

Akustisch optimierte Schienenzwischenlage

Schlussbericht

Bericht



17.111.00 – BAFU Entwicklung Zwischenlage

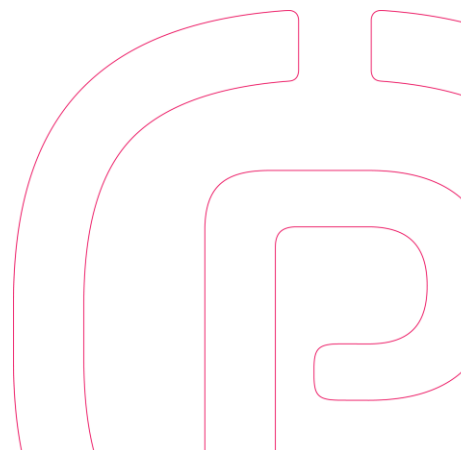
Erstellt	Geprüft	Freigegeben		
C. Czolbe	F. May	Y. Kohler		
Dokumentnummer	Ausgabedatum	Revision	Revisionsdatum	Status
04-03-02153	28.08.2020	1.00	30.09.2020	Released

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



Verteiler

Firma/Abteilung/Name	Bemerkungen
Hr Franz Kuster (BAFU)	

Revisionsindex

	Ersteller	Prüfer	Freigebender	Datum
04-03-02153	C. Czolbe	F. May	Y. Kohler	28.08.2020
Rev. 1.00	C. Czolbe	F. May	Y. Kohler	30.09.2020
Rev.				
Rev.				
Rev.				
Rev.				

Modifikationen

Revision	Beschreibung
1.00	Neue Version angelegt durch 'C. Czolbe' am 22.09.2020

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.

Dieses Schreiben wurde maschinell erstellt und ist ohne Unterschrift gültig.

Inhalt

1	Zusammenfassung	5
2	Ausgangslage	6
2.1	Projektziel	8
3	Anforderungskatalog Zwischenlage	9
3.1	Anforderungen an den Oberbau im Betrieb	9
3.2	Anforderungen aus der Dynamik und Akustik	10
3.3	Anforderungen aus dem Gleisbau	12
3.4	Anforderungen an die Fertigung	12
4	Literatur- und Patentrecherche	13
4.1	Literaturrecherche Akustik	13
4.2	Patentrecherche	15
5	Dynamische Eigenschaften von Zwischenlagen	16
5.1	Statische und niederfrequent dynamische Steifigkeiten	18
5.2	Hochfrequente dynamische Eigenschaften	19
6	Voruntersuchungen	20
6.1	Messungen am realen Gleis	20
6.2	Laborprüfungen statisch und dynamisch, niederfrequent	22
6.3	Laborprüfungen hochfrequente Tests	23
6.4	Messungen am Testgleis	26
6.4.1	Untersuchung von Prototypen am Testgleis	27
6.4.2	Unterschied im Schallpegel	28
7	Mechanische Eigenschaften	30
7.1	Laborprüfungen der Schienenbefestigung nach EN 13481-2	30
7.1.1	Zusammenfassung der Laborprüfungen nach EN 13481-2	31
7.1.2	Fazit zu den Dauerschwingversuchen	32
7.2	Bestimmung der Steifigkeit	32
7.3	Dämpfungsverhalten von elastischen Zwischenlagen	33
7.3.1	Dämpfungseigenschaft des Materials	33
7.3.2	Dämpfungsverhalten der BATEGU-Zwischenlage	35
7.4	Zusammenfassung mechanische Eigenschaften	36
8	Prototypen Versuch & Erprobung SOB und BLS	37
8.1	Erprobung UIC54-Abschnitt Bogen SOB	37
8.1.1	Messgrößen	39
8.1.2	Schallpegeldifferenzen	40
8.1.3	Abklingraten – TDR	42
8.1.4	Spektren	43
8.2	Erprobung UIC60-Abschnitt Gerade BLS	45
8.2.1	TDR-Ergebnisse der Testabschnitte	47
8.2.2	Schallpegelunterschiede	48
8.2.3	Terzpegelspektren	50
8.2.4	Beschleunigungspegel	52
8.2.5	Einsenkungsmessungen	54

8.2.6	Erschütterungen in Gleisnähe	54
9	Fazit	55
10	Referenzen	57
A	Anhang	60
A.1	Projektphasen	60
A.2	Vertikale Beschleunigungen	62
A.3	Laborprüfungen	63
A.4	Vorversuche TDR am Testgleis	68
A.5	Feldversuch BATEGU UIC54 im Gleisbogen SOB	70
A.5.1	Messgeräte	78
A.5.2	Messprotokolle	79
A.5.3	TDR-Ergebnisse	81
A.5.4	Schienenrauheiten	82
A.5.5	Schallpegel	84
A.6	Feldversuch BATEGU UIC60 auf Geraden BLS	85
A.6.1	Messgeräte	95
A.6.2	Messprotokolle	96
A.6.3	TDR Ergebnis	100
A.6.4	Schienenrauheiten	103
A.6.5	Schallpegel	104
A.6.6	Einsenkungsmessung	108
A.7	Messunsicherheit bei Vorbeifahrmessungen	110

1 Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes «Akustisch optimierte Schienenzwischenlage» wurde eine hochdämpfende Zwischenlage (Zw) in zwei Ausführungsvarianten für die Verwendung in Schienenbefestigungssystemen Typ UIC54 und UIC60 entwickelt, welche

- die dynamischen Stossbelastungen im Gleis um mehr als 66% gegenüber einer harten Zwischenlage und etwa 20% gegenüber der weichen Zwischenlage reduziert,
- eine Lärminderung von 3 bis 5 dB bewirkt und
- die Zulassungsfähigkeit erreicht hat.

Dämpfungseigenschaft

Es hat sich gezeigt, dass die erzielbare Dämpfung einer Zwischenlage die bestimmende Eigenschaft zur Eingrenzung von auftretenden dynamischen Stoßbelastungen und Schienenschwingungen ist. D.h. eine weiche Zwischenlage mit einer niedrigen statischen Federsteifigkeit z.B. 100 kN/mm verfügt nicht automatisch über höhere Dämpfungseigenschaften und der damit verbundenen Vorteile, als Zwischenlagen mit höherer Steifigkeit z.B. 200 kN/mm.

Die Dämpfungseigenschaft des neu entwickelten Elastomerwerkstoff sowie die damit herstellte Zwischenlage BATEGU Zw wurde mit unterschiedlichen Verfahren untersucht. Dafür wurde einerseits der Elastomerwerkstoff einer dynamisch-mechanischen-Analyse (DMA) unterzogen und andererseits die Dämpfung der BATEGU Zw anhand ihrer statischen Hystereseschleife sowie einer Prüfung der auftretenden Erschütterungen im eingebauten Zustand (Einbau BLS bei Kerzers) ermittelt. Vergleichend hierzu wurde sowohl eine Materialprobe einer weichen Zwischenlage Zw700 mit 100 kN/mm und einer harten Zwischenlage Zw687a mit 700 kN/mm bzw. ebenso diese Komponenten geprüft. Ergebnisse: Der BATEGU-Elastomerwerkstoff weist bei der dynamisch-mechanischen Analyse im vorgegebenen Temperaturbereich (- 30 °C bis 50 °C) im Vergleich die höchste Dämpfungseigenschaft auf. Der Unterschied aus dem Vergleich der Hystereseschleife ergibt eine um rund 65% höhere Dämpfungseigenschaft. Die im Feldversuch ermittelten Erschütterungen liegen um 23% niedriger als bei weichen Zwischenlagen; gegenüber harten Zwischenlage reduzieren sich die gemessenen Erschütterungen um rund zwei Drittel.

Lärminderung

Die Feldversuche wurden an unterschiedlichen Streckenabschnitten durchgeführt. In engen Gleisbögen bei der SOB in Wollerau mit UIC54 Schienen und 60 km/h Durchschnittsgeschwindigkeit wurde eine Pegelminderung von bis zu 5 dB nach Einbau der BATEGU Zw ermittelt. Auf einer weiteren Strecke in der Geraden bei Kerzers mit UIC60 Schienen und einer mittleren Geschwindigkeit von 120 km/h lagen die Vorbeifahrpegel am BATEGU Testabschnitt um 3-4 dB niedriger im Vergleich zum Abschnitt mit weicher Zwischenlage.

Dauerfestigkeit

Die Dauerfestigkeit der Zwischenlage BATEGU Zw (UIC54 und UIC60) wurde im Rahmen von Laborprüfungen des Schienenbefestigungssystems nach EN 13481-2 geprüft. Hierbei wurden die statische Systemsteifigkeit, der Durchschubwiderstand, der Verdrehwiderstand und die Spannkraft gemessen und ein Dauerschwingversuch mit 3 Mio. Lastwechsel durchgeführt. Bei sämtlichen Prüfungen lagen die Messergebnisse respektive die Änderungen vor und nach dem Dauerschwingversuch in den vorgegebenen Bereichen der jeweiligen Norm.

Das Forschungsprojekt „Akustisch optimierte Zwischenlage“ konnte sowohl im geplanten Zeitrahmen von drei Jahren als auch im Kostenrahmen erfolgreich abgeschlossen werden, hat die Erkenntnisse in der Lärmbekämpfung an der Schiene vorangebracht und zu einer vielversprechenden Komponente im Oberbau geführt.

2 Ausgangslage

Der Lärm vorbeifahrender Züge setzt sich aus verschiedenen Geräuschanteilen zusammen. Die wesentlichen Geräusche sind Antriebsgeräusche, Rollgeräusche und aerodynamische Geräusche. Je nach Geschwindigkeit dominiert einer dieser drei Anteile, siehe Abbildung 2-1. Da auf den freien Strecken in der Schweiz Personenzüge maximal 200 km/h und Güterzüge je nach Zuladung bis 120 km/h bewegt werden, wird Eisenbahnlärm im Wesentlichen durch das Rollgeräusch verursacht.

- Antriebsgeräusche □ dominant bis 60 km/h
- **Rollgeräusche** □ **dominant 60-250 km/h**
- Aerodynamische Geräusche □ dominant ab 250 km/h

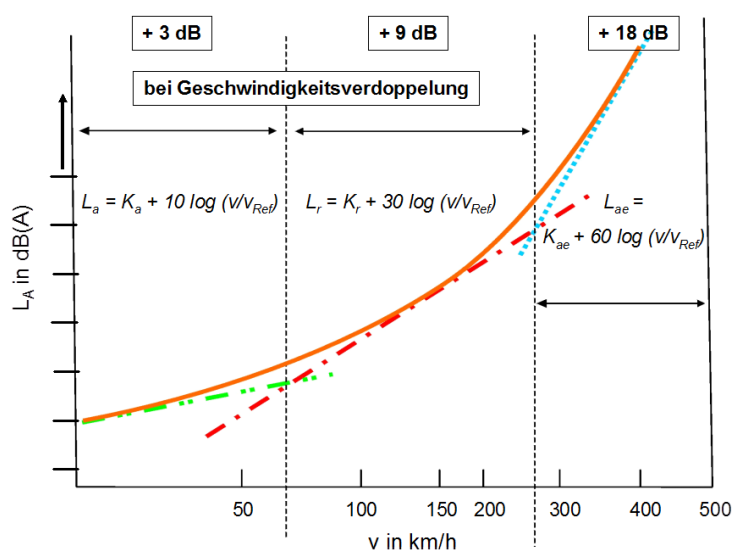


Abbildung 2-1: Lärmemission in Funktion der Vorbeifahrgeschwindigkeit (Hecht 2001)

Das Rollgeräusch selbst wird generiert durch die Rauheit von Rad und Schiene, welche angekoppelte Bauteile wie das Rad selbst und den Gleisoberbau zu Schwingungen anregt, wobei die schwingenden Oberflächen den Schall abstrahlen. Welcher Teil wieviel Schall abstrahlt, hängt von verschiedenen Parametern ab, wie z.B. Grösse, Form und Dämpfung der abstrahlenden Flächen sowie der Kopplung zwischen den Teilen. Die verschiedenen Anteile aus Lärmmessungen zu separieren, ist allerdings sehr komplex und immer noch Gegenstand der aktuellen Forschung (z.B. BAFU-Projekt OST, EU-Projekt Roll2Rail). Mit Simulationstools, wie z.B. TWINS oder sonRAIL, lässt sich das allerdings berechnen. Die folgende Abbildung 2-2 zeigt das Resultat einer Berechnung mit TWINS für einen Güterzug bei 100 km/h bei einem Oberbau mit weicher Zwischenlage.

Wesentlich für das Rollgeräusch sind in diesem Fall die Schwelle, die Schiene und das Rad, jeweils in unterschiedlichen Frequenzbereichen, wobei der Anteil der Schiene dominiert. Für den Fall mit harten Zwischenlagen (Standardoberbau in der Schweiz) wäre der Anteil der Schiene kleiner (durch die damit verbundene hohe Gleisabklingrate) und derjenige der Schwelle höher, da mit der harten Zwischenlage die Schwelle bis ca. 600 Hz schwingungstechnisch an die Schiene gekoppelt ist.

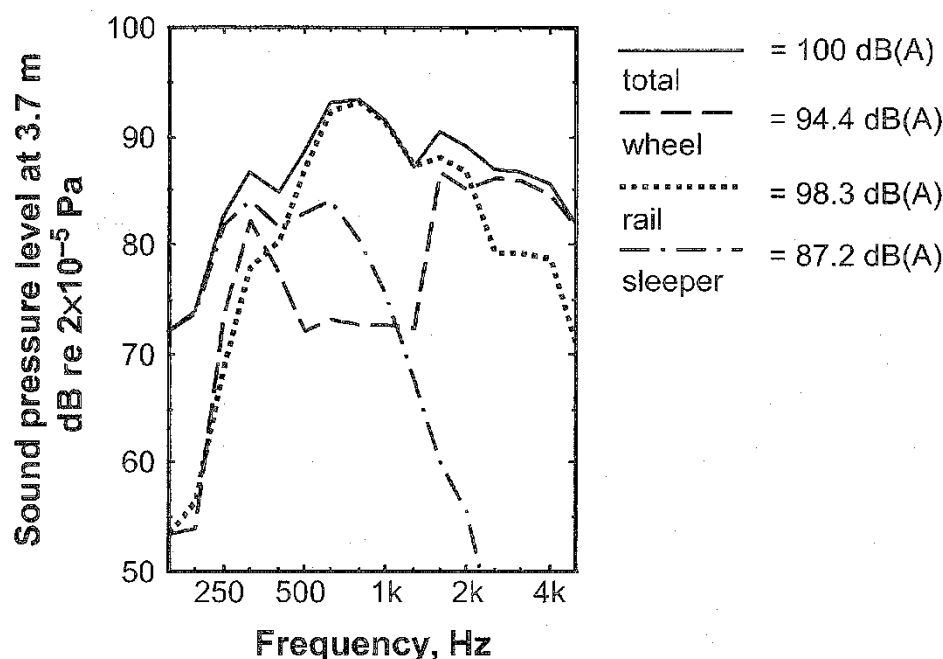


Abbildung 2-2: Lärmemission berechnet mit TWINS Modell zeigt die frequenzabhängigen Anteile von Rad, Schiene und Schwelle am Rollgeräusch (Quelle: D. Thompson, Railway Noise and Vibration)

Messungen an Gleisabschnitten mit Betonschwellen und unterschiedlich harten Zwischenlagen (PROSE Berichte [13][11]) 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.

In der folgenden Tabelle sind die ermittelten Vorbeifahrpegel $L_{eq,TP(7.5m)}$ der Untersuchung in Kerzers 2015 für die beiden Messquerschnitte MQ1 (mit harter Zwischenlage, Zw 661-6 EVA) und MQ2 (mit weicher Zwischenlage Zw700-b-100kN-EPDM-H-SF150-W) enthalten (Tabelle 7-1, PROSE Bericht 02-0993-1 von 2015) [12]. Messquerschnitt MQ0 ist ein Referenzquerschnitt (km24.5 bei Kerzers) ebenfalls mit harter Zwischenlage.

Tabelle 2-1: Vorbeifahrpegel gleicher Fahrzeuge auf unterschiedlichen Oberbautypen mit weicher und harter Zwischenlage aus [14]

Zug-Art	Anz.	Mittelwerte [dB(A)]			Pegel-Differenz [dB(A)] (positive Werte: Pegelzunahme gegenüber MQ0)	
		MQ1	MQ0	MQ2	Differenz_1-0	Differenz_2-0
Lötschberger	14	75.3	75.1	78.7	0.2	3.6
EW3 mit Re420/Re465	15	79.7	79.8	82.1	-0.1	2.3
Güterzüge	1	84.5	84.2	87.2	0.3	3.0
Nina	1	75.7	75.9	78.7	-0.2	2.8

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 (siehe die nachfolgend dargestellte Tabelle 2-2 aus dieser RTE-Dokumentation). Die BLS setzt bei Oberbauerneuerungen wie in Kerzers 2014 standardmässig weiche Zwischenlagen ein.

Tabelle 2-2: RTE 22040/ 6.5.2.6 Spannklemmen (Skl)

Typ	Einsatzunter- scheidung	Anwendung	Län- ge [mm]	Brei- te [mm]	Farben	Stand- höhe ¹⁾ [mm]
Skl 1	Federwege	Kürzerer Federweg, harte Zwischenlage	128	88	schwarz	15
Skl 14		längerer Federweg, weiche Zwischenlage	152	85		15.5
Skl 10	Platzverhältnisse in Weichenzonen, wo die Schienenab- stände klein sind	Siehe Weichen- verlegeplan	152	60	gelb	16
Skl 1 k	Platzverhältnisse in Stössen	Bei Stosslaschen	134	80		15

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 [14])

Ziel ist es, im Idealfall die gleiche Lärmemission wie bei harter Zwischenlage zu erreichen, also 3 dB weniger Emissionspegel als bei den aktuellen Oberbautypen mit weicher Zwischenlage. Wahrscheinlich sind aufgrund von Materialeigenschaften und LCC-Aspekten jedoch Kompromisse in den Materialeigenschaften und der Gestaltung der neuen, „hochdämpfenden, weichen“ Zwischenlage nötig, welche zu einer geringeren Pegelminderung im Bereich von 1 bis weniger als 3 dB im Streckenemissionspegel $L_{eq(7.5m)}$ (bzw. Beurteilungspegel L_r) führen. So ist es kaum vorstellbar, dass sehr weiche Zwischenlagen mit einer Steifigkeit unter 100 kN/mm bei gleichzeitig hoher Dämpfung die dynamischen Schwingversuche überleben.

2.1 Projektziel

Das Ziel des Projekts ist es, eine neue Zwischenlage zu entwickeln, welche die Vorteile von harten und weichen Zwischenlagen kombiniert und die jeweiligen Nachteile eliminiert. Die neue Zwischenlage ist so zu entwickeln, dass die Lärmemission vorbeifahrender Züge auf einem Standardoberbau mindestens gleichwertig zu Oberbautypen mit harter Zwischenlage ausfällt. Die Vorteile der weichen Zwischenlage bezüglich Instandhaltung und Erschütterungen sollen erhalten bleiben. Die neue elastische Zwischenlage mit hoher Dämpfung soll für den verbreiteten Standardoberbau mit Betonmonoblockschwellen und UIC60/UIC54-Schiene entwickelt werden.

3 Anforderungskatalog Zwischenlage

3.1 Anforderungen an den Oberbau im Betrieb

Zu den Aufgaben der Zwischenlage in einem Gleisrost beim Schotteroberbau gehören:

- Verteilung und Weiterleitung der Kräfte von der Schiene auf die Schwelle
 - Längskräfte beim Beschleunigen, Bremsen und Ausdehnung in x-Richtung
 - Querkkräfte in y-Richtung
 - Achslasten in z-Richtung
- Das Festhalten der Schienen (in der Höhe, nach der Seite, in Längsrichtung)
- Beständigkeit gegen dynamische Krafteinwirkungen und Erschütterungen

$$M = c_T \cdot \varphi = (1/12 \cdot b^2 \cdot c_{stat} + 1/2 \cdot c^2 \cdot c_{clip}) \cdot \varphi$$

M ... Reaktionsmoment der Befestigung auf das Moment M_T infolge Q und Y der Gleisbelastung [kN/cm]

c_T ... Torsionszahl (Zw 687 a $c_T = 670$ kNcm/°; Zw 900 $c_T = 610$ kN/cm/°)

φ ... Verdrehwinkel der Schiene in der Befestigung [°]

c_{stat} ... linearisierte statische Steifigkeit der Zwischenlage [kN/cm]

c_{clip} ... Steifigkeit Clip [kN/cm]

b ... Aufstandsweite Schiene [cm]

c ... Clipweite [cm]

$$H = c_H \cdot s_2$$

H ... Horizontale Reaktionskraft einer Befestigung aus Y der Gleisbelastung [kN]

c_H ... Schubzahl (Zw 687 a $c_H = 145$ kN/mm; Zw 900 $c_H = 90$ kN/mm)

s_2 ... Horizontale Verschiebung des Schienenfußes gegen die Schwelle [mm]

$$F_z = c_z \cdot z = (c_{stat} - 2 \cdot c_{clip}) \cdot z$$

F_z ... Vertikalkraft [kN]

c_z ... vertikale Steifigkeit der Schienenbefestigung [kN/cm]

z ... vertikale Einfederung [cm]

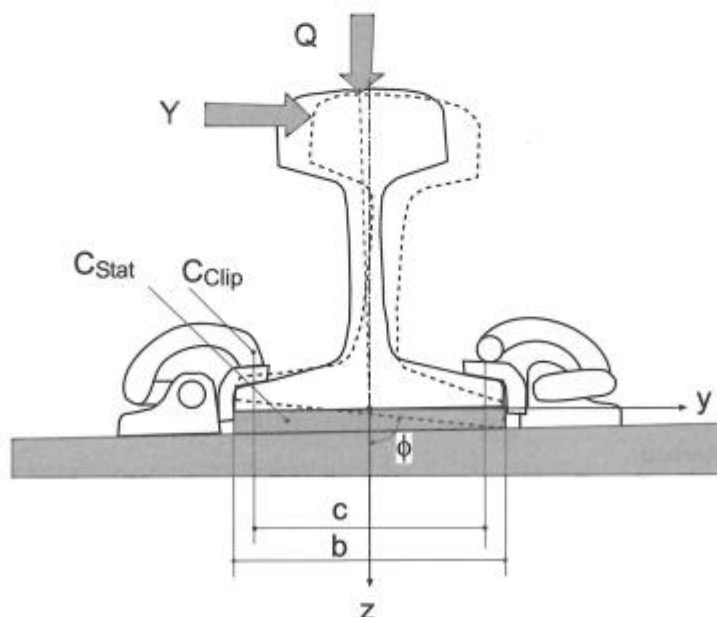


Abbildung 3-1: Kräfte und Bewegungen der Schienenbefestigung (Handbuch Gleis) [2]

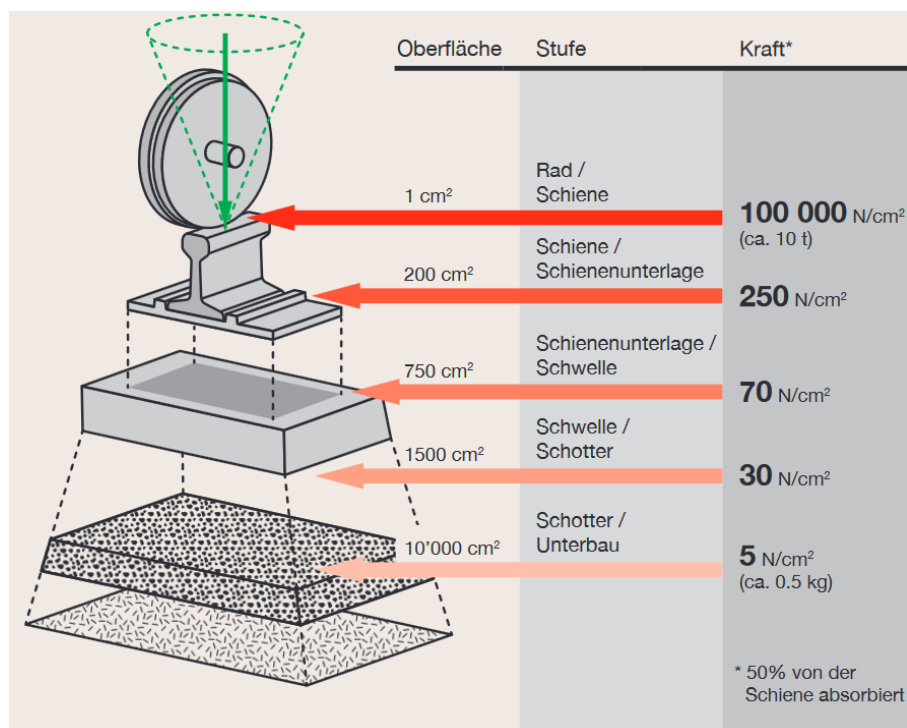


Abbildung 3-2: Kraftverteilung und Größenordnung am Gleis, Quelle: SBB Broschüre Die Fahrbahn kurz erklärt [27]

3.2 Anforderungen aus der Dynamik und Akustik

Zwischenlagen werden üblicherweise nach ihrer statischen Steifigkeit kategorisiert. Harte Zwischenlage mit ≥ 700 kN/mm binden die Schienen fester an die Schwelle an und führen deswegen zu hohen Schienendämpfungen (TDR) -siehe Abbildung 3-3, verfügen auch im unbelastetem Zustand (nur über die Klemmkraft) über einen hohen Verlustfaktor und verhalten sich bei tiefen wie hohen Temperaturen annähernd konstant. Weiche Zwischenlagen mit ca. 100 kN/mm entkoppeln die Schiene mehr von den Schwellen, weisen somit geringere TDR auf, was in Summe zu höheren Rollgeräuschen bzw. Lärm führt – siehe auch Abbildung 5-4 und haben geringere Verlustfaktoren.

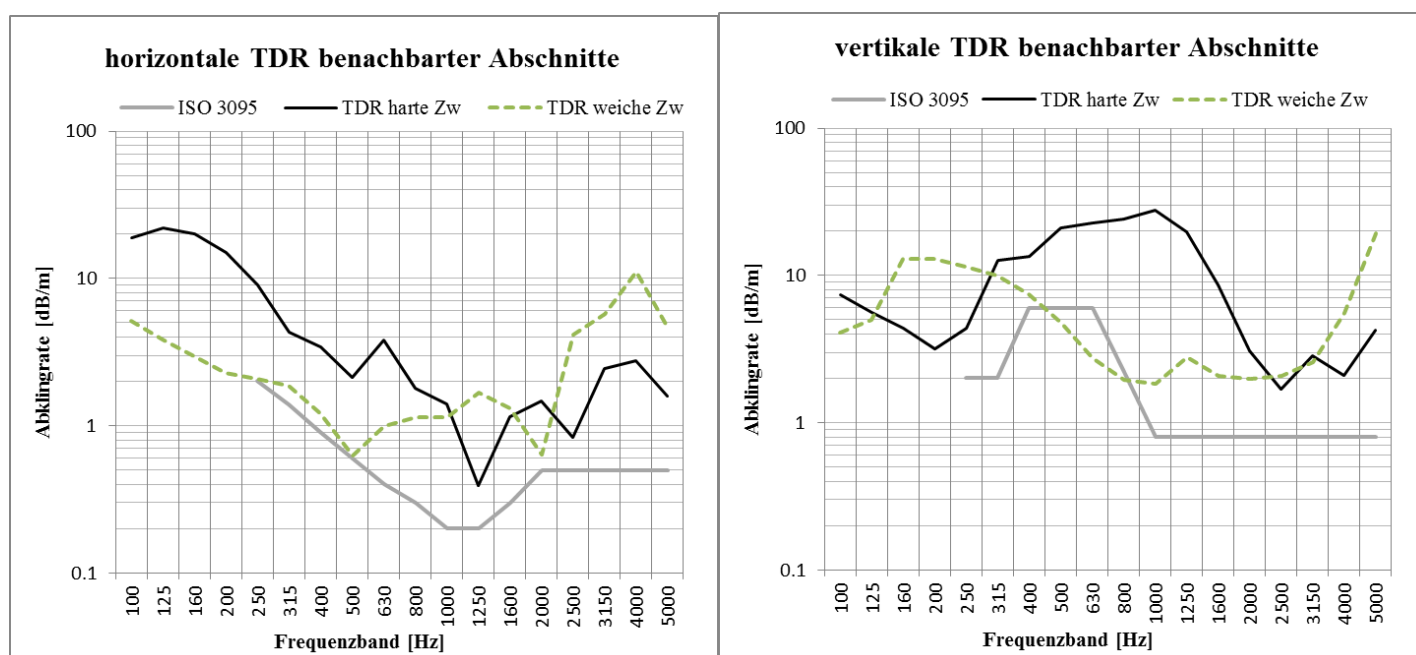


Abbildung 3-3: Vergleich TDR eines Schotteroberbaus mit UIC 60 und B91 mit harter/weicher Zwischenlage

Um den Schotter und die Schwelle zu schonen, müssen die Kraftspitzen beim Überrollen des Fahrzeuges (Lastwechsel) abgefedert werden. Der wesentliche Parameter hierfür ist die Nachgiebigkeit oder Federsteifigkeit. Bei einer weichen elastischen Zwischenlage mit einer Nenndicke von 7mm ist bei Zugüberfahrten ein Federweg von etwa 250 μm zu erwarten, während bei einer harten Zwischenlage dies gerade mal 50 μm sind. Grosse Federwege in der Zwischenlage bedeuten, dass die Schwelle weniger ausgelenkt wird, was zu weniger Reibung im Schotter führt und auf Dauer geringeren Verschleiss verursacht.

Bei Zwischenlagen wird i.d.R. die statische Steifigkeit als Nennwert auf dem Datenblatt angegeben. In der Dynamik einer Zugvorbeifahrt - oder besser Zugüberfahrt – ist die Krafteinwirkung jedoch eher periodisch, indem die Geschwindigkeit mit der Achsverteilung eine Erregerfrequenz zwischen 5 und 30 Hz ergibt. Daher ist für die Bewertung der schotterschonenden Wirkung vor allem die niederfrequente dynamische Steifigkeit der Zwischenlagen relevant. In der Prüfnorm EN 13146-9 [52] werden daher die Steifigkeiten von 0 Hz (statisch) bis 30 Hz mit entsprechend hohen Prüflasten 18 – 85 kN durchgeführt.

Um auch den Vorbeifahrärm gleisseitig zu minimieren, müssen im akustisch relevanten Frequenzbereich von 500 Hz bis 2000 Hz vor allem die Schwingungsamplituden der Schiene klein gehalten werden. Dies kann durch zwei Effekte erreicht werden. Entweder wird die Schiene möglichst fest an die Schwelle und Gleisunterbau gebunden, so dass die Schwingungsenergie aus der Schiene möglichst ungehindert an den Gleisunterbau abfliessen kann oder es kann Dämpfung in die Gleisoberbau gebracht werden, so zum Beispiel durch eine hochdämpfende Zwischenlage, welche die Schwingungsenergie dissipiert.

Die optimierte Zwischenlage sollte daher im statischen und niederfrequenten Bereich die Eigenschaften von weichen elastisch-federnden Zwischenlagen und im akustisch relevanten hochfrequenten Bereich die Eigenschaften einer harten Zwischenlage sowie eine hohe Dämpfung aufweisen.

Das Rollgeräusch besteht wie eingangs bemerkt aus Rad- und Schienenschall. Räder und Schienen strahlen zwar auf unterschiedliche Art und Weise Schall ab, bei einer Vorbeifahrt hängen die beiden Quellenarten jedoch zusammen und lassen sich kaum messtechnisch trennen.



Abbildung 3-4: Rollgeräusch beim Kesselwagen mit 80 km/h aus Mikrofonarraymessungen A-bewertete Quellenintensitäten (PROSE)

Schienenschall breitet sich zudem über den Körperschall innerhalb der Schiene in Längsrichtung aus, sodass bereits vor einer Zugpassage und danach Schienenschall abgestrahlt wird. Daher wird das unbelastete Gleis auch über die Abklingrate TDR qualifiziert, was eine frequenzabhängige Schwingungsdämpfung in dB/m angibt. Obwohl die Anregung der Schwingungen im Rollkontakt, also am Radaufstandspunkt stattfindet, wird Schienenschall überwiegend in den Bereichen daneben abgestrahlt, daher muss der Fokus beim Schienenschall auf das unbelastete Gleis gerichtet werden. Das heisst die Laboruntersuchungen für die hochfrequenten Eigenschaften können sich auf den Bereich 10 bis 20 kN beschränken.

3.3 Anforderungen aus dem Gleisbau

Die neue Zwischenlage sollte die Logistik des Gleisbaus nicht erschweren. Ein Austausch an bestehenden Gleisen muss möglich sein. Die Instandhaltungsintervalle dürfen sich durch die neue Zwischenlage nicht verkürzen.

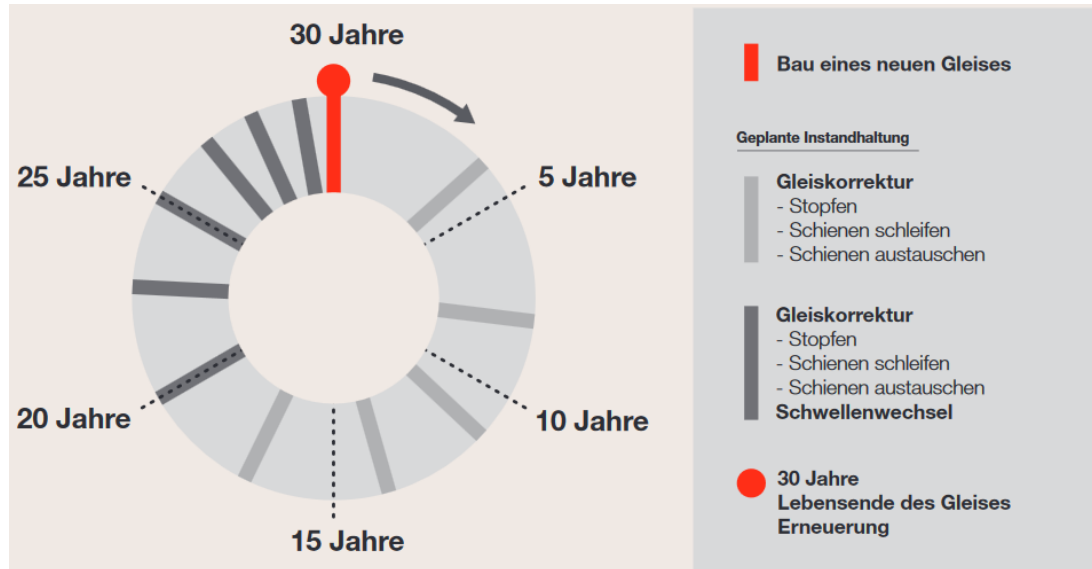


Abbildung 3-5: Lebenszyklus eines Gleises, SBB Broschüre Fahrbahn kurz erklärt [27]

3.4 Anforderungen an die Fertigung

Die neue Zwischenlage muss wirtschaftlich gefertigt werden können. Die Eigenschaften der Zwischenlage müssen beherrschbar sein, damit die Qualitätsanforderungen effizient erfüllt werden können. Insbesondere die Prüfung der dynamischen Eigenschaften (statische und dynamische, niederfrequente Steifigkeit nach EN 13146-9 [52]) muss sichergestellt sein.

4 Literatur- und Patentrecherche

4.1 Literaturrecherche Akustik

In den folgenden Forschungsprojekten IMAGINE und HARMONOISE wurden die Grundlagen für die Eisenbahnlärmberechnung mittels strecken- und fahrzeugspezifischer Parameter gelegt. So gingen z.B. die Forderungen bezüglich Gleistransferfunktionen, Schienenrauheiten und der Abklingrate TDR daraus hervor.

- TWINS Untersuchungen ISVR Mitte der 1980iger Jahre – David Thompson [9]
- EU-Projekte SilentTrack, METARAIL, 1990iger Jahre [1]
- EU-Projekte HARMONOISE, IMAGINE 2000er Jahre [5]

In den sonRail-Untersuchungen wurden intensiv die Oberbautypen in der Schweiz untersucht und auf Basis von IMAGINE wurde ein neues Berechnungstool für den Schienenverkehrslärm entwickelt. Damals wurden die Unterschiede jedoch eher auf den Schientyp UIC60 / UIC54 und die Schwellenart zurückgeführt, weniger auf die Zwischenlage. Untersuchungen zur Schallabstrahlung der Oberbaukomponenten sowie des Rollmaterials wurden seit Mitte der 1980iger Jahre von David Thompson am ISVR in Southampton [9] durchgeführt. Das Rollgeräusch dominiert den Schienenverkehrslärm im Geschwindigkeitsbereich zwischen 60 und 200 km/h, also den üblichen Betriebsgeschwindigkeiten in der Schweiz und Europa. Die Schallanteile im Frequenzbereich sind unterschiedlich, so strahlt die Schwelle im mittleren Frequenzbereich zwischen 250 und 1000 Hz ab, während Schiene und Rad darüber abstrahlen (siehe auch Abbildung 2-1). In den folgenden Publikationen ist auch die Auswirkung der Zwischenlage enthalten.

- D. Thompson, Railway Noise & Vibration, Mechanisms, modelling & means of Control 2009
- STARDAMP Forschungsprojekt (DE, FR) 2012 [7]
- SBB Untersuchung Schienenstegdämpfer und Faktor X 2013 – 2016 [8]
- EMPA, TU Berlin, TU München, Oberbau-Simulations-Tool OST, Projekt 2016-2018 [18]

PROSE hat in verschiedenen Projekten bei Messungen der Schalleigenschaft von Oberbauten die unterschiedliche Abstrahlung von Abschnitten mit weichen und harten Zwischenlagen gemessen.

- PROSE Messung Schallabstrahlung besohlter Schwellen 2013-2014 (SBB)
- PROSE Schienenstegabschirmung SSA 2015 (SEKISUI)
- PROSE-Vergleich Betonschwelle B70/B91 2016-2018 (BAFU)

Jüngste Untersuchungen zu gleisnahen Lärminderungsmaßnahmen z.B. Schienenstegdämpfer SSD und Schienenstegabsorber haben auch die Steifigkeiten der Zwischenlage mit einbezogen. So sind in einem ICSV Paper von 2018 [10] folgende Standardwerte für die Simulation mit TWINS enthalten.

Tabelle 4-1: Gleisparameter für die Berechnung mit TWINS [10]

		Vertical	Lateral
Rail	Bending stiffness	6.42 MNm ²	1.07 MNm ²
	Damping loss factor	0.02	0.02
	Shear factor	0.4	0.4
	Mass per unit length	60 kg/m	
	Cross receptance factor	-7 dB	
Pad	Stiffness (soft pad)	150 MN/m	25 MN/m
	Stiffness (stiff pad)	800 MN/m	66 MN/m
	Damping loss factor	0.2	0.2
Sleeper	Mass*	150 kg	
	Spacing	0.6 m	
Ballast	Stiffness**	105 MN/m	35 MN/m
	Damping loss factor	1.0	2.0

Während die vertikalen Steifigkeiten bei weichen Zwischenlagen um mehr als Faktor 5 kleiner ausfallen, verändert sich die laterale Steifigkeit nicht so stark. Für Standardzwischenlagen ist hier ein Verlustfaktor von 0.2 angegeben.

Ein weiterer wichtiger Punkt zum Verständnis des Schienenschallanteils sind die Eingangsmobilitäten der Schiene je Anregungsrichtung und der Schallleistungsanteil je Richtung.

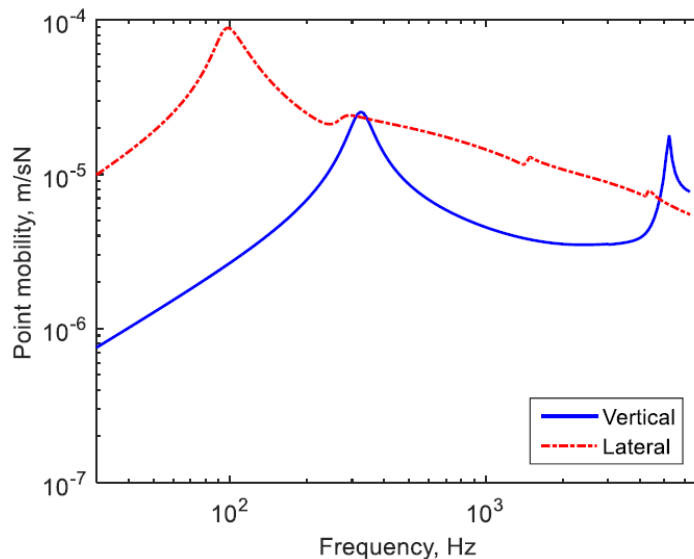


Abbildung 4-1: Eingangsmobilitäten einer Schiene im Gleis in vertikaler und lateraler Richtung [10]

Die Schiene ist in vertikaler Richtung besonders gut ab etwa 300 Hz anregbar, in laterale Richtung ist sie weicher.

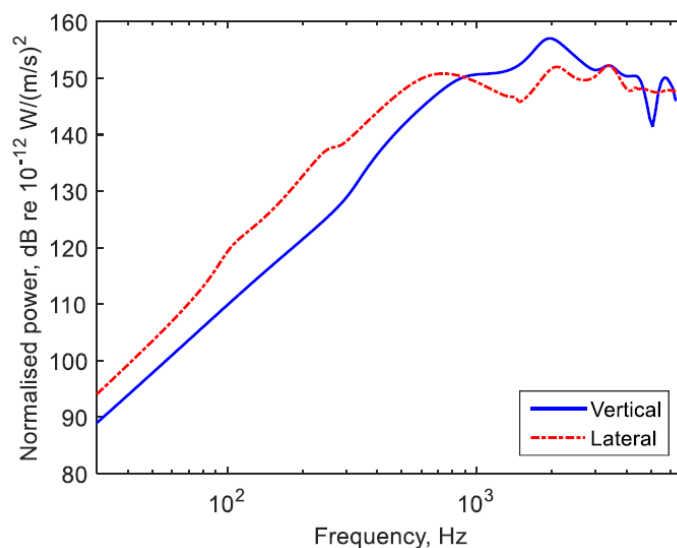


Abbildung 4-2: Schallleistung in vertikaler und lateraler Richtung normalisiert auf $\frac{1}{2}$ Eingangsmobilität² [10]

Die Schallabstrahlung der Schiene setzt sich in erster Näherung aus beiden Schwingungsrichtungen zusammen. Der Schienensteg dominiert eher im tiefen Frequenzbereich zwischen 200 und 800 Hz, der Schienenfuss dominiert im Frequenzbereich über 800 Hz.

4.2 Patentrecherche

Es wurde eine Patent-Recherche in Form einer „Fokus-Recherche“ durchgeführt.

Die Recherche wurde von einem amtlichen Prüfer des österreichischen Patentamts durchgeführt, und zwar in unterschiedlichen Datenbanken: Epodoc, WPI und TXTnn.

Aus den erhobenen Dokumenten kann keine Überschneidung mit den Materialentwicklungen zum jetzigen Projektstand erkannt werden.

Um die anfänglichen Recherche-Ergebnisse zu validieren, wurde Anfang 2020 eine länderbezogene FTO-Recherche (Freedom-to-operate-Recherche) anhand der idealen Ausführungsvariante für eine spätere Patentanmeldung in Auftrag gegeben.

Bei der anschließenden (FTO-)Analyse der Recherchenergebnisse erfolgte im ersten Schritt eine Prüfung des Rechtsstandes sowie allfälliger Eingriffe. Im zweiten Schritt wurden die verbliebenen identifizierten Schutzrechte einer sachlichen Überprüfung unterzogen und dabei die Anspruchsformulierung und der jeweilige Schutzbereich analysiert, mit dem erfreulichen Ergebnis, keiner entgegenstehenden Schutzrechte.

5 Dynamische Eigenschaften von Zwischenlagen

Eine häufige Schienenbefestigung auf einer Betonschwelle ist das Vossloh-W14-System. Dabei wird die Schiene mittels Klemmplatten, Omega-Feder und zwei Schrauben an der Schwelle befestigt. Die Klemmkraft der unbelasteten Schiene liegt üblicherweise zwischen 10 und 20 kN.

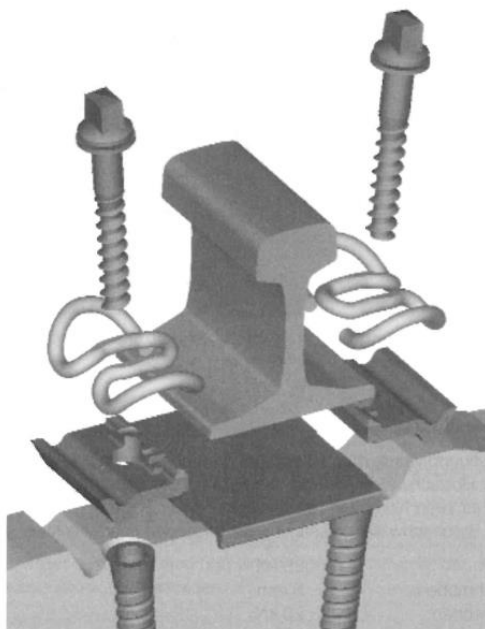


Abbildung 5-1: Vossloh W14 Schienenbefestigung aus dem Handbuch Gleis [2]

Grundsätzlich strahlt ein Körper Schall ab, wenn er mechanisch angeregt wird und bestimmte Schwingungsformen annimmt. Die Betonschwellen mit einer Masse von ca. 300 kg und einer Länge von 2.5m werden durch den Rollvorgang über die Schiene, Zwischenlage und Befestigung in Schwingungen versetzt, wobei vor allem die erste Biegeschwingungseigenform zu einer relevanten Luftschallabstrahlung führt. Der Schotter ist dabei das Dämpfungsglied, hier werden sowohl mechanische Schwingungen gedämpft als auch Schall absorbiert.

Die mechanische Anregung setzt sich aus der quasistatischen Achslast und dynamischen Schwingungen zusammen. Die Achslast eines überfahrenden Zuges wird über die Schiene auf mehrere Schwellen verteilt. Man geht in der Berechnung von einer folgenden Achslastaufteilung aus:

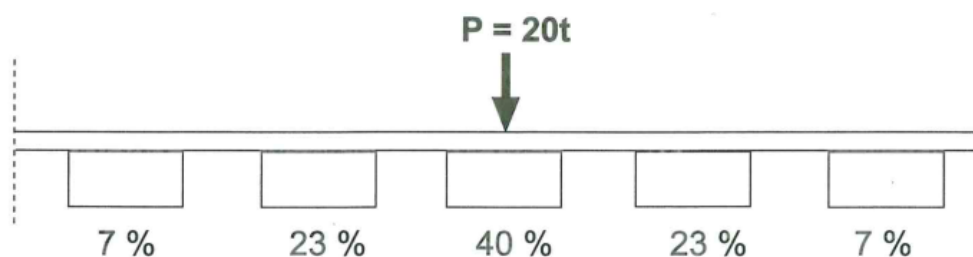


Abbildung 5-2: Achslastverteilung aus dem «Handbuch Gleis»

Zu den 20 kN durch die Schienenbefestigung kommen noch etwa 40 kN quasistatische und bis 10 kN dynamische Kraftanregung, z.B. als vertikale Schwingungen des Fahrzeugs, Radrundheiten (OOR), Rauheiten sowie lokale Rad- & Schienendefekte. Die dynamischen Schwingungen sind zwar von der Amplitude kleiner, sind aber massgeblich verantwortlich für den Luftschall und die niederfrequenten hohen Kraftspitzen. Die folgende Abbildung 5-3 zeigt das Schwingungsverhalten benachbarter Schwellen zur Achslage (0m).

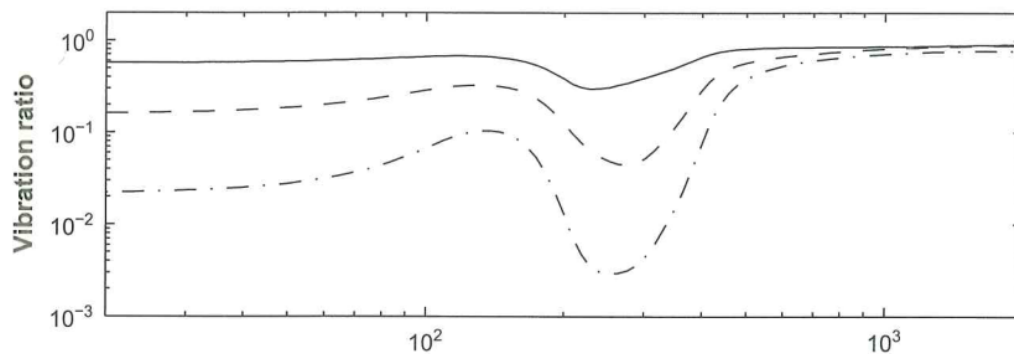


Abbildung 5-3: Verhältniss der Vibrationen an Betonschwellen: ____ 0m (unter der Achse), ___ 0.6m (neben der Achse) und _ . _ . _ 1.2m (neben der Achse)

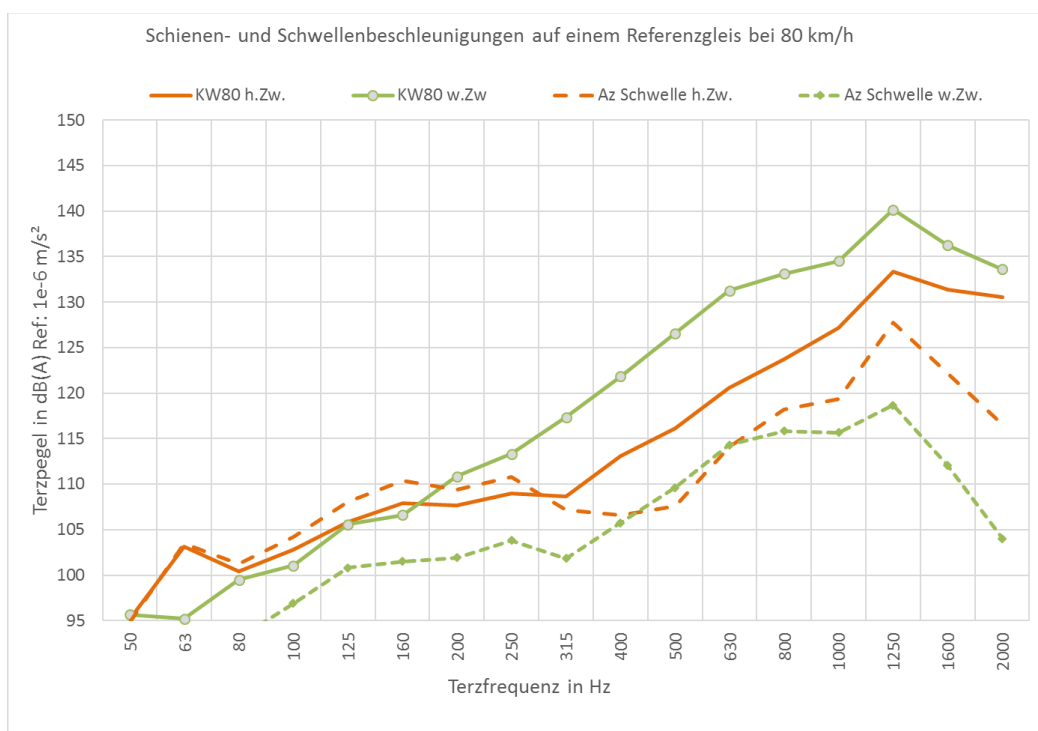


Abbildung 5-4: Vertikale Schienenfuss- und Schwellenbeschleunigungen eines Kesselwagens bei 80 km/h auf weicher und harter Zwischenlage.

Die dynamischen Parameter von Oberbauelementen wie Zwischenlagen werden nach DIN EN 13146-9 bestimmt. Bei Zwischenlagen interessieren vor allem die Steifigkeiten

- bei statischer und niederfrequent dynamischer Belastung zwischen 0 und 30 Hz
- bei hochfrequent dynamischer Belastung von 50 Hz bis 1000 Hz

5.1 Statische und niederfrequent dynamische Steifigkeiten

Die statischen und dynamischen Prüfungen von Gleisbauelementen wie Zwischenlagen können nach der EN 13146-9 ermittelt werden. Hierzu wird der Prüfling unter ähnlichen Bedingungen wie im Gleis plan eingespannt und die Federwege, welche durch die Krafteinleitung eines hydraulischen Pulsgebers verursacht werden, werden mit vier Wegsensoren gemessen.

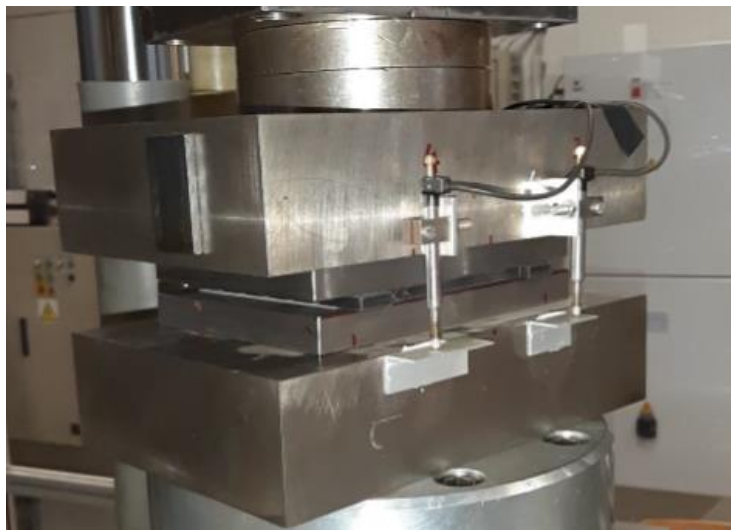
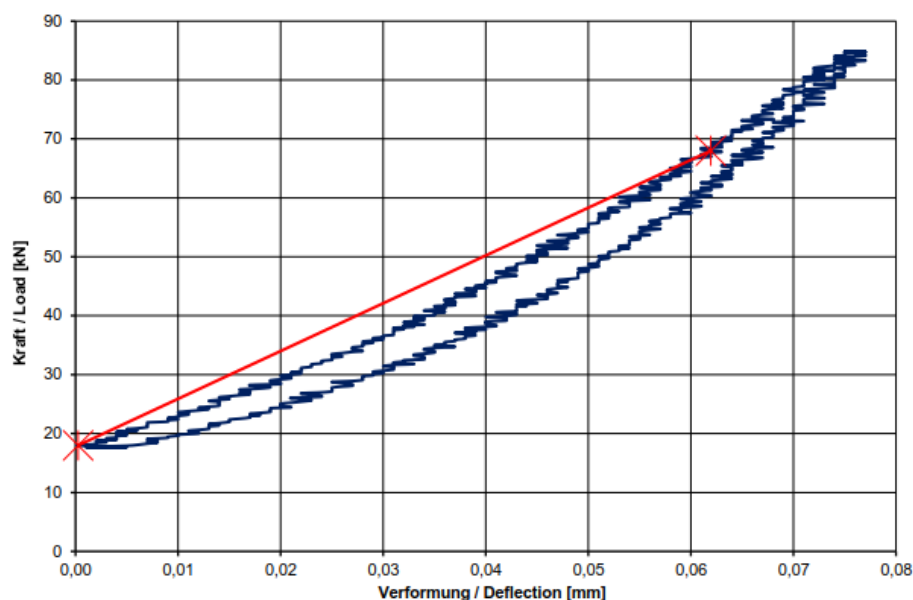


Abbildung 5-5: Aufbau zur Ermittlung der statischen und niederfrequent dynamischen Steifigkeiten im Labor

Der Test wird statisch und dynamisch mit 5, 10, 20 und 30 Hz durchgeführt, wobei die Steifigkeit sich aus der Steigung der Sekante berechnet, die sich aus den Schnittpunkten mit den Messpunkten bei 18 kN und 68 kN ergibt.



Auswertung / Evaluation			
Auswertung zwischen Evaluation between		Verformungen Deflections	
$F_{SP1} =$	18,0 kN	$d_{PA1} =$	0,00 mm
$F_{SP2} =$	68,0 kN	$d_{PA2} =$	0,06 mm
$k_{FA} =$		810,7 kN/mm	

Abbildung 5-6: Auswertung der niederfrequent dynamischen Steifigkeit nach EN 13146-9 von einer harten Zwischenlage

5.2 Hochfrequente dynamische Eigenschaften

Die hochfrequenten dynamischen Eigenschaften der Zwischenlage besonders bzgl. der Verlustfaktoren haben unmittelbar Einfluss auf die Schwingungsübertragung von der Schiene zur Schwelle und auf die Akustik. Der Test wird unter realer Einspannung der Zwischenlage, mit unterschiedlichen Vorlasten von 10 bis 80 kN und separater hochfrequenter Kraftanregung bis 1000 Hz mit einem elektrodynamischen Shaker in einem Testrig nach ISO 10846-3:2002 durchgeführt.

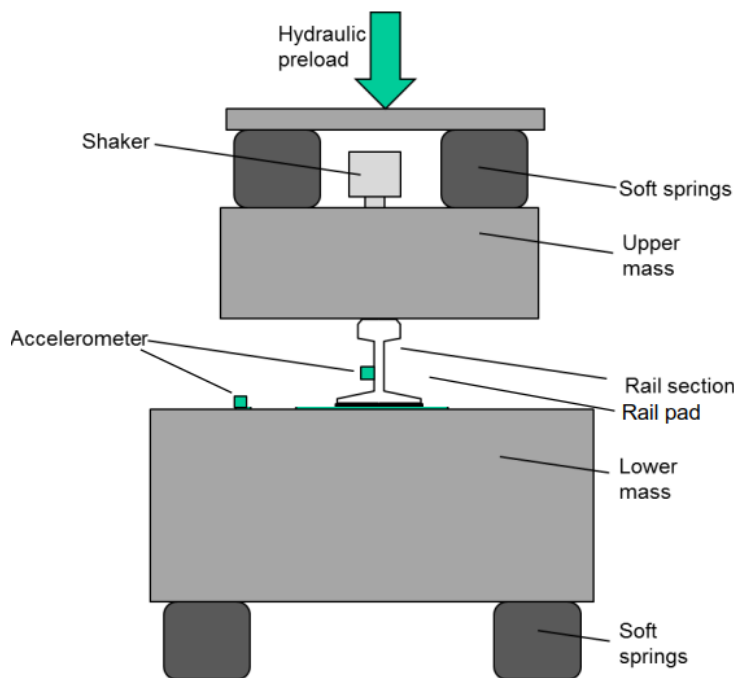


Abbildung 5-7: Schema des Versuchsaufbaus mit elektrodynamischer Anregung über einen Shaker

Steifigkeiten und Verlustfaktoren werden über Beschleunigungsmessungen und der indirekten Methode aus dem Geradenanstieg im Frequenzbereich zwischen 200 und etwa 800 Hz ermittelt. Je nach Vorlast treten sowohl im unteren Frequenzbereich als auch hochfrequent ab 900 Hz Resonanzen im Testaufbau auf, welche nicht berücksichtigt werden.

6 Voruntersuchungen

Den Einfluss der Zwischenlage auf die Schallemission von Eisenbahnstrecken konnte bisher an einigen Messstellen im Vorbeifahrgeräusch nachgewiesen werden. Die Zwischenlagen beeinflussen dabei das Rollgeräusch, indem der Schienenschallanteil von weich gelagerten Schienen höher ist als bei hart gelagerten Schienen.

Die Messungen am realen Gleis fanden in den letzten 20 Jahren i.d.R. mit Fokus auf die Fahrzeugzulassung und in einer Entfernung von 7.5 bis 25m zur Gleismitte statt. Diese Entfernung lässt keine Trennung zwischen den Schallanteilen am Rollgeräusch zu. Für die Trennung der Schallanteile von Fahrzeug und Gleis bei Vorbeifahrmessungen müssen geeignete Messverfahren angewandt werden wie z.B. Mikrofonarray-, Schallintensitätsmessungen und der Messung von Transferfunktionen. PROSE hat bei Vorbeifahrmessungen ein neues Messverfahren zur Messung der Schienenschallintensität aus der Kombination von Schalldruckmessungen und Beschleunigungsmessungen unmittelbar am Schienensteg entwickelt.

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. Der Einfluss konventioneller am Markt verfügbarer Zwischenlagen mit unterschiedlicher Steifigkeit liegt vor allem im unteren Frequenzbereich zwischen 400 und 1600 Hz.

Bei VigierRail in Müntschemier wurde im Mai 2018 ein 6m langes Testgleis aus UIC60-Schienen und B91-Betonschwellen für das Forschungsprojekt «optimierte Betonschwelle» aufgebaut. An diesem Testgleis wurden ebenfalls TDR-Messungen mit Prototypen von BATEGU durchgeführt, um erste orientierende Ergebnisse zu erhalten.

6.1 Messungen am realen Gleis

Messungen zur Erprobung des neuen Messverfahrens am realen Gleis haben im Oktober 2015 und November 2017 sowie im Juni 2020 in Kerzers an einem Oberbau mit B91 stattgefunden. Vermessen wurden zwei Gleisabschnitte mit konventionellen weichen und harten Zwischenlagen.



Abbildung 6-1: Messung Schienenschall über Schallintensitäten - zwei Verfahren (PROSE 2017)

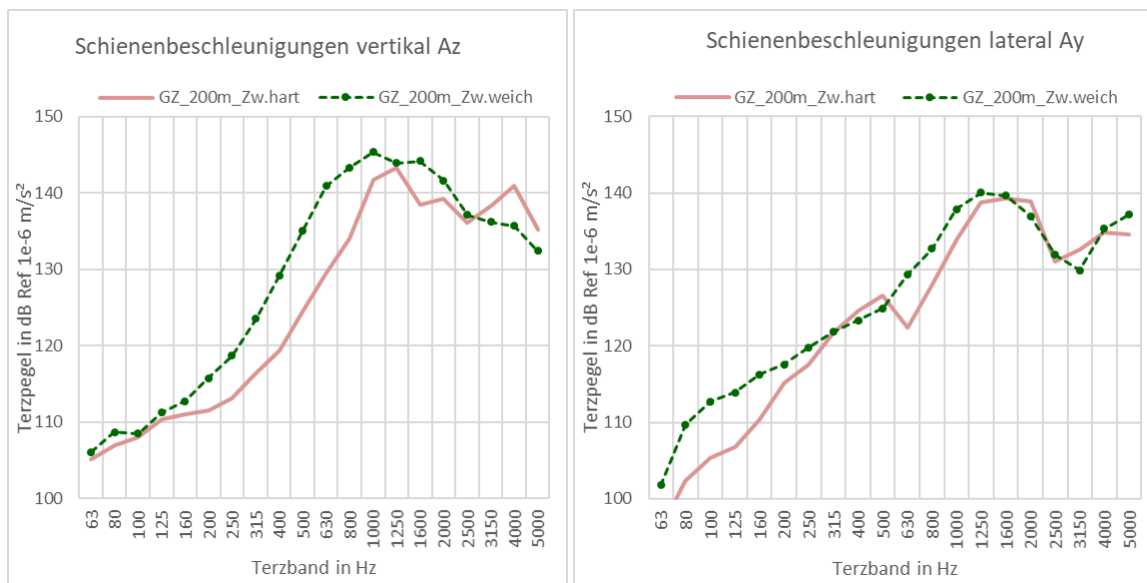


Abbildung 6-2: Schienenbeschleunigungen bei Vorbeifahrt eines Güterzuges auf weicher und harter Zwischenlage

Die höhere Schienenschallabstrahlung an Abschnitten mit weicher Zwischenlage ist auf entsprechend höhere Schienenbeschleunigungen zurückzuführen. In vertikaler Richtung fallen die Beschleunigungen zwischen 200 und 1600 Hz (ausgenommen der pin-pin-Mode bei 1250 Hz) um mehr als 6 dB höher aus, während sie in lateraler Richtung zwischen 630 und 1000 Hz höher ausfallen.

Die Schallintensität ist die gerichtete Schallabstrahlung von einer Quelle (Schiene) in das Freifeld. Sie ist das Produkt aus der vektoriellen Schallschnelle und dem Schalldruck an einem Ort. Bei dem hier angewandten Verfahren zur Schienenschallmessung wurden die Schwingschnelle in y-Richtung an der Schiene gemessen und direkt daneben der Schalldruck. Die beiden Größen lassen sich über die Kreuzleistungsdichte zu Schallintensitäten umrechnen, welche nachfolgend als Terzspektrum ausgegeben werden.

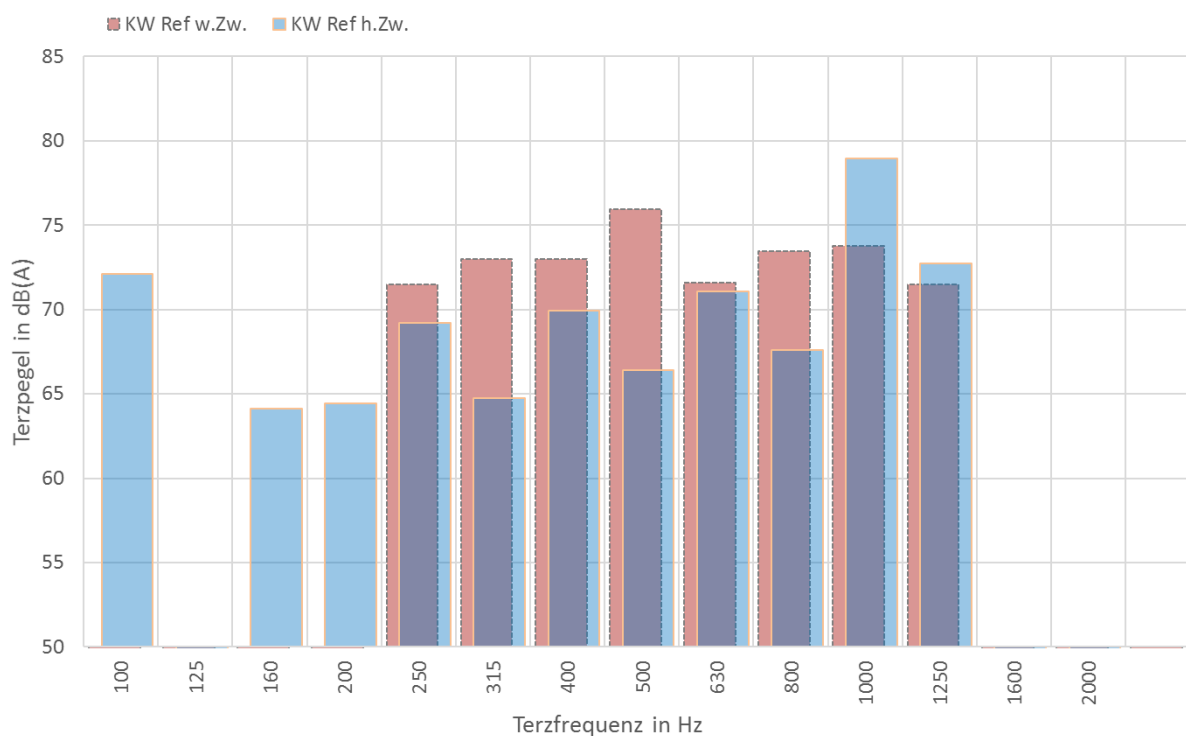


Abbildung 6-3: Schienenschall-Intensitäten eines Kesselwagens Ref bei 80 km/h auf weicher und harter Zwischenlage

Schallanteile, die von der Schiene abgestrahlt werden, sind in den Schallintensitätsspektren mit positivem Vorzeichen versehen, während Blindleistungen ein negatives Vorzeichen haben.

Aus den Schallintensitätsspektren lässt sich erkennen, dass die Schallanteile bei weicher Zwischenlage stärker im Frequenzbereich zwischen 250 bis 500 Hz und bei 800 Hz ausgeprägt sind als bei harter Zwischenlage.

6.2 Laborprüfungen statisch und dynamisch, niederfrequent

Im Frühjahr 2018 wurden sechs Zwischenlagen im Prüflabor der TU München auf ihre dynamischen Eigenschaften hin untersucht. Dabei befand sich auch der erste Prototyp von BATEGU (#.5). Es wurden die statischen und niederfrequenten, dynamischen Parameter für verschiedene Temperaturbereiche erfasst.

Tabelle 6-1: Verwendete Zwischenlagen für dynamische Tests

Nr.	Hersteller	Typenbezeichnung	Kategorie	Nominelle stat. Steifigkeit	Schienenfussbreite
1	Z23*	Zw 686a	hart	810 kN/mm	125 UIC54
2	Z19*	Zw 700/148/165	weich	90 kN/mm	150 UIC60
3	Z22*	Zw 700b	weich	90 kN/mm	150 UIC60
4	Z22*	Zw 700 AT/125-85	weich	110 kN/mm	125 UIC54
5	BATEGU		mittelweich	200 kN/mm	125 UIC54
6	Z23*	Zw 180/165x123x7	mittelweich	240 kN/mm	125 UIC54

Tabelle 6-2: Ermittelte Steifigkeiten Prüflabor TUM 2018 [26]

Ermittlung der Steifigkeit gemäß DIN EN 13146-9						
Temperatur	Proben Nr.	statisch/ [kN/mm]	dynamisch [kN/mm]			
			5 Hz	10 Hz	20 Hz	30 Hz
RT (23 °C)	1	810,7	970,7	1071	1143	1189
	2	88,0	96,0	97,0	96,7	*)
	3	83,4	91,2	92,7	95,1	*)
	4	110,1	118,5	119,3	120,7	128,6
	5	197,8	227,5	232,3	241,9	273,2
	6	242,5	363,1	372,5	416,4	423,5
-10 °C	1	822,4	996,8	1019	1059	1037
	2	98,2	106,2	109,2	116,2	133,6
	3	92,3	109,2	113,8	118,1	134,2
	4	118,2	109,0	148,7	153,1	163,6
	5	177,7	317,0	422,3	491,9	529,0
	6	401,8	628,1	713,0	780,7	781,2
+10 °C	1	777,5	747,4	776,4	839,2	823,8
	2	93,5	99,0	107,3	101,7	*)
	3	88,8	94,6	97,3	99,0	*)
	4	111,6	122,7	127,3	128,8	132,2
	5	178,3	227,5	247,7	258,1	275,0
	6	273,7	412,5	447,2	456,2	497,8
+40 °C	1	629,2	661,5	691,7	703,0	711,2
	2	89,7	96,8	97,2	98,1	*)
	3	81,3	87,7	89,5	90,1	*)
	4	101,7	111,5	111,4	113,5	*)
	5	179,6	219,7	224,1	238,5	242,4
	6	175,0	223,0	223,1	224,7	218,9
*) Die Prüfmaschine konnte bei 30 Hz nicht immer die Prüfkraft erreichen						

Die Steifigkeiten bei Raumtemperatur RT (23°C) fallen entsprechend der Erwartungen an die verfügbaren Produkte aus. Bei hohen Temperaturen werden geringere Steifigkeiten erzielt und bei Temperaturen von -10 °C die höchsten Steifigkeiten gemessen. Die Steifigkeiten nehmen mit wachsender Frequenz zu. Bei der harten Zwischenlage (Nr. 1) und der mittleren (Nr. 6) sind bei den Temperatursprüngen mitunter auch hohe Steifigkeitsunterschiede zu beobachten, während sich die weichen Zwischenlagen (Nr.2-5) weniger stark durch die Temperatur beeinflussen lassen.

6.3 Laborprüfungen hochfrequente Tests

Dieselbe Auswahl an Zwischenlagentypen wurde an der Universität Southampton am ISVR dynamisch hochfrequenten Untersuchungen unterzogen. Auch hierbei befand sich der erste Prototyp von BATEGU (Nr. 5). Wie eingangs erwähnt, soll im Frequenzbereich oberhalb von 250 Hz die Schiene stärker an die Schwelle gekoppelt werden. Daher sind hohe Steifigkeiten und Verlustfaktoren in diesem Frequenzbereich erwünscht.

Die Ergebnisse der Steifigkeitsmessungen sind als Steifigkeit-Frequenz Diagramme im Anhang A-2 aufgeführt. Nachfolgende Abbildung zeigt den Verlauf der hochfrequenten Steifigkeiten einer

harten (Sample 1) und einer weichen (Sample 4) Zwischenlage sowie zwei mittelweichen Zwischenlagen mit ähnlicher Nennsteifigkeit von 200 kN/mm (Sample 5 und 6).

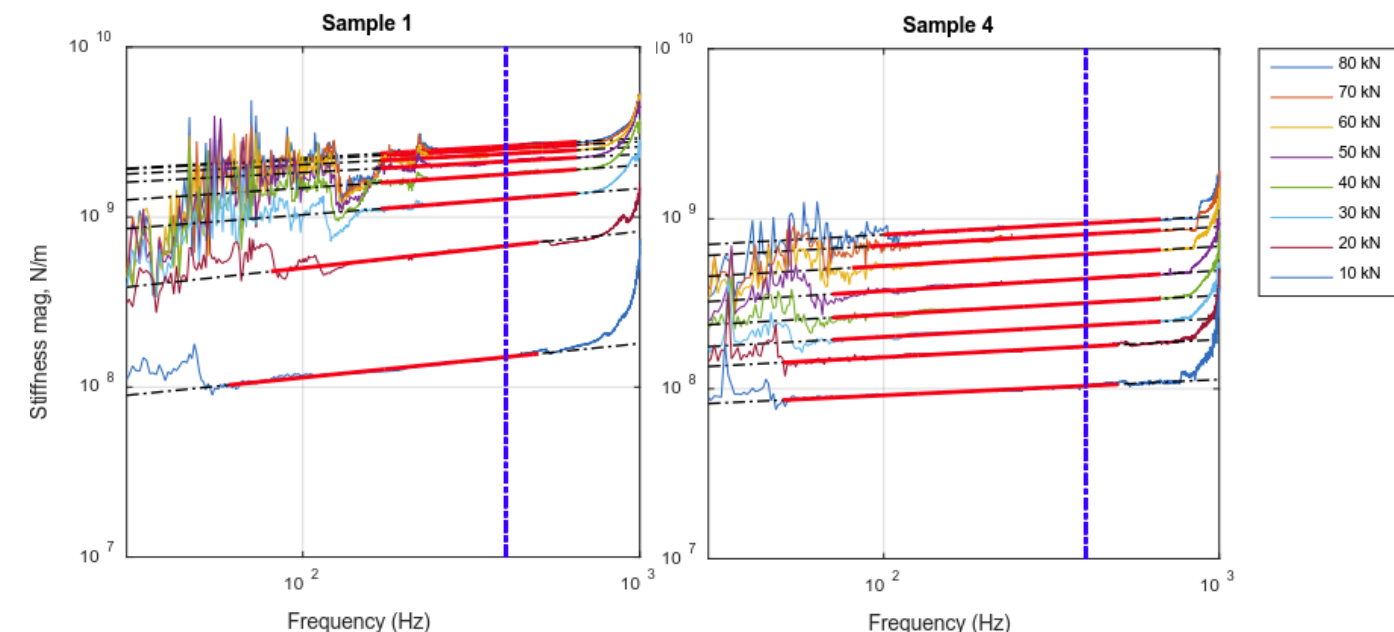


Abbildung 6-4: Steifigkeiten hochfrequent von einer harten Zwischenlage (Sample 1) und weichen Zwischenlage (Sample 4)

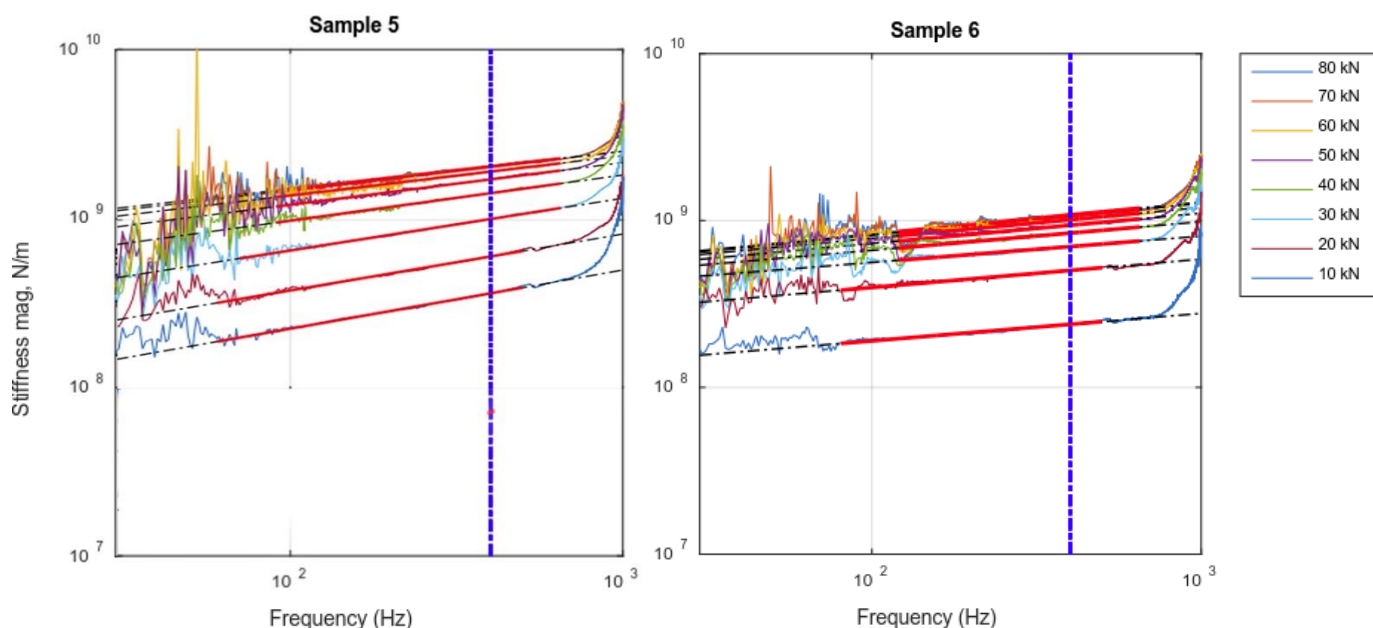
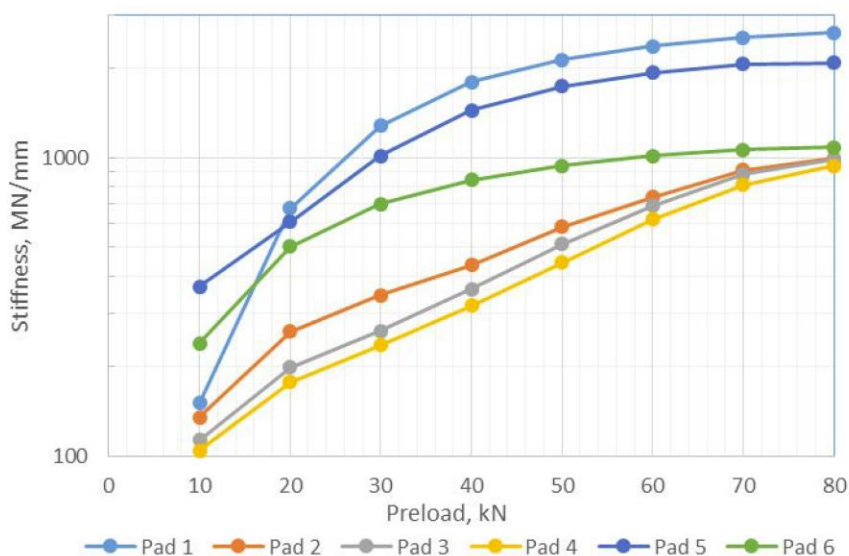


Abbildung 6-5: Resultate der Steifigkeiten von BATEGU (Sample 5) und einer weiteren 200 kN/mm Zwischenlage (Sample 6)

Betrachtet man die Abhängigkeit der Steifigkeit von der statischen Last, so erweist sich die BATEGU-Zwischenlage (Sample 5) qualitativ und quantitativ als eine Mischung aus harter Zw (Sample 1) und weicher Zwischenlage (Sample 4), während die Zwischenlage Sample 6 die geringste Abhängigkeit der Steifigkeit von der statischen Last aufweist und auch absolut die geringsten Steifigkeiten hat. Auffällig ist auch, dass die Zunahme der Steifigkeit mit der Frequenz bei der BATEGU-Zwischenlage deutlich stärker ist als bei den anderen Zwischenlagen. Dies ist auch die Voraussetzung, um die gewünschte Merkmalskombination zu realisieren.

Tabelle 6-3: Effekt der Vorspannung auf Zwischenlagen Steifigkeiten (bei 400 Hz) in MN/m

	Pad 1	Pad 2	Pad 3	Pad 4	Pad 5	Pad 6
10 kN	150	135	113	104	370	239
20 kN	676	260	198	177	610	502
30 kN	1278	346	262	235	1012	697
40 kN	1787	437	363	319	1437	841
50 kN	2124	587	512	444	1733	936
60 kN	2354	735	688	619	1924	1010
70 kN	2522	908	878	811	2051	1063
80 kN	2617	991	985	939	2073	1081



Für die Akustik ist der Bereich bei 20 kN interessant, da hier die TDR an der unbelasteten Schiene bestimmt wird. Hier zeigte sich bereits, dass der Prototyp von BATEGU durchwegs höhere Steifigkeiten aufweist gegenüber den weichen Zwischenlagen. Trotz stärkerem Anstieg der Steifigkeit mit der statischen Last bei den weichen Zwischenlagen, bleibt das Bild auch für die höheren statischen Lasten erhalten. Die Zw 687 Pad 1 weist die höchsten Steifigkeiten bei 400 Hz auf und das Pad 5 (BATEGU) verläuft unmittelbar darunter.

Tabelle 6-4: Effekt der Vorspannung auf Zwischenlage Verlustfaktoren (bei 400 Hz) -

	Pad 1	Pad 2	Pad 3	Pad 4	Pad 5	Pad 6
10 kN	0.22	0.14	0.13	0.13	0.49	0.17
20 kN	0.15	0.12	0.12	0.12	0.45	0.15
30 kN	0.12	0.11	0.12	0.12	0.38	0.14
40 kN	0.10	0.11	0.11	0.11	0.31	0.13
50 kN	0.09	0.10	0.10	0.10	0.26	0.13
60 kN	0.08	0.09	0.09	0.09	0.24	0.13
70 kN	0.08	0.09	0.08	0.08	0.22	0.12
80 kN	0.07	0.08	0.07	0.07	0.21	0.12

Der Prototyp von BATEGU (Pad 5) weist mit deutlichem Abstand die höchsten Verlustfaktoren auf, auch wenn der Verlustfaktor mit steigender statischer Last am stärksten sinkt. Die anderen Zwischenlagen unterscheiden sich im Verlauf der Verlustfaktoren leicht, liegen aber in den Werten eng zusammen. Die weichen Zwischenlagen unterscheiden sich hinsichtlich der Verlustfaktoren fast gar nicht.

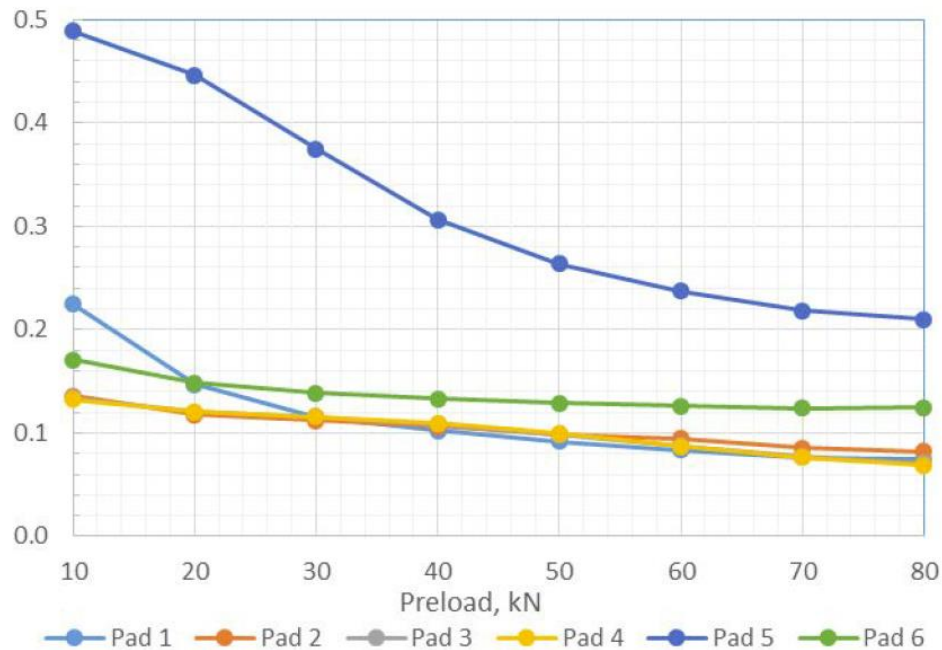


Abbildung 6-7: Effekt der Vorspannung auf Zwischenlagen Steifigkeiten (bei 400 Hz)

6.4 Messungen am Testgleis

Bei VigierRail in Müntschemier wurde ein 6m langes Testgleis aus 10 Schwellen und UIC60-Schienen aufgebaut. Das Gleis kann mechanisch an der Schiene angeregt werden, sodass Schwingungen und deren Übertragung in eine Schwelle gemessen werden können.



Abbildung 6-8: Testgleis bei VigierRail in Müntschemier

Parallel zu den Untersuchungen der Schallabstrahlung der Schwelle können an diesem Testgleis TDR-Messungen durchgeführt werden. Im Vorfeld wurde die TDR für die 6m-Schiene nach der STARDAMP-Methode [7] für die derzeit harte Zwischenlage bestimmt und in diesem Projekt konnten die neuen weichen Zwischenlage von BATEGU darauf charakterisiert werden.

Die Messungen am Testgleis fanden zu unterschiedlichen Jahreszeiten im Winter und Sommer statt, sodass der Einfluss der Temperatur auf die Ergebnisse entsprechend berücksichtigt werden musste.

6.4.1 Untersuchung von Prototypen am Testgleis

Im November 2018 wurden im 6m langen Testgleis von VigierRail TDR-Messungen nach der STARDAMP-Methode über die Schienenenden an vier Zwischenlagen durchgeführt. Im Ausgangszustand bestand das Testgleis aus B91-Betonschwellen, Zw 687a (hart, 700 kN/mm) und Zw 700 (weich, 100 kN/mm) und UIC60-Schienen. Zwei unterschiedliche BATEGU-Prototypen mit Härten von 55 ShoreA respektive 60 ShoreA wurden darauf ebenfalls untersucht. Im Sommer 2019 wurde schliesslich noch der Prototyp für UIC60-Schienen für den Einbau bei der BLS an dem Testgleis gemessen, welcher nach damaligen Erkenntnissen eine statische Steifigkeit von 200 kN/mm besass, daher die Bezeichnung «B200kN».

In vertikaler Richtung (z-Richtung) wurde mit beiden Zwischenlagen von BATEGU eine sehr gute Wirksamkeit erreicht. Die ermittelten TDR (Schienendämpfung / Abklingrate) von B60Sh (60 ShoreA) und B55Sh (55 ShoreA) liegen nahezu aufeinander. Gegenüber einer weichen Zwischenlage (W100kN) mit 100 kN/mm kann die TDR im Frequenzbereich 250 Hz bis 4000 Hz deutlich verbessert werden. Die TDR bei einer harten Zwischenlage (H700kN) werden im unteren Frequenzbereich bis 500 Hz erreicht, liegen zwischen 630 Hz und 2000 Hz leicht darunter und sind ab 2500 Hz sogar höher.

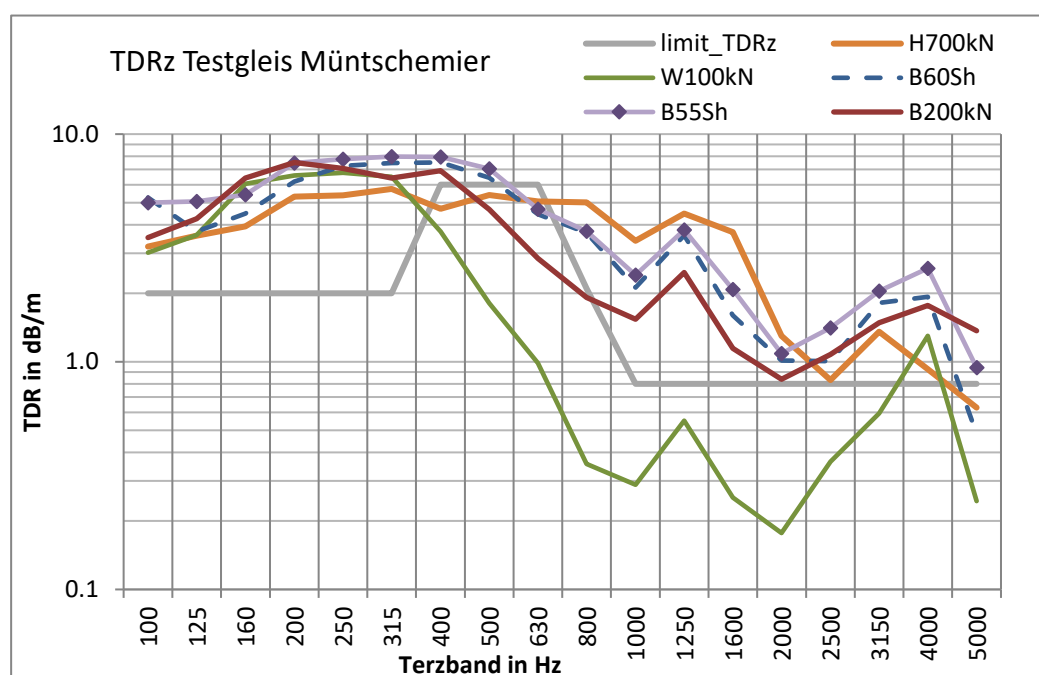


Abbildung 6-9: Vertikale TDR auf dem 6m Testgleis in Müntschemier

Der Vergleich mit TDR, die am realen Gleis gemessen wurden, zeigt die Einschränkungen des Prüfstands mit einer Schiene von 6 m. Siehe Abbildung 3-3. Gleichwohl können Unterschiede zwischen den verschiedenen Zwischenlagen durch dieses Messverfahren beurteilt werden.

In lateraler Richtung (y-Richtung) fallen die Unterschiede zur weichen Zwischenlage (W100kN) geringer aus, im tiefen Bereich bis etwa 500 Hz ist B60Sh und B55Sh leicht höher als Zw700. Evtl. ist das auch der Messung zuzuordnen, da normalerweise an einem unendlich langen Gleis gemessen wird. Eine Verbesserung ist allenfalls oberhalb von 1600 Hz erkennbar.

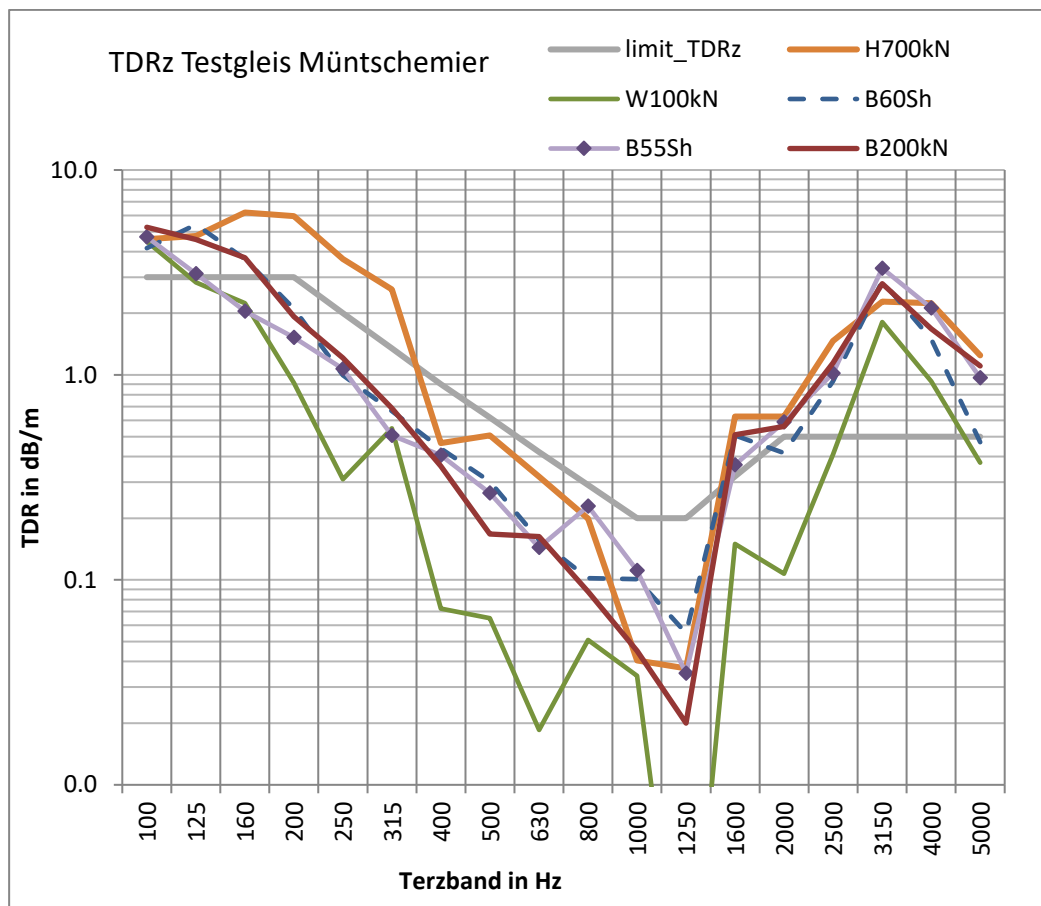


Abbildung 6-10: Laterale TDR auf dem 6m Testgleis in Müntschemier

Tabelle 6-5: Ermittelte TDR am 6m Testgleis

	Terz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Richtung	limit_TL	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	6.0	6.0	6.0	2.1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
z	H700kN	3.7	3.5	4.0	4.9	4.7	4.8	5.2	5.2	5.3	5.4	4.5	5.1	4.4	2.1	1.1	1.9	1.0	0.6
z	W100kN	3.0	3.6	6.0	6.6	6.8	6.5	3.7	1.8	1.0	0.4	0.3	0.6	0.3	0.2	0.4	0.6	1.3	0.2
z	B55Sh	5.0	5.1	5.4	7.5	7.8	8.0	8.0	7.0	4.7	3.8	2.4	3.8	2.1	1.1	1.4	2.0	2.6	0.9
z	B60Sh	5.3	3.7	4.5	6.2	7.3	7.5	7.5	6.4	4.5	3.7	2.1	3.6	1.6	1.0	1.0	1.8	1.9	0.5
z	B200kN	3.5	4.3	6.4	7.5	7.1	6.4	6.9	4.7	2.8	1.9	1.5	2.5	1.1	0.8	1.1	1.5	1.8	1.4
	limit_TL	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	1.4	0.9	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Y	H700kN	3.2	5.5	5.9	6.4	6.0	3.8	0.9	0.7	0.4	0.2	0.1	0.0	0.5	0.6	1.5	1.4	2.3	0.7
Y	W100kN	4.5	2.8	2.2	0.9	0.3	0.5	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.4	1.8	0.9	0.4
Y	B55Sh	4.7	3.1	2.0	1.5	1.1	0.5	0.4	0.3	0.1	0.2	0.1	0.0	0.4	0.6	1.0	3.3	2.1	1.0
Y	B60Sh	4.2	5.4	3.7	2.1	1.0	0.7	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.5	0.4	0.9	2.9	1.5	0.5
Y	B200kN	5.3	4.6	3.7	1.9	1.2	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.5	0.6	1.1	2.8	1.7	1.1

6.4.2 Unterschied im Schallpegel

Die Abklingrate der Schiene im Gleis TDR wird als dB/m angegeben. Eine Aussage über die Auswirkung unterschiedlicher TDR auf das Rollgeräusch bzw. Schienenerschall kann über eine Verhältnisbildung zu einer Vergleichskurve TDR hergestellt werden, z.B. mit der Grenzkurve für ein Referenzgleis der EN ISO 3095 ($TDR_{V,STD}$ und $TDR_{L,STD}$).

$$\Delta L_{Rail,V} = -10 \log_{10} \left(\frac{TDR_{V,STD}}{TDR_V} \right)$$

$$\Delta L_{Rail,L} = -10 \log_{10} \left(\frac{TDR_{L,STD}}{TDR_L} \right)$$

Quelle: Shift 2 Rail Veröffentlichung G. Schleinzer 2018 [20]

Positive Werte stellen eine Verbesserung gegenüber STD TDR dar und negative Werte eine Verschlechterung.

Tabelle 6-6: Schallpegelunterschiede der am Testgleis gemessenen Werte im Schienenschall im Bezug auf die TDR Limit Kurven

dL	Terz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Z	H700kN	2.7	2.5	3.1	3.9	3.7	3.8	-0.7	-0.6	-0.5	4.1	7.5	8.1	7.4	4.2	1.4	3.6	1.1	-1.0
Z	W100kN	1.8	2.6	4.8	5.2	5.3	5.1	-2.1	-5.2	-7.8	-7.7	-4.4	-1.6	-5.0	-6.6	-3.4	-1.3	2.1	-5.1
Z	B55Sh	4.0	4.0	4.3	5.7	5.9	6.0	1.2	0.7	-1.1	2.5	4.8	6.8	4.1	1.3	2.5	4.1	5.1	0.7
Z	B60Sh	4.2	2.7	3.5	4.9	5.6	5.7	1.0	0.3	-1.3	2.4	4.2	6.5	3.0	1.0	1.0	3.6	3.8	-2.2
Z	B200kN	2.5	3.3	5.1	5.7	5.5	5.1	0.6	-1.1	-3.2	-0.4	2.8	4.9	1.6	0.2	1.3	2.7	3.4	2.3
Y	H700kN	0.3	2.6	3.0	3.3	4.8	4.5	0.2	0.2	-0.2	-2.5	-5.3	-15.2	1.9	0.9	4.8	4.6	6.7	1.7
Y	W100kN	1.7	-0.3	-1.3	-5.2	-8.1	-3.9	-10.9	-9.8	-13.6	-7.5	-7.7	-26.0	-3.3	-6.7	-0.9	5.6	2.7	-1.3
Y	B55Sh	2.0	0.2	-1.7	-2.9	-2.7	-4.3	-3.5	-3.7	-4.6	-1.0	-2.6	-7.6	0.6	0.7	3.1	8.2	6.3	2.9
Y	B60Sh	1.4	2.6	0.9	-1.5	-3.0	-3.1	-3.1	-3.1	-4.3	-4.5	-3.0	-5.6	2.0	-0.8	2.7	7.6	4.8	-0.3
Y	B200kN	2.4	1.8	1.0	-1.9	-2.2	-2.9	-4.0	-5.7	-4.1	-5.2	-6.5	-10.0	2.0	0.5	3.6	7.5	5.3	3.4

Die Differenz zwischen den Schallpegelunterschieden zur weichen respektive zur harten Zwischenlage gibt dann die Wirksamkeit in Bezug auf den Schienenanteil des Schalls an.

Tabelle 6-7: Schallpegeldifferenzen neue Zwischenlagen im Vergleich zur weichen W100kN und harten H700kN

Schalldifferenz		Terzen																		Mittelwert	
	dLB-dLW	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	250-5k	0.5k-2k
z	B55z	2.2	1.5	-0.5	0.6	0.6	0.9	3.3	5.9	6.8	10.2	9.2	8.4	9.1	7.9	5.9	5.4	3.0	5.9	5.9	8.2
y	B55y	0.2	0.4	-0.4	2.2	5.4	-0.3	7.5	6.1	8.9	6.5	5.1	18.5	3.9	7.4	4.0	2.6	3.6	4.1	5.9	8.1
z	B60z	0.7	0.7	0.3	0.6	0.2	-0.1	2.7	4.1	4.6	7.3	7.3	6.5	6.6	6.8	4.7	4.0	1.3	7.5	4.5	6.2
y	B60y	-0.3	2.8	2.2	3.6	5.1	0.8	7.8	6.7	9.3	3.0	4.7	20.4	5.3	5.9	3.6	2.0	2.0	1.0	5.5	7.9
z	B200z	0.7	0.7	0.3	0.6	0.2	-0.1	2.7	4.1	4.6	7.3	7.3	6.5	6.6	6.8	4.7	4.0	1.3	7.5	4.5	6.2
y	B200y	0.7	2.1	2.2	3.2	5.9	1.0	6.9	4.1	9.4	2.3	1.2	16.0	5.3	7.2	4.5	1.9	2.6	4.7	5.2	6.5
dLB-dLH																					
z	B55z	1.3	1.6	1.3	1.8	2.2	2.2	1.9	1.3	-0.5	-1.6	-2.8	-1.3	-3.3	-2.9	1.1	0.4	4.0	1.7	0.2	-1.6
y	B55y	1.5	0.3	0.4	1.0	1.9	1.9	1.6	0.9	-0.8	-1.7	-3.3	-1.5	-4.4	-3.2	-0.4	-0.1	2.7	-1.2	-0.5	-2.0
z	B60z	1.7	-2.4	-4.6	-6.2	-7.5	-8.7	-3.7	-3.9	-4.4	1.5	2.8	7.7	-1.3	-0.2	-1.7	3.6	-0.4	1.2	-1.1	0.3
y	B60y	1.1	0.0	-2.1	-4.8	-7.8	-7.5	-3.4	-3.4	-4.1	-2.0	2.4	9.6	0.1	-1.7	-2.1	3.0	-1.9	-1.9	-1.5	0.1
z	B200z	-0.3	0.8	2.0	1.9	1.8	1.2	1.3	-0.5	-2.7	-4.5	-4.7	-3.2	-5.9	-4.0	-0.1	-1.0	2.4	3.3	-1.2	-3.6
y	B200y	2.2	-0.8	-2.0	-5.2	-7.0	-7.4	-4.2	-5.9	-3.9	-2.7	-1.1	5.2	0.1	-0.4	-1.2	2.9	-1.4	1.8	-1.8	-1.2

Der Mittelwert wurde einmal über den relevanten Frequenzbereich für Schienenschall 250 Hz bis 5000 Hz und einmal über den vom Rollgeräusch dominierten Anteil zwischen 500 Hz bis 2000 Hz gebildet. Der Prototyp B55Sh liefert gegenüber einer weichen Zw700 in beiden Richtungen die höchsten Pegelminderungen.

7 Mechanische Eigenschaften

Das Schienenbefestigungssystem Typ W14 ist in der Schweiz zugelassen und wird als Teilsystem betrachtet. Die BATEGU-PROSE-Zwischenlage ist eine Komponente aus dem Teilsystem und muss nicht separat betrachtet werden.

Gemäss AB-EBV zu Art. 31, Normalspur, AB 31 Ziff. 7 sind für Oberbautypen die Normen EN 13146 und EN 13481 zu berücksichtigen, welche mit den Labortests [57][58] erfolgreich abgeschlossen wurden.

Das BAV, Abteilung Infrastruktur, hat im November 2019, per E-Mail folgende Aussage zur separaten Typenprüfung der Zwischenlage übermittelt:

«Eine neuerliche Bestätigung ist nicht notwendig. Die Tatsache ergibt sich aus dem Umstand, dass gemäss den AB-EBV zu Art. 31, Normalspur, AB 31, Ziff. 7 die Befestigungen als Teilsystem zu betrachten sind und folglich Änderungen an den Komponenten, welche die sicherheitsrelevanten Eigenschaften des Systems nicht beeinflussen, nicht separat behandelt werden.»



Abbildung 7-1: Zwischenlage für UIC60-Versuch

7.1 Laborprüfungen der Schienenbefestigung nach EN 13481-2

Das Schienenbefestigungssystem Standard B91 60 E1 W14 700kN mit BATEGU-Zwischenlage V1085B (UIC 60) und Standard B91 54 E2 W14 700kN mit BATEGU-Zwischenlage V1084B (UIC 54) wurde nach den Anforderungen in EN 13481-2, Kategorie D getestet. Dabei wurden die statische Systemsteifigkeit, die Spannkraft, der Durchschubwiderstand und der Verdrehwiderstand gemessen und ein Dauerschwingversuch mit 3 Mio. Lastzyklen durchgeführt.

Die Befestigungskategorie ist in der Norm EN 13481-1:2012 „Bahnanwendungen - Oberbau - Leistungsanforderungen für Schienenbefestigungssysteme - Teil 1: Definitionen“ vom Mai 2012 beschrieben. Die Prüfungen erfolgten nach Befestigungskategorie D (maximale Auslegungssachlast = 260 kN, Mindest-Gleisbogen-Halbmesser = 400 m).

Die Labormessungen wurden im Prüflabor des TÜV AUSTRIA TVFA in Wien/A durchgeführt. Die detaillierten Prüfberichte befinden sich in den Referenzen [57][58]. Bei sämtlichen Prüfungen lagen die Werte resp. die Änderungen in den vorgegebenen Bereichen. Das Schienenbefestigungssystem hat den Dauerschwingversuch bestanden. Dies zeigt, dass das verwendete Material der Zwischenlage V1085B alterungsbeständig ist und dauerhaft die gewünschten elastischen Eigenschaften aufweist.

7.1.1 Zusammenfassung der Laborprüfungen nach EN 13481-2

Folgendes Prüfprogramm wurde durchgeführt:

- Bestimmung der Spannkraft gemäss EN 13146-7:2012
- Ermittlung des Durchschubwiderstandes in Längsrichtung gemäss EN 13146 1:2012+A1:2014
- Bestimmung der vertikalen statischen Steifigkeit gemäss EN 13146-9:2009+A1:2011, Kapitel 7.1
- Dauerschwingversuch gemäss EN 13146-4:2012+A1:2014
- Ermittlung des Verdrehwiderstandes gemäss EN 13146-2:2012

Mit dem Dauerschwingversuch verbundene Versuchsergebnisse				
Prüfung	Vor dem Dauer-schwingversuch	Nach dem Dauer-schwingversuch	Änderung vor / nach DSV in [%]	Zulässige Änderung
Spannkraft	17,33 kN	15,92 kN	8,1%	<20% 5.5 EN13481-2
Durchschubwiderstand in Längsrichtung	13,99 kN	12,93 kN	7,5%	<20% 5.5 EN13481-2
vertikale statische Steifigkeit	234,4 kN/mm	288,7 kN/mm	23,1%	<25% 5.5 EN13481-2
Vertikalverschiebung, unterer Schienenfuß	0,20 mm	0,21 mm		
Vertikalverschiebung, oberer Schienenfuß	0,11 mm	0,03 mm		
Horizontalverschiebung	1,23 mm	1,14 mm		
Einzelprüfungen				
Prüfung	Wert		Grenzwert	
Durchschubwiderstand in Längsrichtung	12,24 kN Minimalwert		>9 kN (v>250km/h) 5.1 EN13481-2	
Verdrehwiderstand	Lastmoment im Uhrzeigersinn +0,43 kNm gegen den Uhrzeigersinn -0,37 kNm		Kein Grenzwert angegeben 5.5 EN13481-2	

Tabelle 7-1 Ergebnisse der einzelnen Prüfungen UIC 60

Mit dem Dauerschwingversuch verbundene Versuchsergebnisse				
Prüfung	Vor dem Dauerschwingversuch	Nach dem Dauerschwingversuch	Änderung vor / nach DSV in [%]	Zulässige Änderung
Spannkraft	17,53 kN	17,17 kN	2,0%	<20% 5.5 EN13481-2
Durchschubwiderstand in Längsrichtung	11,73 kN	10,13 kN	17,9%	<20% 5.5 EN13481-2
vertikale statische Steifigkeit	340 kN/mm	446 kN/mm	31,2%	Keine Bewertung 5.5 EN13481-2
Vertikalverschiebung, unterer Schienenfuß	0,80 mm	0,86 mm		
Vertikalverschiebung, oberer Schienenfuß	0,49 mm	0,73 mm		
Horizontalverschiebung	0,53 mm	0,89 mm		
Einzelprüfungen				
Prüfung	Wert		Grenzwert	
Durchschubwiderstand in Längsrichtung	9,27 kN Minimalwert		>9 kN (v>250km/h) 5.1 EN13481-2	
Verdrehwiderstand	Lastmoment im Uhrzeigersinn +0,32 kNm gegen den Uhrzeigersinn -0,95 kNm		Kein Grenzwert angegeben 5.5 EN13481-2	

Tabelle 7-2 Ergebnisse der einzelnen Prüfungen UIC 54

7.1.2 Fazit zu den Dauerschwingversuchen

Bei sämtlichen Prüfungen lagen die Werte resp. die Änderungen vor und nach dem Dauerschwingversuch in den vorgegebenen Bereichen der jeweiligen Norm. Das Schienenbefestigungssystem hat den Dauerschwingversuch mit 3 Mio. Lastzyklen bestanden. Dies zeigt, dass das verwendete Material der BATEGU-Zwischenlage alterungsbeständig ist und dauerhaft die geforderten elastischen Eigenschaften aufweist.

7.2 Bestimmung der Steifigkeit

Im Sommer 2020 wurden Laborprüfungen von verschiedenen BATEGU Zwischenlagen gemäss DIN EN 13146-9 durchgeführt. Es wurde die statischen und niederfrequenten dynamischen Steifigkeiten bei Raumtemperatur (23°C) bestimmt. (siehe Berichte [59])

Die statischen und dynamischen Steifigkeiten der Zwischenlagen bei unterschiedlichen Frequenzen sind in folgender Tabelle dargestellt:

Prüf-temperatur	Statische steifigkeit	Dynamische Steifigkeit			
		5Hz	10Hz	20Hz	30Hz
[°C]		[kN/mm]			
RT	189	226	239	248	254

Tabelle 7-3 Statische und dynamische Steifigkeiten der Zwischenlage UIC60 bei Raumtemperatur

Prüf- temperatur	Proben- bezeichnung	Statische steifigkeit	Dynamische Steifigkeit			
			5Hz	10Hz	20Hz	30Hz
[°C]			[kN/mm]			
RT	Probe 2	205	239	250	255	274

Tabelle 7-4 Statische und dynamische Steifigkeiten der Zwischenlage UIC54 bei Raumtemperatur

7.3 Dämpfungsverhalten von elastischen Zwischenlagen

Das Dämpfungsverhalten einer Zwischenlage ist die bestimmende Eigenschaft zur Eingrenzung von Schienenschwingungen sowie einem erfolgreichen Schutz des Oberbaus.

Zur Bestimmung der Dämpfungseigenschaften gibt es unterschiedliche Methoden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Ergebnis einer Materialprüfung nicht mit dem Ergebnis einer Bauteilprüfung verglichen werden kann. Dies ergibt sich vor allem durch die prüfbedingten Unterschiede einer Bauteilprüfung im Vergleich zu einer Materialprüfung, aber ebenso durch die Formgebung des jeweiligen Bauteils.

Zu berücksichtigen ist weiter, dass eine Zwischenlage mit niedriger Steifigkeit nicht automatisch über höhere Dämpfungseigenschaften verfügt als eine Zwischenlage, die über eine höhere Steifigkeit verfügt. Das Gleiche trifft natürlich auch für den gegenteiligen Fall zu. Vergleichbar ist diese Tatsache mit der Shore-Härte eines Materials und dessen Federweg. Ein und dieselbe Shore-Härte bei Elastomerwerkstoffen ist kein Garant für ein und dieselbe Federeigenschaft. Bei der Qualitätsbeurteilung von Elastomer-Federelementen heisst es daher richtigerweise „Federweg vor Shore-Härte“.

7.3.1 Dämpfungseigenschaft des Materials

Das Dämpfungsverhalten von verschiedenen Werkstoffen lässt sich über die Verlustkomplianz des jeweiligen Werkstoffs direkt vergleichen. Die Ermittlung der Verlustkomplianz erfolgte mittels Prüfung des dynamisch-mechanischen Verhaltens des Materials (DMA) in Anlehnung nach DIN 53513:1990-03, Bestimmung der visko-elastischen Eigenschaften von Elastomeren bei erzwungenen Schwingungen außerhalb der Resonanz des Materials.

Hierbei kamen zwei Verfahren zu Anwendung:

- Temperaturabhängigkeit der dynamischen Eigenschaften (1 Hz und Temperatursweep im Bereich von – 80 °C bis + 50 °C)

und

- Frequenzabhängigkeit der dynamischen Eigenschaften bei unterschiedlichen Temperaturen (Frequenzsweep bei 0,01 bis 10 Hz und Temperaturen im üblichen Anwendungsbereich von -25, +23 und + 50 °C)

Für die Vergleichsprüfung zum BATEGU-Werkstoff wurden entsprechende Prüfkörper aus einer weichen und harten Zwischenlage entnommen.

Ergebnis:

Der BATEGU-Werkstoff weist sowohl im vorgegebenen Frequenzbereich als auch im Temperaturanwendungsbereich die höchste Verlustkomplianz und damit die höchste Dämpfungseigenschaft auf (Abbildung 7-2 bis Abbildung 7-5).

Bei den Feldmessungen in Kerzers hat sich besonders bei den hohen Temperaturen im Sommer eine hohe Stabilität der dynamischen Eigenschaften gezeigt. Die Pegelunterschiede fielen im Sommer im Schnitt um 4 dB gegenüber der weichen Zwischenlage aus, etwa 1 dB höher als im Frühjahr/Winter.

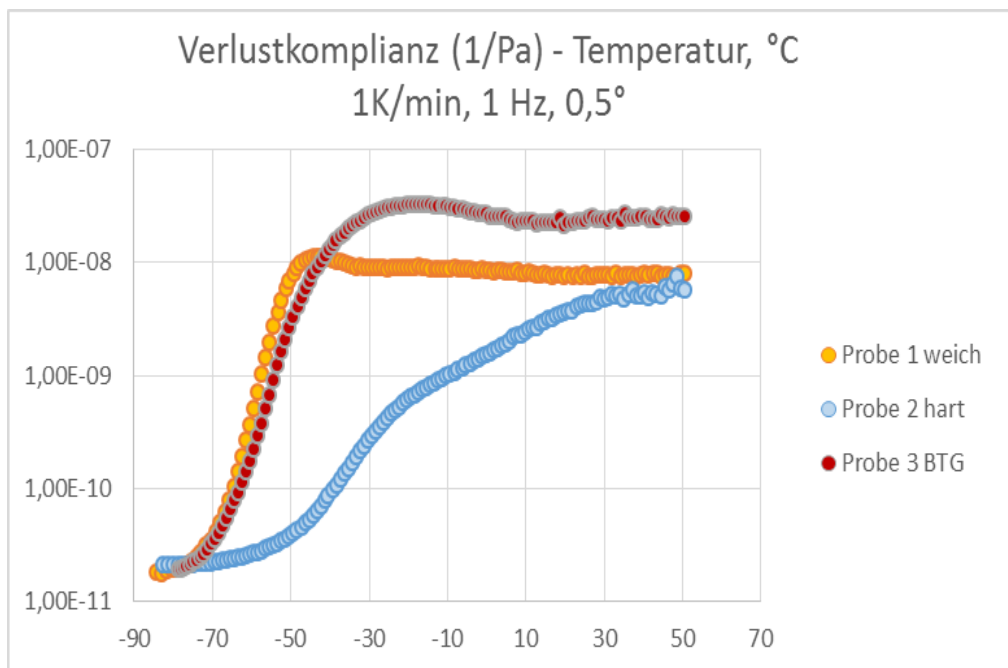


Abbildung 7-2: Verlustkomplianz, Temperatursweep bei - 80 °C bis +50 °C

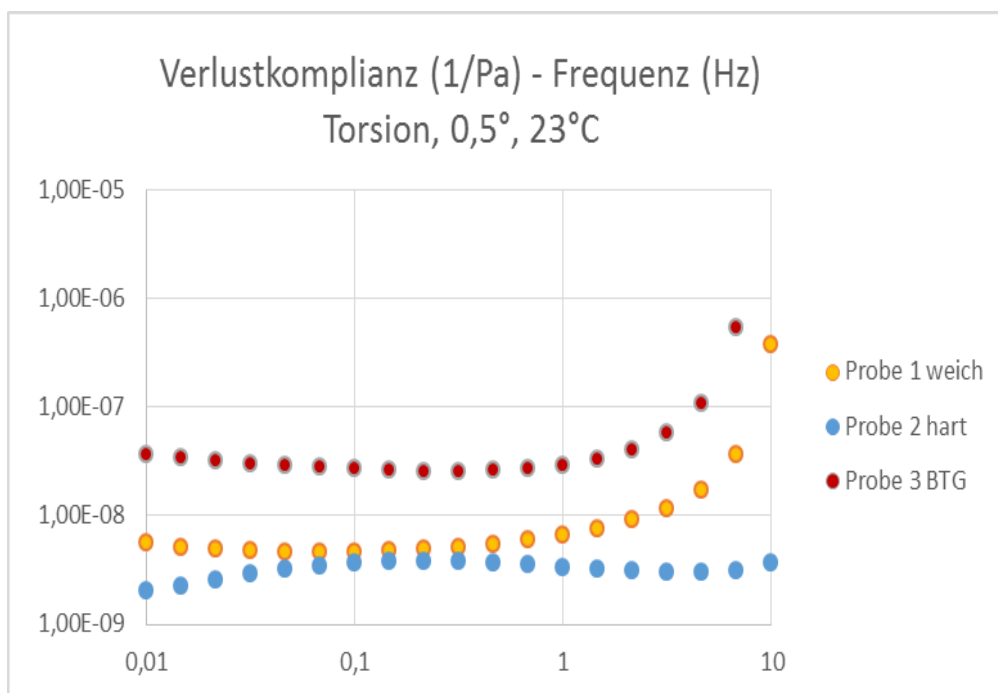


Abbildung 7-3: Verlustkomplianz, Frequenzsweep bei 23°C

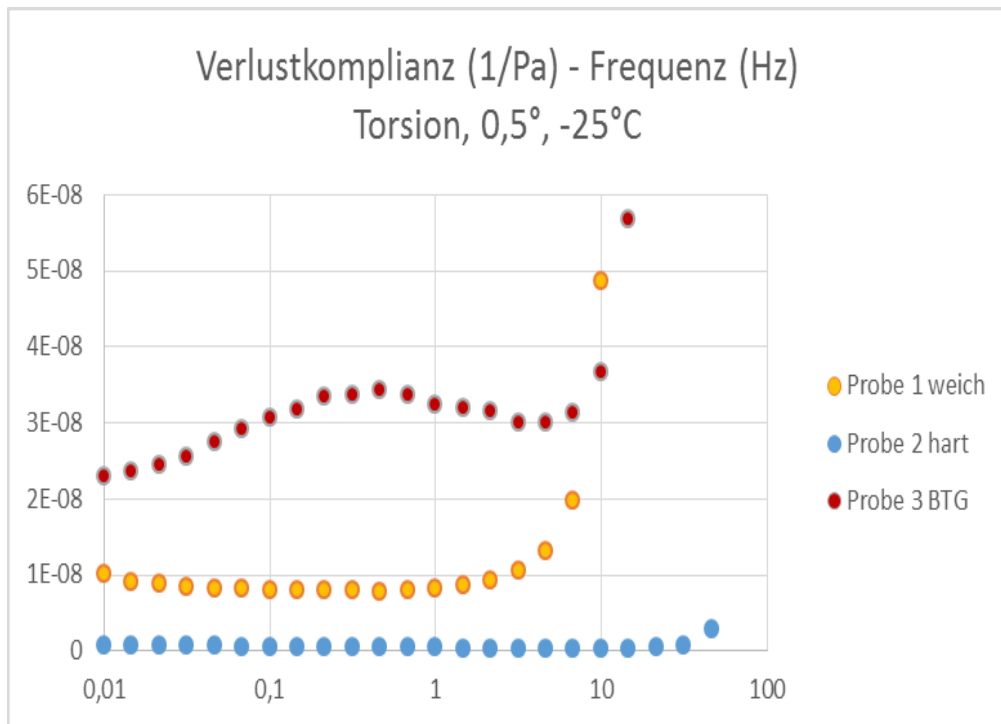


Abbildung 7-4: Verlustkomplianz, Frequenzsweep bei -25°C

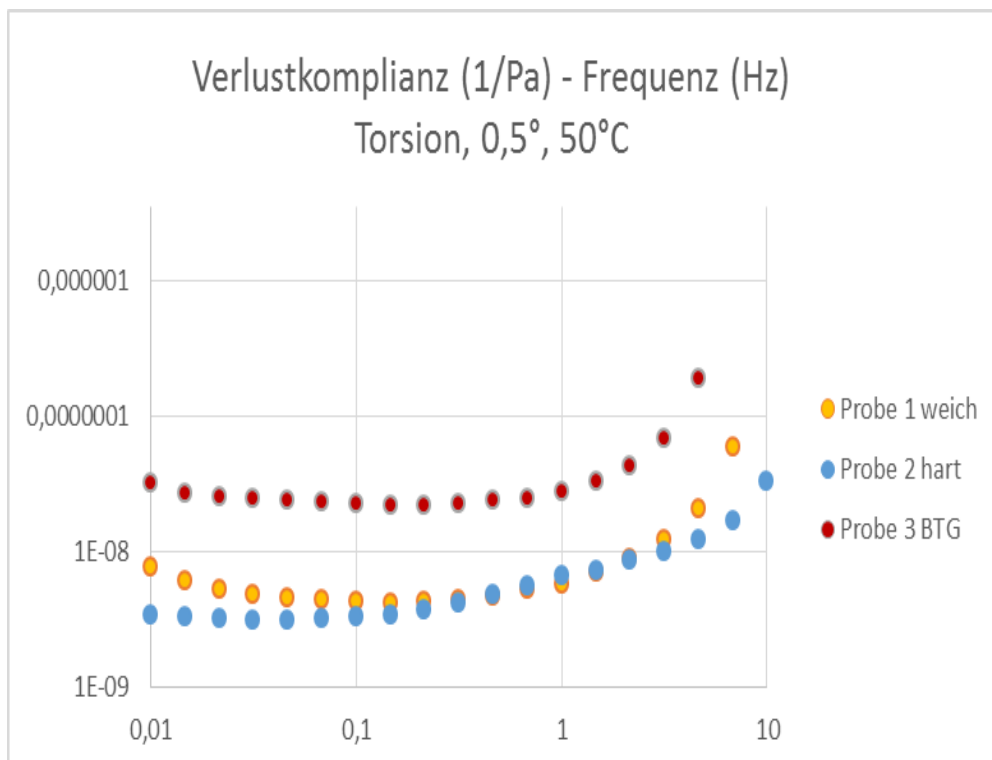


Abbildung 7-5: Verlustkomplianz, Frequenzsweep bei 50°C

7.3.2 Dämpfungsverhalten der BATEGU-Zwischenlage

Das Dämpfungsverhalten des Bauteils wurde aus dem Vergleich der statischen Hystereseschleife nach der hierfür anzuwendenden Berechnungsformel ermittelt. Verglichen wurde die BATEGU-Zwischenlage mit einer weichen Zwischenlage.

Ergebnis: Die Dämpfung der BATEGU-Zwischenlage beträgt über das gesamte Spektrum der Belastung 29.9%, die weiche Zwischenlage erreicht 18 % Dämpfung.

7.4 Zusammenfassung mechanische Eigenschaften

Beim Rollvorgang der Eisenbahnfahrzeuge wird die Schiene zum Schwingen angeregt. Die Schwingungen der Schiene tragen einerseits zum Schienenlärm durch die Abstrahlung von Luftschall bei und andererseits werden sie auf Schwelle und Schotter übertragen und gelangen als Erschütterungen in den Boden. Schwellen und Schotter werden eher durch grosse Amplituden (insbesondere der Schwingungsauslenkung) beansprucht, diese treten beim Rollvorgang mit der Periodizität der Achsfolge von den darüberfahrenden Zügen zwischen 5 und 30 Hz auf. Diese tieffrequenten Schwingungen können durch eine elastische Feder vermindert werden, dies wird auch als Schwingungsisolation respektive als Dämmung bezeichnet.

Die mechanischen Größen Schwingbeschleunigung, Schwingschnelle und Schwingauslenkung sind durch Integration ineinander umzurechnen, ihr Verhältnis ist jedoch vom Frequenzbereich abhängig. Bei hohen Frequenzen z.B. beim Schienenschall sind die Beschleunigungen an der Schiene zwar hoch, diese führen jedoch nur zu sehr kleinen Auslenkungen im μm Bereich. Im tiefen Frequenzbereich sind die Beschleunigungen hingegen eher klein aber die Auslenkungen sehr hoch.

Tabelle 7-5: Beschleunigungspegel und Messgrösse

	80 dB	100 dB	120 dB	140 dB	160 dB
a in m/s^2	0.01	0.1	1	10	100

Tabelle 7-6: Verhältnis von Beschleunigung: a, Schnelle: v, Auslenkung: s bei unterschiedlichen Frequenzen

Hz	a	v	s
	m/s^2	mm/s	μm
1.6	1	100	10000
16	1	10	100
160	1	1	1
1600	1	0.1	0.001

Die neuen elastischen Zwischenlagen von BATEGU und PROSE sind genau auf diese beiden Eigenschaften hin optimiert worden. Im oberen Frequenzbereich sind sie eher steif und haben eine hohe Dämpfung, sodass der Schienenschall damit wirksam reduziert wird.

Im tiefen Frequenzbereich unter 100 Hz sind die neuen Zwischenlagen weich und isolieren damit die Schienenschwingungen von der Schwelle. Damit gelangen weniger tieffrequente Schwingungen mit entsprechend hohen Auslenkungen in die Schwelle, es findet weniger Reibung zwischen Schwelle und Schotter statt und das Gleisbett wird geschont. Dies bedeutet eine höhere Gleislebensdauer und längere Wartungsintervalle.

Im Feldversuch der BLS in Kerzers wurden bei den Erschütterungen ähnliche Erkenntnisse über die Schwingungsdämpfung gewonnen. So fallen die Erschütterungen am BATEGU Abschnitt gegenüber einer harten Zwischenlage um 66% geringer aus. Im Vergleich zur weichen Zwischenlage Zw700 und 100 kN/mm reduziert die BATEGU Zwischenlage die Erschütterungen um 23%.

8 Prototypen Versuch & Erprobung SOB und BLS

Bei der SOB wurde in der Nähe von Samstagnen dazu ein Abschnitt mit beschlachten 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 beschlachte Schwellen registriert wurde.

Ein zweiter Abschnitt wurde auf einem geraden Abschnitt der BLS-Strecke bei Kerzers mit B91-Betonschwellen und UIC60-Schienen installiert, um den Nachweis auch für den weit verbreiteten Standardoberbau zu erbringen. Hier befinden sich in unmittelbarer Nachbarschaft Abschnitte mit weichen Zwischenlagen (100 kN/mm) und harten Zwischenlagen (700 kN/mm)

Die Zwischenlagen sollen nach dem Versuch im Gleis verbleiben, um Erfahrungen über die Dauerfestigkeit und Umweltbeständigkeit zu sammeln. Daher sind die Kosten für den Rückbau bisher nicht einkalkuliert worden. Das BAV wurde über den Einbau informiert und stimmte der Versuchsplanung zu.

8.1 Erprobung UIC54-Abschnitt Bogen SOB

Im Oktober 2019 wurde ein 200m langer Abschnitt beim Bahnhof Riedmatt SOB mit neuen Zwischenlagen umgebaut. Dies ermöglicht die Auswertung der Vorbeifahrgeräusche bei einer mittigen Position der Messstelle auch über den Zeitabschnitt der reinen Vorbeifahrt des Zuges hinaus. Bei 80 km/h bzw. 22.2 m/s sind dies 4.5s vor und nach Vorbeifahrt.



Abbildung 8-1: Versuchsbogen Riedmatt SOB

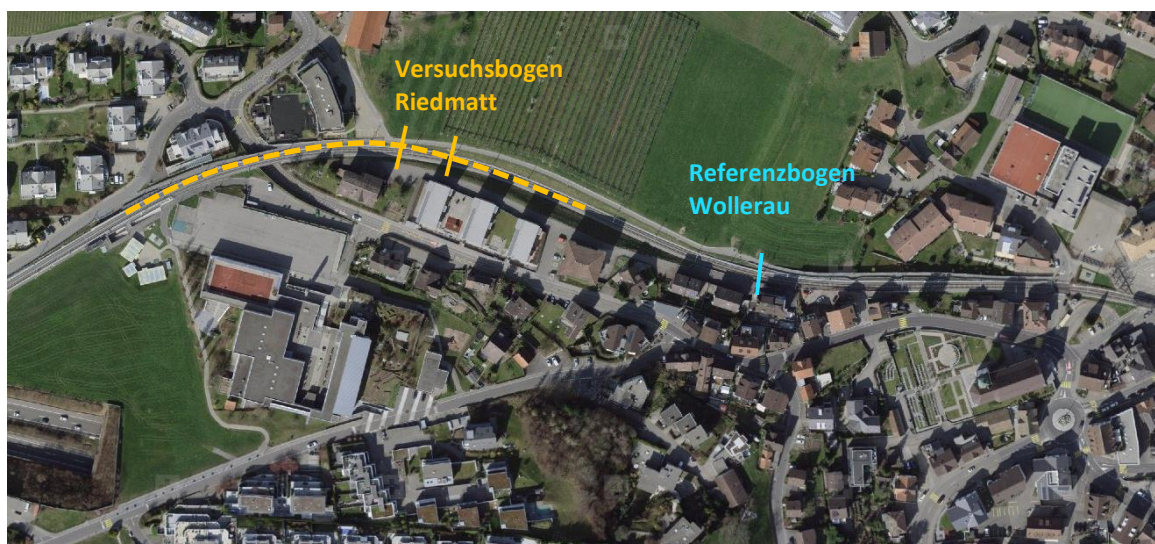
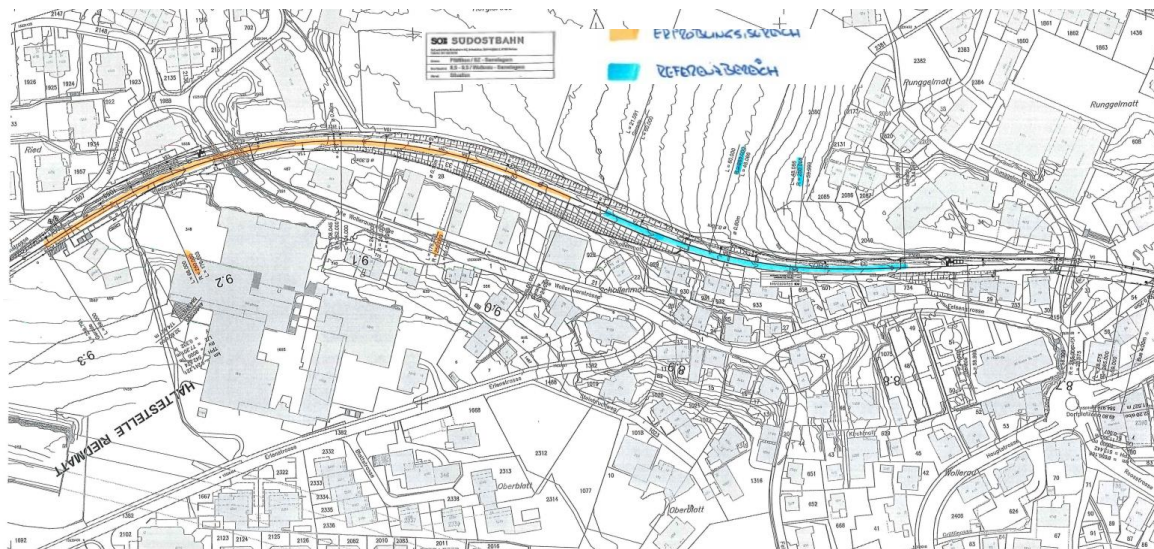


Abbildung 8-2: Abschnitte Einbauorte im Bogen bei Wollerau (SOB) – siehe auch Anhang A.4

Die beiden Bogenabschnitte liegen unmittelbar nebeneinander, so konnten die akustischen Messungen vorher / nachher an zwei Messstationen parallel durchgeführt werden. Ein Referenzbogen Wollerau wurde als Kontrollabschnitt verwendet und die neuen BATEGU-Zwischenlagen wurden am Versuchsbogen Riedmatt eingebaut. Die Lage der Messabschnitte sind in Abbildung 8-2 enthalten. Im Versuchsbogen befand sich ein Messquerschnitt mittig vom Abschnitt und ein weiterer in 23.8 m Entfernung davor in Richtung Wollerau.

Die Höchstgeschwindigkeit beträgt auf den Abschnitten 70 km/h und die Abschnitte im Kurvenbereich (km 8.8 – 9.3) weisen eine Neigung von 50‰ auf, Abschnitte im geraden Bereich (km 9.8 – 10.5) weisen eine Neigung von 30‰ auf. In den gewählten Abschnitten sind Vossloh Zwischenlagen mit 200 kN/mm und Kippschutz sowie B-91-Betonschwellen mit Besohlung von Getzner SLB 30007 G eingebaut. Es verkehren dort Züge vom Typ Flirt mit einem Anteil von 70% und lokbespannt Züge mit Doppeltraktion (ZUG_SCHUB) mit einem Anteil von 30% bis Ende 2019, danach werden die bisherigen Fahrzeuge durch den Flirt 3 ersetzt.

Die Form der Zwischenlage wurde auf Bedürfnisse der SOB angepasst, sodass ein einfacher Tausch gewährleistet ist. Bisher sind Vossloh Zw 700 AT/125 mit 200 kN/mm und der Winkelführungsplatte WfP 21 K – NT eingebaut, wobei "NT" für die Kippnase steht, welche ein Herauspressen bei hohen Kippmomenten verhindern soll. Die UIC54 Schiene weist durch den schmaleren Schienenfuss von 125mm Breite ein höheres Kippmoment auf als die UIC60, sodass

die Zwischenlage von Vossloh einen 1.5mm höheren Rand hat. Ausserdem haben die SOB-Abschnitte eine Steigung von 30 bis 50 ‰, daher muss mit hoher Traktion gerechnet werden.

Die BATEGU-Zwischenlage wurde auf die Wfp14 angepasst, somit kann auf einen Tausch der Winkelführungsplatten beim Einbau verzichtet werden. In diesem Zusammenhang hat BATEGU ein weiteres Vulkanisationswerkzeug aufgelegt.



Abbildung 8-3: Winkelführungsplatten Wfp 21K NT (SOB) vs. Wfp 14K

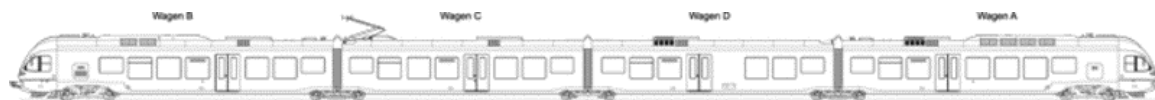
8.1.1 Messgrößen

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 7.5m Entfernung zum Vergleich mit anderen Streckenabschnitten / Messdaten
- Vorbeifahrpegel in 3.0m Entfernung (hat sich in Gleisbögen und im Gelände bewährt und ermöglicht eine höhere Auflösung der Rollgeräuschquellen sowie Untersuchungen zum Schienenschall)
- Vertikale Schienenfussbeschleunigungen
- Vertikale Schwellenbeschleunigungen

Folgende Züge verkehren auf der Strecke zwischen Wollerau und Samstagern:

Stadler Flirt 4-Teiler Länge 77m



Stadler Flirt Traverso 8-Teiler Länge 150m



Voralpenexpress mit zwei KTU Loks und 7 Wagen ca. 205m / ab 2020 durch Traverso ersetzt.



8.1.2 Schallpegeldifferenzen

Die Vormessungen fanden am 3.10.2019 in Wollerau statt, dabei wurden Lärm, Schienenschwingungen, Rauheiten und TDR gemessen. Der Nachversuch fand am 31.10.2020 unter ähnlichen Witterungsbedingungen statt.

Von den vorbeifahrenden Zügen wurden die Vorbeifahrpegel über unterschiedliche Zeitabschnitte bestimmt. Die Vorbeifahrdauer T_p nach EN ISO 3095 beträgt immer die Länge des Fahrzeugs von Puffer zu Puffer. Da die Fahrzeuge bergauf und bergab mit etwas unterschiedlicher Geschwindigkeit fuhren, wurden die Vorbeifahrpegel anschliessend auf 60 km/h normiert, was auch dem Mittelwert sämtlicher erfasster Züge entspricht. Im Vorbeifahrpegel in 7.5m Entfernung kann bei den Fahrzeugen Flirt eine Pegelminderung im Mittel von 4.8 bis 5.0 dB festgestellt werden. Beim VAE beträgt die Pegelminderung noch 2.9 dB am Messpunkt in 7.5m Entfernung.

Tabelle 8-1: Ergebnisse Vorbeifahrpegel nach EN ISO 3095 über T_p bei der SOB

			Vorbeifahrpegel L_{pAeq,T_p}							
			7.5m	7.5m	7.5m	7.5m	3.0m	3.0m	3.0m	3.0m
			M1a	M5a	M4i	Mittel	M2a	M6a	M3i	M7i
		n	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Flirt	Zw700	6	79.3	80.2	82.8	80.8	85.2	85.3	87.6	88.9
Flirt Trav.	Zw700	3	80.0	80.1	83.3	81.1	87.3	85.6	89.2	88.4
VAE	Zw700	3	85.6	85.8	90.3	87.2	91.7	90.8	94.3	94.6
Flirt	Bategu	6	74.9	75.4	77.7	76.0	81.1	82.3	82.4	83.2
Flirt Trav.	Bategu	3	75.2	75.2	78.0	76.1	81.4	82.0	82.6	82.1
VAE	Bategu	3	83.6	83.2	86.1	84.3	89.8	90.2	91.5	91.0
Flirt	Bat.-Zw700		-4.4	-4.8	-5.1	-4.8	-4.1	-3.0	-5.2	-5.8
Flirt Trav.	Bat.-Zw700		-4.8	-4.9	-5.3	-5.0	-5.9	-3.6	-6.7	-6.3
VAE	Bat.-Zw700		-2.1	-2.6	-4.1	-2.9	-2.0	-0.7	-2.9	-3.5

Wird der Auswertebereich T_p um wenige Sekunden erweitert, so wirkt sich auch der Zeitbereich der Annäherung und Entfernung mit auf den Vorbeifahrpegel aus. Im Bogen scheint dieser Ansatz

auch ein realistisches Bild von der Lärmemission zu geben. Durch die hochdämpfenden Zwischenlagen wird der Schienenschall weiter unterdrückt, sodass dem Zug vorausseilender und nachhängender Schall geringer ist. Im Mittel werden die erweiterten Vorbeifahrpegel dann um 1.5 geringer- Tabelle 8-2: Ergebnisse Vorbeifahrpegel mit Tp +/-2.

Tabelle 8-2: Ergebnisse Vorbeifahrpegel mit Tp +/-2s

		Vorbeifahrpegel LpAeq,Tp +/- 2s							
			7.5m	7.5m	7.5m	7.5m	3.0m	3.0m	3.0m
			M1a	M5a	M4i	Mittel	M2a	M6a	M3i
		n	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Flirt	Zw700	6	77.9	78.5	81.6	79.3	83.3	83.6	85.9
Flirt Trav.	Zw700	3	78.6	78.7	82.0	79.7	85.7	84.1	87.8
VAE	Zw700	3	84.5	84.8	89.3	86.2	90.5	89.8	93.3
Flirt	Bategu	6	72.7	73.0	75.7	73.8	78.6	79.7	79.9
Flirt Trav.	Bategu	3	73.5	73.5	76.3	74.4	79.6	80.1	80.8
VAE	Bategu	3	82.3	82.1	85.0	83.1	88.4	88.8	90.1
Flirt	Bat.-Zw700		-5.2	-5.5	-5.9	-5.5	-4.8	-3.9	-6.0
Flirt Trav.	Bat.-Zw700		-5.1	-5.2	-5.6	-5.3	-6.2	-4.0	-7.1
VAE	Bat.-Zw700		-2.2	-2.7	-4.4	-3.1	-2.2	-1.0	-3.2

Der Voralpenexpress VAE wurde Ende 2019 aus dem Betrieb genommen und wird vollständig durch die Flirt Traverso Züge ersetzt.

Tabelle 8-3: Ergebnisse Vorbeifahrpegel gleisnahe MP 2s vor und nach der Passage

		LpAeq, 1s vor Tp				LpAeq, 1s nach Tp			
			3.0m	3.0m	3.0m	3.0m	3.0m	3.0m	3.0m
			M2a	M3i	M6a	M7i	M2a	M3i	M6a
		n	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Flirt	Zw700	6	82.5	85.6	83.0	85.7	73.6	76.3	74.6
Flirt Trav.	Zw700	3	81.2	84.6	80.6	81.7	72.9	73.2	75.4
VAE	Zw700	3	84.7	88.4	84.8	88.3	81.7	83.3	81.9
Flirt	Bategu	6	71.7	74.4	71.5	73.0	68.3	69.4	69.4
Flirt Trav.	Bategu	3	69.8	72.0	69.5	70.0	66.0	65.5	67.5
VAE	Bategu	3	76.7	79.6	77.3	79.7	78.1	79.0	79.3
Flirt	Bat.-Zw700		-10.8	-11.2	-11.5	-12.7	-5.4	-6.8	-5.3
Flirt Trav.	Bat.-Zw700		-11.4	-12.6	-11.1	-11.7	-6.8	-7.7	-7.9
VAE	Bat.-Zw700		-8.0	-8.8	-7.5	-8.7	-3.5	-4.3	-2.6

Die Schienenrauheiten der Messbögen sowie des geraden Abschnittes dazwischen sind im Anhang A.5.4 abgebildet. Bei den beiden Bögen fallen die Schienenrauheiten ähnlich aus und weisen nicht auf einer unterschiedliche Schallemission hin. Bei 2 cm und 1.6 cm Wellenlänge sind leichte Riffel zu erkennen. Der Übergangsbogen / Gerade zwischen den Bögen hingegen ist stark verriffelt, was wahrscheinlich auf die hohe Traktion und andere fahrdynamische Zustände als im Bogen zurückzuführen ist.

Die Messungen am Referenzbogen Wollerau haben vergleichbare Vorbeifahrpegel ergeben wie am Testbogen Riedmatt.

Tabelle 8-4: Ergebnisse Vorbeifahrpegel am Referenzmessbogen Richtung Wollerau

			LpAeq, Tp				LpAeq, Tp +/- 2s			
			3.0m	3.0m	3.0m	7.5m	3.0m	3.0m	3.0m	7.5m
			M11a	M12i	Mittel	M13i	M11a	M12i	Mittel	M13i
Dateum	Anzahl		dB(A)	dB(A)		dB(A)	dB(A)	dB(A)		dB(A)
03.10.2019	12	Flirt	87.2	88.3	87.8	88.9	85.4	86.3	85.8	87.0
03.10.2019	4	FlirtTraverso	84.2	84.0	84.1	83.0	82.8	82.5	82.7	81.6
03.10.2019	5	VAE	92.0	92.4	92.2	92.0	91.3	91.6	91.5	91.2
31.10.2019	12	Flirt	86.7	88.6	87.6	88.8	84.6	86.6	85.6	86.9
31.10.2019	4	FlirtTraverso	83.9	85.4	84.6	84.2	82.5	84.1	83.3	83.0
31.10.2019	5	VAE	92.0	93.5	92.7	93.0	91.1	92.6	91.9	92.2
	delta	Flirt	-0.6	0.3	-0.1	-0.1	-0.7	0.3	-0.2	-0.1
	delta	FlirtTraverso	-0.4	1.4	0.5	1.2	-0.3	1.5	0.6	1.4
	delat	VAE	0.0	1.0	0.5	1.0	-0.1	1.0	0.4	1.0

Weiter unterscheiden sich die Vorbeifahrpegel am Bogen Riedmatt im Mittel nicht wesentlich voneinander, sondern liegen bis 0.6 dB im Rahmen der Messgenauigkeit. Es gibt keinen Hinweis, dass die Witterung oder andere Klimabedingungen einen Einfluss auf die Schallabstrahlung an diesem Streckenabschnitt im Oktober 2019 gehabt haben.

Der Voralpenexpress VAE wurde Ende 2019 aus dem Betrieb genommen und wird vollständig durch die Flirt Traverso Züger ersetzt. Damit lässt sich die Lärminderung im Bogen Riedmatt bei der SOB durch den Einbau der BATEGU UIC54 Zwischenlage auf 5 dB zusammenfassen.

8.1.3 Abklingraten – TDR

Die Abklingraten wurden an beiden Bögen vor dem Umbau gemessen und am Versuchsbogen unmittelbar nach dem Umbau.

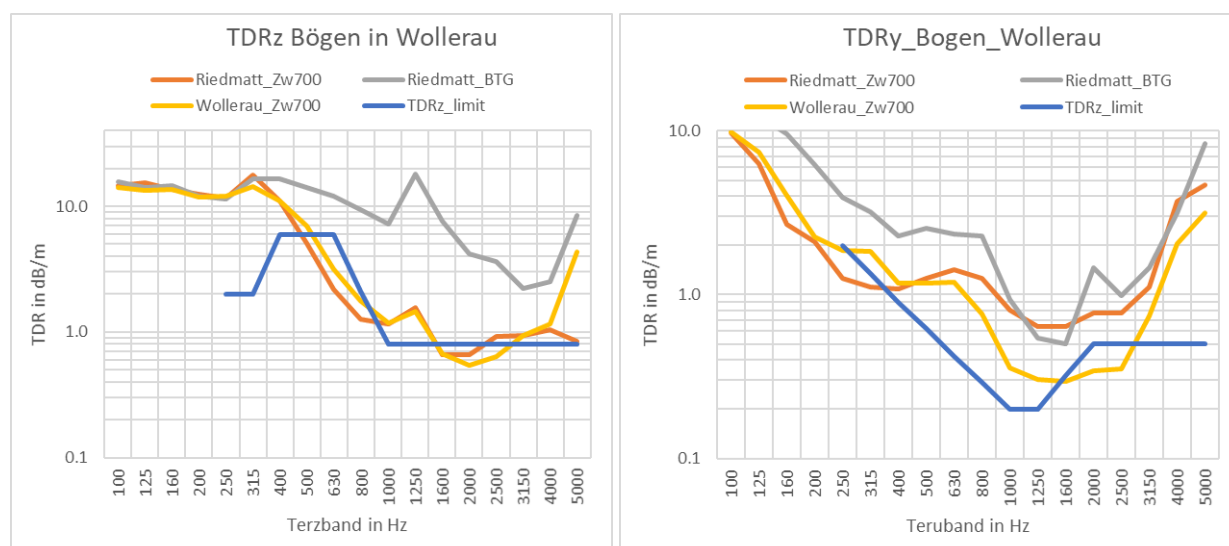


Abbildung 8-4: TDR Vergleich vor und nach der Umrüstung in Wollerau 2019

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

Anforderungen der TSI Noise. Die Ergebnisse der Messungen am 6m Testgleis werden vollumfänglich erreicht und übertroffen.

8.1.4 Spektren

In den Terzspektren der Vorbeifahrermessungen sind die Wirkungsbereiche der Massnahme zu erkennen. In Abbildung 8-5 mit dem spektralen Unterschied der Vorbeifahrerpegel abhängig von der Bogenseite ist zu erkennen, dass Kurvengeräusche offenbar von der Innenseite ausgeht, da zwischen 500 Hz und 2000 Hz hier höhere Terzpegel ermittelt wurden.

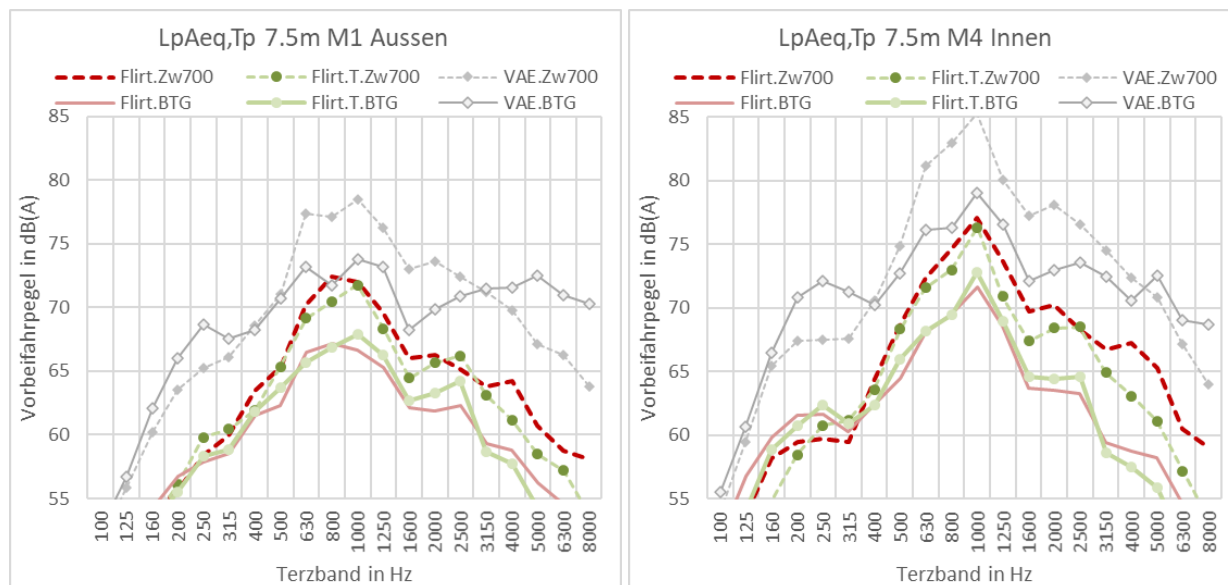


Abbildung 8-5: Vergleich Vorbeifahrerpegel vor (Zw700) und nach der Umrüstung (BTG) in Wollerau 2019

In Abbildung 8-6 sind die Terzpegel vom um jeweils 2s erweiterten Vorbeifahrerpegel der Messpositionen in 7.5m und 3.0m Entfernung abgebildet, wobei sie hier als Mittelwert aus M1 Aussen und M4 Innen berechnet wurden.

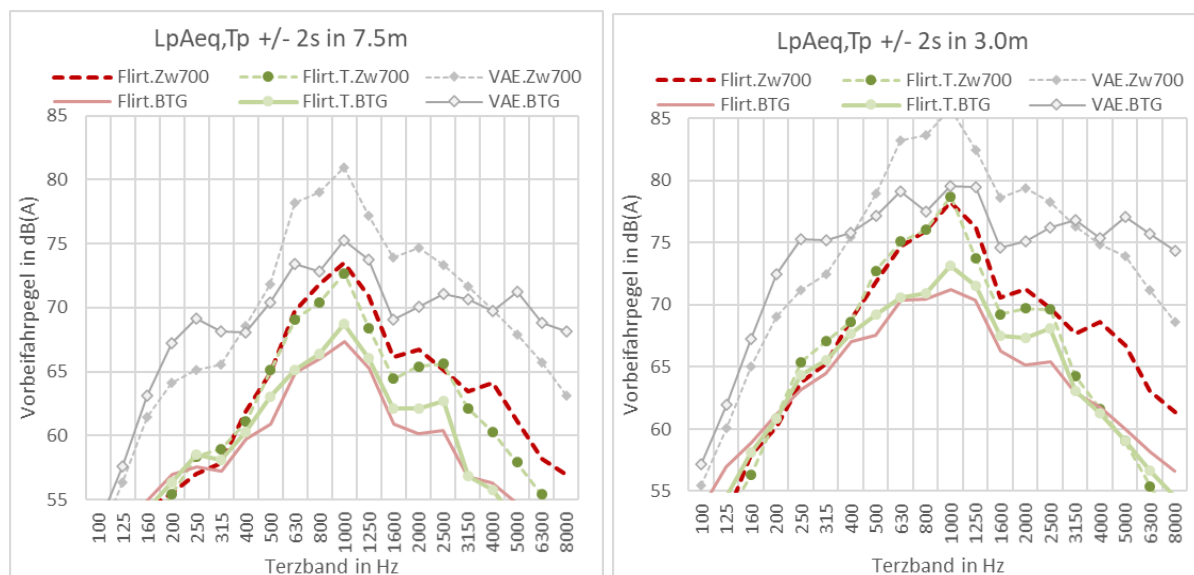


Abbildung 8-6: Vergleich Vorbeifahrerpegel +/- 2s vor (Zw700) und nach der Umrüstung (BTG) in Wollerau 2019

Die Zugtypen Flirt und VAE unterscheiden sich auch im Geräuschspektrum stark voneinander, während die VAE meist höhere Schalldruckpegel aufweisen, erweisen sich die modernen Flirts als deutlich leiser mit ähnlichen Spektren. Bei allen Zugtypen ist der wirksame Frequenzbereich der BATEGU Zwischenlagen im Gleis mindestens zwischen 500 und 2500 Hz zu erkennen. Im erweiterten Vorbeifahrerpegel beträgt die Pegelminderung im Mittel 5 dB.

Den Schienenschallanteil kann man vom Fahrzeugschall durch Analyse des Zeitbereichs vor und nach der Passage annähernd trennen – siehe folgende Abbildung 8-7.

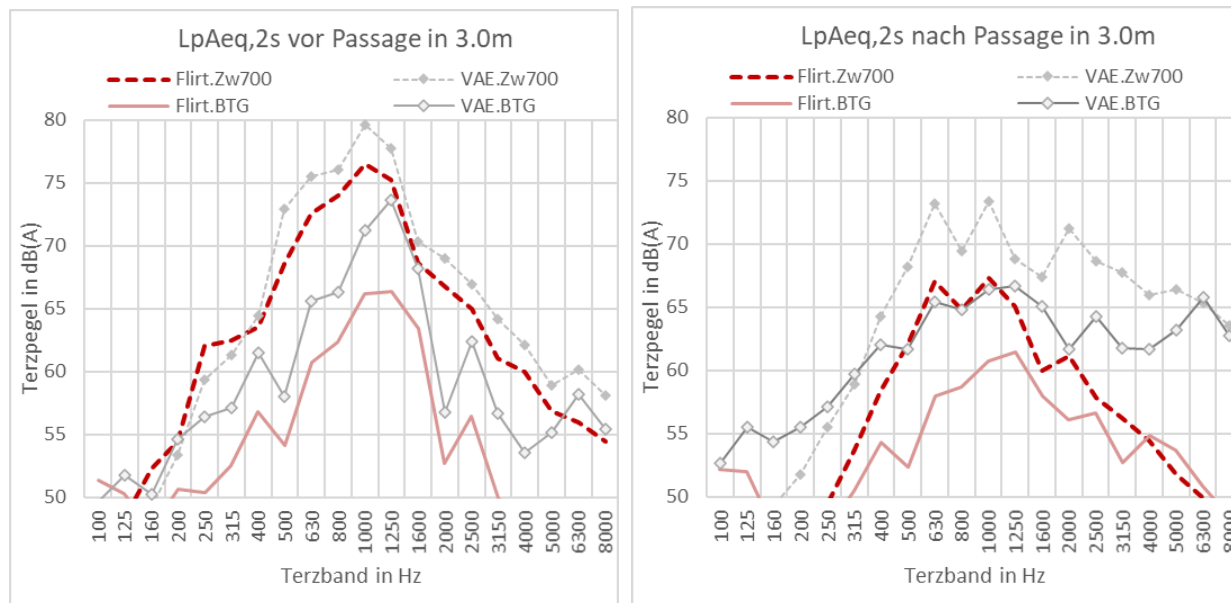


Abbildung 8-7: Vergleich der Mittelungspegel vor & nach der Passage, vor (Zw700) und nach der Umrüstung (BTG) in Wollerau 2019

Die Spektren vor und nach der Passage unterscheiden sich zunächst ein wenig in ihrer Kontur. Dies liegt wahrscheinlich an der Lage der Triebfahrzeuge und an der Wellenausbreitung in der Schiene bzw. Richtungsvektor der mechanischen Anregung. Die Reduktion des Schienenschalls bzw. des Schienensingens erfolgt in ähnlicher Weise wie die Pegelreduktion während der Vorbeifahrt, also Pegelreduktionen von 5 dB in einem Frequenzbereich zwischen 400 und 2500 Hz.

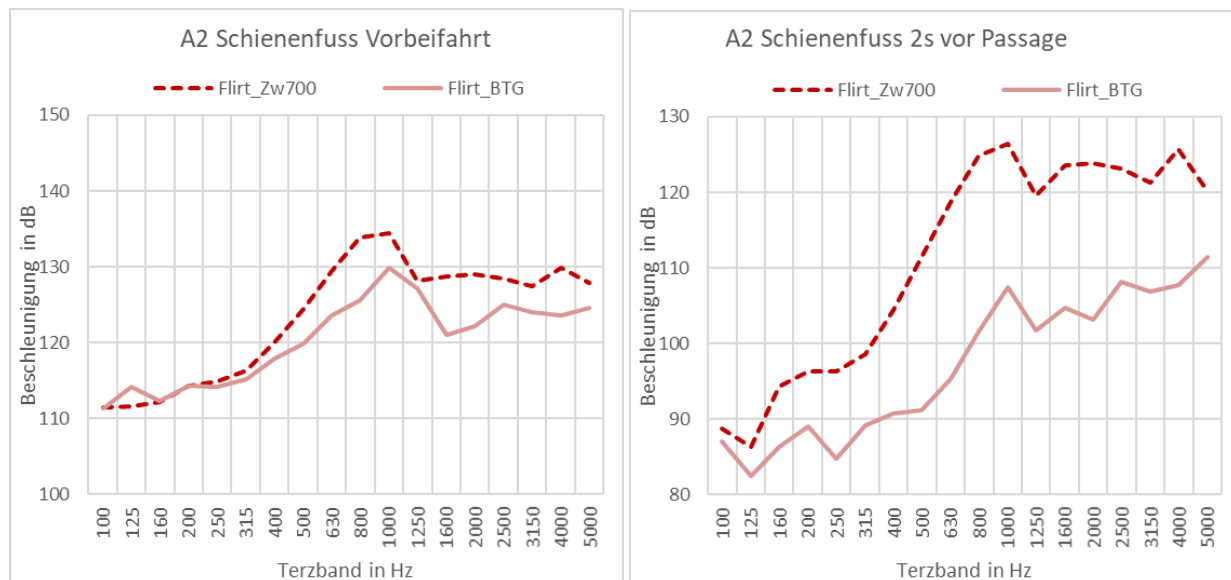


Abbildung 8-8: Vergleich der Schienenfussbeschleunigungen während und 2s vor der Passage, mit Zw700 und BTG in Wollerau 2019

Die Schienenfussbeschleunigungen verhalten sich analog zu den Vorbeifahrgeräuschen, d.h. oberhalb von 400 Hz ist eine gute Wirkung zu erkennen. Die Schienenschwingungen vor der Passage werden wie auch schon bei den Mittelungspegeln wirksam mit der BATEGU Zw reduziert.

8.2 Erprobung UIC60-Abschnitt Gerade BLS

Für den Einbau der BATEGU UIC60 Zwischenlagen wurde ein 200m langer Gleisabschnitt zwischen Kerzers und Ins km 24.9 gewählt, welcher ursprünglich mit weicher Zwischenlage Zw700 (100 kN/mm) ausgestattet war. Direkt daneben bei km 24.66 befindet sich der Kontrollabschnitt mit Zw700 sowie ein Gleisabschnitt bei km 24.58 mit harter Zwischenlage Zw687a (700 kN/mm).



Abbildung 8-9: Einbauort der BATEGU-Zwischenlage km 25.9 – 25.7 in Kerzers (roter Abschnitt oben links)



Abbildung 8-10: Testabschnitt mit BATEGU-Zwischenlage bei Kerzers

Die drei Abschnitte in der Geraden liegen unmittelbar hintereinander, so konnten die Messungen vorher und nachher an drei Messstationen parallel durchgeführt werden. Innerhalb dieser Abschnitte sind UIC 60 Schienen auf unbesohlten Betonschwellen vom Typ B91 mit einer W14

Schienenbefestigung und den beiden Zwischenlagen (Zw700 / Zw687a) verbaut. Der Abschnitt mit harter Zwischenlage Zw687a wurde 2003 errichtet, während die angrenzenden Abschnitte mit weicher Zw im Jahr 2014 entstanden sind. Die Schienenrauheiten sind an diesen Abschnitten überwiegend glatt und unterscheiden sich kaum – siehe A.6.4.

Die Ausgangsmessungen fanden am 4.12.2019 statt und die Vergleichsmessungen nach dem Umbau am 4.3.2020. Die Witterungsbedingungen waren bei beiden Messungen nahezu gleich, z.B. wurde eine durchschnittliche Temperatur von 7°C registriert. Am 25./26. 06.2020 fand schliesslich eine weitere Messung unter sommerlichen Temperaturen statt.



Abbildung 8-11: Testabschnitt mit BATEGU-Zwischenlagen Richtung Ins



Abbildung 8-12: Testabschnitt mit BATEGU-Zwischenlagen Richtung Kerzers

8.2.1 TDR-Ergebnisse der Testabschnitte

In der folgenden Abbildung 8-13 sind die gemessenen TDR von drei Abschnitten enthalten, wobei die TDR vom Abschnitt km 24.9 vorher mit weicher Zw700 (Orange) und nachher mit BATEGU Zw (Grün, BTG) insgesamt zweimal gemessen wurde.

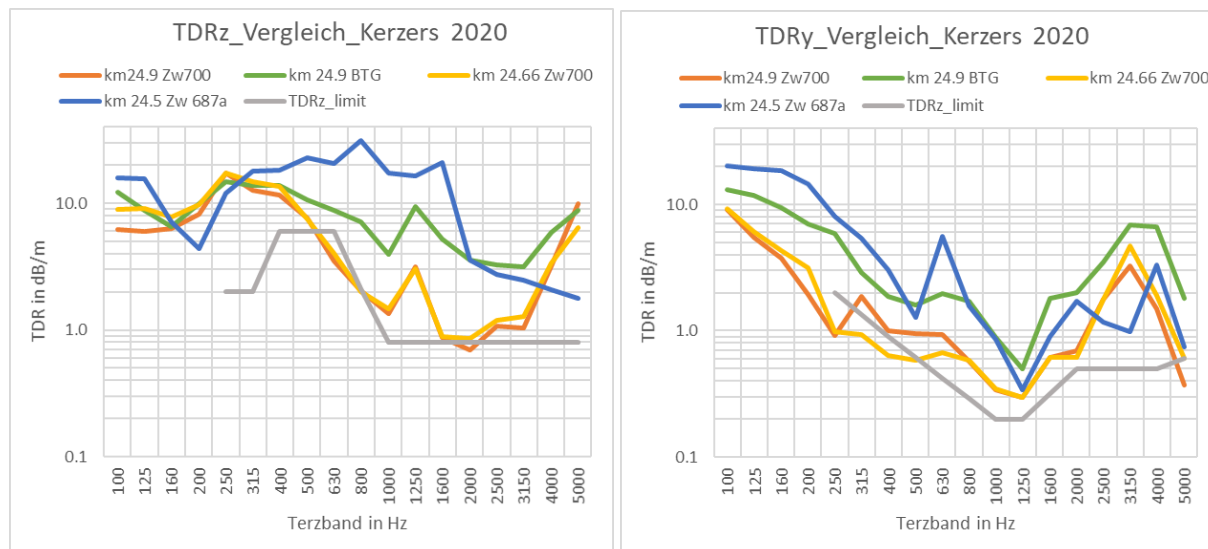


Abbildung 8-13: Ergebnisse TDR in Kerzers von den drei Messabschnitten 12.2019 sowie nach Umbau 03.2020 mit BATEGU Zw

An den Abschnitten mit weicher Zw700 werden die Anforderungen der ISO 3095 i.d.R. nicht eingehalten und die TDR Werte liegen im relevanten Frequenzbereich deutlich unter denen vom Abschnitt mit harter Zw687a. Die TDR beider Abschnitte mit weicher Zw700 sind zudem sehr ähnlich. Der Abschnitt mit harter Zw687a bei km 24.5 weist die höchsten TDR Kurven auf und funktioniert zusammen mit der Einhaltung der Schienenrauheiten als akustisches Referenzgleis. Nach Umbau des Testabschnitts km 24.9 steigen sowohl vertikale als auch laterale TDR stark an und liegen nun zwischen TDR bei harten Zw und TDR bei weichen Zw. Mit der BATEGU Zw werden zudem die Anforderungen der ISO 3095 an ein Referenzgleis erfüllt. Im Frequenzbereich oberhalb von 2000 Hz weist der Abschnitt km 24.9 mit BATEGU Zw sogar höhere TDR Werte auf als beim Abschnitt km 24.5 mit harter Zw.

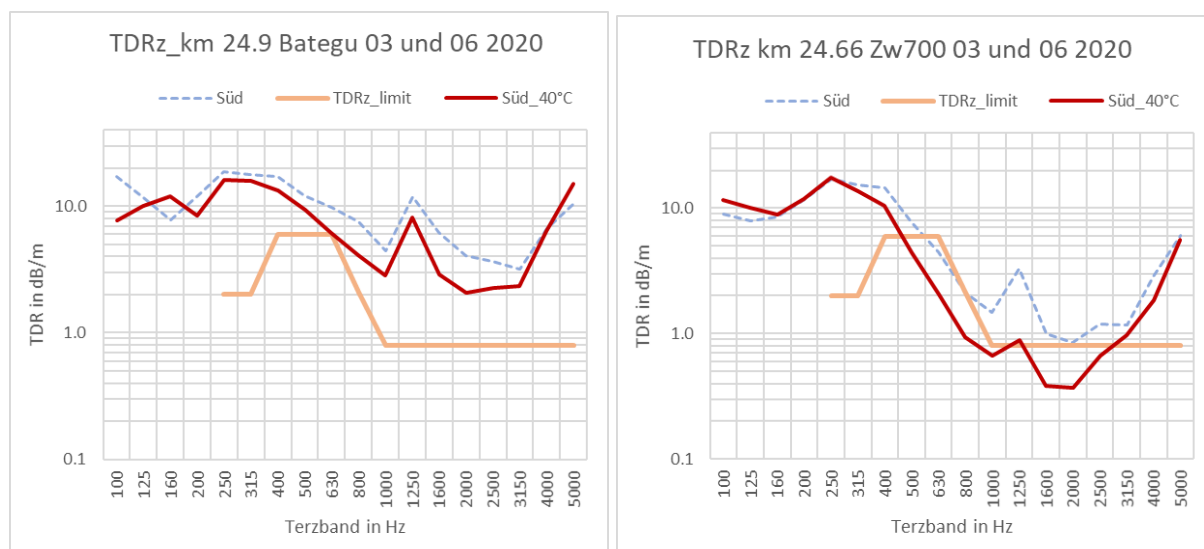


Abbildung 8-14: Ergebnisse vertikaler TDR bei hohen Schienentemperaturen von 40 °C vs. niedriger Temperatur

Im Sommer 2020 wurden die TDR Messungen an einem besonders heißen Tag bei 40 °C Schienentemperatur wiederholt. In den Ergebnissen fällt auf, dass sich die TDR Werte beim Abschnitt km 24.9 mit BATEGU Zw weniger stark ändern als beim Abschnitt mit weicher Zw700.

8.2.2 Schallpegelunterschiede

Die Vorbeifahrpegel $L_{pAeq,Tp}$ wurden gemäss ISO 3095 über die Vorbeifahrdauer T_p ermittelt, welche über sich aus den Achsignalen von Lichtschranken, Schienenfussbeschleunigung oder Schieneneinsenkung bestimmen lässt. Da die Messstellen recht nah beieinander liegen und mit einer Geschwindigkeit von 120 km/h bzw. 33 m/s gefahren wird, wurde die Zeitdauer für die Erweiterung der Messdauer bzw. Auswertung vor und nach einer Passage auf 1s beschränkt.

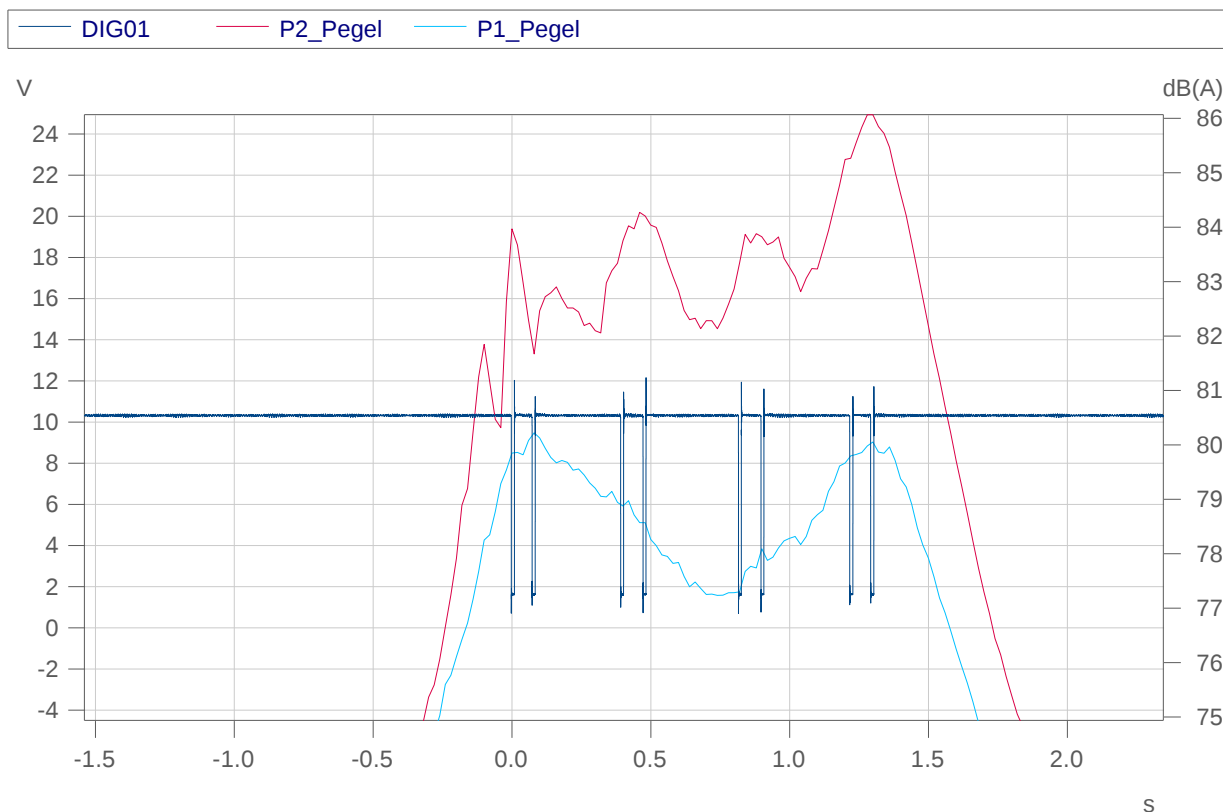


Abbildung 8-15: Pegelzeitverlauf eines NINA 3-Teilers an der Messstelle mit Achsignalen

In der Tabelle 8-5 sind die Vorbeifahrpegel der beiden häufigsten Zugarten Nina 3T und EW III als Mittelwert aus sechs Vorbeifahrten an den drei Messabschnitten enthalten. Die Messung 12_2019 bildet den Ausgangszustand mit weicher Zwischenlage Zw700 der Abschnitte km 24.9 und km 24.66 ab. Die Differenz der Vorbeifahrpegel einer Zugart wird schliesslich durch Subtraktion der Vorbeifahrpegel vom 19_2019 und Vorbeifahrpegel vom 03_2020 gebildet.

Tabelle 8-5: Schallpegelunterschiede Mittelwerte Vorbeifahrpegel an den Versuchsabschnitten 12.2019 und 03.2020

		Vorbeifahrpegel	km 24.9			km 24.66			km 24.5		
			Zw700 -> BTG			Zw700 weich			Zw687a hart		
			$L_{pAeq,Tp} 7.5m$			$L_{pAeq,Tp} 7.5m$			$L_{pAeq,Tp} 7.5m$		
			Süd	Nord	Median	Süd	Nord	Median	Süd	Nord	Median
Datum	Anzahl		dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
12_2019	6	EWIII 120 km/h	82.4	82.0	82.2	82.4	82.2	82.3	81.2	81.0	81.1
12_2019	6	Nina 3T 120 km/h	79.2	79.7	79.5	79.3	80.3	79.8	78.9	79.5	79.2
03_2020	6	EWIII 120 km/h	79.3	79.6	79.4	82.0	82.8	82.4	80.2	80.9	80.6
03_2020	6	Nina 3T 120 km/h	77.6	77.5	77.5	80.7	81.3	81.0	78.6	79.2	78.9
		Differenz EWIII	-3.1	-2.5	-2.8	-0.4	0.6	0.1	-1.0	0.0	-0.5
		Differenz Nina 3T	-1.6	-2.3	-2.0	1.4	1.0	1.2	-0.3	-0.3	-0.3

Tabelle 8-6: Schallpegelunterschiede Mittelwerte erweiterter Vorbeifahrpegel an den Versuchsabschnitten 12.2019 und 03.2020

		erweiterter	km 24.9			km 24.66			km 24.5		
		Vorbeifahrpegel	Zw700 -> BTG			Zw700 weich			Zw687a hart		
		Tp + / - 1s	LpAeq,Tp 7.5m			LpAeq,Tp 7.5m			LpAeq,Tp 7.5m		
			Süd	Nord	Median	Süd	Nord	Median	Süd	Nord	Median
Datum	Anzahl		dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
12_2019	6	EWIII 120 km/h	81.2	80.8	81.0	81.2	81.0	81.1	80.0	79.8	79.9
12_2019	6	Nina 3T 120 km/h	76.7	77.1	76.9	77.0	77.8	77.4	76.3	76.9	76.6
03_2020	6	EWIII 120 km/h	78.1	78.3	78.2	80.8	81.6	81.2	78.9	79.7	79.3
03_2020	6	Nina 3T 120 km/h	75.0	74.9	74.9	78.1	78.6	78.3	76.0	76.6	76.3
		Differenz EWIII	-3.1	-2.4	-2.8	-0.4	0.6	0.1	-1.1	-0.1	-0.6
		Differenz Nina 3T	-1.7	-2.2	-2.0	1.1	0.8	0.9	-0.3	-0.3	-0.3

Im Ausgangszustand 12_2019 liegen die Vorbeifahrpegel von km 24.9 und km 24.66 sehr nah beieinander, somit gehen wir davon aus, dass deren akustisches Verhalten aufgrund gleichwertiger Oberbauten mit Zw700 identisch ist. Nach Umbau des Abschnittes km 24.9 mit BATEGU Zwischenlagen fallen die Vorbeifahrpegel bei dreiteiligen NINA-Zügen um 2.0 dB und bei den EWIII-Zügen 2.8 dB geringer aus als zuvor mit Zw700 gemessen.

Die Vorbeifahrpegel der unterschiedlichen Messtage im Dezember 2019 und März 2020 an den beiden Kontrollabschnitten km 24.66 und km 24.5 unterscheiden sich aus akustischer Sicht kaum voneinander und sind wahrscheinlich auf Streuung innerhalb der Stichprobe und die reale Messunsicherheit bei Vorbeifahrpegeln zurückzuführen. Bei einer geringen Pegelschwankung im Mittel über die beiden Zugarten von weniger als 0.5 dB gehen wir davon aus, dass Messbedingungen und Messquerschnitte der vor / nach dem Umbau vergleichbar sind.

Tabelle 8-7: Schallpegelunterschiede Vorbeifahrpegel Mittelwerte an den Versuchsabschnitten untereinander 06.2020

			km 24.9			km 24.66			km 24.5		
			Zw700 -> BTG			Zw700 weich			Zw687a hart		
			LpAeq,Tp 7.5m			LpAeq,Tp 7.5m			LpAeq,Tp 7.5m		
			Süd	Nord	Median	Süd	Nord	Median	Süd	Nord	Median
Datum	Anzahl		dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
06_2020	12	EWIII 120 km/h	78.4	77.5	77.9	82.0	82.6	82.3	79.5	79.6	79.6
06_2020	16	Nina 3T 120 km/h	78.2	77.6	77.9	82.0	82.7	82.4	80.0	79.7	79.9
06_2020	5	Nina 6T 120 km/h	84.3	83.5	83.9	87.7	88.4	88.0	85.1	85.1	85.1
06_2020	1	Güterzug1 100 km/h	82.7	82.3	82.5	86.5	86.6	86.5	84.4	84.0	84.2
06_2020	1	Güterzug2 100 km/h	91.1	90.0	90.6	94.9	94.5	94.7	92.4	91.8	92.1
		delta Zw700 EWIII	-3.6	-5.1	-4.4	-	-	-	-2.4	-3.0	-2.7
		delta Zw700 Nina 3T	-3.8	-5.1	-4.5	-	-	-	-2.0	-3.0	-2.5
		delta Zw700 Nina 6T	-3.3	-4.9	-4.1	-	-	-	-2.6	-3.3	-2.9
		delta Zw700 GZ1	-3.8	-4.3	-4.1	-	-	-	-2.1	-2.5	-2.3
		delta Zw700 GZ2	-3.7	-4.5	-4.1	-	-	-	-2.4	-2.7	-2.5

In der Tabelle 8-7 sind die gemittelten Voreifahrpegel der Messung im Juni 2020 bei sommerlichen Temperaturen abgebildet. Die Vorbeifahrpegel werden nun unter den drei Messabschnitten verglichen, wobei sich die Pegelunterschiede «delta» immer auf den Kontrollabschnitt mit weicher Zwischenlage Zw700 beziehen. Zieht man den Mittelwert der Fahrzeuge heran, so werden an dem Abschnitt mit BATEGU Zw km 24.9 um mehr als 4 dB und am Abschnitt km 24.5 mit harter Zw687a um etwa 2.5 dB geringere Vorbeifahrpegel gemessen als am Abschnitt km 24.66 mit weicher Zw700. Damit fällt der Vorbeifahrpegel an km 24.9 mit BATEGU Zw sogar um 1.5 dB niedriger aus als am Abschnitt mit harter Zw 687a.

8.2.3 Terzpegelspektren

Die folgenden Terzpegelspektren wurden als Mittelwert aus der gleichen Anzahl von Fahrzeugen berechnet, wie sie bereits für die Vorbeifahrpegel verwendet wurden.

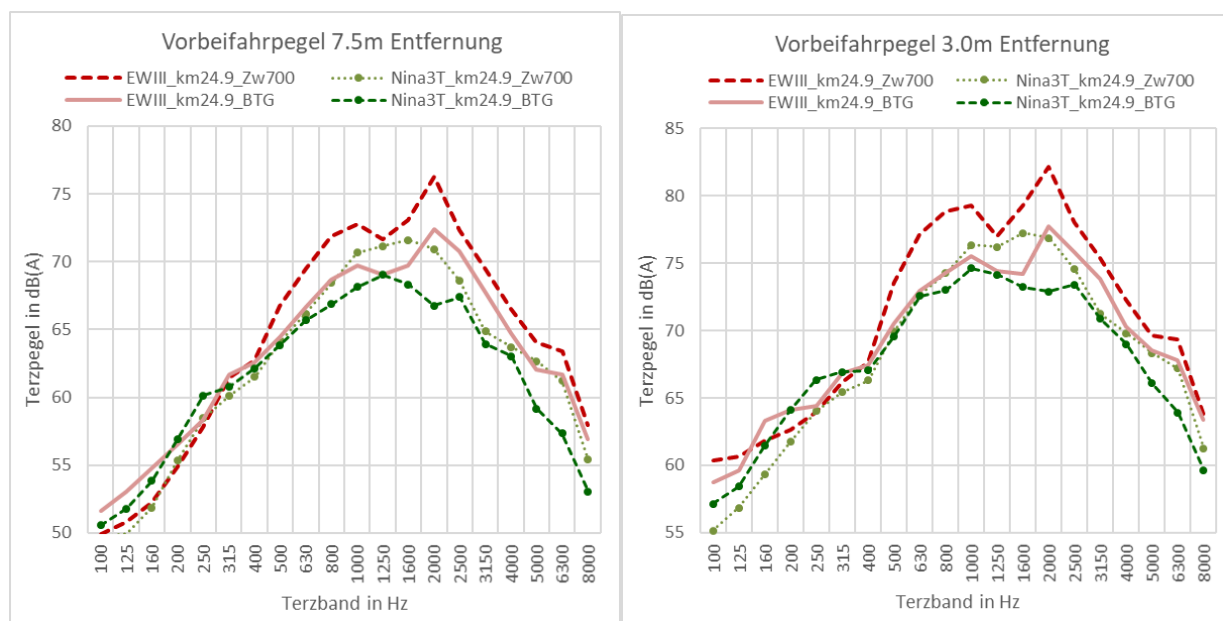


Abbildung 8-16: Ergebnisse Voreifahrpegel Kerzers an km 24.9 Messung 12.2019 und 03.2020 (n = 6)

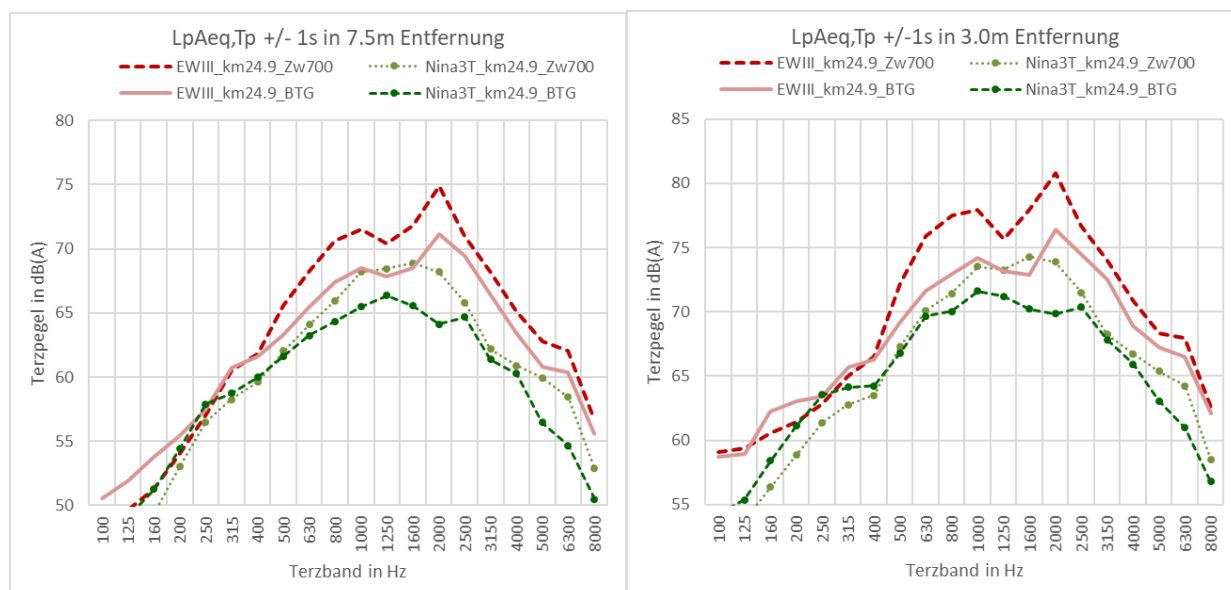


Abbildung 8-17: Ergebnisse erweiterter Voreifahrpegel +/- 1s Kerzers an km 24.9 Messung 12.2019 und 03.2020 (n=6)

Sowohl in den Terzpegelspektren vom Vorbeifahrpegel als auch im um jeweils 1s erweiterten Vorbeifahrpegel ist der Wirkungsbereich der BATEGU Zwischenlage gegenüber der weichen Zwischenlage zwischen 500 Hz und 2000 Hz durch entsprechende Pegelunterschiede von bis zu 5 dB zu erkennen. Beim EWIII tragen insbesondere die Pegelminderungen in der 2000 Hz Terz zur Gesamtschallreduktion im A-bewerteten Summenpegel bei.

Bei allen drei Abschnitten liegen die Schienenrauheiten unter der Grenzkurve der ISO 3095 und weisen einen ähnlichen spektralen Verlauf auf – siehe Anhang A.6.4. Der spektrale Einfluss der Schienenrauheit auf den Vorbeifahrpegel ist daher als unbedeutend einzuschätzen.

Der Schienenschallanteil kann vom Radschallanteil des Fahrzeugs getrennt werden, indem man den Zeitraum vor oder nach der Passage analysiert – siehe folgende Abbildung 8-18.

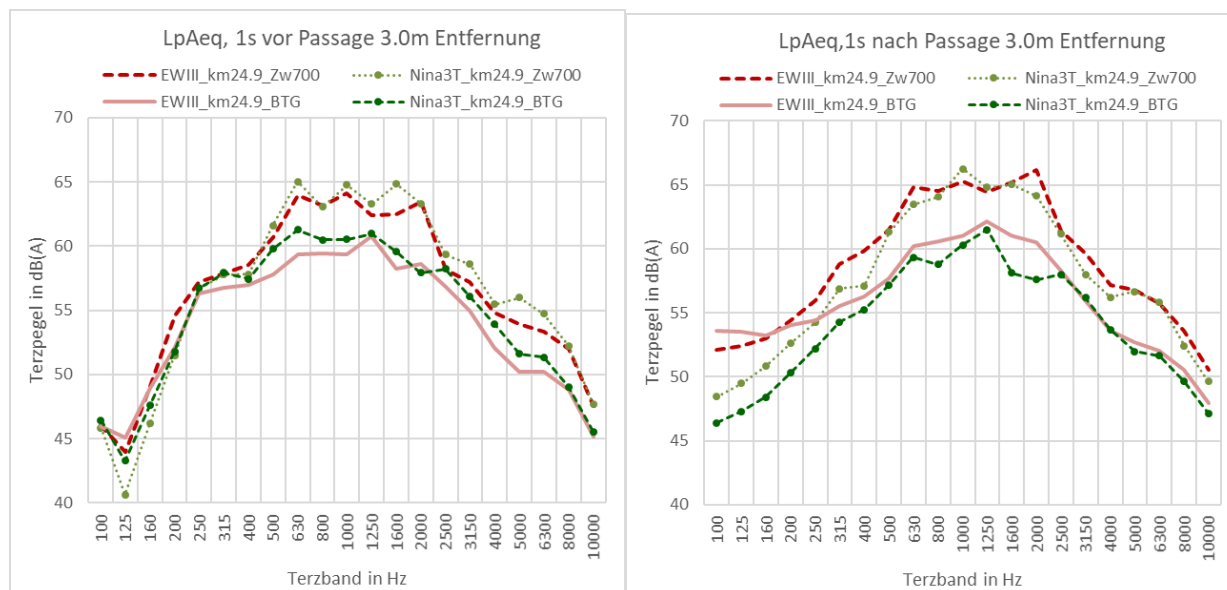


Abbildung 8-18: Mittelungspegel am gleisnahen Mikrophon jeweils 1s vor / nach der Passage (n = 6)

Der Schienenschallanteil insbesondere nach Passage fällt bei der BATEGU-Zwischenlage im Frequenzbereich zwischen 500 und 2000 Hz deutlich geringer aus als bei der Zw700. Dies führt auch zur Reduktion des sogenannten Schienensingens bei einer Zugannäherung.

In Abbildung 8-19 werden die Vorbeifahrpegelspektren von km 24.9 mit BATEGU Zwischenlage mit den anderen beiden Kontrollabschnitten mit Zw700 und Zw687a verglichen.

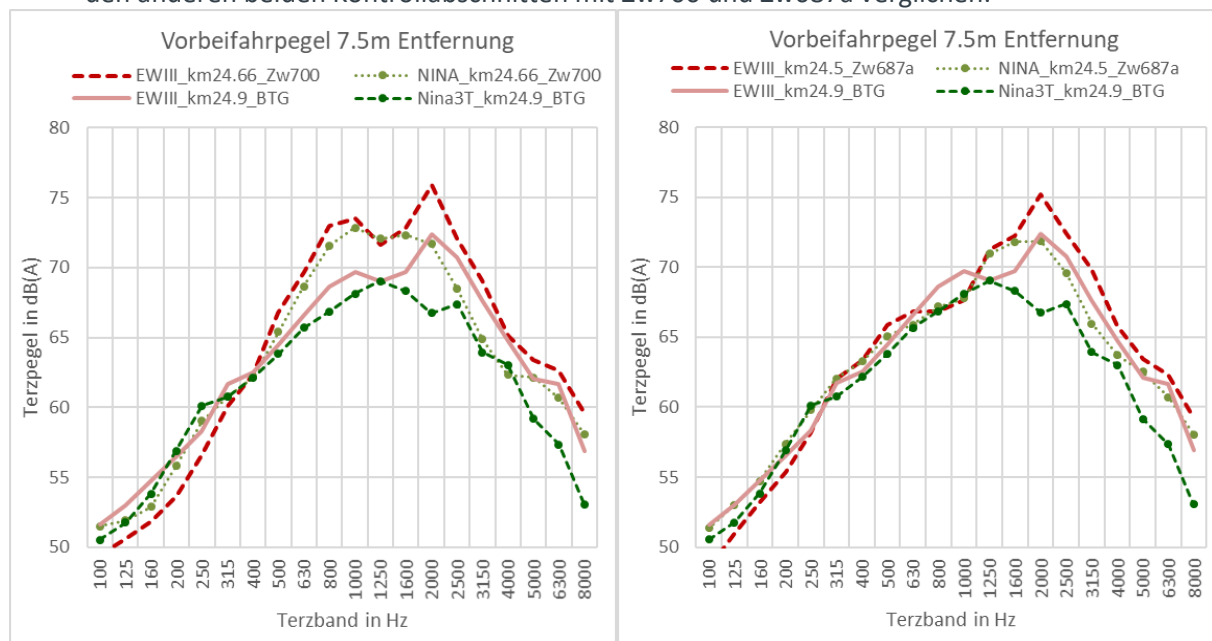


Abbildung 8-19: Vorbeifahrpegel weiche / harte Zwischenlage (wZw / hZw) mit BATEGU Zwischenlage (BTG)

Die Vorbeifahrpegel fallen am Abschnitt km 24.66 mit weicher Zwischenlage Zw700 im März 2020 ähnlich aus, wie am Testabschnitt km 24.9 vor der Umrüstung im Dezember 2019. Die Pegelunterschiede im Frequenzbereich zwischen 500 Hz und 2000 Hz sind bei den Fahrzeugtypen NINA und EWII sogar noch etwas größer als am Testabschnitt km 24.9 nach Umbau mit BATEGU Zw.

Am Testabschnitt mit harter Zwischenlage Zw687a km 24.5 liegen die Terzpegel grossenteils mit denen vom BATEGU Abschnitt km 24.9 aufeinander, lediglich zwischen 1250 Hz und 2000 Hz sind sie am Abschnitt mit harter Zwischenlage leicht höher.

8.2.4 Beschleunigungspegel

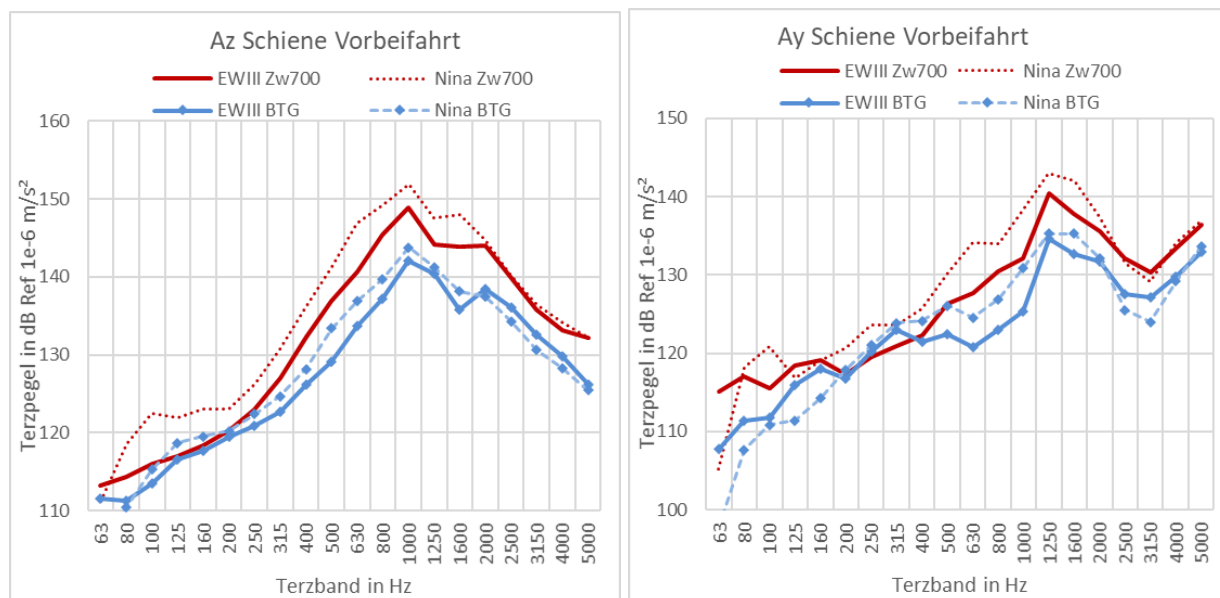


Abbildung 8-20: Beschleunigungen am Schienenfuss und Schienensteg km 24.9 BTG und km 24.66 Zw700 im 06.2020

Die Fahrzeuge EWIII und NINA unterscheiden sich in der Verteilung der Antriebe über der Zuglänge, daher sind kleinere Unterschiede im Spektrum der Beschleunigungen erklärbar. Die vertikalen Beschleunigungspegel der Schiene vom Personenzug mit EWIII gehen oberhalb von 500 Hz deutlich zurück. Beim NINA ist dieser Rückgang weniger stark ausgeprägt, dennoch erkennbar. Die lateralen Beschleunigungspegel ändern sich beim EWIII im Frequenzbereich zwischen 500 und 1000 Hz stark.

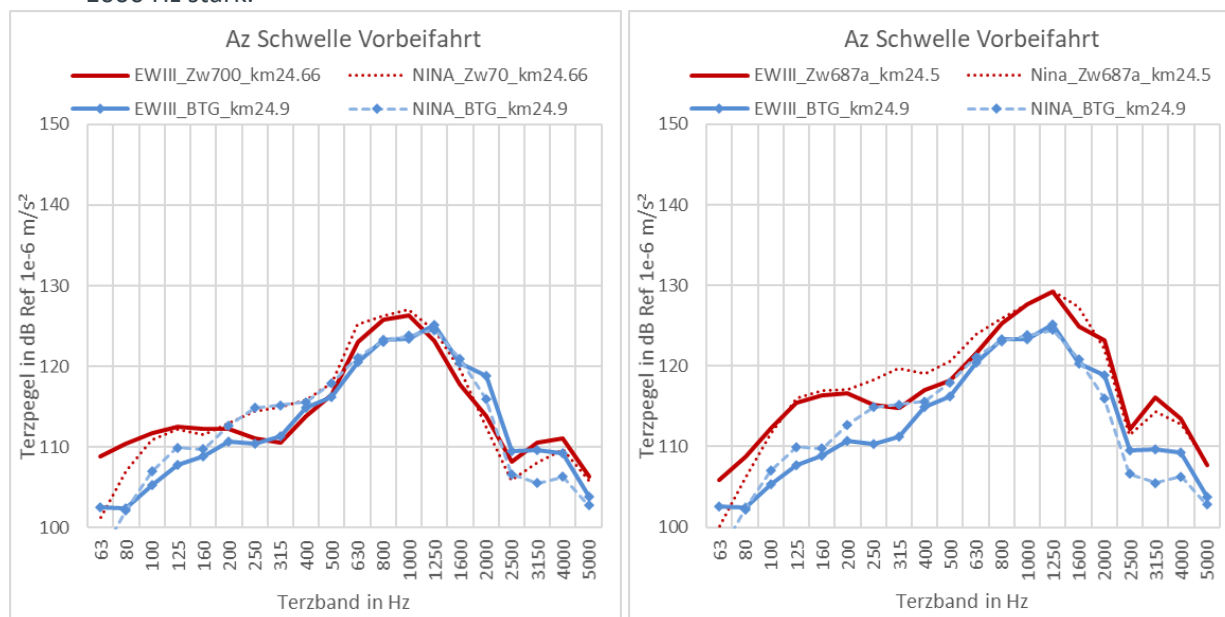


Abbildung 8-21: Beschleunigungen an der Schwelle km 24.9 BTG, km 24.66 Zw700 und km 24.5 am 4.3.2020

Die Beschleunigungen auf der Schwelle haben bei Zw700 und BATEGU Zwischenlagen annähernd einen gleichen Verlauf. Für den Schienenschall ist der Frequenzbereich oberhalb von 400 Hz relevant. Bei der harten Zwischenlage sind die vertikalen Beschleunigungen bereits ab 80 Hz höher als bei dem Abschnitt mit BATEGU Zwischenlage. Dies bestätigt die Annahme, dass die Schwellen bei harten Zwischenlagen durch starre Kopplung mit der Schiene stärker schwingen.

Den Wirkungsbereich der Zwischenlagendämpfung kann man unter realen Bedingungen am besten vor und nach einer Zugpassage erkennen, da hier die Interaktion der Räder und fehlt und die Krafteinleitung ausserhalb des Messquerschnittes liegt.

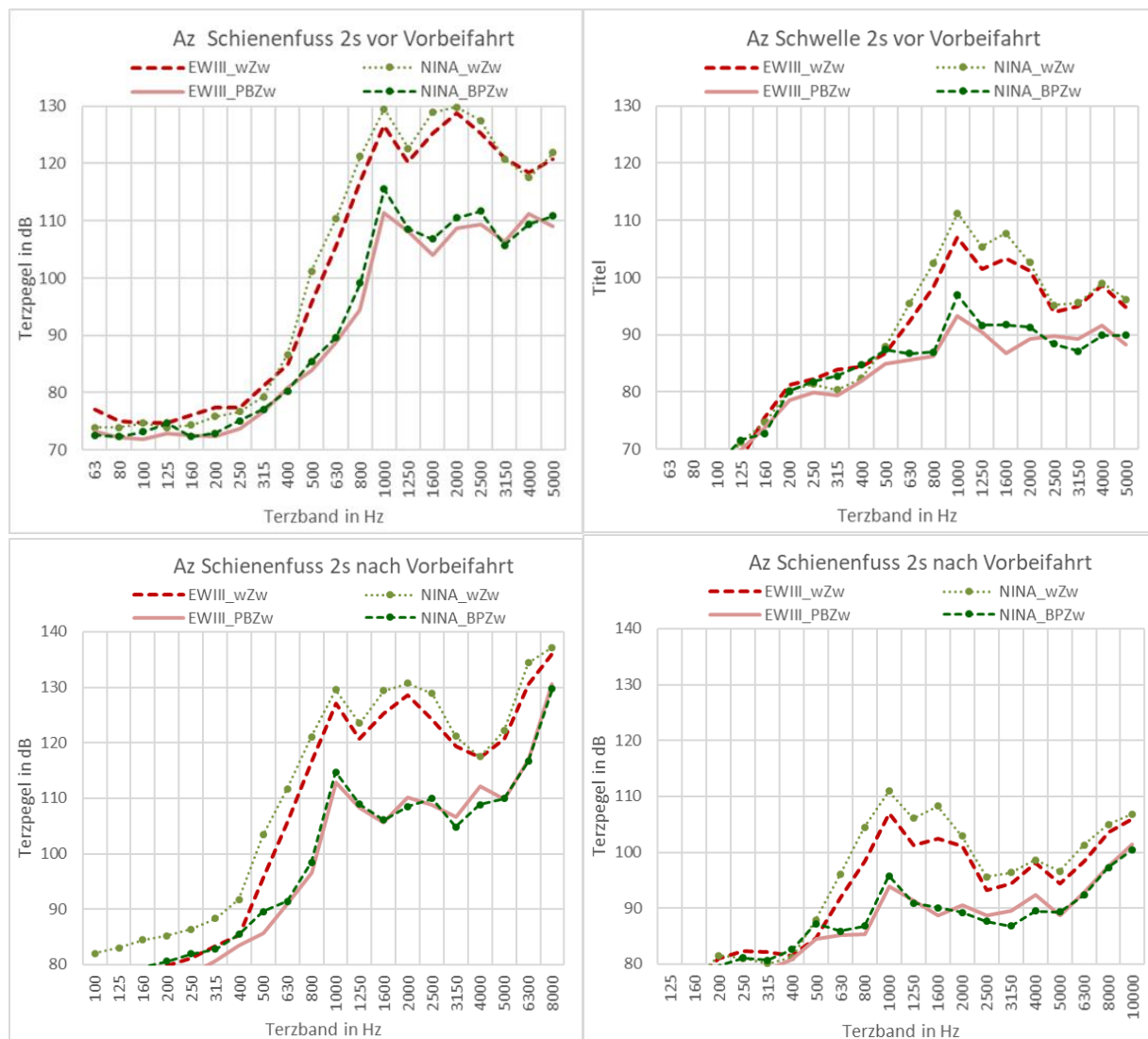


Abbildung 8-22: Beschleunigungen 2s vor und nach einer Passage

Die Beschleunigungsspektren vor und nach der Vorbeifahrt weisen den wirksamen Frequenzbereich oberhalb von 500 Hz aus und Pegelreduktionen um bis zu 18 dB.

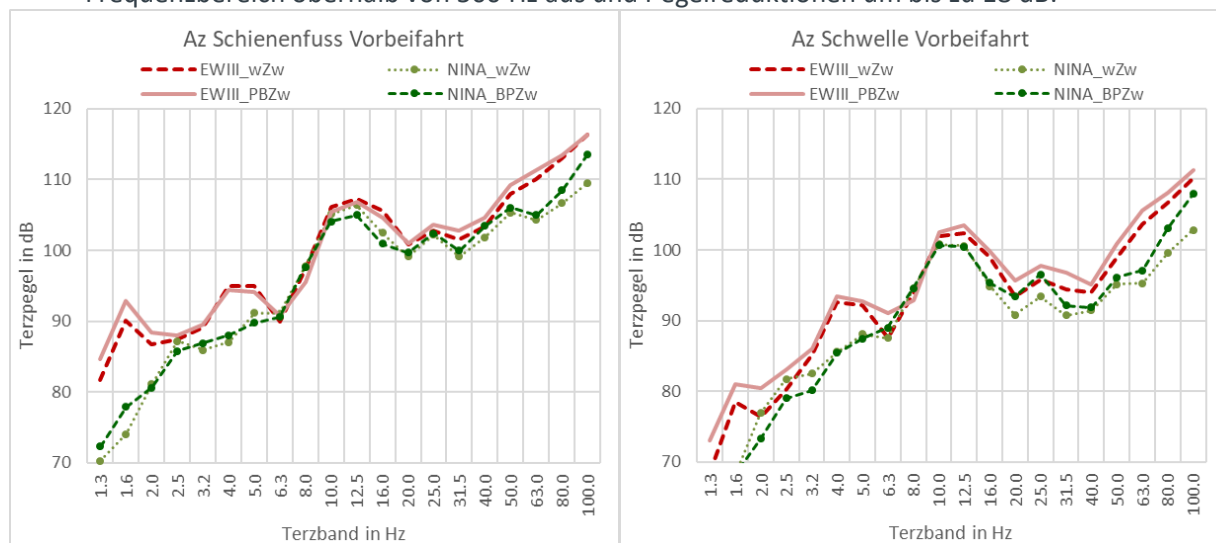


Abbildung 8-23: tieffrequente Beschleunigungen an Schienenfuss und Schwellen

Niederfrequente Schienen / Schwellen Schwingungen bleiben gleich, damit wird etwa die gleiche federnde Eigenschaft bei tieffrequenten Kraftspitzen erwartet wie bei weicher Zwischenlage.

8.2.5 Einsenkungsmessungen

Mittels induktiver Wegaufnehmer montiert an der Schwelle konnten die relative Einsenkung der Schiene gegenüber der Schwelle während der Überfahrt der Züge bestimmt werden. Am besten eignet sich für diese Betrachtung ein Lokzug z.B. ein Güterzug oder EWIII, da hier zumindest das Gewicht der Lok gut ermittelbar ist. Der Güterzug wurde von einer Traxx Lokomotive mit ca. 80t Gewicht gezogen, während die EWIII mit der Re465 mit ca. 70t gezogen wurden.

Tabelle 8-8: Schieneneinsenkung bei Zugüberfahrt

		Schieneneinsenkung	km 24.9			km 24.66			km 24.5		
			BTG			Zw700 weich			Zw687a hart		
			LpAeq, Tp 7.5m			LpAeq, Tp 7.5m			LpAeq, Tp 7.5m		
			Lok	Wagen	Prozent	Lok	Wagen	Prozent	Lok	Wagen	Prozent
Datum	Uhrzeit		µm	µm	%	µm	µm		µm	µm	%
06.2020	08.26	GZ mit 100 km/h	300	120	66	440	200	100	150	60	33
06.2020	09.12	EWIII mit 120 km/h	280	110	67	400	180	100	140	60	34

Die höchste Einsenkung bei den Loks ergeben sich wie zu erwarten bei der weichen Zwischenlage. Angenommen, die dynamische Last von einer 80t Lok beträgt pro Achse 24t, dann sind dies je Rad 12t. Nach der Lastverteilung wirken auf einer Schwelle davon etwa 40%, d.h. 48 kN.

BTG und Zw700 weisen hauptsächlich Einsenkung in Richtung der Schwelle auf, während die Messung an km 24.5 mit Zw687a auch negative Auslenkungen, d.h. von der Schwelle weg, zu beobachten sind.

8.2.6 Erschütterungen in Gleisnähe

Die Erschütterungen wurden an jedem Messquerschnitt in der Mikrofonebene mit triaxialen Beschleunigungssensoren gemessen. Anschliessend wurden die wk /wd Bewertungen entsprechend ISO 2631 auf die jeweiligen Raumrichtungen durchgeführt und der KB Wert gebildet.

Erschütterungen		BTG				weiche Zw				harte Zw			
6m von der Gleismitte		wk / wd		wm		wk / wd		wm		wk / wd		wm	
		KBrms	KBmax	KBrms	KBmax	KBrms	KBmax	KBrms	KBmax	KBrms	KBmax	KBrms	KBmax
Zug	n	mm/s ²	mm/s ²	mm/s	mm/s	mm/s ²	mm/s ²	mm/s	mm/s	mm/s ²	mm/s ²	mm/s	mm/s
EWIII	15	17.1	35.3	0.1	0.2	24.2	60.1	0.1	0.4	50.5	113.5	0.3	0.7
Nina3T	11	13.3	26.6	0.1	0.2	25.0	52.9	0.1	0.3	54.4	123.8	0.3	0.8
Nina6T	3	18.1	41.4	0.1	0.4	22.9	50.0	0.1	0.3	60.3	143.1	0.4	0.9
GZ	1	23.6	68.9	0.1	0.3	22.0	53.6	0.1	0.4	52.3	138.9	0.3	0.6
Mittelwert		18.0	43.0	0.1	0.3	23.5	54.1	0.1	0.4	54.4	129.8	0.3	0.8
Prozent zur harten Zw		33	33	33	34	43	42	40	45	100	100	100	100

Die Messstelle km 24.5 mit harter Zw weist erwartungsgemäss die höchsten Erschütterungswerte auf, im Mittel beträgt der KBrms Wert 54 mm/s². An der Messstelle mit weicher Zwischenlage fallen die KBrms Werte nur etwa 43 % so hoch aus, was beweist, dass mit weichen Zwischenlagen grundsätzlich auch Erschütterungen in Gleisnähe abnehmen. Bei der Messstelle km 24.9 mit BATEGU Zw fallen die KBrms Werte am kleinsten aus und betragen nur etwa 33 % im Vergleich zur Messstelle mit harter Zw.

Zusammen mit den Einsenkungsmessungen zeigt sich, dass die BATEGU Zwischenlage über die höchsten Dämpfungseigenschaften verfügt, um tieffrequenten Stösse in das Gleisbett sowie den Erdboden wirksam zu reduzieren.

9 Fazit

Das Projekt akustisch optimierte Schienenzwischenlage hat zum Ziel, eine elastische Komponente für den Standardoberbau zu entwickeln, die sowohl zu einem geringeren Schotterverschleiss als auch weniger Lärm führt. Ausgangslage ist der Standardoberbau bestehend aus einem Schottergleis mit UIC60-Schienen und B91-Schwellen und einer harten Zwischenlage mit einer statischen Steifigkeit mit 700 kN/mm, welcher eine geringe Schallabstrahlung aufweist und in grossen Teilen des Schweizer Normalspurnetzes den heutigen Stand der Technik abbildet. Hinsichtlich Schotterschonung erwiesen sich jedoch weiche Zw mit einer statischen Steifigkeit von etwa 100 kN/mm als geeignet, da sie die tieffrequenten Kraftspitzen im Rollvorgang auf der Strecke abfedern und nicht in die Schwelle weiterleiten. Durch die weiche Schienenlagerung strahlen Oberbautypen mit weichen Zw jedoch mehr Schall ab als Oberbautypen mit harten Zw, was i.d.R. zu etwa 3 dB höheren Vorbeifahrpegeln führt.

Die dynamischen Eigenschaften einer optimierten Zwischenlage müssen geeignete Federsteifigkeiten und eine hohe Dämpfung in den jeweils relevanten Frequenzbereichen aufweisen. Im realen Betrieb wirken im Gleis je nach Zugart und Geschwindigkeit jedoch eher periodische Wechselkräfte, daher werden dynamische Federsteifigkeiten zwischen 5 und 20 Hz für eine realistischere Bewertung ermittelt und herangezogen. Zur Schotterschonung muss die Bewegung der Schwelle klein gehalten werden, was im Gleis durch höhere Federwege zwischen Schiene und Schwelle realisiert werden kann. Eine geringe statische und dynamische, niederfrequente Steifigkeit lässt grössere Federwege zu als eine hohe Steifigkeit.

Das Rollgeräusch, insbesondere der Schienenschall, findet in einem Frequenzbereich oberhalb von 315 Hz statt und da Stahl selbst eine geringe Dämpfung aufweist, kann eine Lärminderung nur durch zusätzliche Dämpfung über die Schienenbefestigung und Schwellenankoppelung erzeugt werden. Die optimierte Zwischenlage muss also im hochfrequenten Bereich (hier grösser als 315 Hz) eine hohe Dämpfung aufweisen.

Nach Voruntersuchungen im Labor, in denen wir uns einen Überblick über niederfrequente Steifigkeiten und hochfrequente Verlustfaktoren (Dämpfung) von verschiedenen am Markt verfügbaren Zw gemacht haben, ging es mit ersten Prototypen von BATEGU in Felduntersuchungen. Eine erste Materialmischung von BATEGU-Probe 5 erwies sich dabei bereits als ausserordentlich temperaturstabil in den niederfrequenten Eigenschaften und wies die höchste Dämpfung von allen untersuchten Vergleichsproben auf. Zunächst wurden an einem kurzen Testgleis mit B91-Schwellen im Schotterbett und 6m langen Schienen Dämpfungsraten ermittelt und später daraus zwei Zwischenlagen für den Einsatz auf realen Strecken entwickelt.

Bei der SOB wurden in einem engen Gleisbogen in einem Betonschwellenoberbau mit UIC54-Schienen Zwischenlagen von BATEGU eingebaut. Die Messungen fanden im Oktober 2019 statt und haben eine beeindruckende Pegelminderung von 5 dB im Vorbeifahrpegel bei den dort verkehrenden Stadler-Flirt Zügen (mittlere Geschwindigkeit von 60 km/h) ergeben. Ein weiterer Abschnitt wurde auf gerader Strecke zwischen Kerzers und Müntschemier in einem Betonschwellenoberbau mit UIC60-Schienen im März 2020 umgebaut. Dort wurden Pegelminderungen im Vorbeifahrpegel von 2-3 dB im Vergleich zum Abschnitt mit weicher Zwischenlage 100 kN/mm und den vorherrschenden Zügen vom Typ NINA und EWIII ermittelt. Die Wirkung der Zwischenlage kann im akustischen Bereich zwischen 400 Hz und 2000 Hz nachgewiesen werden. Bei einer Wiederholungsmessung im Juni 2020 bei entsprechend hohen Schienentemperaturen erwies sich die BATEGU-Zwischenlage als äusserst temperaturstabil, sodass die Pegelminderungen bei allen Zugarten inklusive Güterzüge mehr als 4 dB betragen.

Die höhere Pegelminderung bei dem Versuch in engen Gleisbögen der SOB in Wollerau gegenüber der BLS in Kerzers lassen sich auf die Unterschiede des Schienenprofils (UIC54 vs. UIC60), die Laufdynamik (Bogen vs. Gerade), die akustischen Eigenschaften der Fahrzeuge und auf die Geschwindigkeit (60 vs. 120 km/h) zurückführen.

Die Laboruntersuchungen in Kap. 5.2 und 7.3.2 zeigen, dass die verwendete Gummimischung von BATEGU im interessierenden Temperatur- und Frequenzbereich die höchsten Verlustfaktoren gegenüber verfügbaren weichen und harten Zwischenlagen auf dem Markt aufweisen. Diese dynamischen Eigenschaften sind im eingebauten Zustand im Gleis dann im Verlauf der Abklingraten TDR, der Spektren von Schienenschall und Schienenbeschleunigungen und zuletzt auch in den Erschütterungswerten neben der Strecke wiederzufinden.

Durch die patentierte BATEGU Gummimischung für die neuen UIC60 und UIC54 Zwischenlagen werden die beiden wesentlichen Ziele erreicht:

1. Lärminderung um 3-5 dB gegenüber elastisch weichen Zwischenlagen
2. Schottererschonung durch niederfrequente Federungs- und Dämpfungseigenschaften gegenüber harten Zwischenlagen

Möchte ein Bahnunternehmen nun von den kombinierten Eigenschaften der BATEGU Zwischenlage profitieren, so muss neben dem Parameter der Steifigkeit auch die Dämpfung in die Produktspezifikation mit aufgenommen werden. Für die Schallreduktion ist allerdings die hochfrequente Dämpfung verantwortlich, welche sich aktuell nur mit der Methode EN 13146-9 bestimmen lässt – siehe Kap. 5.2. Die Ergebnisse am Prüfstand sind jedoch nicht einfach auf eine reale Situation im Gleis zu übertragen, hierfür ist die Messung der TDR nach EN 15461 immer noch die sicherste Methode.

Die Laboruntersuchungen zur Dauerfestigkeit und zu Umwelteinflüssen wurden erfolgreich abgeschlossen, die neuen Zwischenlagen sind für den Einsatz im Gleis geeignet. Die statischen Steifigkeiten der beiden BATEGU-Zwischenlagen liegen im Bereich von 200 kN/mm.

Zum jetzigen Zeitpunkt lässt sich bestätigen, dass die Entwicklungsziele in diesem Projekt erreicht werden konnten. PROSE und BATEGU haben ein «unscheinbares» Bauteil - die hochdämpfende elastische Zwischenlage - mit optimierten dynamischen Eigenschaften für den Schotteroberbau entwickelt, was zur Lärmreduktion im Schienenverkehr beiträgt und gleichzeitig die Infrastruktur schont.

Dieses Projekt wurde vom Schweizerischen Bundesamt für Verkehr BAV und Bundesamt für Umwelt BAFU gefördert.

10 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] STARDAMP, Standardisation of damping technologies for red. of rolling noise, 2013
- [8] SBB, Schlussbericht Erprobung Schienendämpfer 04-2016
- [9] David Thompson, Railway Noise and Vibration, 2009
- [10] X. Zhang, D. Thompson, G. Suicciarini, M. Stangl, J. Ryue, H. Jeong the sound radiation of railway rail fitted with acoustic shielding, ICSV25 2018
- [11] PROSE, 02-00952 Vergleich Zwischenlagen, Projekt 15.043
- [12] PROSE, 02-03-00293 Lärmzunahme Unterschottermatten, Projekt 14.138 und 14.140
- [13] PROSE, 04-03-01033 Lärmzunahme bei Schwellenbesohlung, Projekt 14.105
- [14] PROSE, 02-00993 Schienenstegabschirmungen Projekt 15.033
- [15] C. Czolbe, H-R. Graf, Schienenschall Messungen, DAGA 2018
- [16] PROSE, 04-03-01718, Akustische Wirkung von Betonschwellen B70 und B91, 2018
- [17] PROSE, 04-03-01959, Messung Schallabstrahlung B70 Schwellen, 12-2018
- [18] EMPA, TU-Berlin, TU-München, Oberbau-Schallsimulationstool OST, ZEV-Rail, 10-2018 und Bahnakustik Tagung MBBM 2018
- [19] PROSE, 02-01329, Akustische Wirkung von Zwischenlagen in engen Bögen BLS AG, 2018
- [20] G. Schleinzner et.al., Roll²Rail Projekt, MBBM Bahnakustik Tagungsband 11-2018
- [21] Sohr, Hecht, Zhang, Lechner, Hannema, Zemp, Wunderli, Entwicklung eines Simulationstool zur Entwicklung lärmarmen Gleisoberbautypen, ZEV Rail 10-2018
- [22] H.R. Graf, C.Czolbe, Sound radiation from the rail, ICA 2019
- [23] X. Zhang, D. Thompson, J. Ryue, H. Jeong, G. Squicciarini, M. Stangl et al. The Sound RADIATION OF A RAILWAY RAIL FITTED WITH ACOUSTIC SHIELDING, ICSV25 Japan 2018
- [24] SBB Infrastruktur Netzzustandsbericht 2016, Zusammenfassender Jahresbericht 2015, 03.2016
- [25] EN 13146-9 Bahnanwendungen Oberbauteile Prüfungen der dynamischen Eigenschaften, 2009
- [26] Bericht TU München Prüfungen von 6 Zwischenlagen nach EN 13146-9 Februar 2018
- [27] SBB Broschüre: Die Fahrbahn kurz erklärt, www.sbb.ch/files/infrastruktur/sbb_themenlandschaft/files/DieFahrbahnkurzerklaert_de.pdf

- [28] Prettner L., Masterarbeit 2013
- [29] BLS AG, RTE 22040 / 6.5.2.6 Spannklemmen (SkI)
- [30] M. Toward, ISVR, Report dynamic properties of rail pads, 2018
- [31] ISO 10846-3:2002 Acoustics and vibration – laboratory measurements of vibro-acoustic transfer properties of resilient elements – Part 3: indirect method
- [32] TVFA Prüfbericht 25965-004-00, SCHR Steifigkeit Zwischenlagen, 10.09.2018
- [33] TVFA Prüfbericht 25965-006-00, SCHR Steifigkeit Zwischenlagen, 07.02.2019
- [34] DIN 53529 – 3 Bestimmung des Vernetzungsverhaltens mit rotorlosen Vulkametern, Heizzeitrechnung
- [35] DIN ISO 7619 – 1 Bestimmung der Eindringhärte von Elastomeren (ShA – Härte)
- [36] DIN ISO 1183 – 1 Bestimmung der spezifischen Dichte (Auftriebsverfahren)
- [37] DIN 53504 Bestimmung von Zugfestigkeit, der Reissdehnung und Spannungswerten im Zugversuch
- [38] DIN ISO 34 – 1, Bestimmung des Weiterreisswiderstandes mit der Streifenprobe (Prüfkörper A)
- [39] DIN ISO 815 – 1, Bestimmung des Druckverformungsrestes bei Umgebungstemperaturen und erhöhten Temperaturen
- [40] DIN ISO 815 – 2, Bestimmung des Druckverformungsrestes bei niedrigen Temperaturen
- [41] DIN ISO 4649, Bestimmung des Abriebwiderstandes mit einem Gerät mit rotierender Trommel
- [42] DIN ISO 1431 – 1, Widerstand gegen Ozonrissbildung – statische Dehnungsprüfung
- [43] DIN 53513, Bestimmung des Verlustfaktormaximums (DMA)
- [44] DIN ISO 812, Bestimmung der Kältesprödigkeitstemperatur
- [45] DIN ISO 132, Bestimmung der Rissbildung von Elastomeren
- [46] DIN 53508, Künstliche Alterung über 7/14/21/42 Tage bei 50°C und 70°C
- [47] DIN 53512, Bestimmung der Stosselastizität
- [48] DIN ISO 1817 -1, Bestimmung des Verhaltens gegenüber Flüssigkeiten (Mineralöle, Lösungsmittel, Salzwasser, Auftaumittel)
- [49] IEC 60093 Spezifischer Durchgangswiderstand
- [50] ISO DIS 22074 rail fastening systems – rail restrain
- [51] DIN EN 13481-2:2017-05 Bahnanwendungen - Oberbau - Leistungsanforderungen für Schienenbefestigungssysteme - Teil 2: Befestigungssysteme für Betonschwellen
- [52] EN 13146-9:2020 rail fastening systems dynamic parameters
- [53] DIN EN 17495:2020-05 – Entwurf Bahnanwendungen - Akustik - Bestimmung der dynamischen Steifigkeit von elastischen Komponenten im Oberbau in Bezug auf Schall und Schwingungen - Teil 1: Zwischenlagen und Schienenbefestigungssysteme
- [54] ISO 3095:2013 Acoustics - Railway applications - Measurement of noise emitted by railbound vehicles (ISO 3095:2013)

- [55] EN 15461:2011-01 Railway applications - Noise emission - Characterisation of the dynamic properties of track sections for pass by noise measurements
- [56] SN EN 15610:2019-11 Bahnanwendungen - Akustik - Messung der Schienen- und Radrauheit im Hinblick auf die Entstehung von Rollgeräuschen
- [57] Prüfbericht Schienenbefestigungssystem UIC 60 nach EN 13481-2, 27.02.2020
- [58] Prüfbericht Schienenbefestigungssystem UIC 54 nach EN 13481-2, 25.03.2020
- [59] Prüfbericht statische & niederfrequente Steifigkeiten EN 13146-9, 06-2020, 07-2020

A Anhang

A.1 Projektphasen

Phase 1: Grundlagen

- Anforderungskatalog Zwischenlage erstellen (PROSE)
- Literaturrecherche Zwischenlage, Stand der Technik, Patentrecherche (PROSE)

Phase 2: Materialentwicklung

- Stand der Technik Material, Patent-Recherche (BATEGU)
- Konzeption eines geeigneten Materials (BATEGU), Definition der Fertigungsanforderungen unter Berücksichtigung der Parameterüberwachung
- Materialauswahl, Varianten (BATEGU) inkl. Mustermaterialien
- Labortests der Materialvarianten im Kleinformat, Auswertung (BATEGU)

Phase 3: Entwicklung Zwischenlage

- Entwurf Zwischenlage, Geometrie (BATEGU)
- FE-Modell erstellen, Bestimmung der Eingangsparameter (BATEGU)
- Simulation Zwischenlage mittels FE, Optimierung Geometrie und Justierung Steifigkeit (BATEGU)
- Technische Zeichnungen für die Herstellung inkl. Systemübernahme (BATEGU)

Phase 4: Prototyp

- Prototypen herstellen (BATEGU)
- Labortests Prototypen (BATEGU)
- Optimierung Prototyp und Wiederholung Labortests (BATEGU)
- Labortest an anerkanntem Prüfinstitut (BATEGU)
- Abschluss Design Prototyp (BATEGU)
- Allenfalls Patent anmelden (BATEGU + PROSE)

Phase 5: Wirtschaftlichkeit Zwischenlage

- Abschätzung Lieferpreis Zwischenlage basierend auf Herstellkosten (BATEGU)
- Marktpreis abschätzen aufgrund Einsparpotential bei Instandhaltung gegenüber harter Zwischenlage Zw 687a (PROSE)
- Marktpreis abschätzen auf Basis eines Vergleichs mit anderen Massnahmen zur Lärmreduktion gegenüber weicher Zwischenlage Zw 700 (PROSE)
- Businessplan

Phase 6: Antrag für Zulassung zur Betriebserprobung

- Zusammenstellung und Einreichung der Unterlagen an die Zulassungsbehörde

Phase 7: Betriebserprobung

- Herstellung der Zwischenlagen (1'300 Stk.) für Testabschnitte (BATEGU)

- Lieferung, Einbau durch Gleisbaufirma
- Installation in ca. 200 m Gerade (BLS UIC60) und ca. 200 m Bogen (SOB UIC54)
- Installation Zw687a, Zw700 als Referenz in Gerade
- Messkonzept, Lärm- und Erschütterungsmessungen in Gerade (PROSE)
- Auswerte-Bericht (PROSE)
- Aktualisierung Abschätzung und Vergl. anderer Massnahmen zur Lärmreduktion (PROSE)
- Nachführen Businessplan (BATEGU + PROSE)

Phase 8: Antrag für Zulassung

- Zusammenstellung und Einreichung der Unterlagen an die Zulassungsbehörde

Phase 9: Publikation Resultate

- Publikation, Referate (PROSE)

A.2 Vertikale Beschleunigungen

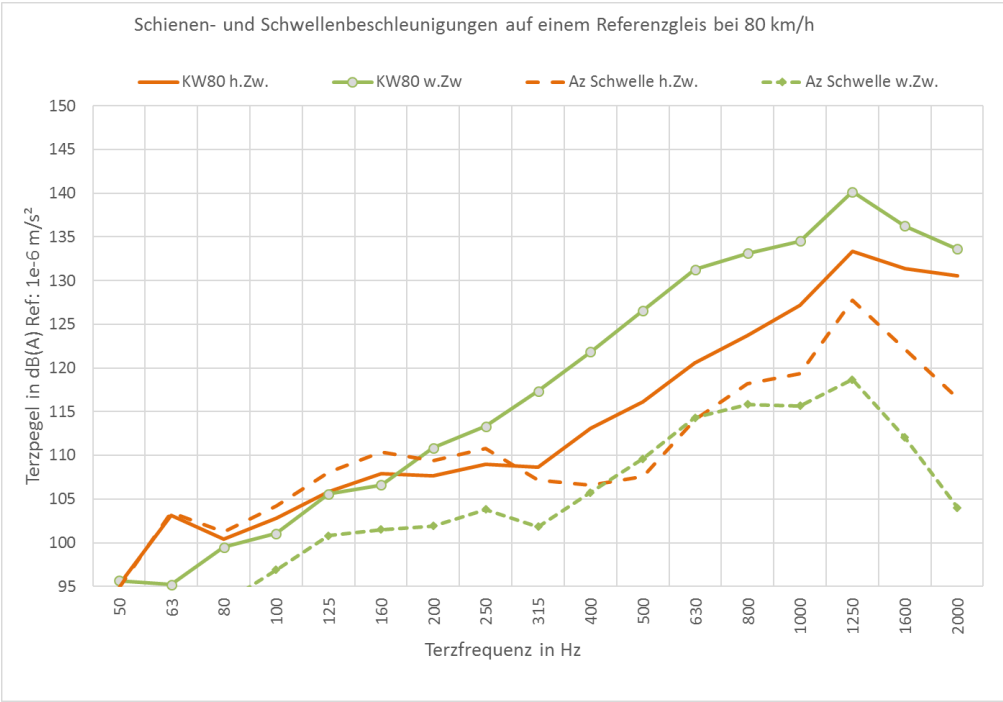


Abbildung 10-1: Graph Vertikale Beschleunigungen bei 80km/h

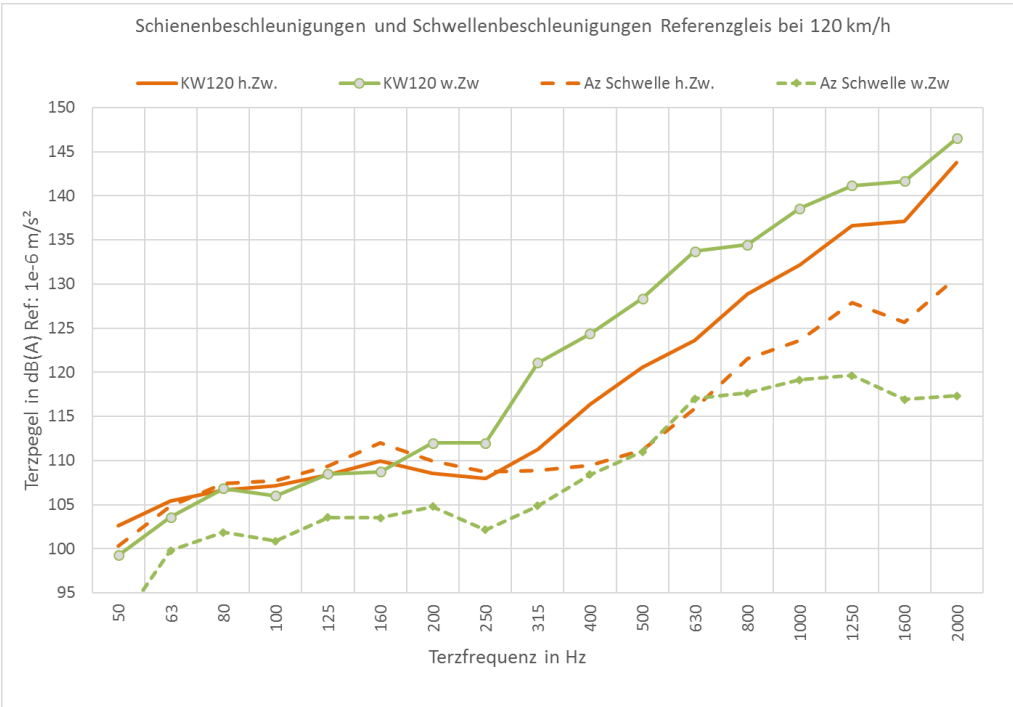
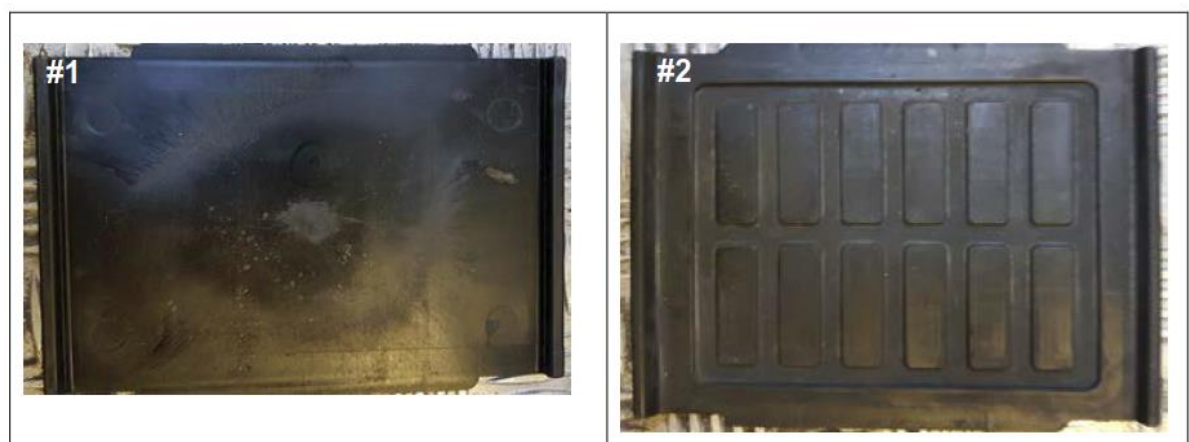


Abbildung 10-2: Graph Vertikale Beschleunigungen bei 120km/h

A.3 Laborprüfungen



Abbildung 10-3: Testaufbau für statische und niederfrequente Tests



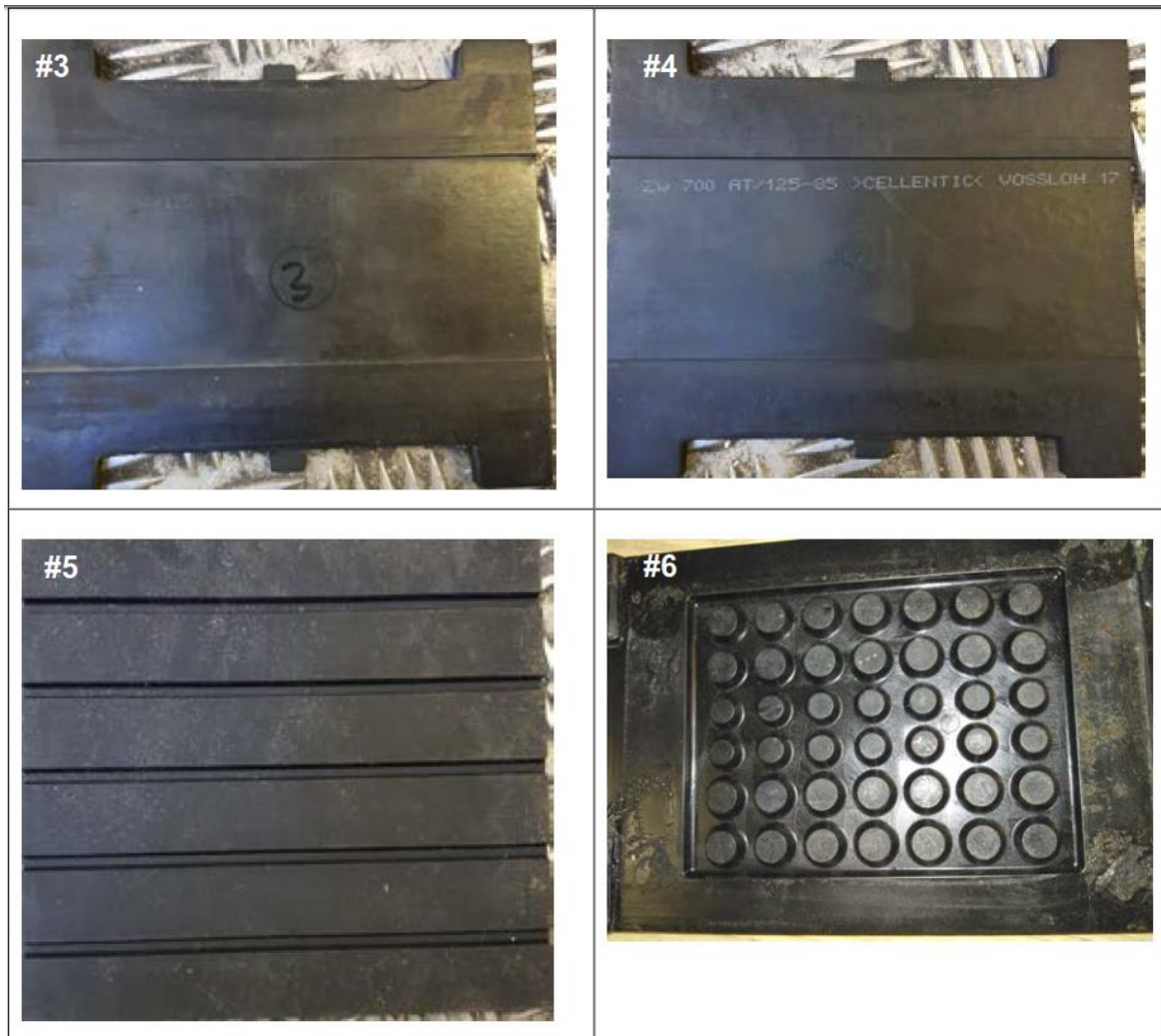
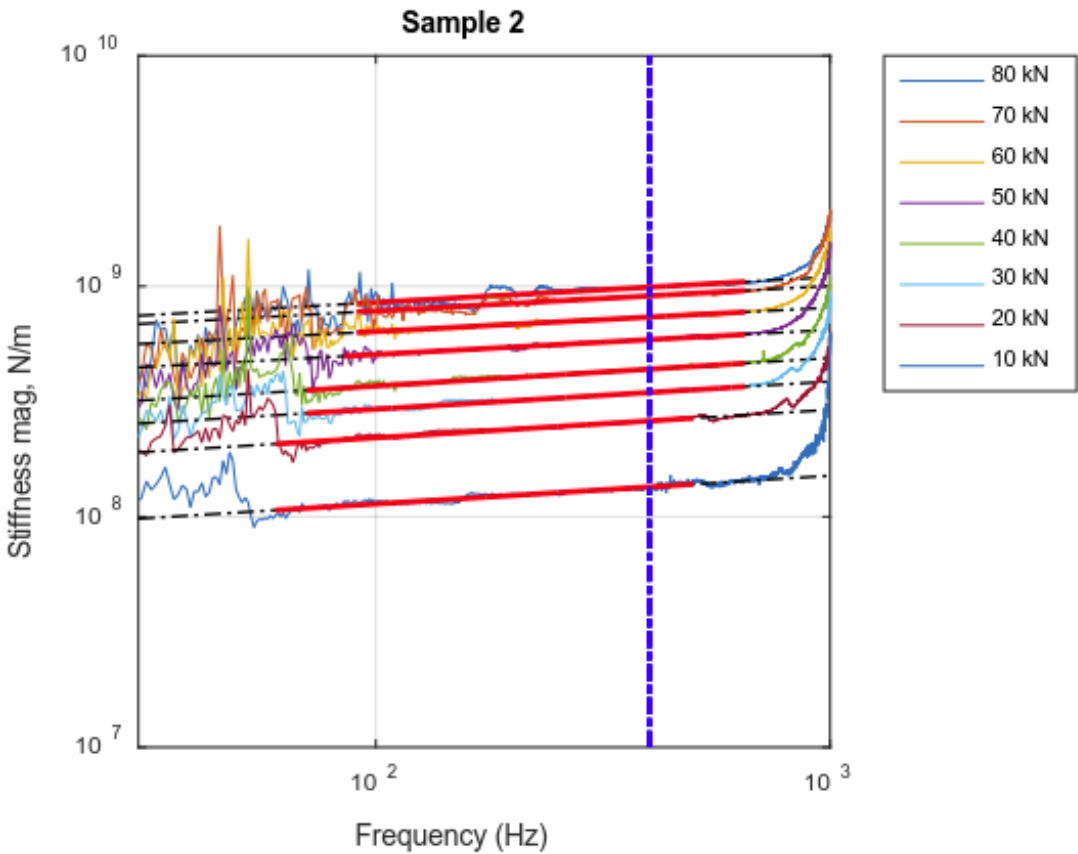
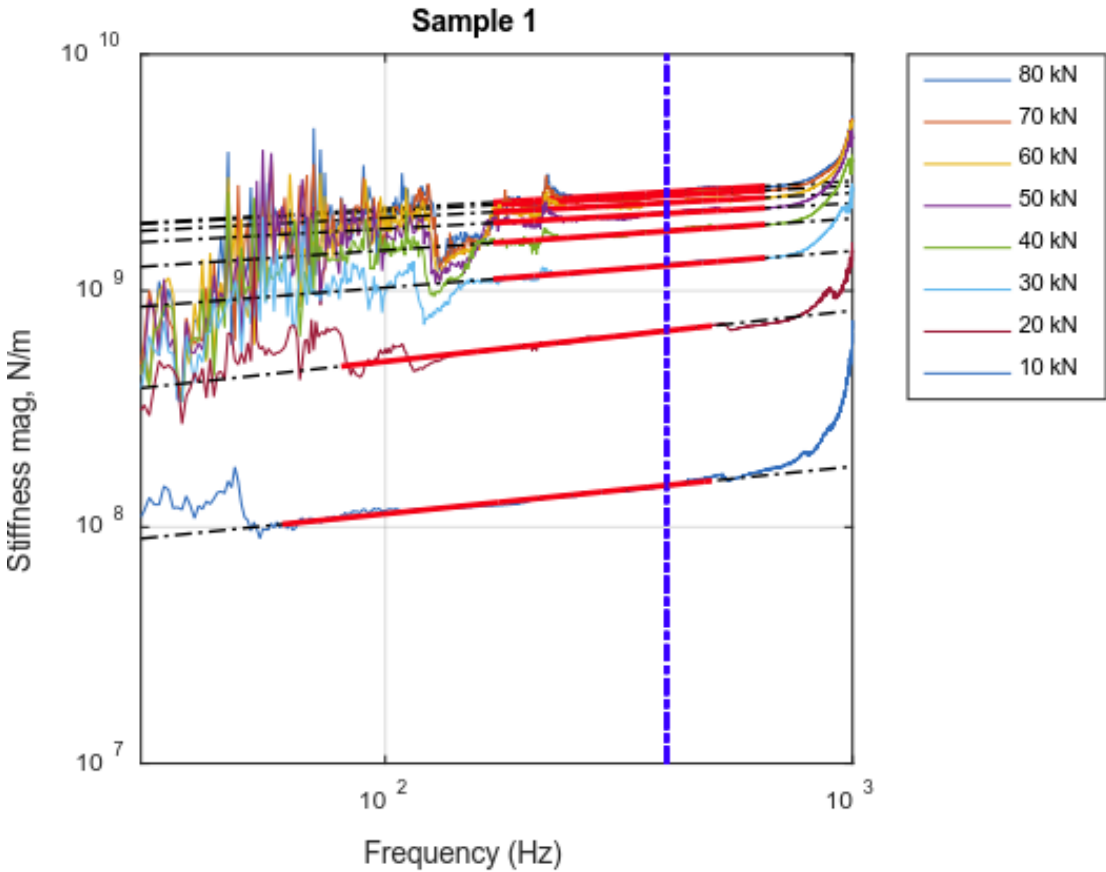
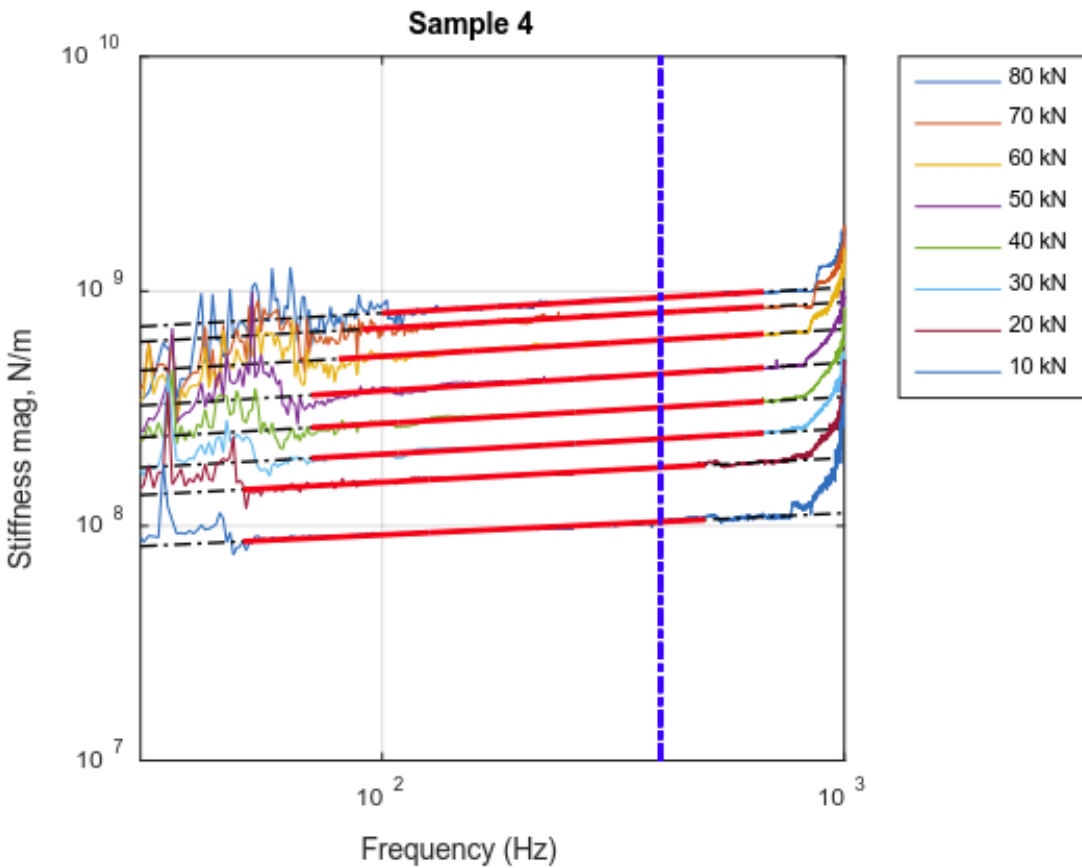
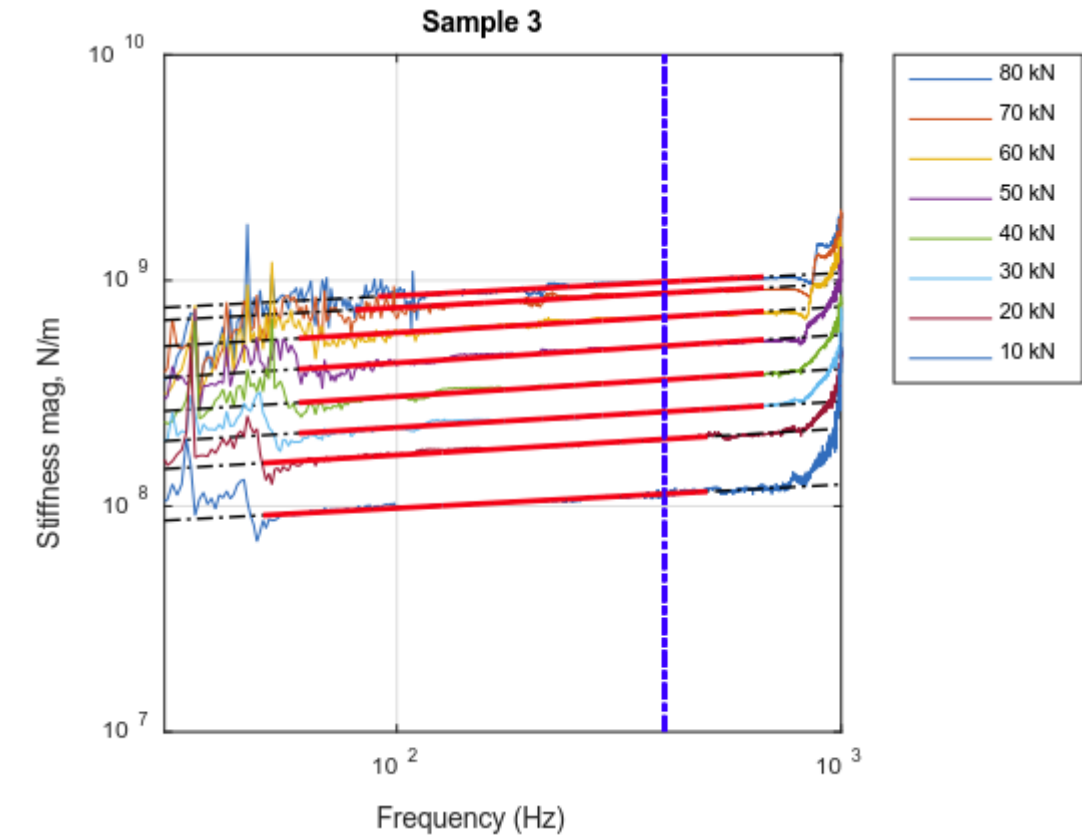


Abbildung 10-4: Bilder der verschiedenen Proben

Tabelle 10-1: Verwendete Zwischenlagen für dynamische Tests

Nr.	Hersteller	Typenbezeichnung	Kategorie	Stat. Steifigkeit	Schienenfussbreite
1	Z23*	Zw 686a	hart	810 kN/mm	125 UIC54
2	Z19*	Zw 700/148/165	weich	90 kN/mm	150 UIC60
3	Z22*	Zw 700b	weich	90 kN/mm	150 UIC60
4	Z22*	Zw 700 AT/125-85	weich	110 kN/mm	125 UIC54
5	BATEGU		mittelweich	200 kN/mm	125 UIC54
6	Z23*	Zw 180/165x123x7	mittelweich	240 kN/mm	125 UIC54





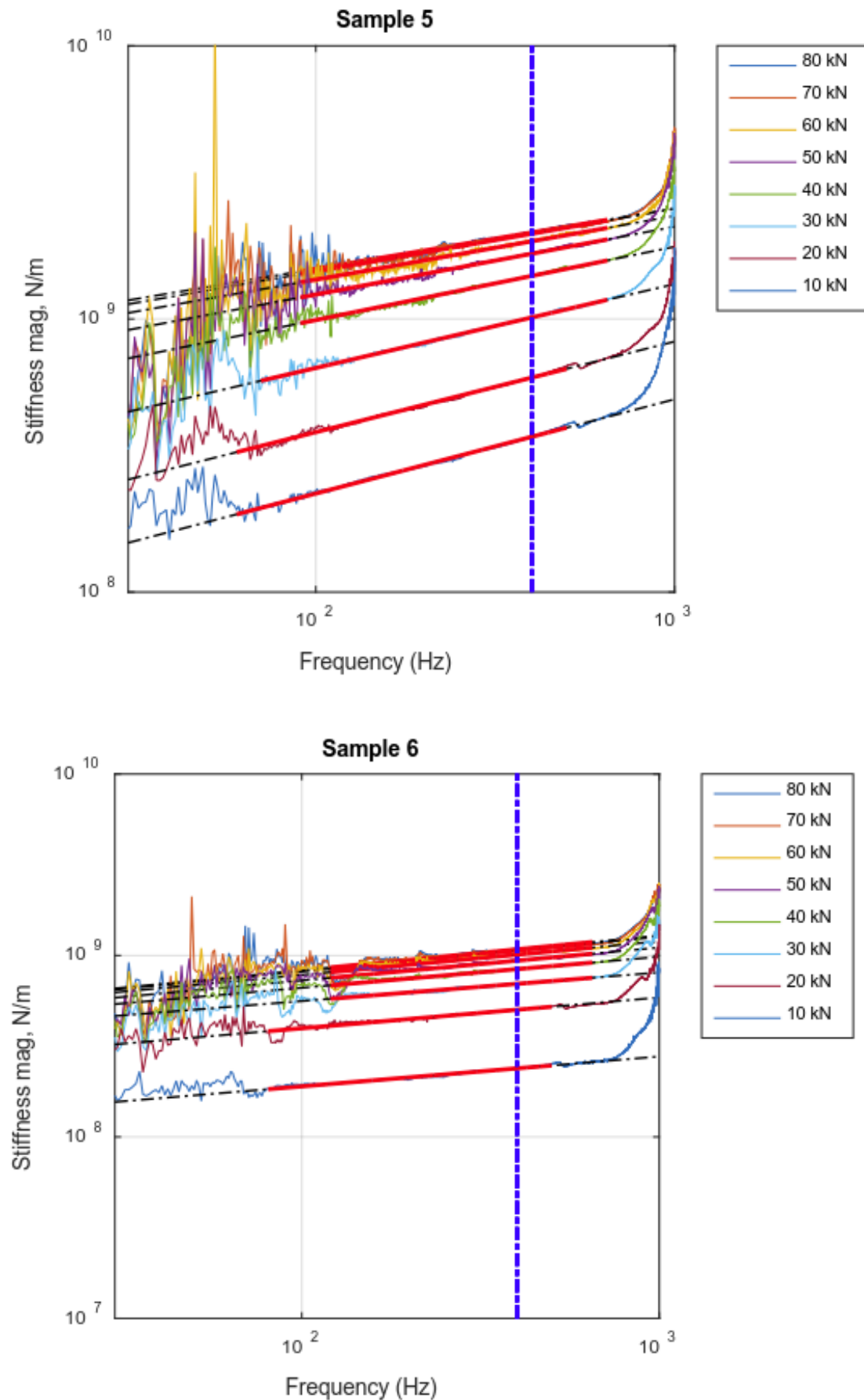


Abbildung 10-5: Resultate der Steifigkeiten der verschiedenen Proben

A.4 Vorversuche TDR am Testgleis



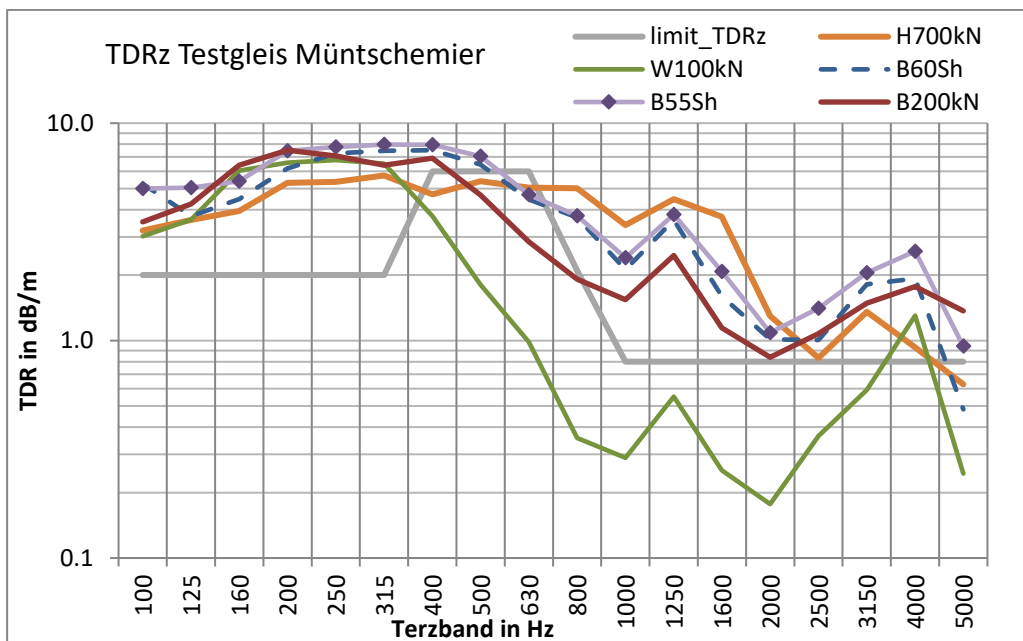


Abbildung 10-6: Ermittelte vertikale TDR am 6m Testgleis in Müntschemier B60Sh und B55Sh wurden 12-2018 gemessen, der Prototyp UIC60 B200kN wurde 06-2019 gemessen

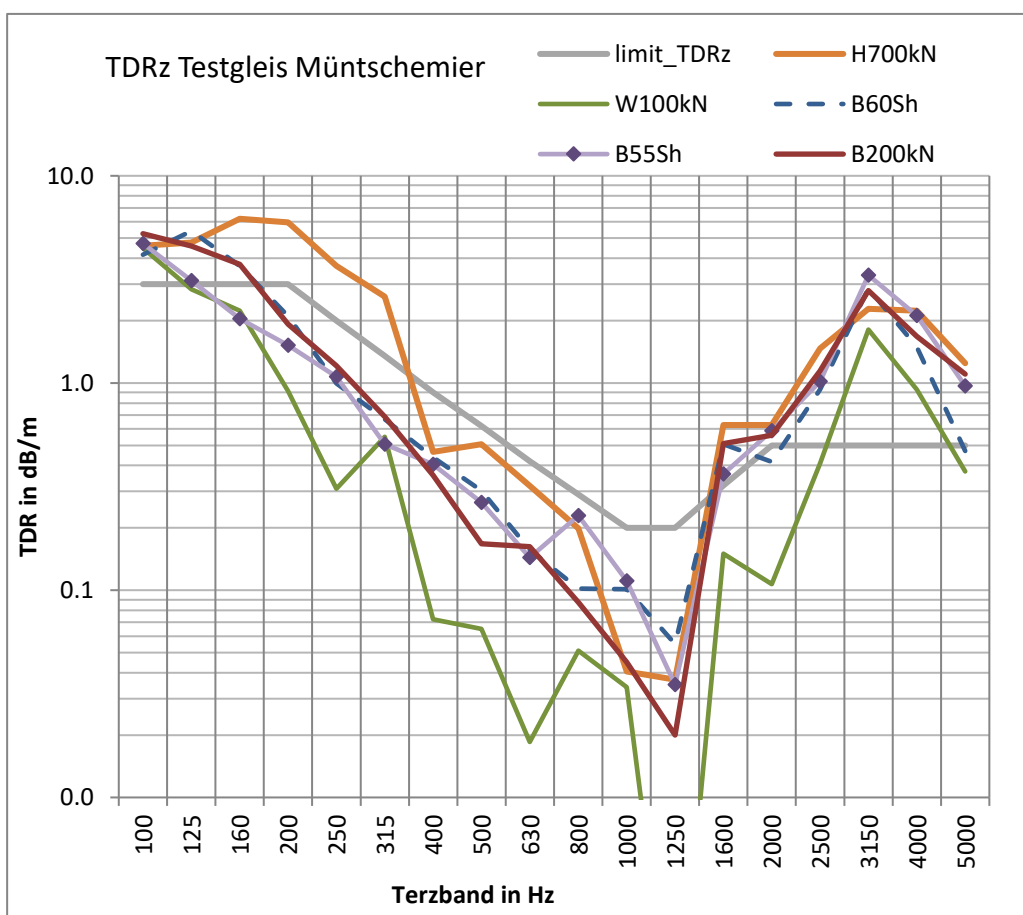


Abbildung 10-7: Ermittelte laterale TDR am 6m Testgleis in Müntschemier B60Sh und B55Sh wurden 12-2018 gemessen, der Prototyp UIC60 B200kN wurde 06-2019 gemessen

A.5 Feldversuch BATEGU UIC54 im Gleisbogen SOB

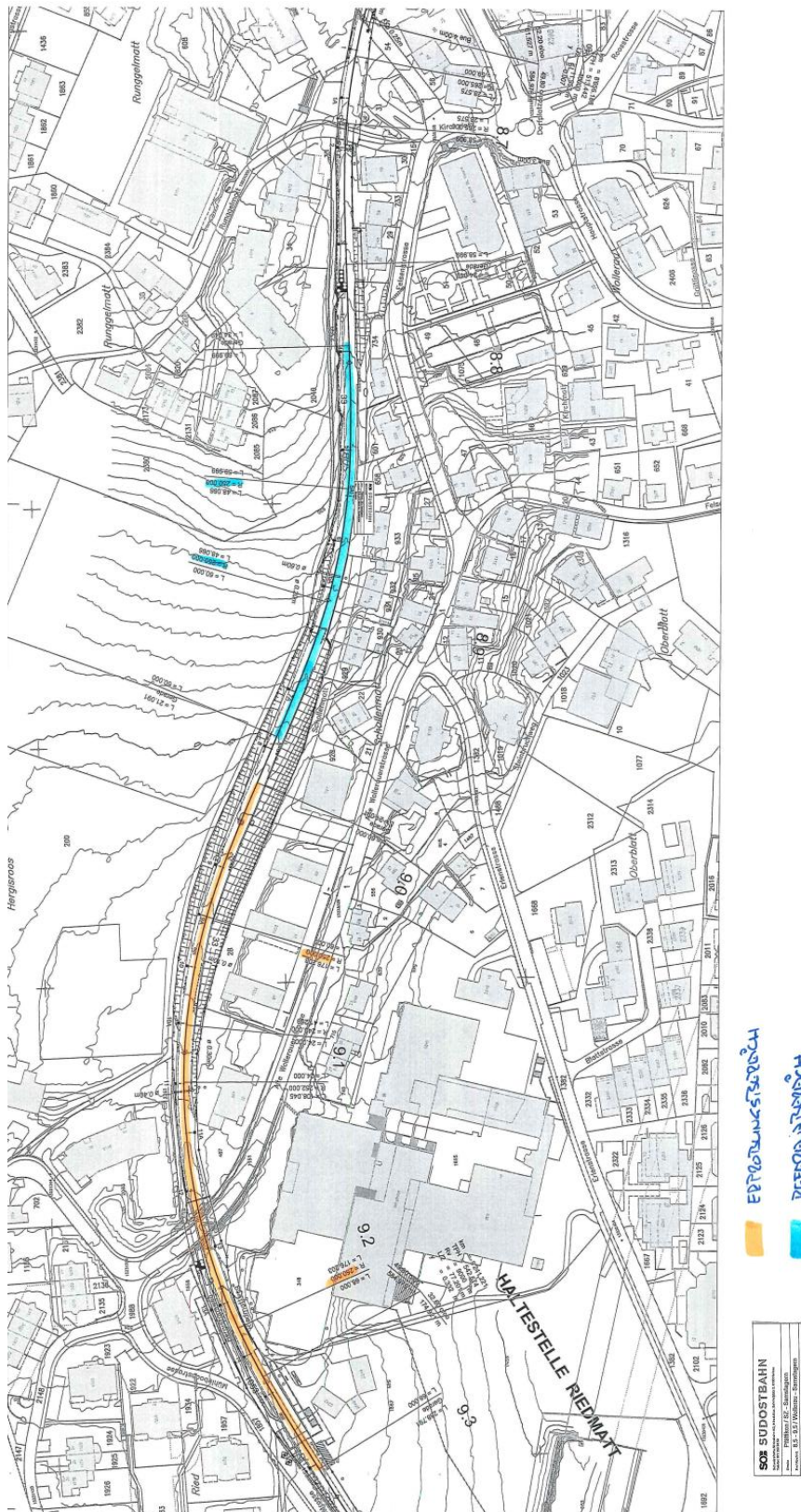


Abbildung 10-8: Abschnitte Einbauorte im Bogen bei Wollerau (SOB)





Bogen Riedmatt Blick Richtung Wollerau



Rauheitsmessung am Versuchsabschnitt Bogen Riedmatt



Versuchsstrecke Bogen Riedmatt Blick Richtung Bhf. Riedmatt



Flirt Traverso auf der Versuchsstrecke Bogen Riedmatt



Versuchsstrecke Bogen Riedmatt ab Pfeil mit BATEGU Zw umgerüstet



Versuchsabschnitt Bogen Riedmatt mit den beiden Messquerschnitten



Lichtschranken am Versuchsabschnitt Bogen Riedmatt Blick nach Wollerau



Versuchsabschnitt Bogen Riedmatt Blick nach Wollerau



Kontrollabschnitt Bogen Wollerau



Gültig ab 10.05.2009

Seite 781/1

Signale der Block- und Spurwechselstellen, Pfeiftafeln usw.			Kilometrierung d. Bahn km	Massgebende Neigung		Funktkanal	Abfahr-erlaub-nis	O					
km	Name	Bez.		‰	‰			Bremsverhältnis in %					
			4.0	6	8		Z78 1308	Pfäffikon SZ	80	80	80	80	80
			5.4	0	50			Freienbach SOB					
	(2 BUe)		7.5					<i>Wilen</i>					
			8.3	0	50			Wollerau	70	70	70	70	70
			9.3					<i>Riedmatt</i>					
	2		12.3					Samstagern					
			5.4	0	50		1323	Schindellegi-F.					
			8.3	0	45			Kaltenboden					
			9.9	3	45			<i>K 50</i>					
10.6	L		11.5	3	50			Biberbrugg¹⁾	80	80	80	80	80
			18.4					Altmatt					
	3		22.3	10	16			<i>Im 2</i>					
			25.7	50	0			Rothenthurm					
			27.1					<i>Biberegg</i>	70	70	70	65	60
	2							<i>km 28.1</i>		65	60	55	50
								<i>K 60</i>					
	EURO		30.8	46	0		1325	Sattel-Aegeri 3		70	70	65	60
								<i>Im 2</i>					
	2							<i>km 32.4</i>		65	60	55	50
								<i>K 60</i>					
			35.6	42	0			Steinerberg	65		65	60	55
								<i>Im 2</i>					
	EURO							<i>AnG Magaz. km 36.8</i>					
								<i>km 37.5</i>				65	65
			38.7			31 #	1302	Arth-Goldau					
1) Für alle Gleise zwischen Anfang Perrondach und dem Ende des Perrondachs Pfäffikon - Arth-Goldau Bahnüberganganlagen gelten in folgenden Fällen als gestört: - Bei einem Halt zwischen Dekungssigna, Streckengerät (Signum/EURO-ZUB) und Bahnüberganganlage - Bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit kleiner 10 km/h - Bei Rangierbewegungen													

Pfäffikon - Arth-Goldau

781

R 30131 © SBB AG

Abbildung 10-9: Auszug aus dem RADN Schweiz

A.5.1 Messgeräte

Sensorbezeichnung	Messquerschnitt	03.10.2019	31.10.2019	03.10.2019	31.10.2019
P1	Riedmatt1	P1	P1	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P2	Riedmatt1	P2	P2	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P3	Riedmatt1	P3	P3	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P4	Riedmatt1	P4	P4	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P5	Riedmatt2	P5	P5	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P6	Riedmatt2	P6	P6	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P7	Riedmatt2	P7	P7	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P11	Wollerau	P11	P11	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P12	Wollerau	P12	P12	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P13	Wollerau	P13	P13	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
A2	Riedmatt1	A_Rz	A_Rz	Kistler 8702B500	Kistler 8702B500
A3	Riedmatt1	A_Rz	A_Sz	Kistler 8702B500	Kistler 8702B50
A4	Riedmatt1		A_Ry		Kistler 8702B200
A5	Riedmatt2		A_Ry		Kistler 8702B200
A6	Riedmatt2	A_Rz	A_Ry	Kistler 8702B500	Kistler 8702B500
A7	Riedmatt2	A_Rz	A_Rz	Kistler 8702B500	Kistler 8702B500
A11	Wollerau	A_Rz	A_Rz	Kistler 8702B500	Kistler 8702B500
A12	Wollerau		A_Sz	Kistler 8702B50	Kistler 8702B50
A13	Wollerau		A_ry	Kistler 8702B200	Kistler 8702B200
DIG01	Riedmatt1	LS1		Baumer	
DIG02	Riedmatt1	LS2		Baumer	

Akustischer Kalibrator: B&K 4231 SN 3011597, Inventar 10191

A.5.2 Messprotokolle

Messprotokoll

Thema:

Optimierte Zwischenlage

Datum:

03.10.2019

Fahrzeug:

-

Projektnummer:

CH01-00151

Wetter

Zeit:

10.00

14.00

18.00

Wind [m/s]:

2

15

2

Windrichtung:

W

SW

W

Lufttemperatur [°C]:

12

18

16

Luftfeuchtigkeit [%]:

70

90

75

Wetter:

Luftdruck [hPa]:

Sensorik

[Sensormame - S.-Nr.]

k.A.

Typ/f-Bereich:

Kalibrator:

B&K Typ 4231

S-Nr.:

Teststrecke

Koordinaten

Kerzers

Hintergrundschallpegel [dB (A)]:

M 1 M 7 Testboger

Riedmatt

M 11 B

Wollerau

Teilnehmer

PROSE

Reto Bischof

Christian Czolbe

Sonstige

Laufnr.

Zeit

v[km/h]

M 11-13

M 1-7

M 13

M 1

M 2

Lötschberger 3-teilig:

0

P W mit Re465:

0

Bemerkungen:

10:52

60

000009

86.7

Flirt

Kalibration

11:05

60

000011

89.4

Flirt

11:11

65

000012

92.6

VAE

11:20

60

000013

86.7

Flirt

11:37

50

000014

88.8

Flirt

11:46

60

000015

85.0

Flirt

Traverso

11:48

60

000016

86.3

Flirt

12:06

45

000017

87.4

Flirt

12:09

70

000018

85.9

Flirt

Traverso

12:19

55

000019

86.5

Flirt

12:36

55

000020

84.7

Flirt

12:46

58

000021

91.4

VAE

12:49

60

000022

86.3

Flirt

13:04

55

000023

86.2

Flirt

13:08

70

000024

M T_000034

84.8

81.3

Flirt

Traverso

Kalibration

13:18

70

000025

M T_000035

84.4

80.4

Flirt

13:37

56

000026

M T_000040

85.1

79.7

Flirt

13:47

50

000027

M T_000041

91.5

85.5

VAE

13:50

65

000028

M T_000042

85.9

80.5

Flirt

14:04

55

000029

M T_000043

87.1

79.2

Flirt

14:08

70

000030

M T_000044

85.8

79.8

Flirt

Traverso

14:19

63

000031

M T_000045

86.7

78.4

Flirt

14:29

59

000032

M T_000046

85.0

83.0

Flirt

14:37

57

000033

M T_000047

84.6

81.5

Flirt

14:47

60

000034

M T_000048

85.3

82.1

Flirt

Traverso

14:49

59

000035

M T_000049

85.8

79.9

Flirt

15:04

54

000036

M T_000050

86.7

79.5

Flirt

15:10

68

000037

M T_000051

92.8

85.7

VAE

15:20

55

000038

M T_000052

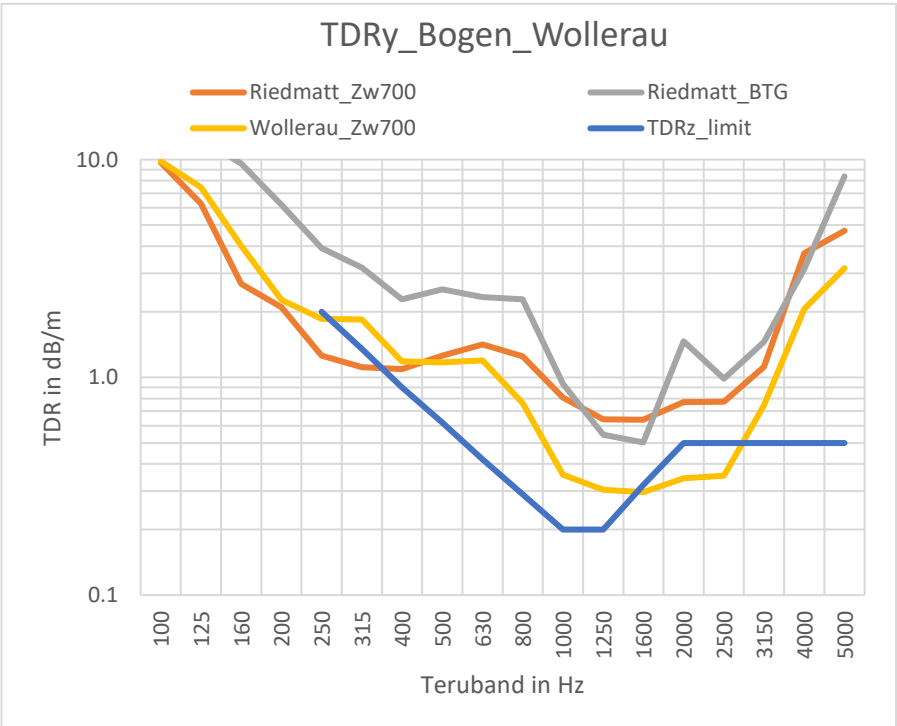
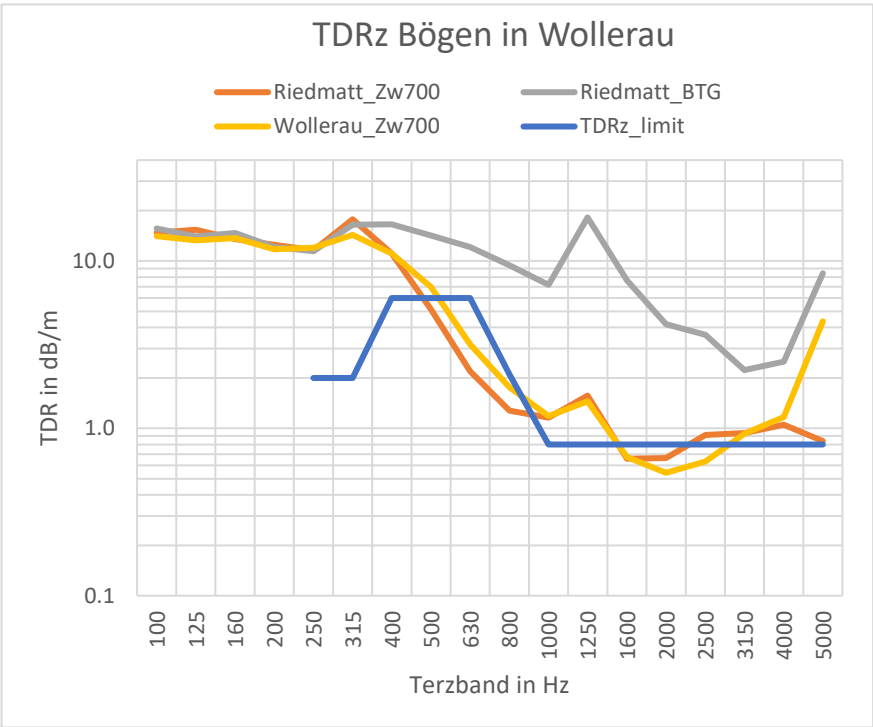
Messprotokoll

Thema: Optimierte Zwischenlage		Datum: 31.10.2019		Fahrzeug: -		Projektnummer: -		CH01-00151	
--------------------------------	--	-------------------	--	-------------	--	------------------	--	------------	--

Wetter Zeit: 10.00 14.00 18.00 Wind [m/s]: 2 15 2 Windrichtung: W SW W Lufttemperatur [°C]: 10 16 14 Luftfeuchtigkeit [%]: 70 90 75 Wetter: Luftdruck [hPa]:					Sensorik [Sensorname - S.-Nr.] k.A. Typ/f-Bereich: Kalibrator: B&K Typ 4231 S-Nr.:					Teststrecke Koordinaten: Kerzers Hintergrundscharallpegel [dB(A)]: M 1-M 7 Testbogen Riedmatt M 11-13 Wollerau					Teilnehmer PROSE: Hans Rudolf Graf Christian Czoilbe Sonstige:				
--	--	--	--	--	---	--	--	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Laufnr.	Zeit	v[km/h]	M 11-13	M 1-7	M 13	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6	M 7	M 8	M 9	M 10	M 11	M 12	M 14	M 15	M 16	M 17	M 18	M 19	M 20	M 21	M 22	M 23	M 24	M 25	M 26	M 27	M 28	M 29	M 30	M 31	M 32	M 33	M 34	M 35	M 36	M 37	M 38	M 39	M 40	M 41	M 42	M 43	M 44	M 45	M 46	M 47	M 48	M 49	M 50	M 51	M 52	M 53	M 54	M 55	M 56	M 57	M 58	M 59	M 60	M 61	M 62	M 63	M 64	M 65	M 66	M 67	M 68	M 69	M 70	M 71	M 72	M 73	M 74	M 75	M 76	M 77	M 78	M 79	M 80	M 81	M 82	M 83	M 84	M 85	M 86	M 87	M 88	M 89	M 90	M 91	M 92	M 93	M 94	M 95	M 96	M 97	M 98	M 99	M 100	M 101	M 102	M 103	M 104	M 105	M 106	M 107	M 108	M 109	M 110	M 111	M 112	M 113	M 114	M 115	M 116	M 117	M 118	M 119	M 120	M 121	M 122	M 123	M 124	M 125	M 126	M 127	M 128	M 129	M 130	M 131	M 132	M 133	M 134	M 135	M 136	M 137	M 138	M 139	M 140	M 141	M 142	M 143	M 144	M 145	M 146	M 147	M 148	M 149	M 150	M 151	M 152	M 153	M 154	M 155	M 156	M 157	M 158	M 159	M 160	M 161	M 162	M 163	M 164	M 165	M 166	M 167	M 168	M 169	M 170	M 171	M 172	M 173	M 174	M 175	M 176	M 177	M 178	M 179	M 180	M 181	M 182	M 183	M 184	M 185	M 186	M 187	M 188	M 189	M 190	M 191	M 192	M 193	M 194	M 195	M 196	M 197	M 198	M 199	M 200	M 201	M 202	M 203	M 204	M 205	M 206	M 207	M 208	M 209	M 210	M 211	M 212	M 213	M 214	M 215	M 216	M 217	M 218	M 219	M 220	M 221
---------	------	---------	---------	-------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

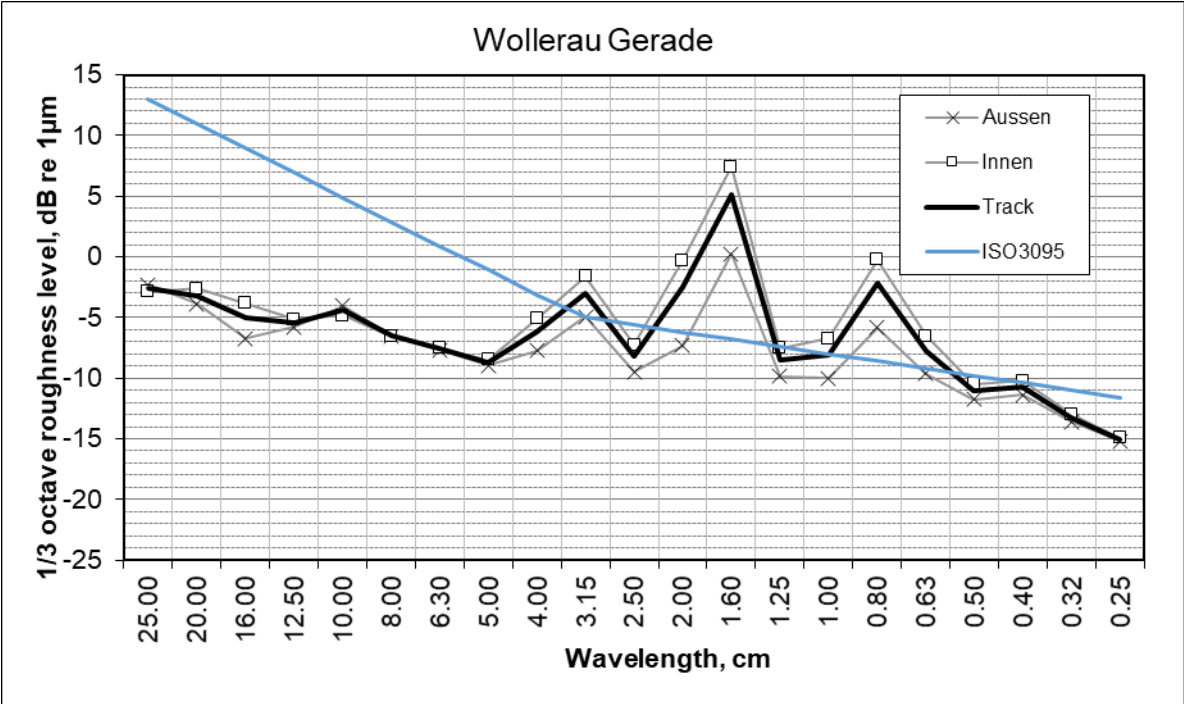
A.5.3 TDR-Ergebnisse

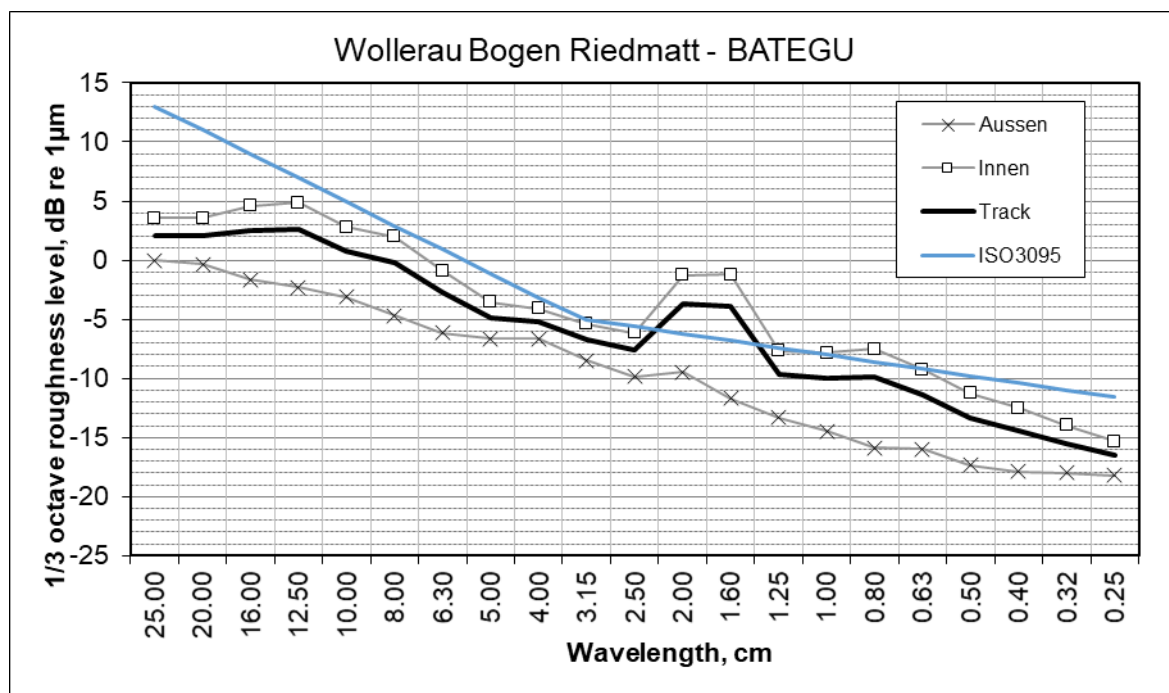
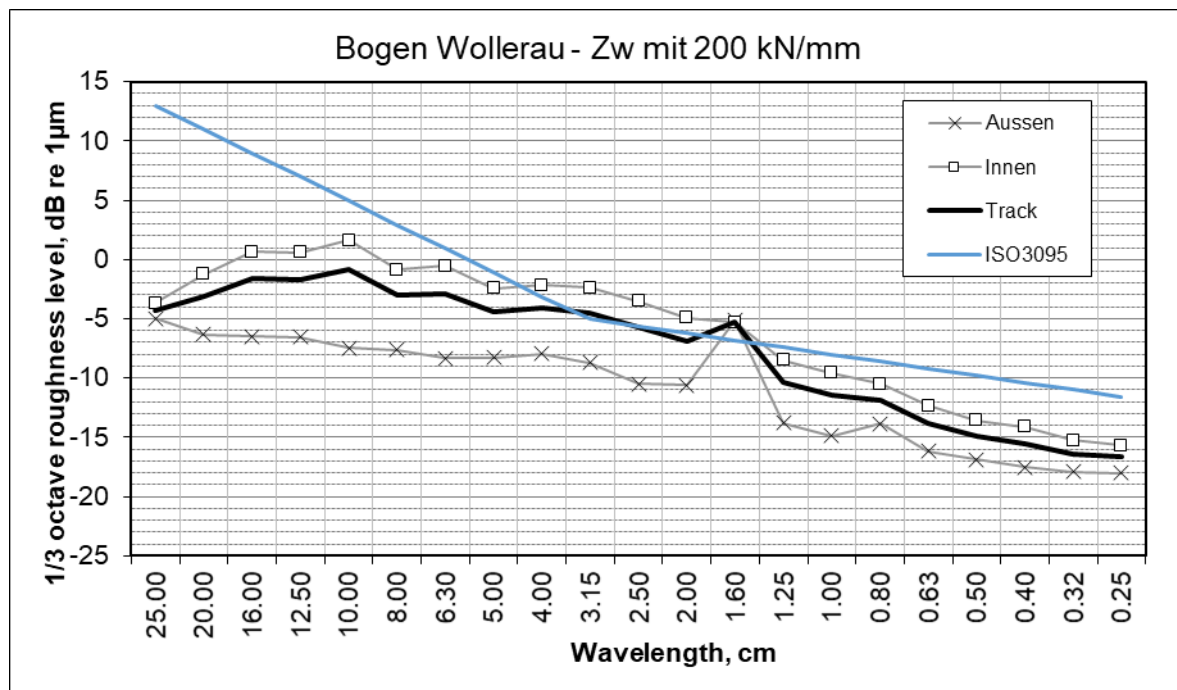


	Terz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Richtun	limit TDi	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	6.0	6.0	6.0	2.1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
z	w200kN	14.7	15.4	13.5	12.5	11.6	17.7	11.1	5.1	2.2	1.3	1.2	1.6	0.7	0.7	0.9	0.9	1.0	0.8
z	B200kN	15.6	14.0	14.7	12.1	11.4	16.4	16.5	14.2	12.1	9.4	7.2	18.2	7.7	4.2	3.6	2.2	2.5	8.4
z	w200kN	14.0	13.3	13.7	11.7	12.0	14.3	11.1	7.0	3.2	1.8	1.2	1.5	0.7	0.5	0.6	0.9	1.2	4.4
	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	1.4	0.9	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
Y	w200kN	9.7	6.3	2.7	2.1	1.3	1.1	1.1	1.3	1.4	1.3	0.8	0.6	0.6	0.8	0.8	1.1	3.7	4.7
Y	B200kN	13.7	12.4	9.6	6.2	3.9	3.2	2.3	2.5	2.3	2.3	0.9	0.5	0.5	1.5	1.0	1.5	3.2	8.4
Y	w200kN	9.8	7.5	4.0	2.3	1.9	1.8	1.2	1.2	1.2	0.8	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.7	2.1	3.2

dL	Terz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Z	w200kN	8.7	8.9	8.3	7.9	7.6	9.5	2.7	-0.7	-4.4	-2.2	1.6	2.9	-0.9	-0.8	0.6	0.7	1.2	0.2
Z	B200kN	8.9	8.5	8.7	7.8	7.6	9.1	4.4	3.7	3.1	6.5	9.5	13.6	9.8	7.2	6.6	4.4	5.0	10.2
Z	w200kN	8.5	8.2	8.4	7.7	7.8	8.5	2.7	0.7	-2.8	-0.8	1.7	2.6	-0.7	-1.7	-1.0	0.6	1.6	7.4
Z																			
Z																			
Y	w200kN	5.1	3.2	-0.5	0.2	-0.3	0.9	2.5	4.8	6.9	8.0	6.1	3.0	1.1	1.9	1.9	3.5	8.7	5.0
Y	B200kN	6.6	6.2	5.1	4.9	4.6	5.5	5.7	7.8	9.1	10.6	6.7	2.3	0.0	4.7	2.9	4.6	8.0	7.5
Y	w200kN	5.2	4.0	1.3	0.5	1.4	3.1	2.8	4.5	6.2	5.8	2.5	-0.2	-2.3	-1.6	-1.5	1.7	6.1	3.3

A.5.4 Schienenrauheiten





A.5.5 Schallpegel

1 = Wollerau, -1->Riedmatt									Vorbeifahrpegel LpAeq,Tp							
Typ	Datum	Zeit	File	Start	Ende	dt	Richtung	v_ist	7.5m	7.5m	7.5m	3.0m	3.0m	3.0m	3.0m	
				S	S	S		km/h	M1a	M5a	M4i	M2a	M6a	M3i	M7i	
									dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
Flirt	03.10.2019	15:36	T_000053	13.40	18.70	5.3	1	50	80.7	79.7	84.1	86.2	84.9	88.5	88.4	
Flirt	03.10.2019	17:04	T_000060	5.10	10.65	5.6	1	52	81.6	81.7	85.3	87.1	86.7	90.1	90.9	
Flirt	03.10.2019	15:04	T_000050	18.00	22.90	4.9	1	54	80.9	80.0	84.3	87.0	85.2	89.5	89.5	
Flirt	03.10.2019	13:37	T_000040	13.80	18.80	5.0	1	56	80.7	81.0	84.1	86.8	85.6	88.3	87.9	
Flirt	03.10.2019	14:04	T_000043	12.10	17.00	4.9	1	56	80.1	82.1	83.8	86.0	86.5	88.5	91.4	
Flirt	03.10.2019	16:04	T_000056	11.40	16.60	5.2	1	57	81.2	80.0	85.7	87.2	84.9	90.6	89.2	
Flirt	03.10.2019	14:37	T_000047	18.50	23.30	4.8	1	57	82.0	83.8	84.3	87.8	88.9	89.2	92.8	
Flirt	03.10.2019	14:29	T_000046	20.12	24.72	4.6	1	59	83.1	82.2	88.0	89.7	86.7	93.0	92.0	
Flirt	03.10.2019	15:21	T_000052	16.90	21.70	4.8	-1	62	76.4	79.2	80.3	84.2	84.6	84.6	86.6	
Flirt	03.10.2019	14:19	T_000045	18.44	23.00	4.6	-1	63	77.8	79.4	81.7	83.8	84.5	86.2	88.0	
Flirt	03.10.2019	16:20	T_000058	10.30	15.60	5.3	-1	64	77.2	78.0	80.6	82.8	83.3	84.6	85.7	
Flirt	03.10.2019	15:48	T_000055	13.30	18.60	5.3	-1	64	76.1	77.1	79.8	81.4	82.4	84.5	86.6	
Flirt	03.10.2019	16:49	T_000059	9.20	13.85	4.7	-1	69	78.7	79.5	81.5	84.4	85.0	86.2	86.9	
Flirt	03.10.2019	14:50	T_000049	8.00	12.23	4.2	-1	69	78.0	78.8	81.7	84.4	84.1	86.7	86.7	
Flirt	03.10.2019	13:50	T_000042	22.00	26.30	4.3	-1	69	78.5	79.7	81.8	84.5	84.9	86.4	87.2	
Flirt	03.10.2019	13:18	T_000035	5.60	9.70	4.1	-1	70	78.4	78.7	81.9	84.6	85.0	87.0	87.2	
FlirtTra	03.10.2019	15:46	T_000054	13.60	23.40	9.8	1	58	70.0	78.6	79.8	83.7	84.0	83.9	86.2	
FlirtTra	03.10.2019	14:47	T_000048	12.00	21.50	9.5	1	60	82.2	81.0	86.6	88.9	86.5	92.5	91.5	
FlirtTra	03.10.2019	17:10	T_000064	12.60	21.00	8.4	-1	67	78.5	78.9	81.8	63.4	84.1	74.4	86.5	
FlirtTra	03.10.2019	13:09	T_000034	10.81	18.65	7.8	-1	70	79.3	80.4	81.5	85.7	86.1	86.0	87.2	
FlirtTra	03.10.2019	14:09	T_000044	10.80	19.00	8.2	-1	70	77.8	78.2	82.0	83.5	83.5	86.3	85.8	
VAE	03.10.2019	13:47	T_000041	15.00	27.30	12.3	1	57	86.2	85.9	90.8	91.7	90.6	94.8	94.7	
VAE	03.10.2019	15:11	T_000051	12.00	22.90	10.9	-1	68	84.0	84.7	88.8	91.2	90.2	93.1	93.3	
VAE	03.10.2019	16:12	T_000057	12.60	23.13	10.5	-1	71	86.7	86.9	91.2	92.2	91.8	95.1	95.7	
Flirt	31.10.2019	12:05	T_000079	19.40	25.00	5.6	1	51	79.2	80.5	83.3	85.2	87.7	88.3	92.3	
Flirt	31.10.2019	16:05	T_000108	19.40	24.90	5.5	1	53	81.2	81.1	86.4	87.5	87.7	91.0	90.4	
Flirt	31.10.2019	15:05	T_000101	19.50	24.50	5.0	1	54	77.5	79.5	81.5	83.9	85.8	86.6	89.8	
Flirt	31.10.2019	13:37	T_000088	19.40	24.90	5.5	1	55	83.1	82.9	88.4	89.5	90.4	93.8	94.3	
Flirt	31.10.2019	14:04	T_000093	19.40	24.70	5.3	1	56	76.7	77.5	80.6	82.8	84.4	85.4	87.1	
Flirt	31.10.2019	14:36	T_000097	19.50	24.80	5.3	1	56	76.5	77.3	79.5	82.4	83.5	83.9	84.8	
Flirt	31.10.2019	13:04	T_000085	19.40	24.60	5.2	1	57	77.8	77.7	81.0	83.4	85.0	86.2	88.3	
Flirt	31.10.2019	12:37	T_000082	1.40	6.70	5.3	1	62	77.1	79.7	80.3	83.0	86.7	84.2	90.6	
Flirt	31.10.2019	15:36	T_000104	19.40	24.80	5.4	1	62	77.6	77.2	81.3	83.9	83.7	86.9	85.8	
Flirt	31.10.2019	12:49	T_000084	19.40	24.90	5.5	-1	55	74.3	73.5	76.5	80.9	81.4	82.0	82.1	
Flirt	31.10.2019	14:20	T_000095	19.50	25.00	5.5	-1	56	75.3	75.5	77.2	81.4	83.0	81.8	82.8	
Flirt	31.10.2019	13:20	T_000087	19.50	24.70	5.2	-1	58	75.8	76.1	77.3	82.2	82.6	82.6	82.8	
Flirt	31.10.2019	15:50	T_000107	19.40	25.00	5.6	-1	59	73.8	74.6	76.1	79.7	81.3	80.8	81.7	
Flirt	31.10.2019	15:21	T_000103	19.50	24.50	5.0	-1	60	75.4	75.8	79.2	81.5	82.4	83.6	83.8	
Flirt	31.10.2019	14:49	T_000099	19.40	24.60	5.2	-1	61	72.8	73.3	75.3	79.4	80.0	79.9	80.0	
Flirt	31.10.2019	13:51	T_000091	7.50	12.10	4.6	-1	64	74.5	75.7	77.3	80.8	82.5	81.9	83.0	
Flirt	31.10.2019	12:19	T_000081	19.40	24.30	4.9	-1	64	75.9	74.6	79.8	82.9	82.9	85.4	83.7	
Flirt	31.10.2019	16:20	T_000113	19.40	24.40	5.0	-1	65	75.7	76.3	77.2	82.3	83.1	83.0	83.8	
Flirt	31.10.2019	14:57	T_000100	19.50	24.40	4.9	-1	66	75.7	75.8	79.0	82.2	82.3	83.6	82.9	
FlirtTra	31.10.2019	14:28	T_000096	19.40	28.90	9.5	1	58	76.1	76.4	78.7	82.3	83.0	83.1	82.6	
FlirtTra	31.10.2019	12:46	T_000083	19.40	29.20	9.8	1	58	78.8	78.4	81.5	84.5	85.6	87.6	87.9	
FlirtTra	31.10.2019	13:47	T_000090	19.50	29.20	9.7	1	58	80.2	79.4	83.1	85.9	86.2	89.1	88.6	
FlirtTra	31.10.2019	15:08	T_000102	19.50	27.90	8.4	-1	66	74.8	74.7	77.6	81.1	81.5	82.3	81.9	
FlirtTra	31.10.2019	16:10	T_000109	19.40	27.90	8.5	-1	67	74.8	74.5	77.7	80.9	81.3	82.3	81.8	
VAE	31.10.2019	14:46	T_000098	19.50	33.20	13.7	1	54	83.5	82.7	86.4	89.8	89.5	91.8	91.2	
VAE	31.10.2019	15:48	T_000106	19.40	32.50	13.1	1	56	85.9	84.7	88.2	92.1	91.8	93.8	93.0	
VAE	31.10.2019	13:10	T_000086	19.50	31.20	11.7	-1	64	83.8	83.8	86.2	90.0	90.8	91.6	91.2	
VAE	31.10.2019	14:10	T_000094	19.60	30.80	11.2	-1	66	83.3	83.2	85.8	89.4	90.1	91.0	90.7	
VAE	31.10.2019	12:08	T_000080	19.40	30.30	10.9	-1	68	83.0	81.3	85.8	89.5	89.6	90.7	90.4	

A.6 Feldversuch BATEGU UIC60 auf Geraden BLS



Testabschnitt mit BATEGU Zwischenlagen bei Kerzers UIC60 Schiene



Testabschnitt mit BATEGU Zwischenlagen Richtung Kerzers



Sicht auf alle drei Messabschnitte links Bategu, mitte Zw700 und rechts Zw687a



Testabschnitt mit BATEGU Zwischenlagen bei Kerzers



Versuchsabschnitt km 24.9 Vormessung Dezember 2019



Versuchsabschnitt km 24.9 mit EWIII



Versuchsabschnitt km 24.9 Nachmessung Juni 2020



Versuchsabschnitt km 24.9 Nachmessung Juni 2020 mit Sensor für Schieneneinsenkung



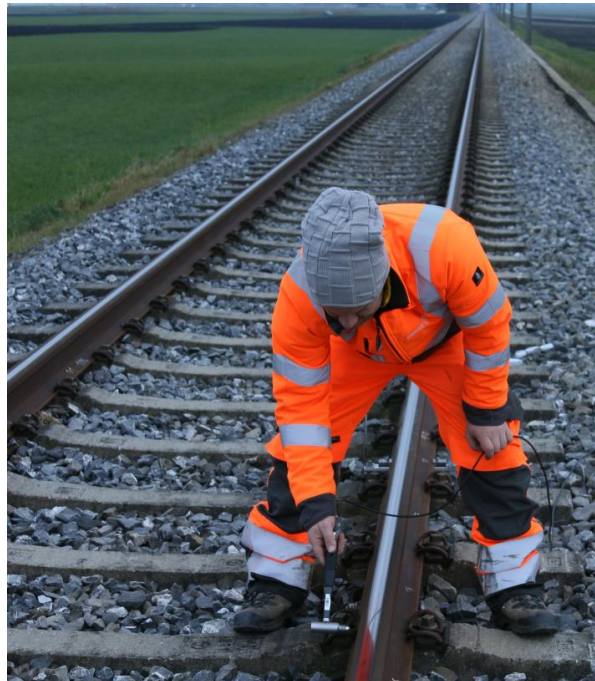
Triaxiale Sensoren für die Erschütterungsmessung an einem Aluminiumwinkel im Erdboden



Versuchsabschnitt km 24.9 Nachmessung Juni 2020 mit NINA 3T



Schientemperatur während TDR Messung am 26.06.2020 um 12.30



Messung der TDR an den Abschnitten im Dezember 2019



Kontrollabschnitt km 24.5 mit harter Zwischenlage und Nina 3T



Kontrollabschnitt km 24.5 mit harter Zwischenlage und Nina 3T



Kontrollabschnitt km 24.66 mit weicher Zwischenlage



Kontrollabschnitt km 24.66 mit weicher Zwischenlage und Sensoren an Schiene und Schwelle



Kontrollabschnitt km 24.66 mit weicher Zwischenlage und Güterzug



Schienenrauheitsmessung im Dezember 2019 und Fahrspiegel

A.6.1 Messgeräte

Sensorbezeichnung	Messquerschnitt	04.12.2019	04.03.2020	26.06.2020	Typ 4.12.2019 & 4.3.2020	Typ 26.06.2020
P01	1	M1_7.5_S	M1_7.5_S	M1_7.5_S	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P02	1	M1_7.5_N	M1_3.0_S	M1_3.0_S	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P03	1	M1_3.0_S	M1_7.5_N	M1_7.5_N	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P04	2	M2_7.5_S	M2_7.5_S	M2_7.5_S	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P05	2	M2_7.5_N	M2_3.0_S	M2_3.0_S	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P06	2	M2_3.0_S	M2_7.5_N	M2_7.5_N	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P11	3	M3_7.5_S	M3_7.5_S	M3_7.5_S	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P12	3	M3_3.0_S	M3_3.0_S	M3_3.0_S	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
P13	3	M3_7.5_N	M3_7.5_N	M3_7.5_N	B&K 4189 + 2671 ICP	B&K 4189 + 2671 ICP
A01	1	A1_Rz	A1_Rz	A1_Rz	Kistler 8702B500	B&K 4513
A02	1	A1_Sz	A1_Sz	A1_Sz	Kistler 8702B50	Kistler 8702B50
A03	1	A2_Rz	A1_Ry	A1_Ry	Kistler 8702B500	B&K 4513
A04	2	A2_Sz	A2_Rz	A2_Rz	Kistler 8702B500	B&K 4513
A05	2		A2_Sz	A2_Sz	Kistler 8702B50	Kistler 8702B50
A06	2		A2_Ry	A2_Ry	Kistler 8702B500	B&K 4514
A11	3	A3_Rz	A3_Rz	A3_Rz	Kistler 8702B500	B&K 4514
A12	3	A3_Sz	A3_Sz	A3_Sz	Kistler 8702B50	Kistler 8702B50
A13	3	A3_Ry	A3_Ry	A3_Ry	Kistler 8702B500	B&K 4513
DIG01	1	LS1			Baumer	
DIG02	1	LS2			Baumer	
S2	2	B&K disp			MM 0004	
V01	1			V1_8.0x	V1_8.0x	B&K 4506 500mV/g
V02	1			V1_8.0y	V1_8.0y	
V03	1			V1_8.0z	V1_8.0z	
V04	2			V2_8.0x	V2_8.0x	
V05	2			V2_8.0y	V2_8.0y	
V06	2			V2_8.0z	V2_8.0z	B&K 4506 500mV/g
V11	3			V3_8.0x	V3_8.0x	B&K 4507 1000mV/g
V12	3			V3_8.0y	V3_8.0y	B&K 4507 1000mV/g
V13	3			V3_8.0z	V3_8.0z	B&K 4507 1000mV/g
D01	1			D1_S1	D1_S1	Baumer IR12.D04S
D02	1			D1_S2	D1_S2	Baumer IR12.D04S
D05	2			D2_S1	D2_S1	Baumer IR18.D08L
D06	2			D2_S2	D2_S2	Baumer IWRM 18
D11	3			D3_S1	D3_S1	Baumer IR18.D08L
D12	3			D3_S2	D3_S2	Baumer IWRM 18

Akustischer Kalibrator: B&K 4231 SN 3011597, Inventar 10191

A.6.2 Messprotokolle

Messprotokoll											
Thema: Optimierte Zwischenlage			Datum: 04.12.2019		Fahrzeug: -		Projektnummer: CH01-00151				
Wetter			Sensorik (Sensorname - S-Nr.)			Teststrecke			Teilnehmer		
Zeit: 1100 14:35 16:00			k.A.			Koordinaten			PROSE Christian Czolbe		
Wind [m/s] 14 0.4 0.8						Hintergrundschallpegel [dB(A)]:			Tobias Wyss		
Windrichtung W SW W						Fahrzeug:			Sonstige		
Lufttemperatur [°C] 2.5 6.5 4.7						Seriennummer					
Luftfeuchtigkeit [%] 85 84 82			Typ/I-Bereich: Kalibrator:			Kilometerstand					
Wetter bewölkt bewölkt bewölkt			B&K, Typ 4231			Zugkomposition					
Luftdruck [hPa] 974 972 973			S-Nr.:			Zugausrichtung					
										Lötischberger 3-teilig; 11	
										PW mit Re465: 7	
										Bemerkungen:	
										Kalibration P01	
										Kalibration P02 + Zugvorbeifahrt	
										Kalibration P03	
										Zug aus Kerzers Lötischberger 3-teilig	
										Zug aus Müntschemier PW mit Re465	
										Kalibration P06	
										Kalibration P05	
										Kalibration P04	
										Rauschen Unbrauchbar	
										Zug aus Müntschemier Lötischberger 3-teilig	
										Zug aus Kerzers Lötischberger 3-teilig	
										Zug aus Müntschemier PW mit Re465	
										Zug aus Kerzers PW mit Re465	
										Zug aus Müntschemier Lötischberger 3-teilig	
										Zug aus Kerzers Lötischberger 3-teilig	
										Umgebungsgeräuschmessung	
										Rauschen Unbrauchbar	
										Rauschen Unbrauchbar	
										Zug aus Müntschemier Lötischberger 3-teilig	
										Zug aus Kerzers Lötischberger 3-teilig	
										Zug aus Müntschemier PW mit Re465	
										Zug aus Kerzers PW mit Re465	
										Baudiensttraktor BLS	
										Zug aus Müntschemier Lötischberger 3-teilig	
										Zug aus Kerzers Lötischberger 3-teilig	
										Zug aus Müntschemier Güterzug mit Trax	
										Zug aus Müntschemier PW mit Re465	
										Zug aus Kerzers PW mit Re465	
										Zug aus Müntschemier Lötischberger 3-teilig	
										Kalibration P06	
										Kalibration P05	
										Kalibration P04	
										Kalibration P03	
										Kalibration P02	
										Kalibration P01	
										Zug aus Kerzers Lötischberger 3-teilig	

Messprotokoll

Thema: Optimierte Zwischenlage		Datum: 04.03.2020		Fahrzeug: -		Projektnummer: CH01-00151	
--------------------------------	--	-------------------	--	-------------	--	---------------------------	--

Wetter				Sensorik [Sensormame - S.-Nr.]		Teststrecke		Teilnehmer	
Zeit:	1100	1415	1500	k.A.		Koordinaten	Kerzers	PROSE	Christian Czolbe
Wind [m/s]	2	2	2			Hintergrundschallpegel [dB(A)]:			Hansrudolf Graf
Windrichtung	W	SW	W			Fahrzeug:		Sonstige	
Lufttemperatur [°C]	4	7	8			Seriennummer			
Luftfeuchtigkeit [%]	80	80	80	Typ/f-Bereich: Kalibrator:		Kilometerstand			
Wetter	bewölkt	bewölkt	bewölkt	B&K, Typ 4231		Zugkomposition			
Luftdruck [hPa]	974	972	973	S-Nr.: 2673438		Zugausrichtung			

Laufnr.	Zeit	v[km/h]	CRONOS-File	Lötschberger 3-teilig: 0	
				PW mit Re465: 0	
				Bemerkungen:	
	14:18	-	Trace00002		Kal1 Süd 7.5
	14:19	-	Trace00003		Kal3 Süd 3
	14:22	-	Trace00004		Kal2 Nord 7.5
	14:22	120	Trace00005		NINA 3T 120
	14:32	125	Trace00006		NINA 3T 125
	14:35	80	Trace00007		Güterzug 80
	14:45	122	Trace00008		EWIII 122
	-	-	Trace00009		Kal4 Süd 7.5
	-	-	Trace00010		Kal5
	-	-	Trace00011		Kal6
	15:12	122	Trace00012		EWIII 122
	15:21	125	Trace00013		NINA 3T 125
	15:32	122	Trace00014		NINA 3T 122
	15:46	125	Trace00015		EWIII 125
	16:12	95	Trace00016		EWIII 95
	16:24	120	Trace00017		NINA 3T 120
	16:32	130	Trace00018		NINA 3T 130
	16:46	137	Trace00019		EWIII 137
	17:02	121	Trace00020		NPZ 121
	17:12	126	Trace00021		EWIII 126
	17:22	112	Trace00022		NINA 3T 112
	17:31	122	Trace00023		NINA 3T 122
	17:41	94	Trace00024		EWIII 94.3
	17:45	122	Trace00025		EWIII 122
	17:56	119	Trace00026		NPZ 119
	18:02	105	Trace00027		NPZ 105
	18:12	122	Trace00028		EWIII 122
	18:06	58	Trace00029		Kal1 Süd 7.5
	18:07	101	Trace00030		Kal3 Süd 3
	18:08	109	Trace00031		Kal2 Nord 7.5
	18:10	120	Trace00032		Kal5
	18:13	-	Trace00033		EWIII 122
	18:16	-	Trace00034		Kal 4+6
	18:21	-	Trace00035		NINA 3T 125
	18:32	-	Trace00036		NINA 3T 100
	18:46	-	Trace00037		EWIII 115
	18:56	-	Trace00038		NPZ 115
	19:02	-	Trace00039		NPZ 120
	19:13	-	Trace00040		EWIII 125
	19:22	114	Trace00041		NINA 3T 100

Messprotokoll

Thema:Optimierte Zwischenlage

Datum:25.06.2019

Fahrzeug:-

Projektnummer:CH01-00151

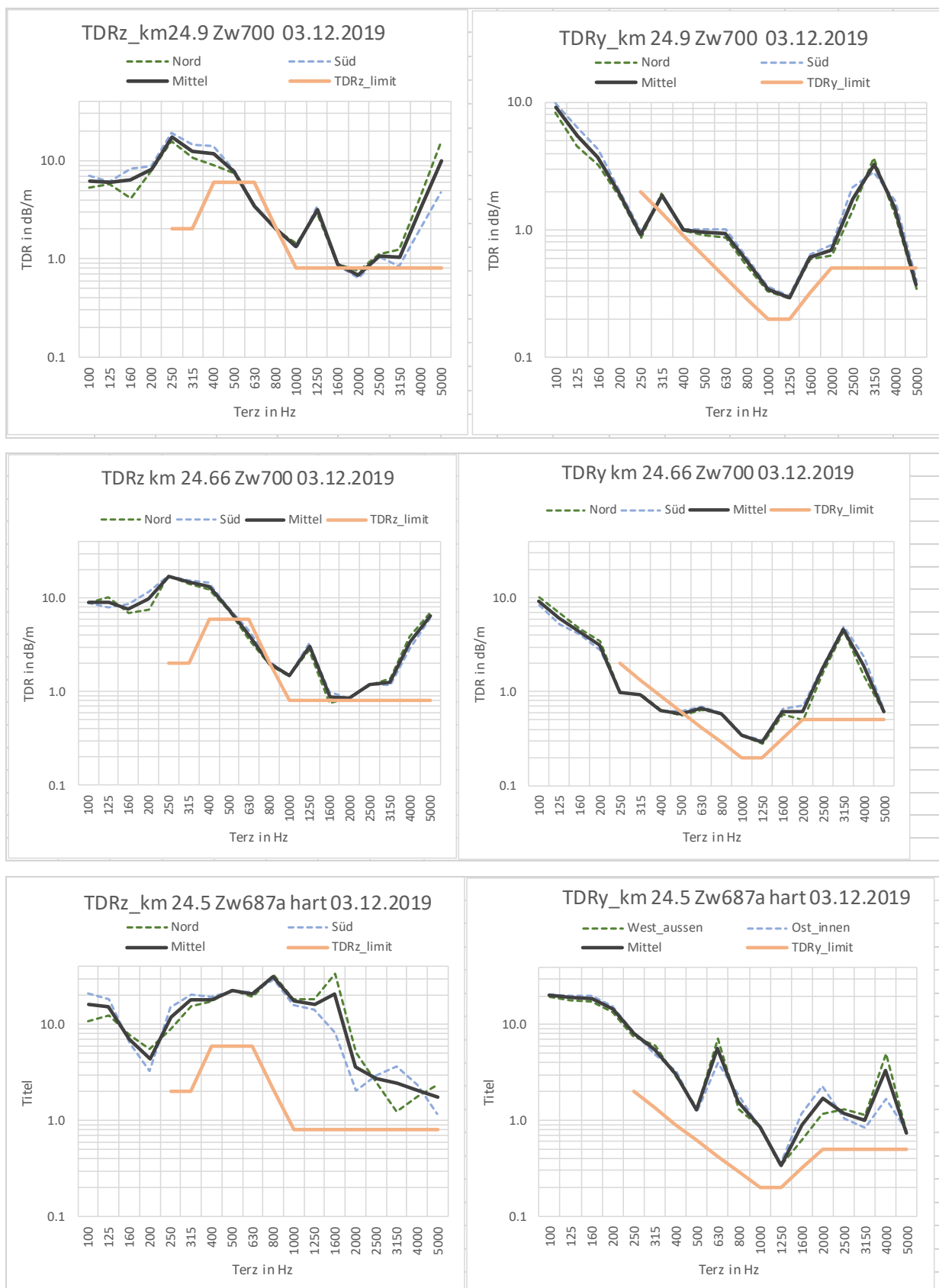
Wetter		25.6	25/26.6	26.6	Sensorik		[Sensormame - S.-Nr.]		Teststrecke		Teilnehmer	
Zeit:	12.00	0.00	12.00		k.A.				Koordinaten	Kerzers	PROSE	Hans Rudolf Graf
Wind [m/s]	2	15	2						Hintergrundschallpegel [dB(A)]:		Christian Czolbe	
Windrichtung	W	SW	W								Sonstige	
Lufttemperatur [°C]	28	36	27						M1harte Zw.		km 24.60588	
Luftfeuchtigkeit [%]	70	90	75		Typ/I-Bereich:		Kalibrator:		M2 weiche Zw		km 24.6552	
Wetter	sonne	nacht	sonne				B&K Typ 4231		M3 BTG Zw		km 24.89953	
Luftdruck [hPa]							S-Nr.:					

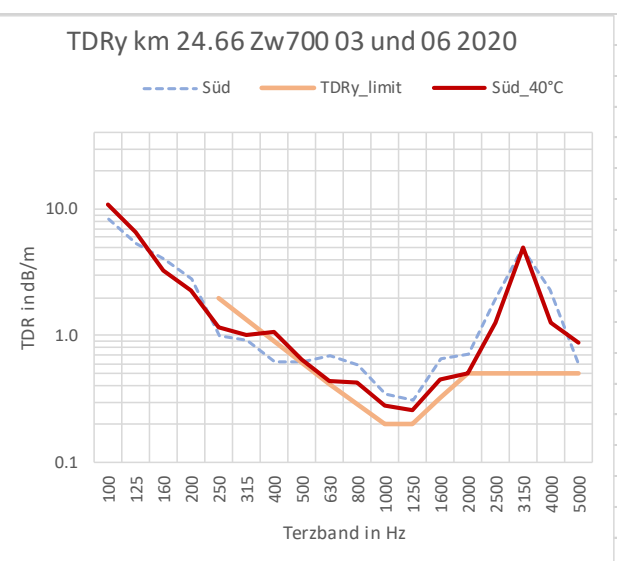
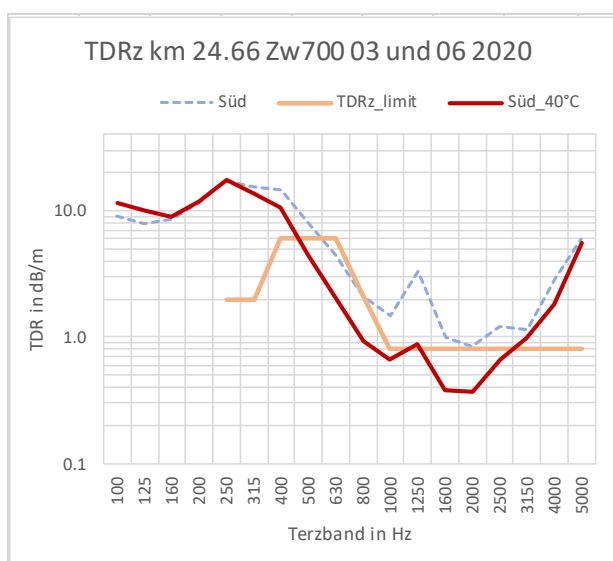
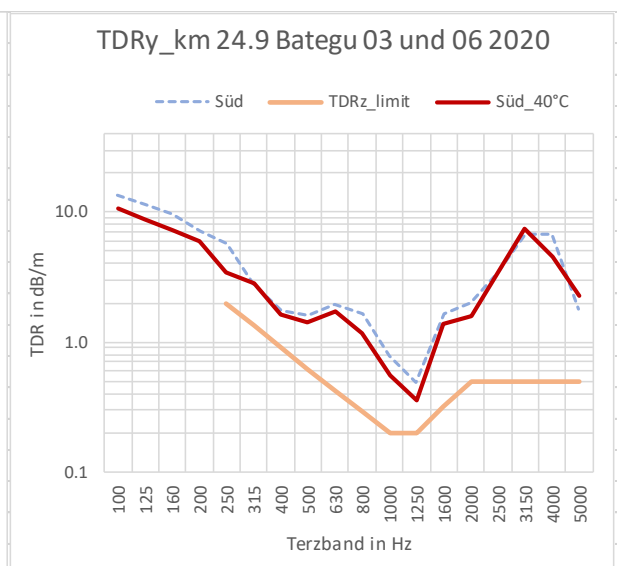
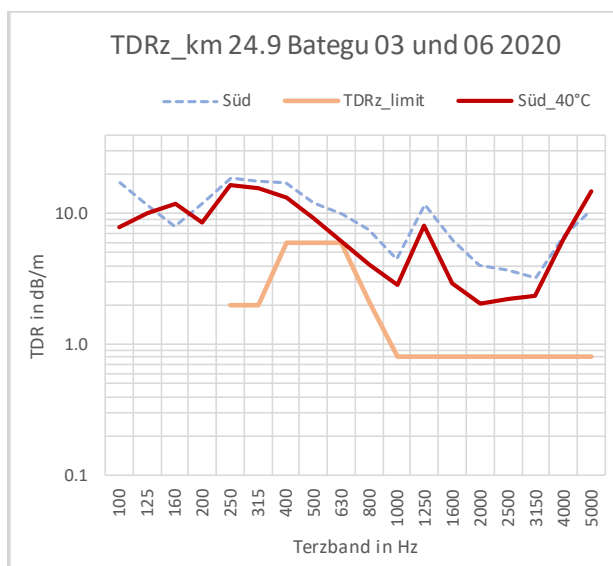
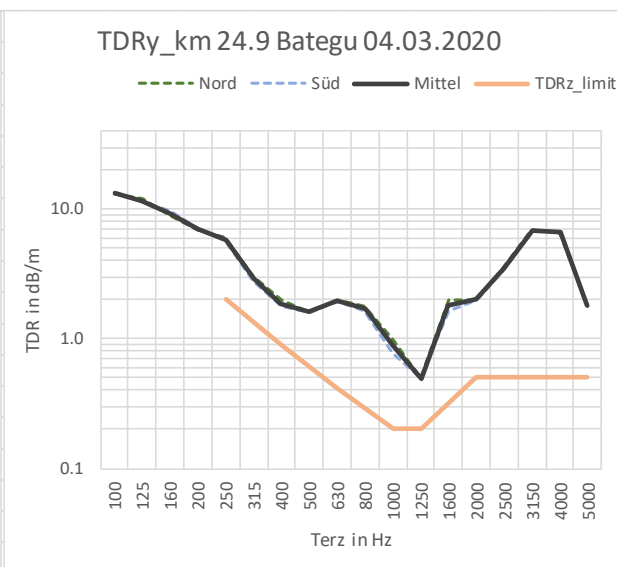
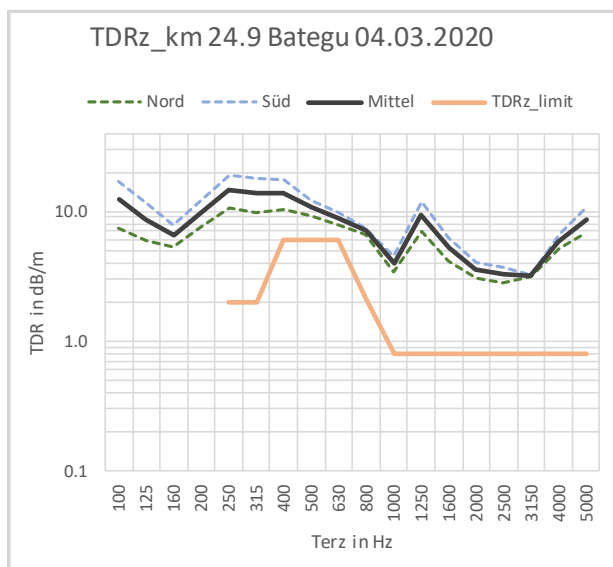
			h+w	BTG								Lötschberger 3-teilig:	0
			M1 M2	M3								PW mit Re465:	0
Laufnr.	Zeit	v[km/h]										Bemerkungen:	
	14:14	120										EWIII	120
	14:24	120										NINA 3T	120
	14:34	120										NINA 3T	120
	14:37	100										GZ	99.7
	14:47	100										EWIII	100
	15:14	120										EWIII	120
	15:22	120										NINA 3T	120
	15:34	120										NINA 3T	120
	15:47	116										EWIII	116
	16:13	116	13									EWIII	116
	16:25	120	14									Nina 3T	120
	16:35	120	15									Nina 3T	120
	16:48	116	16									EWIII	116
	17:03	80	17									Traktor	80
	17:14	116	18									EWIII	116
	17:23	120	19									Nina 3T	120
	17:28	98	20									GZ	97.5
	17:34	111	21									Nina 3T	111
	17:44	67	22									Nina 3T+T	67.2
	17:48	108	23									EWIII	108
	17:57	111	24									NPZ	111
	18:04	102	25									Nina 3T+T	102
	18:13	125	26									EWIII	125
	18:23	125	27									Nina 3T	125
	18:34	111	28									Nina 3T	111
	18:47	112	29									EWIII	112
	18:58	110	30									Nina 3T+T	110
	19:03	81	31									NPZ	81.4
	19:14	120	32									EWIII	120
	19:23	111	33									Nina 3T	111
	19:34	120	34									Nina 3T+T	120
	19:48	111	35									EWIII	111
	19:59	114	36									NPZ	114
	20:03	101	37									Nina 3T+T	101
	20:13	123	38									EWIII	123
	20:22	132	39									Nina 3T	132
	20:34	115	40									Nina 3T	115
	20:36	0	41										Calib M 1
	20:37	0	42										Calib M 2
	20:38	0	43										Calib M 3
	20:40	0	44										Calib M 4
	20:41	0	45										Calib M 5
	20:42	0	46										Calib M 6
	20:47	131	47									EWIII	131
	0	118	48									Nina 3T+T	118
	0	125										EWIII	125
	0	131										Nina 3T	131
	0	114										Nina 3T	114
	0	125										EWIII	125
	0	117	49									EWIII	117
	0	120	50									Nina 3T	120

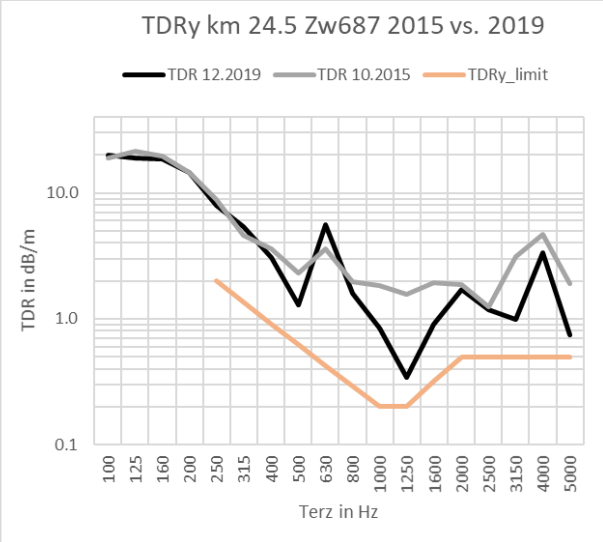
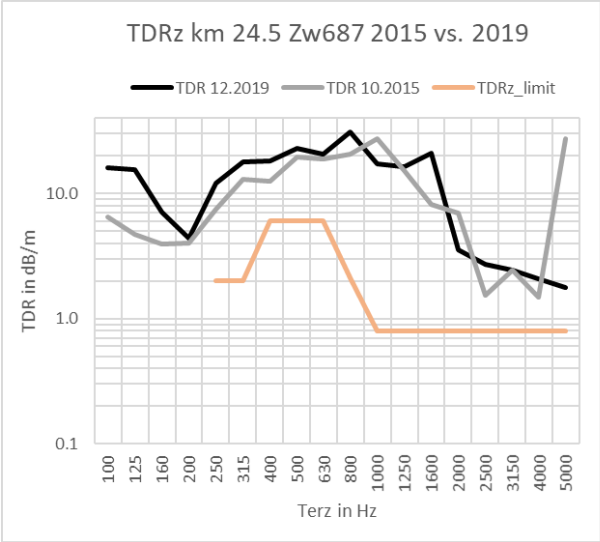
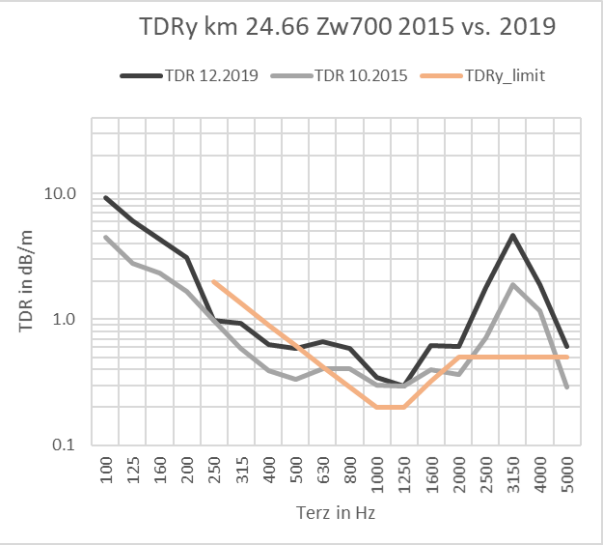
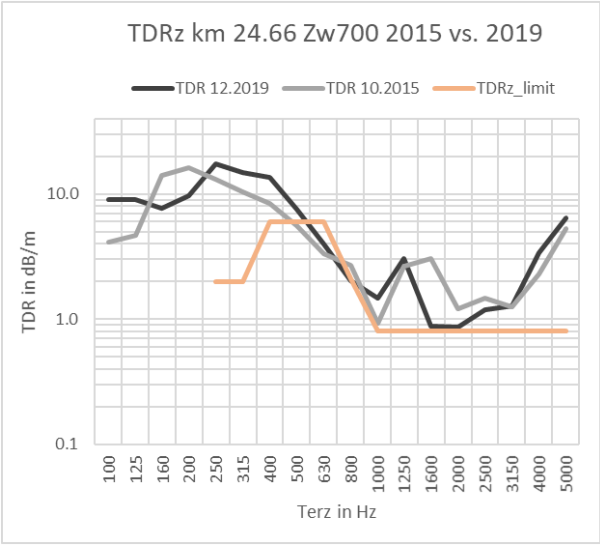
Messprotokoll

Thema: Optimierte Zwischenlage		Datum: 25.06.2019		Fahrzeug: -		Projektnummer: CH01-00151	
Wetter		25.6.		25/26.6.		26.6.	
Zeit:		12.00		0.00		12.00	
Wind [m/s]		2		15		2	
Windrichtung		W		SW		W	
Lufttemperatur [°C]		28		16		27	
Luftfeuchtigkeit [%]		70		90		75	
Wetter		sonne		nacht		sonne	
Luftdruck [hPa]							
Sensorik		[Sensorname - S.-Nr.]					
k.A.							
Teststrecke		Koordinaten		Kerzers			
Hintergrundschallpegel [dB(A)]:							
M1harte Zw.		km 24.60588					
M2 weiche Zw.		km 24.6552					
M3 BTG Zw.		km 24.89953					
Teilnehmer		PROSE		Hans Rudolf Graf			
Sonstige				Christian Czolbe			
Typf-Bereich:		Kalibrator:		B&K Typ 4231		S-Nr.:	
h+w		BTG					
M1 M2		M3					
v[km/h]							
Zeit							
Laufnr.							
20:58		0					
21:13		0					
21:22		0					
21:33		117		51		100049	
21:47		120		52		100050	
22:13		106		53		100051	
22:23		125		54		100052	
22:33		117		55		100053	
22:47		131		56		100054	
23:15		102		57		100055	
23:23		118		58		100056	
23:33		115		59		100057	
23:42		114		60		100058	
23:47		122		61		100059	
00:07		86		62		100060	
00:30		122		63		100061	
00:47		120		64		100062	
00:54		129		65		100063	
0							
01:16		120		66		100064	
05:32		129		67		100065	
05:51		127		68		100066	
05:57		117		69		100067	
06:05		102		70		100068	
06:15		120		71		100069	
06:23		127		72		100070	
06:34		108		73		100071	
06:46		129		74		100072	
06:58		117		75		100073	
07:14		122		76		100074	
07:17		118		77		100075	
07:22		117		78		100076	
07:33		115		79		100077	
07:36		103		80		100078	
07:46		114		81		100079	
08:13		122		82		100080	
08:22		127		83		100081	
08:27		91		84		100082	
08:33		118		85		100083	
0		0				100084	
0		0				100085	
0		0				100086	
08:48		129		86		100087	
09:13		117		87		100088	
09:24		125		88		100089	
9:30		0					
09:34		120		89		100090	
09:47		114		90		100091	
10:13		123		91		100092	
10:23		127		92		100093	
10:30		0					
10:33		112		93		100094	
10:47		132		94		100095	
11:15		123		95		100096	
11:23		125		96		100097	
11:33		115		97		100098	
11:48		131		98		100099	
12:14		123		99		100100	
12:23		127		100		100101	
12:23		0		101			
12:33		112		102		100102	
12:47		115		103		100103	
13:00		0					
13:13		111		104		100104	
13:15		0		105			
13:18		0		106			
13:19		0		107			
13:22		122		108		100105	
13:24		0		109			
13:26		0		110			
13:29		0		111			
13:33		115		112		100106	
13:47		121		113		100107	
Löttschberger 3-teilig:						0	
PW mit Re465:						0	
Bemerkungen:							
EWIII		117					
Nina 3T		120					
Nina 3T		106					
EWIII		125					
EWIII		117					
Nina 3T		131					
Nina 3T		102					
EWIII		118					
EWIII		115					
NP Z		114					
Nina 3T		122					
EWIII		86.2					
Nina 3T		122					
Lokzug		120					
Nina 3T		129					
Lokzug		120					
Nina 3T		129					
EWIII		127					
NP Z		117					
NP Z		102					
EWIII		120					
Nina 3T		127					
Nina 3T		108					
EWIII		129					
NP Z		117					
EWIII		122					
Nina 3T+ST		118					
Nina 3T		117					
Nina 3T		115					
GZ / SZ		103					
EWIII		114					
EWIII		122				465 + EW3 Kamby-Zug	
Nina 3T		127					
GZ		915					
Nina 3T		118					
						Calib M 11	
						Calib M 12	
						Calib M 13	
EWIII		129					
EWIII		117					
Nina 3T		125					
						Lufttemp. 22°C	
Nina 3T		120				3-teiliger Löttschberger	
EWIII		114					
EWIII		123					
Nina 3T		127				Lufttemp. 23°C	
						Schienentemp. 36°C	
Nina 3T		112					
EWIII		132					
EWIII		123					
Nina 3T		125					
Nina 3T		115					
EWIII		131					
EWIII		123				Lufttemp. 27°C	
Nina 3T		127					
Nina 3T		112					
EWIII		115				Lufttemp. 27.5°C	
						Schienentemp. 43°C	
EWIII		111				465 + B LS-Zug	
						Calib M 1 & V01	
						Calib M 2 & V02	
						Calib M 3	
Nina 3T		122				Löttschberger, nach Kerzers	
						Calib M 4	
						Calib M 5	
						Calib M 6 nicht in Ordnung	
Nina 3T		115					
EWIII		121					

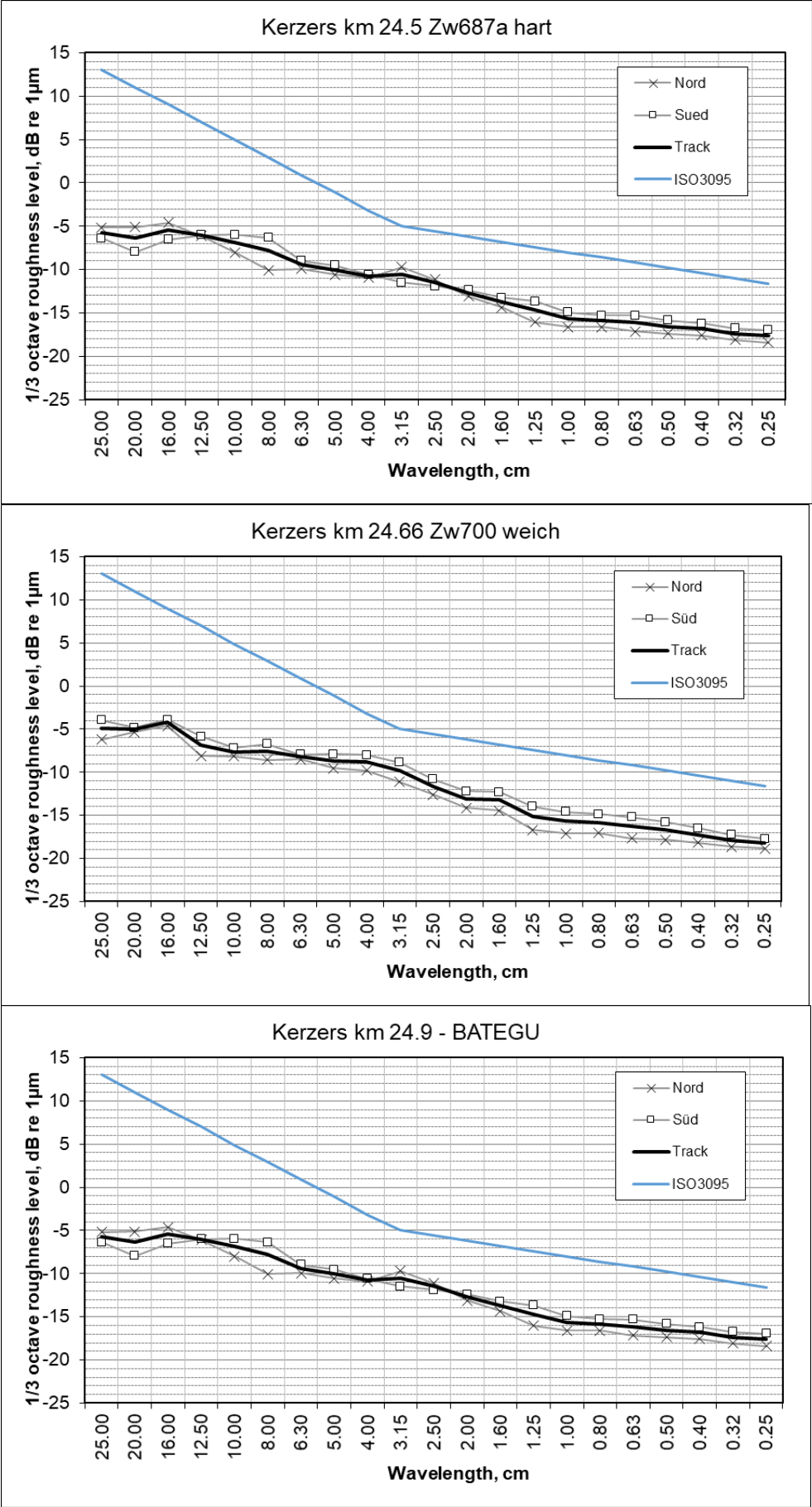
A.6.3 TDR Ergebnis







A.6.4 Schienenrauheiten



A.6.5 Schallpegel

Km 24.9 Testabschnitt Zw700 -> BATEGU

					LpAeq 7.5h_S	LpAeq 7.5h_N	LpAeq 3.0a
Type	Date	time	FileTSI	v_ist km/h	M1 dB(A)	M2 dB(A)	M3 dB(A)
EWIII	04.12.2019	14:46	V000033	110	80.7	80.3	86.7
EWIII	04.12.2019	08:46	V000005	120	81.9	81.8	87.8
EWIII	04.12.2019	09:46	V000010	120	82.1	82.1	88.2
EWIII	04.12.2019	10:46	V000014	120	82.8	82.3	88.8
EWIII	04.12.2019	11:46	V000018	120	82.9	82.4	89.1
EWIII	04.12.2019	12:46	V000022	120	83.0	83.0	89.2
EWIII	04.12.2019	13:46	V000026	120	83.1	82.4	89.0
EWIII	04.12.2019	15:46	V000037	120	83.1	83.2	88.8
Güterzug	04.12.2019	14:37	V000032	60	76.0	76.4	82.0
EWIII	04.12.2019	15:15	V000034	110	82.0	80.8	87.7
EWIII	04.12.2019	16:13	V000038	115	81.2	81.2	87.1
EWIII	04.12.2019	09:14	V000007	120	82.0	81.1	88.1
EWIII	04.12.2019	10:13	V000011	120	82.1	81.6	87.8
EWIII	04.12.2019	11:15	V000015	120	83.7	83.7	89.8
EWIII	04.12.2019	12:13	V000019	120	82.0	80.9	88.1
EWIII	04.12.2019	13:13	V000023	120	82.2	81.8	88.2
EWIII	04.12.2019	14:13	V000027	120	82.8	82.7	88.4
EWIII	04.12.2019	16:47	V000043	130	82.9	82.6	91.7
EWIII	04.12.2019	09:21	V000008	120	78.7	79.2	84.9
Nina 3T	04.12.2019	16:22	V000039	110	79.2	79.7	85.0
Nina 3T	04.12.2019	10:21	V000012	120	79.2	79.6	85.3
Nina 3T	04.12.2019	11:22	V000016	120	78.8	79.4	85.1
Nina 3T	04.12.2019	12:23	V000020	120	77.7	77.9	84.1
Nina 3T	04.12.2019	13:21	V000024	120	79.3	79.9	84.8
Nina 3T	04.12.2019	14:22	V000030	120	78.7	79.2	84.9
Nina 3T	04.12.2019	15:22	V000035	120	79.0	79.5	86.1
Nina 3T	04.12.2019	15:33	V000036	60	78.8	79.2	84.7
Nina 3T	04.12.2019	11:34	V000017	110	77.0	77.1	83.4
Nina 3T	04.12.2019	16:33	V000040	110	78.3	79.0	84.5
Nina 3T	04.12.2019	09:33	V000009	120	80.0	80.3	86.3
Nina 3T	04.12.2019	10:33	V000013	120	78.4	79.2	84.7
Nina 3T	04.12.2019	12:33	V000021	120	78.2	78.5	84.3
Nina 3T	04.12.2019	13:33	V000025	120	79.6	80.1	85.6
Nina 3T	04.12.2019	14:34	V000031	120	79.5	80.0	85.5
Traktor	04.12.2019	08:53	V000006	120	84.6	84.5	90.4
Traktor	04.12.2019	14:17	V000028	120	78.4	77.6	84.6
EWIII	04.03.2020	14:46	N000018	120	79.6	80.0	85.3
EWIII	04.03.2020	15:47	N000022	120	78.7	78.9	84.4
EWIII	04.03.2020	17:46	N000032	122	79.1	79.6	85.0
EWIII	04.03.2020	12:46	N000003	130	77.8	78.7	82.7
EWIII	04.03.2020	13:47	N000013	130	80.0	79.2	85.7
EWIII	04.03.2020	16:47	N000026	135	79.8	79.7	85.6
EWIII	04.03.2020	16:13	N000023	48	72.2	71.8	78.5
EWIII	04.03.2020	15:13	N000019	118	78.7	78.5	84.1
EWIII	04.03.2020	13:14	N000010	120	79.8	80.3	85.5
EWIII	04.03.2020	14:14	N000014	120	80.0	80.0	85.4
EWIII	04.03.2020	17:43	N000031	120	78.4	78.4	84.1
EWIII	04.03.2020	17:14	N000028	127	79.2	79.7	84.9
EWIII	04.03.2020	18:13	N000035	130	78.5	78.7	84.1
NPZ	04.03.2020	17:57	N000033	118	85.9	86.0	91.8
Güterzug	04.03.2020	14:36	N000017	80	79.6	79.6	85.5
NPZ	04.03.2020	18:03	N000034	95	87.0	86.2	92.9
NPZ	04.03.2020	17:03	N000027	110	91.7	90.8	97.5
NINA 3T	04.03.2020	17:23	N000029	95	74.5	74.6	80.5
NINA 3T	04.03.2020	16:25	N000024	110	77.2	76.4	83.1
NINA 3T	04.03.2020	18:22	N000036	115	77.3	77.7	83.2
NINA 3T	04.03.2020	13:22	N000011	120	77.6	77.6	83.3
NINA 3T	04.03.2020	14:23	N000015	120	76.5	75.6	82.6
NINA 3T	04.03.2020	15:22	N000020	120	77.1	77.6	82.9
NINA 3T	04.03.2020	18:33	N000037	95	72.9	73.3	79.3
NINA 3T	04.03.2020	17:33	N000030	115	77.9	78.7	83.6
NINA 3T	04.03.2020	13:33	N000012	120	77.9	77.5	83.9
NINA 3T	04.03.2020	14:34	N000016	120	78.8	78.8	84.5
NINA 3T	04.03.2020	15:33	N000021	120	77.3	76.5	83.1
NINA 3T	04.03.2020	16:33	N000025	120	77.6	77.7	83.3

					LpAeq 7.5h_S	LpAeq 7.5h_N	LpAeq 3.0a
Type	Date	time	FileTSI	v_ist km/h	M1 dB(A)	M2 dB(A)	M3 dB(A)
Traktor	25.06.2020	17:02	e100017	80	86.0	86.0	92.0
NPZ	25.06.2020	19:02	e100031	81	79.6	79.0	85.2
NPZ	26.06.2020	06:04	e100068	102	82.9	82.8	88.7
NPZ	25.06.2020	17:56	e100024	111	86.6	85.8	92.5
NPZ	25.06.2020	19:56	e100036	114	86.2	85.6	92.1
NPZ	25.06.2020	00:06	e100060	114	84.6	84.2	90.3
NPZ	26.06.2020	05:56	e100067	117	86.5	85.2	92.1
NPZ	26.06.2020	06:56	e100073	117	86.1	85.9	92.0
Nina 3T+3T	25.06.2020	17:43	e100022	67	74.9	73.1	80.6
Nina 3T+3T	25.06.2020	20:02	e100037	101	81.9	81.5	87.7
Nina 3T+3T	25.06.2020	18:02	e100025	102	82.5	82.2	88.4
Nina 3T+3T	25.06.2020	18:56	e100030	110	83.8	82.8	89.3
Nina 3T+3T	25.06.2020	20:57	e100042	118	84.8	83.8	90.2
Nina 3T+3T	26.06.2020	07:16	e100075	118	82.7	81.4	88.3
Nina 3T+3T	25.06.2020	19:32	e100034	120	79.1	78.4	84.8
Nina 3T	25.06.2020	23:32	e100057	102	73.0	72.6	78.9
Nina 3T	25.06.2020	22:32	e100053	106	74.6	74.1	80.3
Nina 3T	26.06.2020	06:33	e100071	108	77.5	76.1	83.7
Nina 3T	25.06.2020	19:22	e100033	111	75.2	74.6	81.0
Nina 3T	25.06.2020	17:33	e100021	111	77.6	76.6	83.7
Nina 3T	25.06.2020	18:33	e100028	111	77.2	76.7	83.6
Nina 3T	26.06.2020	10:32	e100094	112	78.1	76.3	83.9
Nina 3T	26.06.2020	12:32	e100102	112	78.6	76.9	84.7
Nina 3T	25.06.2020	21:32	e100049	114	75.9	75.9	81.8
Nina 3T	25.06.2020	20:33	e100040	115	75.7	75.0	81.3
Nina 3T	26.06.2020	07:32	e100077	115	78.5	78.5	84.2
Nina 3T	26.06.2020	11:32	e100098	115	80.3	79.9	85.6
Nina 3T	26.06.2020	13:32	e100106	115	81.0	80.4	86.3
Nina 3T	26.06.2020	07:21	e100076	117	76.8	75.5	82.2
Nina 3T	26.06.2020	08:32	e100083	118	78.0	76.9	84.6
Nina 3T	25.06.2020	22:22	e100052	120	76.5	76.3	82.5
Nina 3T	26.06.2020	09:33	e100090	120	79.2	78.7	84.7
NINA 3T	25.06.2020	14:23	e100005	120	79.5	78.1	85.5
Nina 3T	25.06.2020	14:33	e100006	120	77.4	76.7	83.6
Nina 3T	25.06.2020	15:21	e100010	120	77.9	76.9	84.3
Nina 3T	25.06.2020	15:32	e100011	120	79.3	78.2	85.2
Nina 3T	25.06.2020	16:24	e100014	120	80.1	79.3	85.8
Nina 3T	25.06.2020	16:34	e100015	120	76.6	76.6	83.3
Nina 3T	25.06.2020	17:22	e100019	120	77.6	76.9	83.5
Nina 3T	25.06.2020	00:29	e100061	122	75.3	74.0	82.2
Nina 3T	25.06.2020	00:53	e100063	122	80.7	80.8	86.2
Nina 3T	26.06.2020	13:21	e100105	122	79.1	77.3	84.7
Nina 3T	25.06.2020	18:22	e100027	125	78.8	77.9	85.0
Nina 3T	26.06.2020	09:23	e100089	125	78.2	76.8	83.5
Nina 3T	26.06.2020	11:21	e100097	125	78.8	77.5	84.6
Nina 3T	26.06.2020	06:22	e100070	127	79.5	79.1	85.4
Nina 3T	26.06.2020	08:21	e100081	127	79.5	79.2	85.0
Nina 3T	26.06.2020	10:21	e100093	127	80.3	79.8	85.7
Nina 3T	26.06.2020	12:21	e100101	127	80.6	80.4	86.4
Nina 3T	26.06.2020	05:31	e100065	129	78.4	77.3	84.6
Nina 3T	25.06.2020	21:21	e100048	131	77.2	76.7	83.3
Nina 3T	25.06.2020	23:21	e100056	131	77.1	75.9	83.7
Nina 3T	25.06.2020	20:21	e100039	132	76.4	75.8	82.0
Lokzug	26.06.2020	01:15	e100064	120	83.3	82.6	89.1
GZ / SZ	26.06.2020	07:35	e100078	103	83.6	81.5	89.1
GZ	26.06.2020	08:26	e100082	91	82.1	82.5	87.6
GZ	25.06.2020	17:26	e100020	98	90.8	89.7	96.2
GZ	25.06.2020	14:36	e100007	100	82.6	82.2	87.9
EWIII	25.06.2020	00:45	e100062	86	79.2	78.0	84.9
EWIII	25.06.2020	14:46	e100008	100	78.4	77.2	83.8
EWIII	25.06.2020	17:47	e100023	108	76.5	75.6	82.1
EWIII	26.06.2020	13:12	e100104	111	78.4	76.8	83.7
EWIII	25.06.2020	19:45	e100035	111	77.6	77.3	83.0
EWIII	25.06.2020	18:45	e100029	112	83.5	83.8	89.2
EWIII	26.06.2020	07:45	e100079	114	76.4	75.3	82.0
EWIII	26.06.2020	09:45	e100091	114	76.7	76.1	82.1
EWIII	25.06.2020	23:45	e100059	115	82.9	83.0	88.6
EWIII	26.06.2020	12:46	e100103	115	77.9	77.1	83.1
EWIII	25.06.2020	16:12	e100013	116	78.7	78.3	84.3
EWIII	25.06.2020	17:13	e100018	116	85.4	85.4	91.2
EWIII	25.06.2020	16:46	e100016	116	79.2	79.2	84.4
EWIII	25.06.2020	15:46	e100012	116	84.8	84.5	90.3
EWIII	25.06.2020	22:12	e100051	117	78.1	77.2	83.6
EWIII	25.06.2020	23:13	e100055	117	84.5	84.4	90.1
EWIII	26.06.2020	09:12	e100088	117	77.2	75.8	82.5
EWIII	25.06.2020	23:41	e100058	118	78.3	77.6	83.5
EWIII	25.06.2020	19:12	e100032	120	78.4	77.4	83.8
EWIII	26.06.2020	06:14	e100069	120	74.7	73.6	80.3
EWIII	25.06.2020	14:12	e100004	120	85.3	85.3	91.2
EWIII	25.06.2020	15:12	e100009	120	80.4	80.0	85.9
EWIII	26.06.2020	13:45	e100107	121	79.2	77.9	84.5
EWIII	26.06.2020	07:13	e100074	122	77.9	76.7	83.4
EWIII	26.06.2020	08:12	e100080	122	77.8	77.4	83.2
EWIII	25.06.2020	20:12	e100038	123	85.3	85.6	90.8
EWIII	26.06.2020	10:12	e100092	123	79.0	77.7	84.4
EWIII	26.06.2020	11:14	e100096	123	79.7	79.2	85.0
EWIII	26.06.2020	12:12	e100100	123	79.8	78.2	85.0
EWIII	25.06.2020	18:12	e100026	125	79.7	79.4	85.1
EWIII	25.06.2020	21:12	e100047	125	79.6	79.0	85.0
EWIII	25.06.2020	21:46	e100050	125	84.4	84.7	90.0
EWIII	25.06.2020	22:45	e100054	125	78.2	77.9	83.7
EWIII	26.06.2020	05:50	e100066	127	77.7	76.5	83.2
EWIII	26.06.2020	06:45	e100072	129	78.2	77.8	83.9
EWIII	26.06.2020	08:47	e100087	129	77.8	76.5	83.1
EWIII	25.06.2020	20:46	e100041	131	78.9	77.8	86.6
EWIII	26.06.2020	11:46	e100099	131	79.0	77.7	84.3
EWIII	26.06.2020	10:45	e100095	132	79.3	77.8	84.5

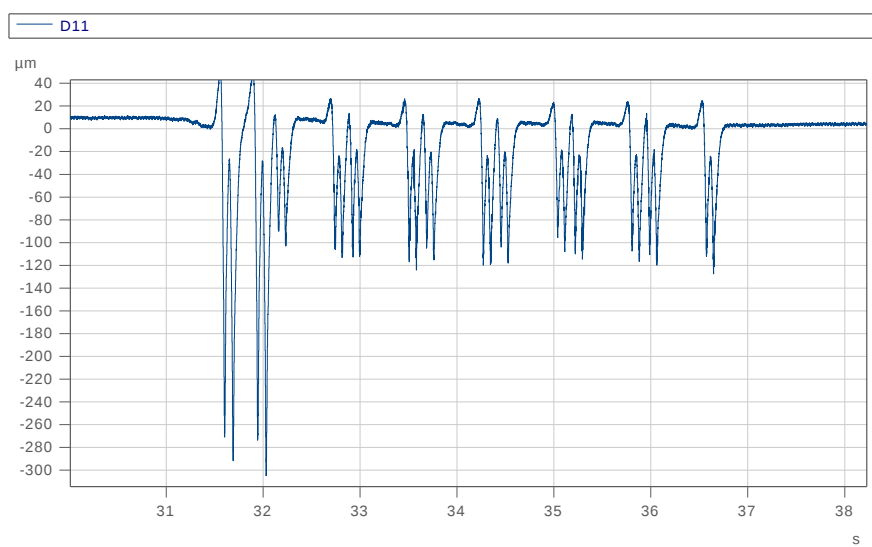
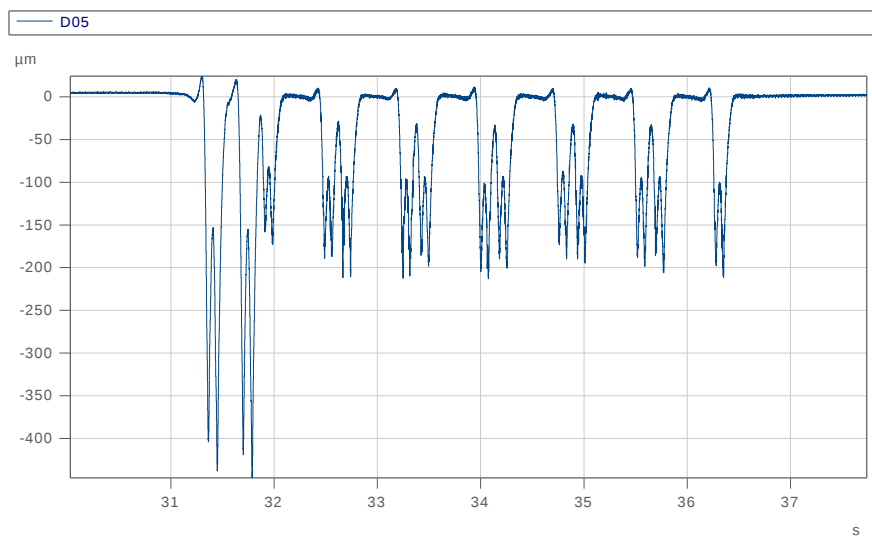
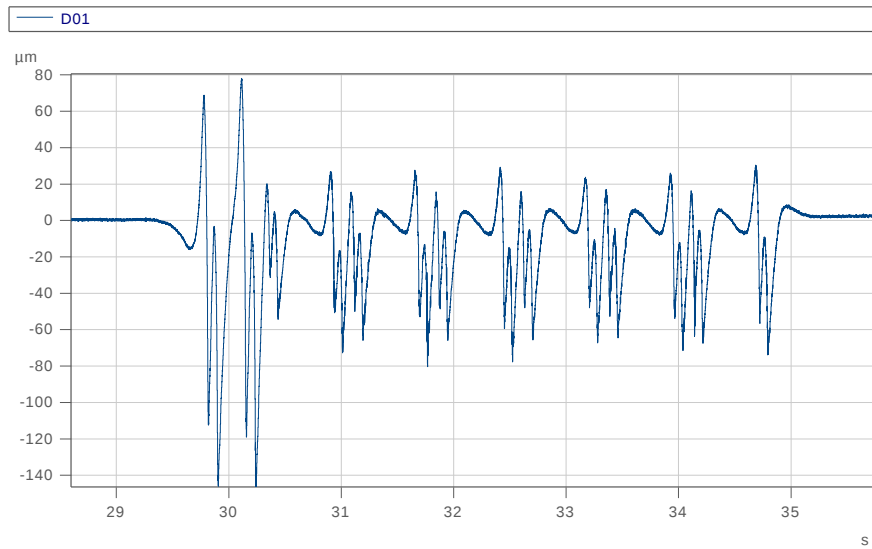
Km 24.66 mit weicher Zw und 24.5 mit harter Zw

					LpAeq 7.5h_S	LpAeq 7.5h_N	LpAeq 7.5h_S	LpAeq 7.5h_N	LpAeq 3.0a	LpAeq 3.0i
Type	Date	time	FileTSI	v_ist km/h	MHS dB(A)	MHN dB(A)	MSS dB(A)	MSN dB(A)	MH3 dB(A)	MS3 dB(A)
weiche Zw										
Güterzug	04.12.2019	14:37	112\A026	60	74.9	74.7	76.0	76.2	80.2	82.0
Traktor	04.12.2019	14:17	112\A023	92	78.4	77.9	77.0	76.4	83.9	83.4
NPZ	04.03.2020	18:56	1e000039	115	90.6	89.5	91.6	90.9	96.6	98.1
NPZ	04.03.2020	17:56	1e000027	119	90.7	91.1	91.7	92.4	96.5	98.4
Güterzug	04.03.2020	14:35	1e000007	80	81.7	81.9	0.0	0.0	87.6	0.0
NPZ	04.03.2020	18:02	1e000028	105	89.5	88.8	90.9	90.2	95.7	97.8
NPZ	04.03.2020	19:02	1e000040	120	86.5	86.4	0.0	0.0	92.3	0.0
NPZ	04.03.2020	17:02	1e000021	121	87.3	87.2	90.3	91.1	93.5	96.9
EWIII	04.12.2019	14:46	112\A027	106	78.8	78.7	80.4	80.3	84.1	86.6
EWIII	04.12.2019	13:47	112\A021	123	81.7	81.4	82.9	82.5	87.3	89.2
EWIII	04.12.2019	11:46	112\A012	125	81.5	81.6	82.8	82.5	86.9	89.0
EWIII	04.12.2019	10:46	112\A005	127	81.8	81.8	0.0	83.9	87.3	92.1
EWIII	04.12.2019	12:14	112\A013	111	80.5	79.8	81.4	81.0	86.1	87.8
EWIII	04.12.2019	15:15	112\A028	112	80.7	80.0	81.6	81.1	86.4	88.1
EWIII	04.12.2019	10:13	112\K002	122	80.4	80.6	0.0	0.0	90.0	0.0
EWIII	04.12.2019	14:13	112\A022	123	81.6	82.0	82.9	83.4	87.3	89.4
NINA 3T	04.12.2019	14:22	112\A024	117	78.9	79.3	79.3	80.4	84.4	86.0
NINA 3T	04.12.2019	15:22	112\A029	122	79.0	80.0	79.2	80.1	83.7	85.6
NINA 3T	04.12.2019	12:24	112\A014	123	78.4	78.6	78.2	78.9	84.1	84.4
NINA 3T	04.12.2019	13:22	112\A019	123	79.3	80.6	79.4	80.5	84.0	86.3
NINA 3T	04.12.2019	11:23	112\A010	127	79.1	80.3	78.9	79.7	85.2	85.1
NINA 3T	04.12.2019	15:33	112\A036	117	78.1	78.2	79.1	80.1	83.3	85.3
NINA 3T	04.12.2019	12:33	112\A015	123	78.9	79.9	78.8	79.8	83.7	83.9
NINA 3T	04.12.2019	13:33	112\A020	123	79.3	79.5	79.9	81.1	84.1	85.8
NINA 3T	04.12.2019	14:34	112\A025	123	79.3	80.1	79.3	80.4	85.9	85.4
NINA 3T	04.12.2019	11:34	112\A011	124	77.2	77.3	78.2	78.5	83.1	84.9
NINA 3T	04.12.2019	10:33	112\A004	125	78.6	79.8	0.0	0.0	83.7	0.0
EWIII	04.03.2020	18:46	1e000038	115	78.8	79.7	80.5	81.7	84.4	87.2
EWIII	04.03.2020	17:45	1e000026	122	80.5	81.8	82.4	83.7	86.4	89.1
EWIII	04.03.2020	14:45	1e000008	122	80.7	81.9	0.0	0.0	86.5	0.0
EWIII	04.03.2020	15:46	1e000015	125	80.9	81.5	83.2	83.7	86.5	89.8
EWIII	04.03.2020	16:46	1e000020	137	81.2	81.7	83.3	83.5	87.0	90.2
EWIII	04.03.2020	17:41	1e000025	94	80.9	81.1	83.1	83.4	86.9	89.7
EWIII	04.03.2020	16:12	1e000016	95	77.7	78.4	78.8	79.8	83.5	85.4
EWIII	04.03.2020	18:12	1e000033	122	80.5	81.0	82.2	83.0	86.2	88.8
EWIII	04.03.2020	15:12	1e000012	122	80.5	81.0	0.0	0.0	86.0	0.0
EWIII	04.03.2020	19:13	1e000041	125	81.1	82.1	0.0	0.0	86.7	0.0
EWIII	04.03.2020	17:12	1e000022	126	80.5	81.6	82.6	83.5	86.3	89.1
NINA 3T	04.03.2020	19:22	1e000042	100	75.3	75.7	0.0	0.0	81.5	0.0
NINA 3T	04.03.2020	17:22	1e000023	112	76.3	77.0	79.3	80.4	82.6	86.0
NINA 3T	04.03.2020	14:22	1e000005	120	79.4	78.3	0.0	0.0	84.6	0.0
NINA 3T	04.03.2020	16:24	1e000018	120	78.6	78.4	80.8	80.7	85.0	87.8
NINA 3T	04.03.2020	18:21	1e000035	125	79.9	81.0	81.4	82.1	86.4	89.1
NINA 3T	04.03.2020	15:21	1e000013	125	78.9	79.2	0.0	0.0	85.1	0.0
NINA 3T	04.03.2020	18:32	1e000037	100	74.4	75.2	76.9	78.9	81.3	83.7
NINA 3T	04.03.2020	17:31	1e000024	122	80.5	82.3	81.9	82.7	86.8	88.9
NINA 3T	04.03.2020	15:32	1e000014	122	78.7	78.8	80.8	80.7	84.7	87.8
NINA 3T	04.03.2020	14:32	1e000006	125	79.8	79.9	0.0	0.0	85.7	0.0
NINA 3T	04.03.2020	16:32	1e000019	130	78.9	79.0	81.3	82.4	86.0	87.8

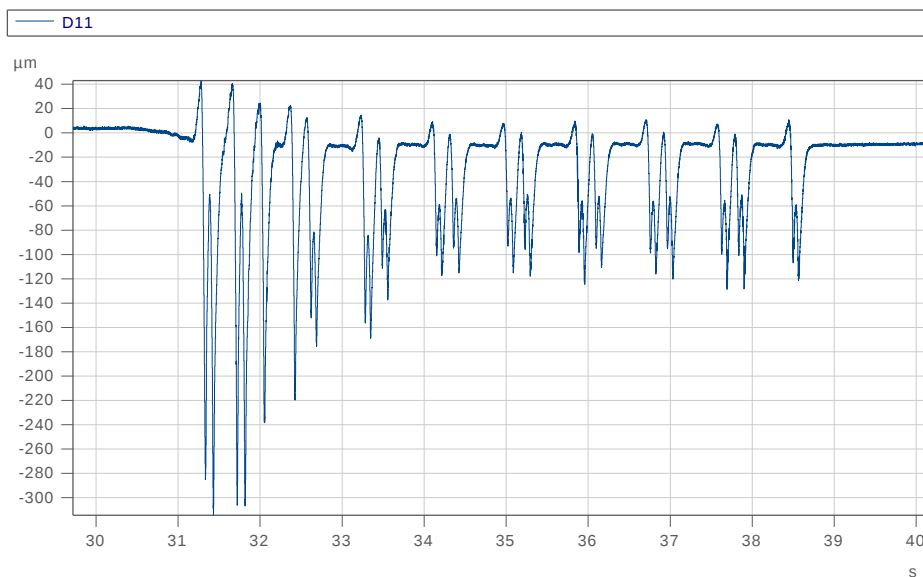
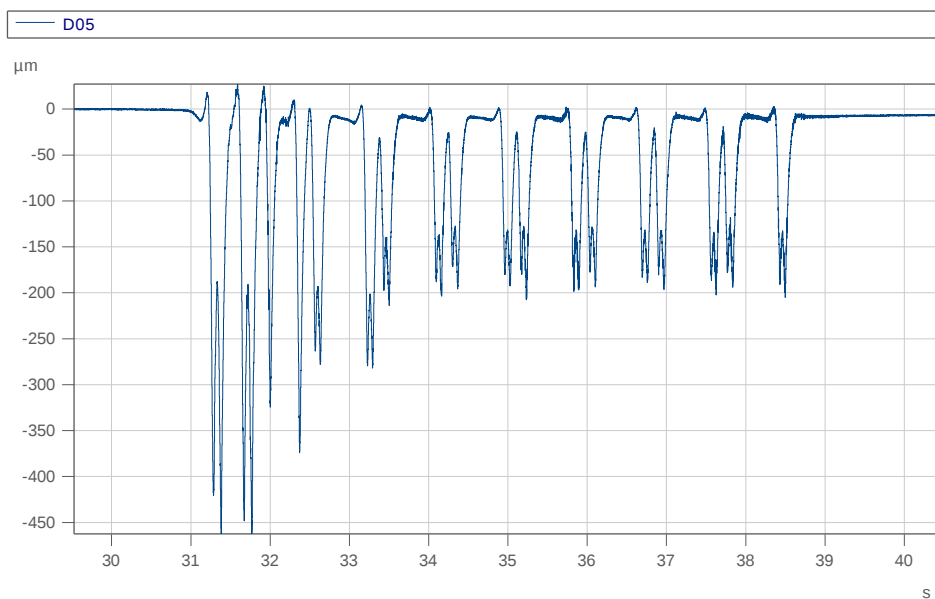
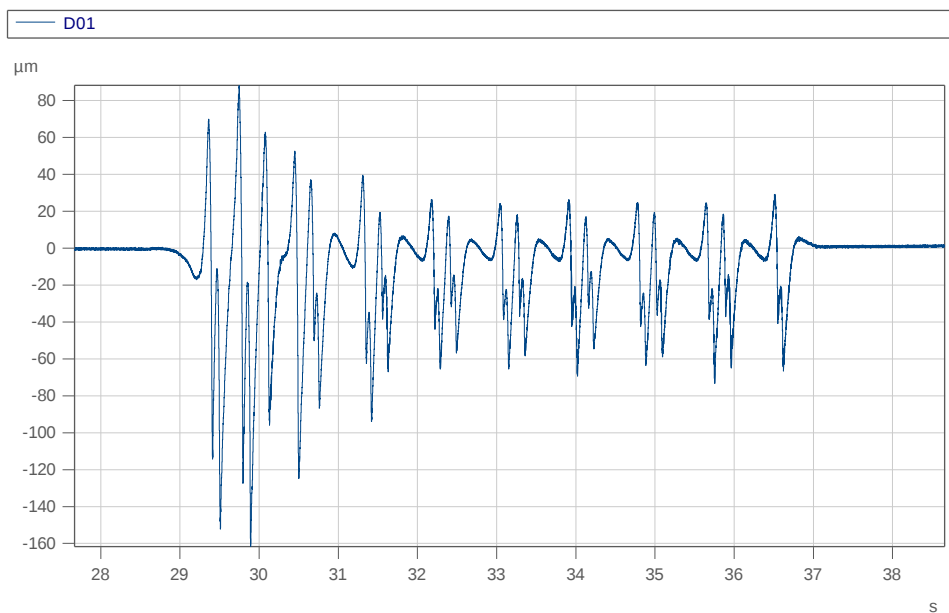
					LpAeq 7.5h_S	LpAeq 7.5h_N	LpAeq 7.5h_S	LpAeq 7.5h_N	LpAeq 3.0a	LpAeq 3.0i
Type	Date	time	FileTSI	v_ist km/h	MHS dB(A)	MHN dB(A)	MSS dB(A)	MSN dB(A)	MH3 dB(A)	MS3 dB(A)
NPZ	25.06.2020	19:02	e000031	81	81.3	81.6	83.8	84.8	86.9	90.0
NPZ	26.06.2020	06:04	e000070	102	85.9	86.6	88.1	89.5	91.3	93.6
NPZ	25.06.2020	17:56	e000024	111	87.1	87.4	90.1	91.3	92.7	96.5
NPZ	25.06.2020	19:57	e000036	114	86.5	87.2	89.7	90.8	92.3	95.9
NPZ	26.06.2020	00:06	e000062	114	86.7	87.4	89.4	90.4	92.1	95.5
NPZ	26.06.2020	06:56	e000075	114	87.5	88.3	90.2	91.5	93.3	96.1
NPZ	26.06.2020	05:56	e000069	117	87.5	87.6	89.7	90.6	93.0	95.6
Nina 3T+3T	25.06.2020	17:43	e000022	67	75.0	74.4	77.4	77.2	80.3	83.3
Nina 3T+3T	25.06.2020	20:02	e000037	101	83.7	83.7	85.8	86.8	89.2	92.0
Nina 3T+3T	25.06.2020	18:02	e000025	102	83.1	83.1	85.7	86.8	88.7	92.1
Nina 3T+3T	25.06.2020	18:57	e000030	110	83.5	84.1	86.1	87.5	89.5	92.6
Nina 3T+3T	25.06.2020	20:56	e000048	118	85.3	85.5	88.5	89.1	90.8	94.6
Nina 3T+3T	26.06.2020	07:16	e000077	118	83.9	83.2	86.2	85.9	89.2	91.8
Nina 3T+3T	25.06.2020	19:32	e000034	120	80.4	80.2	83.4	83.9	86.0	89.3
Nina 3T	25.06.2020	23:32	e000059	102	76.1	76.2	78.1	78.3	81.7	84.0
Nina 3T	25.06.2020	22:32	e000055	106	78.1	78.4	79.7	80.3	83.8	86.0
Nina 3T	26.06.2020	06:32	e000073	108	79.1	78.4	81.8	81.6	85.0	87.4
Nina 3T	25.06.2020	19:22	e000033	111	76.4	77.0	79.2	79.7	81.8	85.5
Nina 3T	25.06.2020	17:33	e000021	111	80.6	79.9	82.6	83.1	85.9	89.0
Nina 3T	25.06.2020	18:33	e000028	111	77.4	78.0	80.1	80.8	82.8	86.3
Nina 3T	26.06.2020	10:32	e000093	112	82.0	79.9	83.4	39.6	86.1	89.2
Nina 3T	26.06.2020	12:32	e000102	112	81.7	79.6	83.6	39.7	85.7	89.0
Nina 3T	25.06.2020	21:32	e000051	114	78.0	78.3	80.0	81.3	83.7	86.1
Nina 3T	25.06.2020	20:33	e000040	115	78.1	78.6	81.1	39.2	83.3	87.2
Nina 3T	26.06.2020	07:32	e000079	115	83.3	82.4	84.7	85.6	87.6	90.2
Nina 3T	26.06.2020	11:32	e000097	115	83.4	82.0	85.3	39.9	87.5	91.0
Nina 3T	26.06.2020	13:32	e000112	115	84.0	82.4	85.6	39.6	87.8	91.7
Nina 3T	26.06.2020	07:21	e000078	117	81.0	78.4	81.8	81.5	84.7	87.4
Nina 3T	26.06.2020	08:32	e000085	118	81.8	79.7	83.2	83.2	85.9	89.2
Nina 3T	25.06.2020	22:22	e000054	120	79.7	79.5	80.8	82.1	85.1	87.2
Nina 3T	26.06.2020	09:32	e000089	120	83.8	82.8	85.5	40.1	87.8	91.2
Nina 3T	26.06.2020	00:29	e000063	122	76.6	76.9	78.6	79.1	82.5	85.0
Nina 3T	26.06.2020	00:53	e000065	122	82.9	83.1	85.6	86.9	88.5	92.0
Nina 3T	26.06.2020	13:22	e000108	122	81.8	79.1	83.3	41.0	85.7	89.2
Nina 3T	25.06.2020	18:22	e000027	125	80.0	79.9	83.4	83.5	85.7	89.9
Nina 3T	26.06.2020	09:23	e000088	125	81.9	79.9	83.5	40.2	86.0	89.3
Nina 3T	26.06.2020	11:21	e000096	125	82.3	80.0	84.0	40.9	86.3	89.9
Nina 3T	26.06.2020	06:22	e000072	127	81.8	82.4	84.3	85.9	87.5	90.6
Nina 3T	26.06.2020	08:21	e000083	127	83.8	82.7	85.1	86.3	88.0	90.9
Nina 3T	26.06.2020	10:21	e000092	127	83.9	82.2	85.4	40.3	87.7	91.2
Nina 3T	26.06.2020	12:22	e000100	127	83.8	82.7	85.7	40.2	87.8	91.5
Nina 3T	26.06.2020	05:31	e000067	129	80.9	81.0	83.5	83.8	86.7	89.7
Nina 3T	25.06.2020	21:21	e000050	131	78.7	79.4	81.1	81.5	84.4	87.3
Nina 3T	25.06.2020	23:21	e000058	131	78.4	78.8	80.5	80.9	83.6	86.8
Nina 3T	25.06.2020	20:21	e000039	132	78.2	78.3	80.2	81.1	83.5	86.5
Lokzug	26.06.2020	01:15	e000066	120	84.3	84.4	86.7	87.5	90.0	92.8
GZ / SZ	26.06.2020	07:35	e000080	103	86.0	83.1	87.0	85.9	89.8	92.4
GZ	26.06.2020	08:26	e000084	91	84.5	83.8	85.6	86.8	88.6	90.9
GZ	25.06.2020	17:26	e000020	98	92.1	91.5	94.5	94.2	97.1	100.2
EWIII	26.06.2020	00:46	e000064	86	80.1	79.7	82.2	82.2	85.4	88.1
EWIII	25.06.2020	17:47	e000023	108	76.4	76.6	80.0	80.4	82.3	86.0
EWIII	26.06.2020	13:12	e000104	111	81.0	78.2	82.3	39.9	84.6	87.9
EWIII	25.06.2020	19:46	e000035	111	78.7	79.3	81.5	82.7	84.3	87.8
EWIII	25.06.2020	18:45	e000029	112	83.7	84.7	86.7	88.1	89.3	92.8
EWIII	26.06.2020	07:45	e000081	114	79.8	78.1	80.7	81.1	83.4	86.5
EWIII	26.06.2020	09:46	e000090	114	79.7	78.1	80.7	39.5	83.3	86.3
EWIII	25.06.2020	23:45	e000061	115	83.7	84.5	86.5	87.8	89.2	92.6
EWIII	26.06.2020	12:46	e000103	115	80.4	78.8	81.5	39.9	84.1	87.5
EWIII	25.06.2020	22:12	e000053	117	79.2	79.2	82.2	82.7	84.6	88.1
EWIII	25.06.2020	23:13	e000057	117	85.4	85.9	88.4	89.6	90.9	94.3
EWIII	26.06.2020	09:12	e000087	117	80.8	79.1	82.1	39.4	84.4	87.5
EWIII	25.06.2020	23:41	e000060	118	80.1	80.7	82.5	83.5	85.5	88.5
EWIII	25.06.2020	19:12	e000032	120	79.3	79.0	82.3	82.7	84.8	88.3
EWIII	26.06.2020	06:14	e000071	120	79.3	79.2	81.8	81.9	84.7	87.2
EWIII	26.06.2020	07:13	e000076	122	79.3	79.5	82.4	82.7	84.9	87.7
EWIII	26.06.2020	08:12	e000082	122	81.8	80.7	82.6	83.4	85.6	88.1
EWIII	25.06.2020	20:12	e000038	123	86.1	86.8	88.9	90.4	91.6	95.3
EWIII	26.06.2020	10:12	e000091	123	81.4	79.5	83.0	39.7	85.3	88.5
EWIII	26.06.2020	11:14	e000095	123	82.6	81.2	83.7	40.1	86.3	89.1
EWIII	26.06.2020	12:12	e000099	123	82.2	80.4	83.6	40.1	85.8	88.9
EWIII	25.06.2020	18:12	e000026	125	80.4	81.7	83.5	84.5	86.2	89.3
EWIII	25.06.2020	21:12	e000049	125	80.8	81.6	83.7	84.3	86.2	89.6
EWIII	25.06.2020	21:46	e000052	125	85.2	86.1	88.0	89.5	90.7	94.2
EWIII	25.06.2020	22:45	e000056	125	79.7	80.2	82.1	83.2	85.0	88.8
EWIII	26.06.2020	05:50	e000068	127	78.9	79.0	81.7	82.2	84.4	87.7
EWIII	26.06.2020	06:45	e000074	129	79.8	80.4	82.3	83.3	85.4	88.1
EWIII	26.06.2020	08:47	e000086	129	80.5	78.8	81.6	82.0	84.4	87.6
EWIII	25.06.2020	20:46	e000047	131	79.8	79.6	82.7	82.9	85.2	89.5
EWIII	26.06.2020	11:46	e000098	131	81.3	79.0	82.9	40.6	84.8	88.4
EWIII	26.06.2020	10:45	e000094	132	82.3	80.3	83.2	40.2	85.7	88.9

A.6.6 Einsenkungsmessung

EWIII am 26.06.2020 um 9.12 D01 harte Zw, D05 weiche Zw, D11 BATEGU Zw



Güterzug am 26.06.2020 um 8.26 D01 harte Zw, D05 weiche Zw, D11 BATEGU Zw



A.7 Messunsicherheit bei Vorbeifahrmessungen

Messgröße x_i	Beschreibung	Unsicherheitsintervall	Standardunsicherheit/ Mittelwertkorrektur $u(x_i)/\Delta L$	Relevant	Möglicher typischer Bereich	Unsicherheitsintervall	Standard- unsicherheit $u(x_i)$	Sensitivitätsfaktor df/dx_i	Beitrag zur Unsicherheit
$\delta_{\text{Ableswert}}$	Ableswert	0 dB	0 dB	ja	55,00 dB	0,00 dB	0,00 dB	1	0,00 dB
$\delta_{\text{Auf richtung}}$	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
$\delta_{\text{Änderung}}$	Änderungen des kalibrator-Schalldrucks 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
$\delta_{\text{Änderungsspannung}}$	Änderung der Versorgungsspannung	$\pm 0,30$ dB	0,06 dB	ja	0,0 dB	0,10 dB	0,05 dB	1	0,05 dB
$\delta_{\text{Änderungsfaktor}}$	Max. Anstieg des Schalldruckpegels aufgrund des kalibrator-Klirrfaktors	$[-0,21$ dB; 0 dB]	0,06 dB, $\Delta L = 0,105$ dB	ja	0,105 dB	0,00 dB	0,05 dB	1	0,05 dB
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	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
$\delta_{\text{Änderungsfrequenz}}$	Frequenzabhängiger Übertragungsfaktor	$\pm 0,44$ dB	0,25 dB	ja	0,0 dB	0,44 dB	0,25 dB	1	0,25 dB
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	Nichtlinearität des Schalldruckmessers 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
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	Fehlerpegel der F-Bewertung kurzzeitiger Impulse	$[-1,5$ dB; 1 dB]	0,72 dB $\Delta L = 0,25$ dB	nein	1,0 dB	1,00 dB	0,72 dB	1	0,72 dB
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	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
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	Einflüsse des Luftdrucks auf den Schalldruckmesser	$\pm 0,5$ dB	0,32 dB	nein	0,9 dB	0,90 dB	0,52 dB	1	0,52 dB
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	Einflüsse der Temperatur auf den Schalldruckmesser	$\pm 0,5$ dB	0,29 dB	nein	0,5 dB	0,50 dB	0,29 dB	1	0,29 dB
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	Einflüsse der Feuchte auf den Schalldruckmesser	$\pm 0,5$ dB	0,29 dB	nein	0,5 dB	0,50 dB	0,29 dB	1	0,29 dB
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	Dämpfung des Windschirms	$[0,12$ dB; 0 dB]	0,09 dB $\Delta L = 0,055$ dB	ja	0,06 dB	0,12 dB	0,09 dB	1	0,09 dB
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	Weiterreflexion des Stativs	$\pm 0,6$ dB	0,35 dB	ja	0,0 dB	0,60 dB	0,35 dB	1	0,35 dB
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	Ungenauigkeiten der Zugeschwindigkeit und/oder des Tachometers (Bereich von ± 8 %)	$\pm 0,3$ dB	0,17 dB	nein	0,0 dB	0,30 dB	0,17 dB	1	0,17 dB
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	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 0,10 dB	nein	0,0 dB	0,25 dB	0,15 dB	1	0,15 dB
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	Änderungen des Bodenniveaus innerhalb 0 m bis -2 m bei Mikrofonabstand 7,5 m	$[0$ dB; $1,05$ dB]	0,55 dB $\Delta L = 0,515$ dB	ja	0,515 dB	1,05 dB	0,30 dB	1	0,30 dB
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	Änderungen des Bodenniveaus innerhalb 0 m bis -2 m bei Mikrofonabstand 25 m	$[0$ dB; $0,38$ dB]	0,10 dB $\Delta L = 0,165$ dB	nein	0,33 dB	0,33 dB	0,10 dB	1	0,10 dB
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	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
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	kombinierte Standardunsicherheit				55,88 dB				0,85 dB
$\delta_{\text{Änderungswinkel}}$	erweiterte Unsicherheit mit $k = 2$ (95%)								1,70 dB