76.4	79.0	74.1	76.7
Flirt	11:51	ce7000394	23.56	28.70	51.5	5.1	1	72	78.5	80.9	76.2	78.6	76.2	78.6	73.9	76.3
Flirt	09:22	ce7000379	22.60	26.83	49.4	4.2	1	72	79.2	81.0	76.9	78.6	76.5	78.2	74.2	75.8
Flirt	10:20	ce7000385	21.80	26.40	48.6	4.6	1	72	78.7	82.6	76.3	80.3	76.1	80.0	73.8	77.6
Flirt	13:22	ce7000409	22.65	27.46	50.2	4.8	1	72	76.6	80.0	74.1	77.6	74.0	77.4	71.6	74.9
Flirt	08:57	ce7000376	21.70	26.20	48.3	4.5	1	73	79.6	82.2	77.1	79.7	76.9	79.4	74.4	76.9
FlirtTr	10:09	ce7000384	21.30	30.15	51.8	8.9	1	68	78.5	81.9	76.8	80.2	76.8	80.1	75.0	78.4
FlirtTr	12:09	ce7000396	22.60	31.66	54.6	9.1	1	69	78.6	82.1	76.8	80.4	76.8	80.3	75.0	78.5
FlirtTr	11:09	ce7000390	25.80	34.80	57.3	9.0	1	69	79.1	81.0	77.3	79.2	78.4	80.4	76.6	78.6
FlirtTr	13:12	ce7000405	22.00	30.80	53.3	8.8	1	69	75.9	79.2	74.1	77.5	74.1	77.5	72.3	75.7
FlirtTr	09:10	ce7000378	22.60	31.14	53.0	8.5	1	69	78.7	81.9	76.9	80.1	77.0	80.0	75.2	78.2

Gerade Riedmatt km 9.1 am 29.04.2021									LpAeq,Tp		LpAeq,Tp,60		LpAeq,Tp ext		LpAeq,Tp,60 ext	
			1 = Samstagen, -1->Wollerau						7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	
Type	time	FileTSI	start	end	gesamt	dt	Richtung	v_ist	MS	MN	MS	MN	MS	MN	MS	MN
Flirt	13:04	ce6000029	19.50	24.50	44.0	5.0	-1	62	72.6	74.2	72.3	73.8	70.1	71.7	69.8	71.4
Flirt	10:36	ce6000014	18.30	23.45	41.1	5.2	-1	62	74.0	75.6	73.6	75.2	71.3	73.0	70.9	72.6
Flirt	14:03	ce6000034	18.40	23.40	42.1	5.0	-1	62	72.5	74.2	72.1	73.8	70.1	71.9	69.7	71.5
Flirt	11:09	ce6000019	19.46	27.99	47.7	8.5	-1	69	72.8	74.6	71.1	72.8	72.1	74.2	70.3	72.4
Flirt	11:45	ce6000023	19.50	27.80	47.5	8.3	-1	69	73.7	75.5	71.9	73.7	71.9	73.8	70.1	72.0
Flirt	12:09	ce6000026	19.43	27.63	47.5	8.2	-1	69	73.9	74.8	72.1	73.0	72.4	73.3	70.6	71.5
Flirt	13:35	ce6000032	19.50	24.00	43.7	4.5	-1	72	75.3	76.5	72.9	74.1	72.5	73.7	70.1	71.3
Flirt	14:26:1	ce6000038	28.07	32.50	52.6	4.4	-1	72	73.9	74.9	71.4	72.5	71.2	72.4	69.7	69.9
FlirtTr	10:47	ce6000016	19.46	29.00	40.2	9.5	-1	59	73.3	74.2	73.5	74.4	71.7	72.7	71.9	72.9
FlirtTr	13:12	ce6000030	19.50	27.80	47.5	8.3	-1	69	74.3	75.5	72.5	73.7	72.7	74.0	71.0	72.2
FlirtTr	11:51	ce6000024	19.80	24.30	44.2	4.5	-1	72	74.6	76.3	72.2	73.9	72.6	74.5	70.2	72.1
Flirt	14:20:2	ce6000036	18.50	23.50	42.2	5.0	1	62	74.0	75.9	73.6	75.6	71.6	73.6	71.2	73.2
Flirt	13:51	ce6000033	19.40	24.20	44.0	4.8	1	62	75.0	76.1	74.5	75.6	72.7	73.9	72.2	73.4
Flirt	11:03	ce6000018	19.46	24.20	43.8	4.7	1	69	74.5	76.2	72.8	74.4	71.8	73.5	70.0	71.7
Flirt	11:37	ce6000022	19.66	24.14	43.8	4.5	1	69	76.1	77.4	74.4	75.7	73.3	74.8	71.6	73.0
Flirt	12:51	ce6000028	19.50	23.90	43.5	4.4	1	71	74.1	75.2	71.9	73.0	71.9	73.0	69.7	70.8
Flirt	12:03	ce6000025	19.50	24.10	43.8	4.6	1	71	73.3	75.2	71.1	72.9	70.7	72.6	69.5	70.3
Flirt	14:35:2	ce6000040	19.40	23.80	43.5	4.4	1	72	76.7	78.0	74.3	75.6	73.8	75.2	71.4	72.8
Flirt	13:22	ce6000031	19.50	24.00	43.7	4.5	1	72	74.9	76.5	72.4	74.0	72.5	74.1	70.0	71.6
FlirtTr	11:21	ce6000020	19.46	24.23	43.8	4.8	1	66	73.6	75.7	72.4	74.5	72.4	75.1	71.2	73.9
FlirtTr	14:09:2	ce6000035	19.30	28.14	47.5	8.8	1	69	74.1	75.2	72.3	73.4	75.1	76.5	73.3	74.8
FlirtTr	12:20	ce6000027	19.50	24.10	43.8	4.6	1	72	77.2	78.1	74.9	75.8	74.7	75.9	72.4	73.6

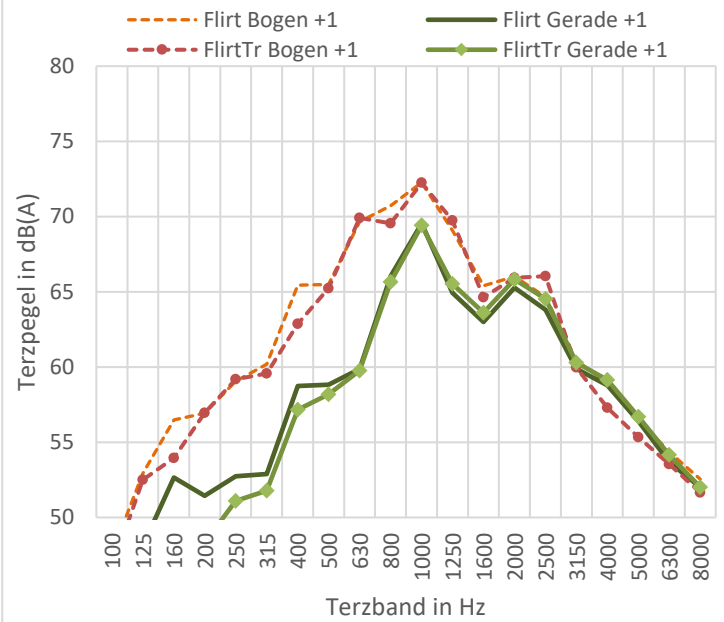
A.2.6 Terzpegel



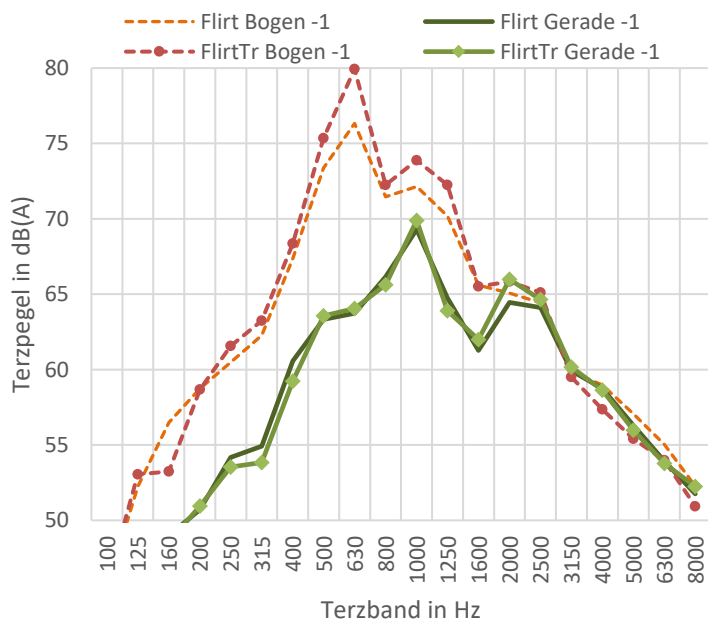
Vorbeifahrpegel 7.5m Süd



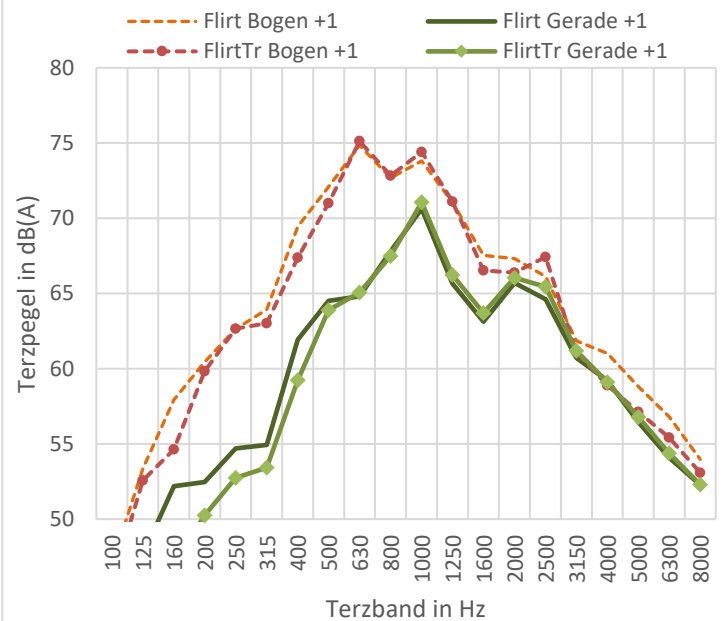
Vorbeifahrpegel 7.5m Süd



Vorbeifahrpegel 7.5m Nord



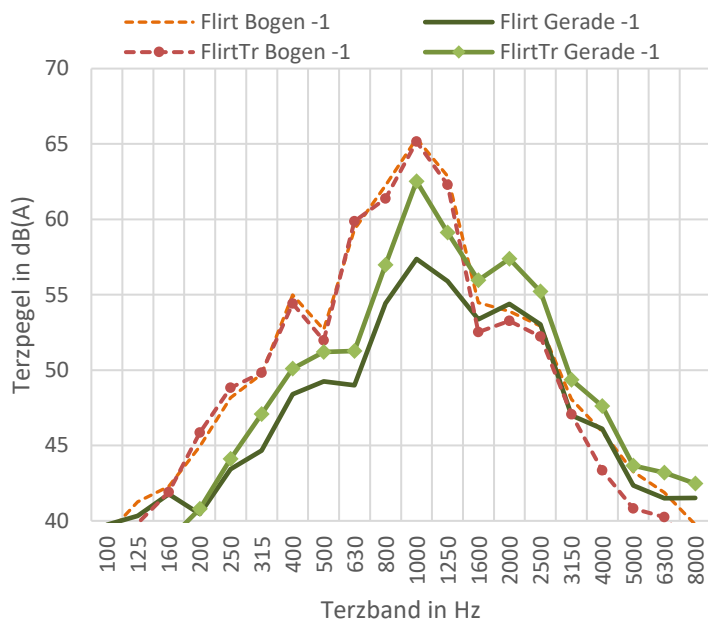
Vorbeifahrpegel 7.5m Nord



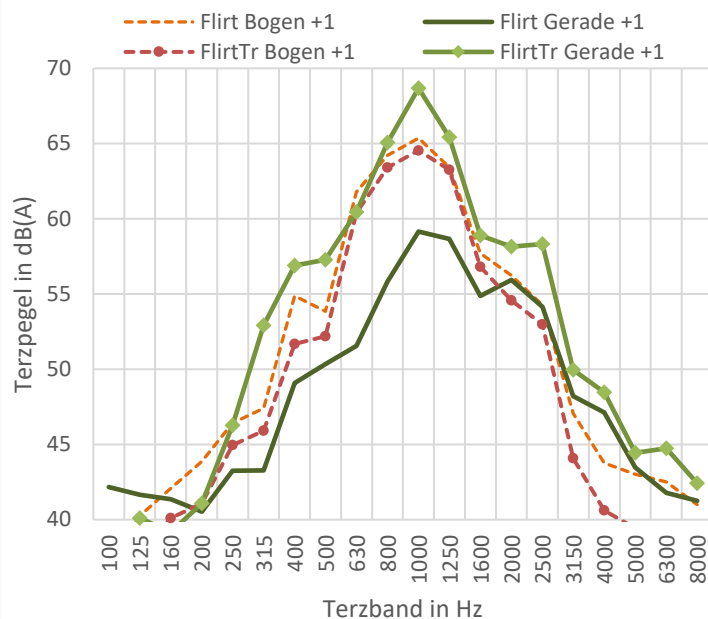
Vorbeifahrpegel 7.5m nach Richtung

Süd: Bogen aussen, Nord Bogen innen

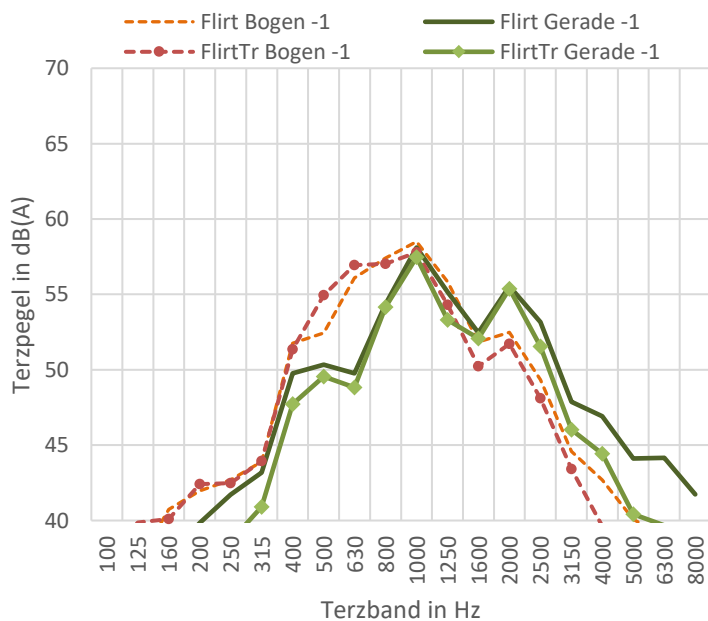
2.5s vor Passage 7.5m Süd



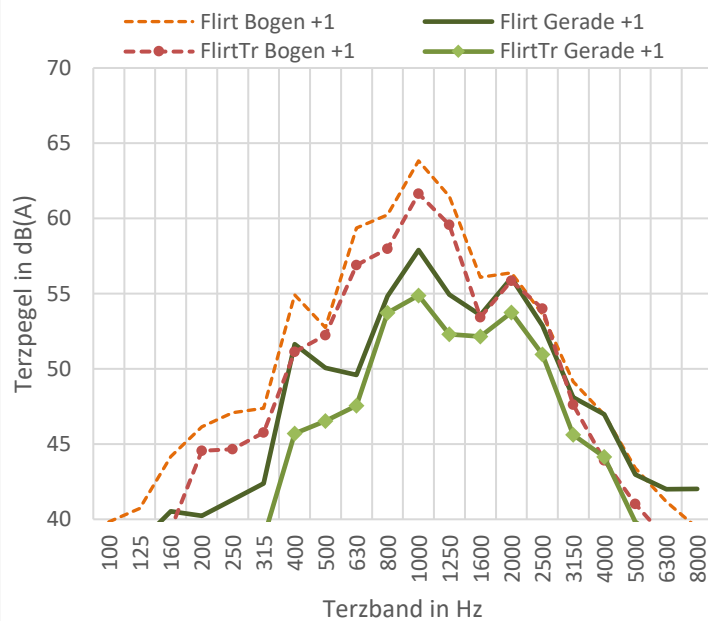
2.5s vor Passage 7.5m Süd



2.5s nach Passage 7.5m Süd

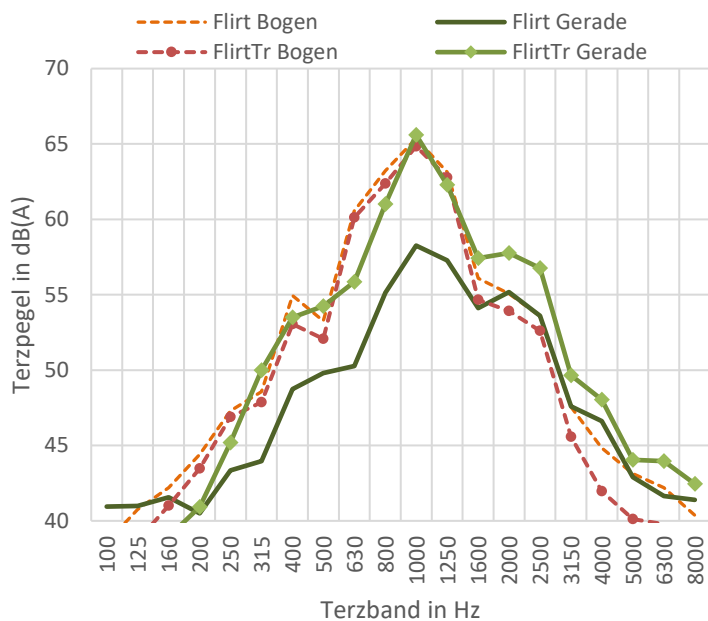


2.5s nach Passage 7.5m Süd

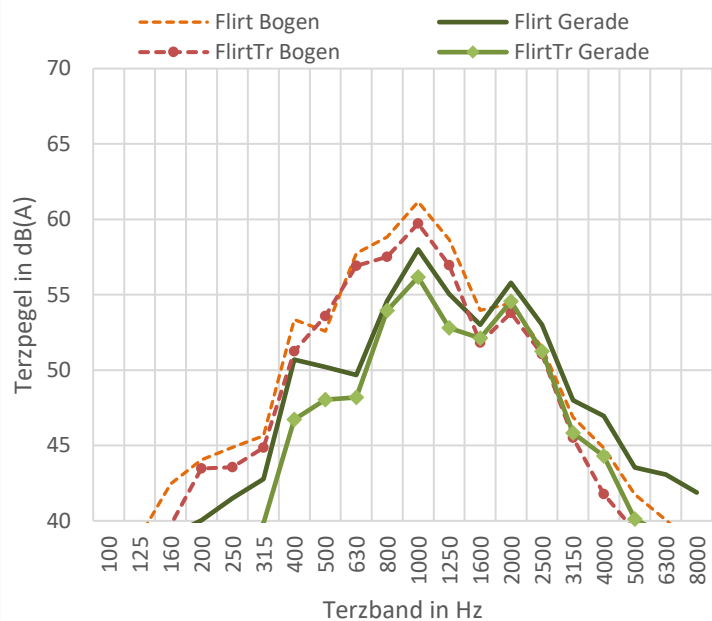


Schienenschall vor Passage nach Richtung

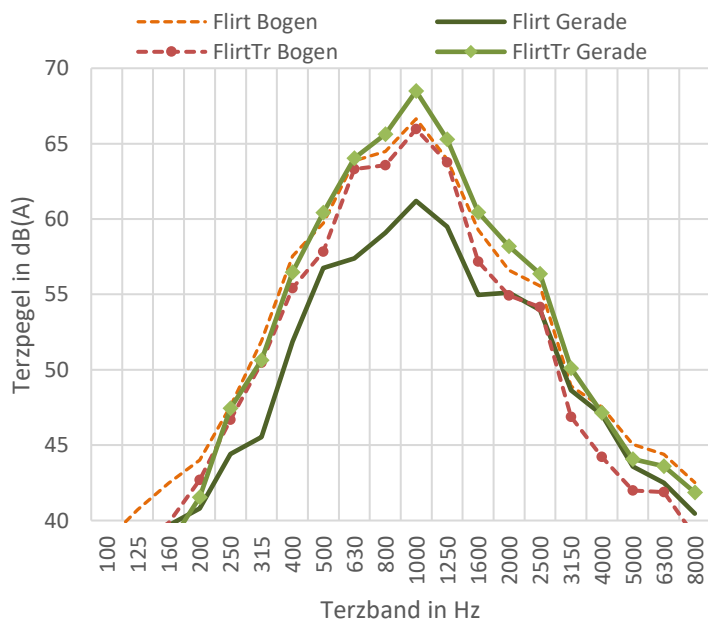
2.5s vor Passage 7.5m Süd



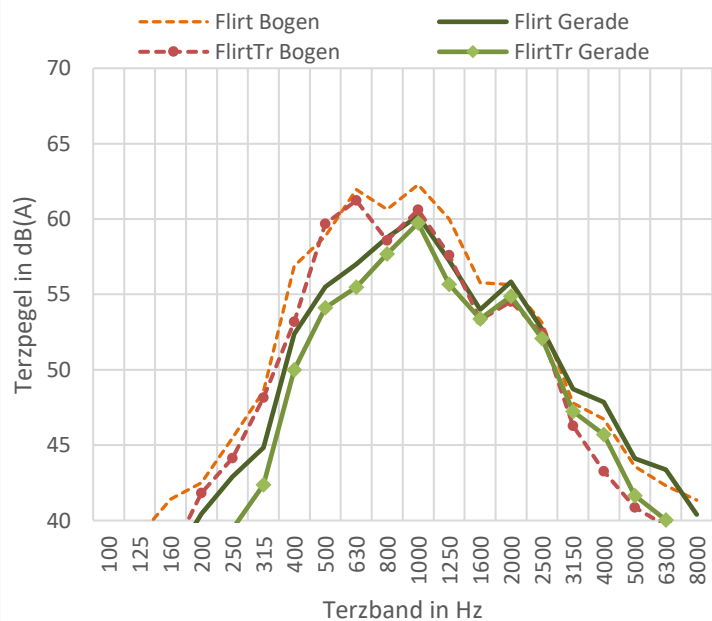
2.5s nach Passage 7.5m Süd



2.5s vor Passage 7.5m Nord



2.5s nach Passage 7.5m Nord



Schienenschall vor Passage nach Richtung



29.04.2021
Riedmatt km 9.9



29.04.2021
Messtelle Geraden
in Riedmatt km 9.9



29.04.2021 Bogen
Riedmatt km 9.7



29.04.2021 Bogen
Riedmatt km 9.7



29.04.2021
Gerade Riedmatt
km 9.8



29.04.2021 Bogen
Riedmatt km 9.7



29.04.2021 Bogen
Riedmatt km 9.7



29.04.2021 Bogen
Riedmatt km 9.7



29.04.2021 Bogen
Riedmatt km 9.7



29.04.2021 Bogen
Riedmatt km 9.7



29.04.2021 Bogen
Riedmatt km 9.7



29.04.2021 Bogen
Riedmatt km 9.7



29.04.2021 Bogen
Riedmatt km 9.7

A.3 Messunsicherheit bei Vorbeifahrmessungen

Messgröße x_i	Beschreibung	Unsicherheitsintervall	Standardunsicherheit/ Mittelwertkorrektur $u(x_i)/\Delta L_p$	Relevant	Möglicher typischer Bereich	Unsicherheitsintervall	Standard- unsicherheit $u(x_i)$	Sensitivitätsfaktor df/dx_i	Beitrag zur Unsicherheit
$L_{p, \text{ref}}$	Ablesbarkeit	0 dB	0 dB	ja	55,00 dB	0,00 dB	0,00 dB	1	0,00 dB
δ_{ref}	Änderungen des kalibrator-Schalldrucks unter Beugungsbedingungen	$\pm 0,25$ dB	0,14 dB	ja	0,0 dB	0,25 dB	0,20 dB	1	0,20 dB
δ_{ref}	Änderungen des kalibrator-Schallpegels seit seiner letzten Kalibrierung	$\pm 0,07$ dB	0,04 dB	ja	0,0 dB	0,07 dB	0,05 dB	1	0,05 dB
δ_{ref}	Änderung der Versorgungsspannung	$\pm 0,10$ dB	0,06 dB	ja	0,0 dB	0,10 dB	0,06 dB	1	0,06 dB
δ_{ref}	Max. Anstieg des Schalldruckpegels aufgrund des kalibrator-Klirrfaktors	$[-0,21$ dB; 0 dB]	0,06 dB, $\Delta L_p = 0,05$ dB	ja	0,02 dB	0,00 dB	0,06 dB	1	0,06 dB
δ_{ref}	Richtung des Schall-Einfallswinkels (max $\pm 30^\circ$)	$\pm 0,44$ dB	0,25 dB	ja	0,0 dB	0,44 dB	0,25 dB	1	0,25 dB
δ_{ref}	Frequenzabhängiger Übertragungsfaktor	$\pm 0,44$ dB	0,25 dB	ja	0,0 dB	0,44 dB	0,25 dB	1	0,25 dB
δ_{ref}	Nichtlinearität des Schallpegelmessers bei anderen Schalldrücken als der kalibratorpegel	$\pm 0,8$ dB	0,46 dB	ja	0,0 dB	0,80 dB	0,46 dB	1	0,46 dB
δ_{ref}	Fehlerpegel der F-Bewertung kurzzeitiger Impulse	$[-1,5$ dB; 1 dB]	0,72 dB $\Delta L_p = 0,25$ dB	nein	1,0 dB	1,00 dB	0,72 dB	1	0,72 dB
δ_{ref}	Metereologische Einflüsse auf den kalibrator	$\pm 0,25$ dB	0,14 dB	ja	0,0 dB	0,25 dB	0,20 dB	1	0,20 dB
δ_{ref}	Einflüsse des Luftdrucks auf den Schallpegelmesser	$\pm 0,5$ dB	0,32 dB	nein	0,9 dB	0,90 dB	0,52 dB	1	0,52 dB
δ_{ref}	Einflüsse der Temperatur auf den Schallpegelmesser	$\pm 0,5$ dB	0,29 dB	nein	0,5 dB	0,50 dB	0,29 dB	1	0,29 dB
δ_{ref}	Einflüsse der Feuchte auf den Schallpegelmesser	$\pm 0,5$ dB	0,29 dB	nein	0,5 dB	0,50 dB	0,29 dB	1	0,29 dB
δ_{ref}	Dämpfung des Windschirms	$[0,12$ dB; 0 dB]	0,09 dB $\Delta L_p = 0,05$ dB	ja	0,06 dB	0,12 dB	0,09 dB	1	0,09 dB
δ_{ref}	Weiterreflexion des Stativs	$\pm 0,6$ dB	0,35 dB	ja	0,0 dB	0,60 dB	0,35 dB	1	0,35 dB
δ_{ref}	Ungenauigkeiten der Zuggeschwindigkeit und/oder des Tachometers (Bereich von ± 8 %)	$\pm 0,3$ dB	0,17 dB	nein		0,30 dB	0,17 dB	1	0,17 dB
δ_{ref}	Änderungen des Schalldruckpegels aufgrund von Ungenauigkeiten des Mikrofonabstands ± 5 %	bei Mikrofonabstand 25 m: $\pm 0,07$ dB bei Mikrofonabstand 7,5 m: $\pm 0,13$ dB	0,05 dB 0,09 dB	nein	0,0 dB	0,20 dB	0,15 dB	1	0,15 dB
δ_{ref}	Änderungen des Bodenniveaus innerhalb 0 m bis -2 m bei Mikrofonabstand 7,5 m	$[0$ dB; $1,05$ dB]	0,51 dB $\Delta L_p = 0,51$ dB	ja	0,51 dB	1,05 dB	0,30 dB	1	0,30 dB
δ_{ref}	Änderungen des Bodenniveaus innerhalb 0 m bis -2 m bei Mikrofonabstand 25 m	$[0$ dB; $0,38$ dB]	0,10 dB $\Delta L_p = 0,10$ dB	nein	0,33 dB	0,33 dB	0,10 dB	1	0,10 dB
δ_{ref}	Runden auf den nächsten ganzzahligen Wert	$\pm 0,5$ dB	0,29 dB	ja	0,0 dB	0,50 dB	0,29 dB	1	0,29 dB
$L_{p, \text{ref}}$				ja	55,00 dB				
u_{ref}	kombinierte Standardunsicherheit			ja					0,85 dB
U	erweiterte Unsicherheit mit $k = 2$ (95%)			ja					1,70 dB