

Anhang 1 zum Abschlussbericht I-LENA
**Maßnahmenbezogene Auswertungen der
akustischen Messungen**



Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	4
2 Maßnahmen zur Schienenbearbeitung	5
2.1 Maßnahme 1 - Schleifverfahren	5
2.2 Maßnahme 2 - Fräsverfahren	9
2.3 Maßnahme 3 - Fräsverfahren mit nachlaufendem Schleifen	14
3 Maßnahmen an der Schiene	15
3.1 Maßnahme 4 - Schienenstegdämpfer	15
3.2 Maßnahme 5 - Kombination von Schienenstegdämpfer und - Schienenstegabschirmung	18
3.3 Maßnahme 6 - Schienenstegabschirmung	23
4 Maßnahmen zur Lärminderung auf dem Ausbreitungsweg	27
4.1 Maßnahme 7 - Mini Schallschutzwand	27
4.2 Maßnahme 8 - Gleisnahe Schallschutzwand	27
4.3 Maßnahme 9 - Niedrige Schallschutzwand	39
4.4 Maßnahme 10 - Schallschutzwand mit Aufsatz	47
4.5 Maßnahme 11 - Schallschutzwand mit Aufsatz	56
5 Maßnahmen an der Schwelle zur Minderung von Luft- und Körperschall	64
5.1 Maßnahme 12 - Kombination einer elastischen Zwischenlage und einer Betonschwellenbesohlung	67
5.2 Maßnahme 13 - Schwellenbesohlung	70
5.3 Maßnahme 14 - Besohlte Breitschwelle	74
5.4 Maßnahme 15 - Kunststoffschwelle	74
5.5 Maßnahme 16 - Schienenstegdämpfer (SSD) in Kombination mit einer elastischen Zwischenlage und einer Schwellensohle	77
6 Maßnahmen zur Reduzierung von Kurvenquietschen	82
6.1 Maßnahme 17 - Schienenschmiereinrichtung	84
6.2 Maßnahme 18 - Schienenschmier- und Schienenkonditionieranlage	89
6.3 Maßnahme 19 - Schienenstegdämpfer zur Reduzierung des Kurvenquietschens	94
6.4 Maßnahme 20 - Schienenstegdämpfer zur Reduzierung des Kurvenquietschens	98
7 Maßnahme zur Brückenentdröhnung	103
7.1 Maßnahme 21 - Dämpfungsfolie gegen Brückendröhnen	103
8 Maßnahmen zur Reduzierung von Baustellenlärm	110
8.1 Maßnahme 22 - mobile Schallschutzwand	113
8.2 Maßnahme 23 - mobile Schallschutzwand	118
8.3 Maßnahme 24 - mobile Schallschutzwand	123
8.4 Maßnahme 25 - mobile Schallschutzwand	128

8.5 Maßnahme 26 - mobile Schallschutzwand	132
8.6 Fazit für die fünf mobilen Schallschutzwände	137
8.7 Maßnahmen 27 und 28 - Niedrige und hohe Lärmschutzmatten an einer festen Absperrung	137
9 Quellenverzeichnis	141
10 Abkürzungsverzeichnis	142

1 Einleitung

In diesem Anhang werden die detaillierten Ergebnisse der Messkampagnen und Bewertungen der 28 Maßnahmen, die im Rahmen von I-LENA getestet wurden, aufgeführt. Im Kapitel 4 des Abschlussberichtes wurden zusammenfassend bereits die Ergebnisse der nachfolgenden Einzelbewertungen aufgeführt. Der Aufbau der Einzelbewertung gliedert sich für alle Maßnahmen gleichermaßen und fängt zunächst mit der allgemeinen Beschreibung der Maßnahme an, führt die Ergebnisse der jeweiligen Messkampagnen auf und schließt mit der Bewertung der akustischen Wirksamkeit, dem Fazit, ab.

Die Reihenfolge der aufgeführten Maßnahmen ist analog zur laufenden Maßnahmennummerierung nach Tabelle 1 im Kapitel 2.1.2 des Abschlussberichtes.

2 Maßnahmen zur Schienenbearbeitung

2.1 Maßnahme 1 – Schleifverfahren

Bei dem Schienenbearbeitungsverfahren (Maßnahme 1) handelt es sich um ein Schienenschleifverfahren. Hierbei sind je Schiene auf einem starren Schleifbalken 12 Schleifkörper montiert, die hydraulisch auf die Schiene gepresst werden. Durch die Bewegung der Schleifmaschine in Fahrtrichtung (20 km/h bis 60 km/h Fahrgeschwindigkeit) werden die Schleifkörper in Rotation versetzt und bewirken einen geringen Materialabtrag auf dem Schienenkopf. Für die Erreichung des notwendigen Abtrags zur signifikanten Verbesserung der Schienenfahrfläche sind daher mehrere Überfahrten erforderlich. In Abbildung 1 wird das Funktionsprinzip skizziert.

In einer gemeinsamen Testkampagne der Maßnahmen 1 bis 3 erfolgten im Juli 2019 insgesamt 28 Überfahrten auf einem ca. 1 km langen Versuchsabschnitt mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 25 km/h.

Um den gesamten Schienenkopfbereich von $z = -8$ mm bis $y = +14$ mm zu bearbeiten, wurde in zwei Schleifspuren gearbeitet. Der Abtrag lag insgesamt bei 0,08 mm, wodurch sich auf dem gesamten Bearbeitungsbereich ein durchschnittlicher Abtrag von 0,003 mm pro Überfahrt ergab.

Zur Bewertung der Maßnahme wurden Messungen mit dem Schallmesswagen (SMW) der DB Systemtechnik vor dem Schleifen und in festgelegten Intervallen nach dem Schleifen sowohl im Test- als auch in einem nicht geschliffenen Referenzabschnitt durchgeführt. Zusätzlich wurden an diesen Abschnitten auch die akustisch relevanten Schienenrauheiten vor dem Schleifen und nach dem Schleifen bestimmt.

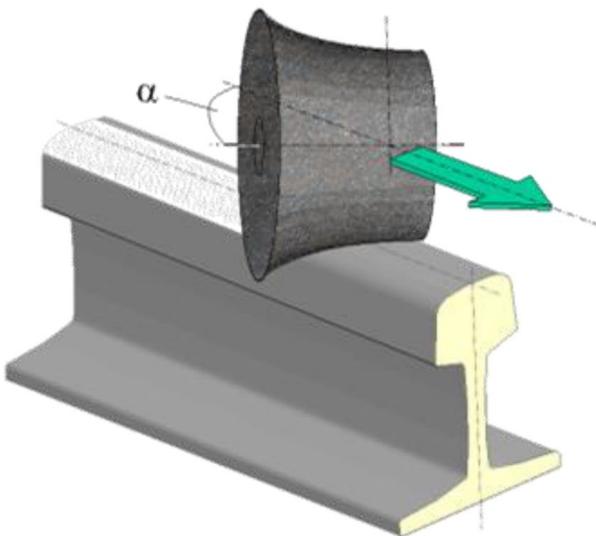


Abbildung 1: Prinzipskizze des Schleifverfahrens der Maßnahme 1 (Quelle: Hersteller).

2.1.1 Bewertung der Ergebnisse

An der Strecke 3280-1 wurden eingerichtet:

- Referenzabschnitt Messquerschnitt (MQ)_1: km 12,000 – km 13,000
- Testabschnitt MQ_2: km 13,300 – km 14,300

Die Messungen fanden von Juli bis Oktober 2019 statt.

2.1.1.1 Ergebnisse Schallmesswagen

Die Ergebnisse der Schallmesswagenmessungen sind in Abbildung 2 in Abhängigkeit von der Streckenkilometrierung grafisch dargestellt.

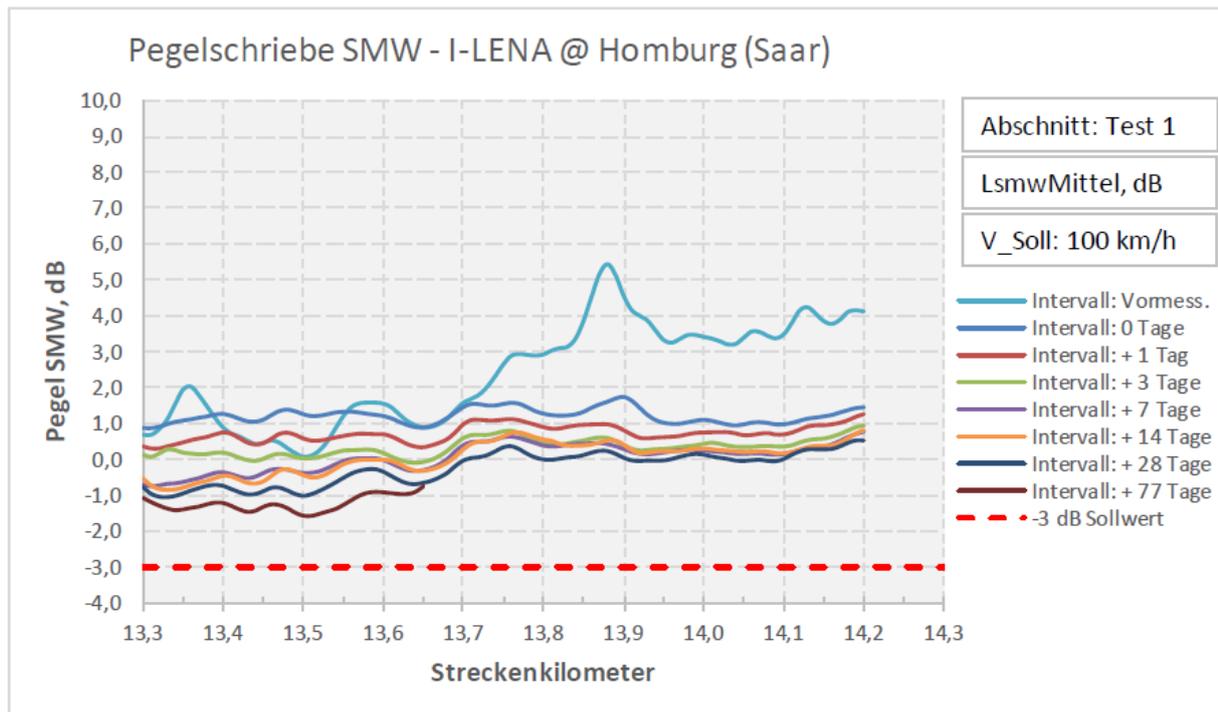


Abbildung 2: Vergleich der gemessenen Schallmesswagenpegel (Geschwindigkeit SMW 100 km/h) im Testabschnitt vor und zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem Schleifen (die Messung 77 Tage nach dem Schleifen konnte wegen Laubablagerungen auf den Schienen nur teilweise zur Bewertung herangezogen werden).

Die bei der Vormessung ermittelten Schallmesswagenpegel liegen im Wesentlichen zwischen ca. 1 dB und 4 dB, d.h. im Bereich der Eingriffsschwelle für das Schleifen im Rahmen des Besonders überwachten Gleis (BüG) -Verfahrens. Durch das Schleifen mit der Maßnahme 1 verbessert sich die akustische Schienenfahrflächenqualität und der SMW-Pegel wird niedriger. Durch den regulären Betrieb auf dem Gleis sinkt er nochmals um ca. 1 dB und liegt zum Ende des Untersuchungszeitraums zwischen -1 dB und - 1,5 dB.

2.1.1.2 Ergebnisse Schienenrauheitsmessungen

Die Ergebnisse der Messungen der akustisch relevanten Schienenrauheit im Test- und Referenzabschnitt sind in den Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt. Im Testabschnitt wurde die Schienenrauheit von km 13,517 bis km 13,592 ermittelt.

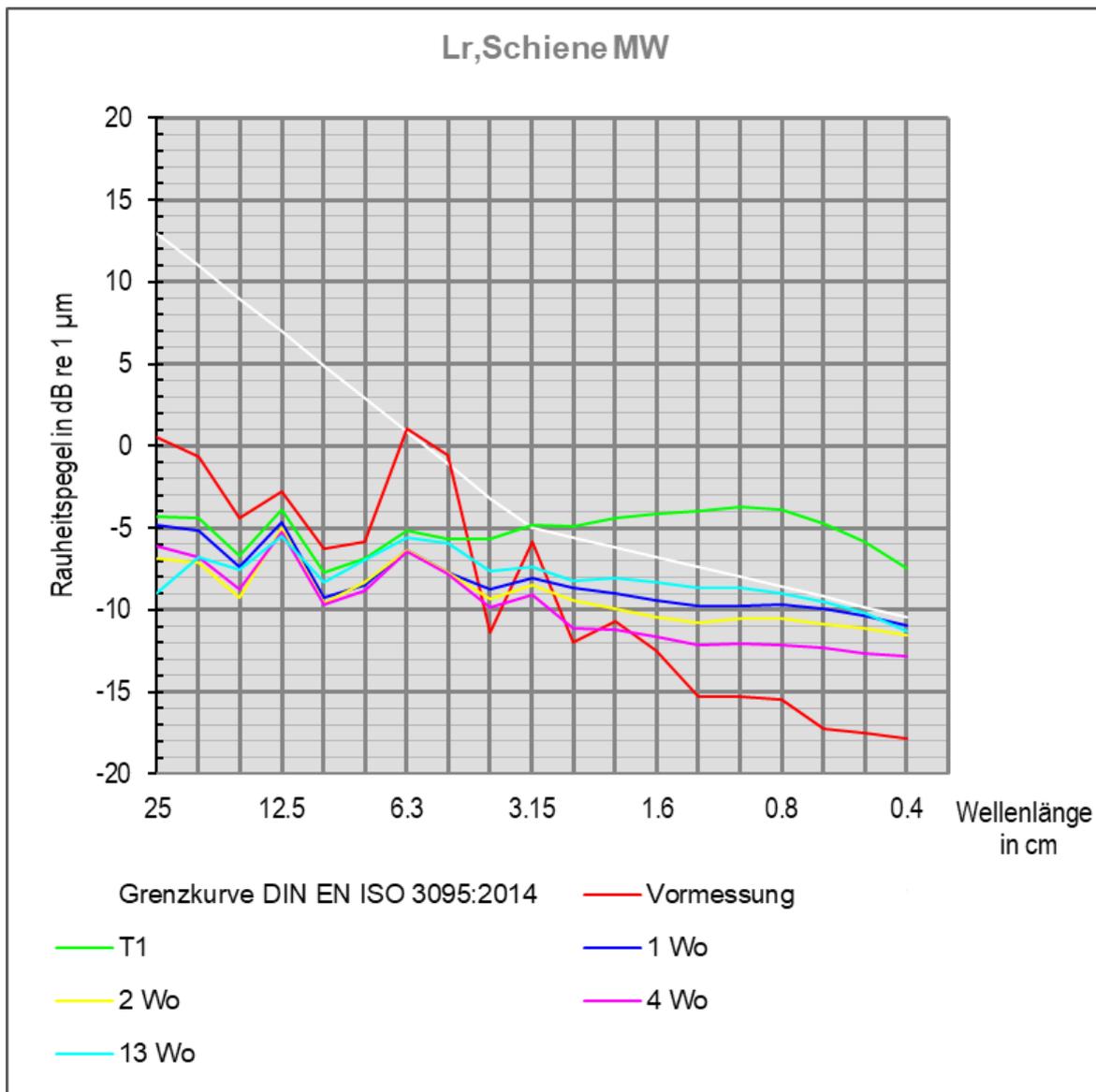


Abbildung 3: Vergleich der über beide Schienen gemittelten Rauheiten der Schienenfahrflächen aus der Vormessung und den fünf Nachmessungen (T1=1. Tag, 1 Wo = 1 Woche) im Testabschnitt der Maßnahme 1.

Die Schienenrauheit im Testabschnitt wurde durch das Schleifen im Wellenlängenbereich > 5 cm signifikant verringert. Im kurzwelligen Bereich erhöhte sich die Rauheit kurzfristig, senkte sich durch die Überfahrten aus dem Regelverkehr (Einfahrphase) jedoch wieder ab. Durch das Schleifen konnten die sichtbaren groben Schleifspuren aus dem Gleis entfernt werden, die bei der Vormessung zu den stark erhöhten Rauheitspegeln in den Wellenlängenbändern um 6,3 cm, 5 cm und 3,15 cm führten.

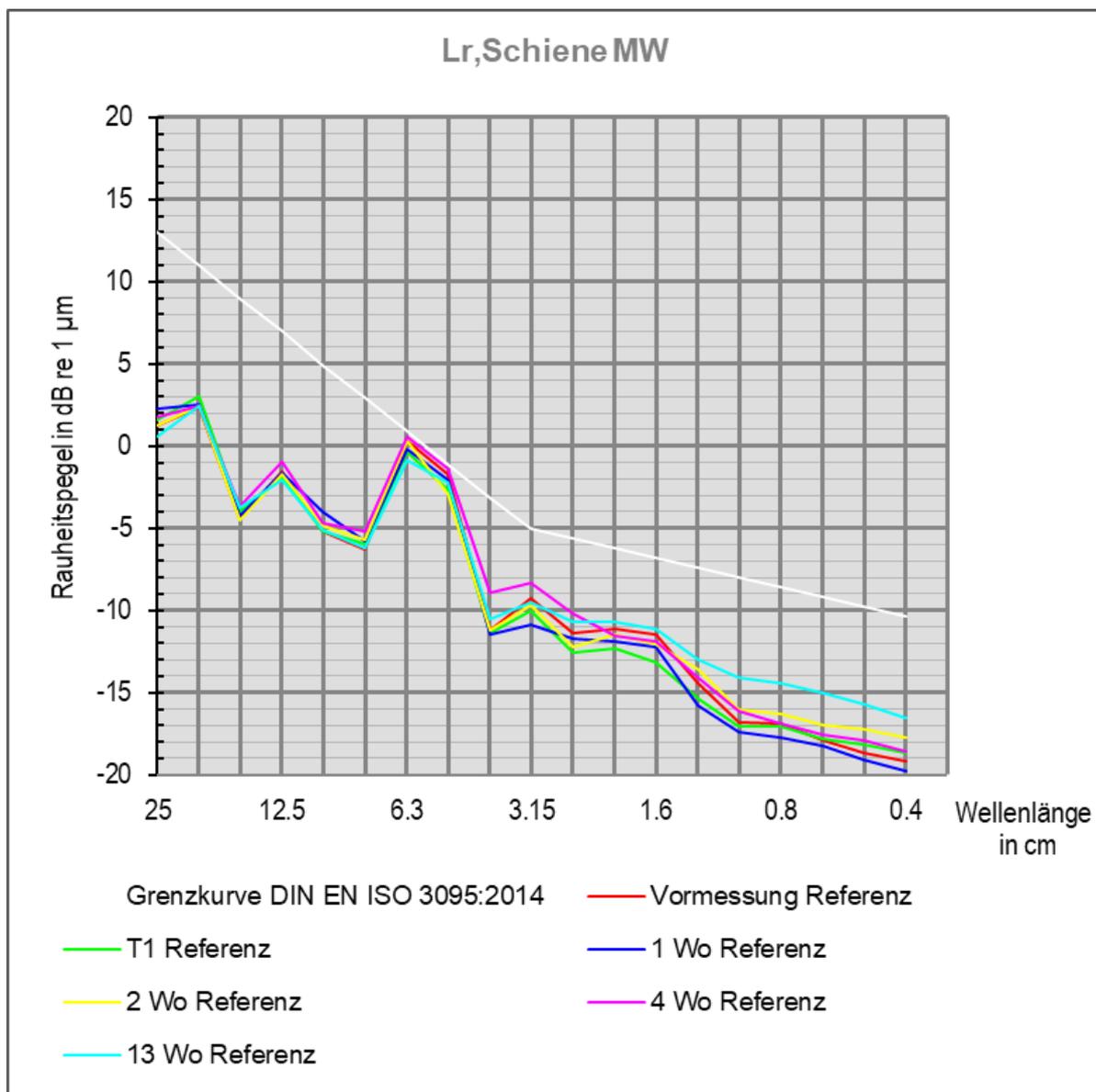


Abbildung 4: Vergleich der über beide Schienen gemittelten Rauheiten der Schienenfahrflächen aus der Vormessung und den fünf Nachmessungen im nicht bearbeiteten Referenzabschnitt.

Aus Abbildung 4 lässt sich erkennen, dass sich die akustisch relevante Schienenrauheit im unbehandelten Referenzabschnitt während der Versuchsdauer nicht signifikant verändert hat.

2.1.2 Fazit

Vor Planung der Schleifversuche wurde in einer Abstimmung zwischen Hersteller der Maßnahme 1, EBA und Projektleitung I-LENA als Ziel festgelegt, einen Wert $L_{SMW} < -3$ dB innerhalb von drei Monaten nach dem Schleifen zu erreichen. Zusammen mit der Eingriffsschwelle $L_{SMW} = +3$ dB wäre damit ein zeitlicher Mittelwert von $L_{SMW} = 0$ dB erzielt. Dies ist eine notwendige Voraussetzung für den Einsatz der Maßnahme 1 auf BüG-Strecken.

Die durchgeführten Messungen zeigen, dass mit dem Schleifverfahren der Maßnahme 1 auf dem Testabschnitt die Anforderungen an ein BüG-Gleis nicht erfüllt wurden. Positiv hervorzuheben ist, dass die Pegelspitzen im Rauheitsspektrum bei Wellenlängen von 6,3 cm, 5 cm und 3,15 cm

beseitigt werden konnten. Solche Pegelspitzen führen zu tonalen Komponenten im Rollgeräusch (Pfeifgeräusche), die von Anwohnern als stark belästigend wahrgenommen werden.

2.2 Maßnahme 2 – Fräsverfahren

Bei dem Schienenbearbeitungsverfahren (Maßnahme 2) handelt es sich um ein Schienenfräsverfahren. Das Fräsrاد hat einen Durchmesser von 1400 mm, die Arbeitsgeschwindigkeit beträgt maximal 2 km/h. Durch das große Fräsrاد sollen Welligkeiten im Längsprofil nach dem Fräsen vermieden werden. Der zweite Bearbeitungsschritt erfolgt mit einer neuartigen Stirnfräs-Technologie, die die Restwelligkeiten auf BüG-Niveau senken soll. In Abbildung 5 wird der Vorteil eines großen Fräsrades auf die Längswelligkeit veranschaulicht. In Abbildung 6 wird die Stirnfräs-Technologie dargestellt.

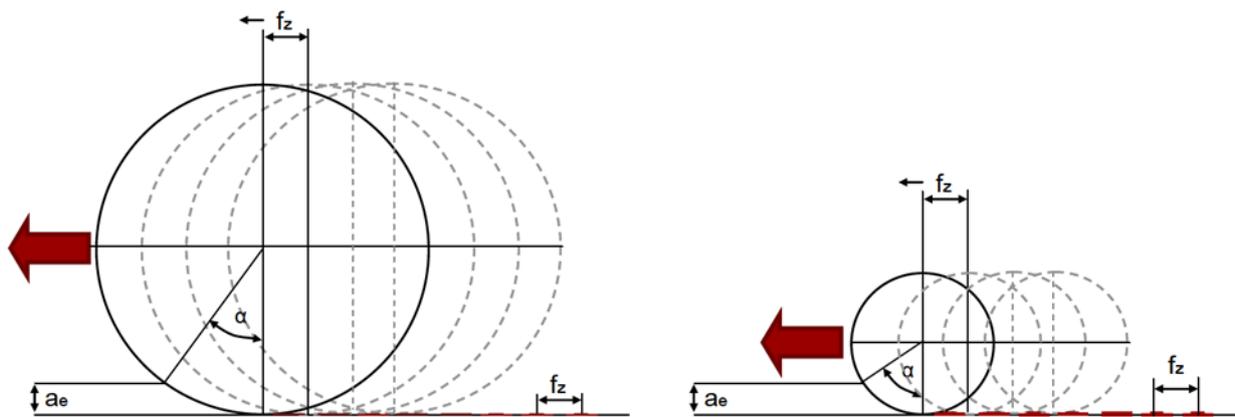


Abbildung 5: Prinzipieller Einfluss der Fräsrادgröße auf die Längswelligkeit (Quelle: Hersteller).

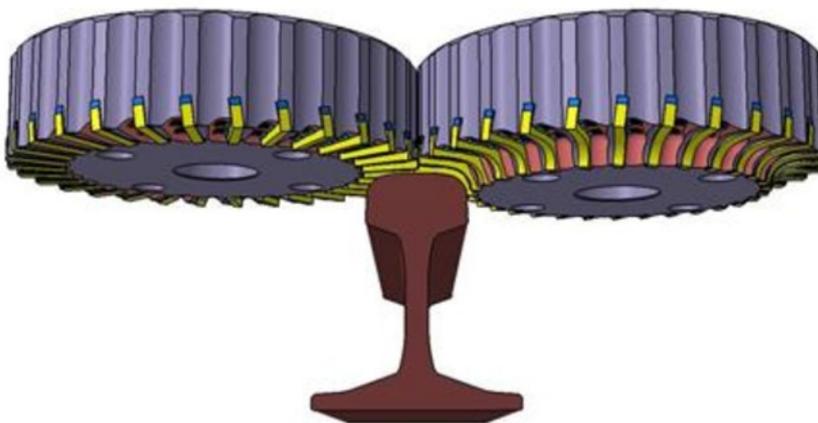


Abbildung 6: Stirnfräs-Technologie des Schienenfräszuges (Quelle: Hersteller).

In einer gemeinsamen Testkampagne der Maßnahmen 1 bis 3 erfolgte im Juli 2019 die Bearbeitung eines ca. 0,7 km langen Versuchsabschnitts. Es wurde eine Überfahrt mit einem Vorschub von 1200 m/h realisiert. Dabei wurde ein Abtrag von 0,8 mm (bezogen auf Schienenmitte (y_0)) gewählt.

Zur Bewertung der Maßnahmen wurden Messungen mit dem Schallmesswagen (SMW) der DB Systemtechnik vor dem Fräsen und in festgelegten Intervallen nach dem Fräsen sowohl im Test- als auch in einem nicht behandelten Referenzabschnitt durchgeführt. Zusätzlich wurden an diesen Abschnitten auch die akustisch relevanten Schienenrauheiten vor dem Fräsen und nach dem Fräsen bestimmt.

2.2.1 Bewertung der Ergebnisse

An der Strecke 3280-1 wurden eingerichtet:

- Referenzabschnitt MQ_1: km 12,000 - km 13,000
- Testabschnitt MQ_3: km 15,500 - km 16,500

Die Messungen fanden von Juli bis Oktober 2019 statt.

2.2.1.1 Ergebnisse Schallmesswagen

Die Ergebnisse der Schallmesswagenmessungen sind in Abbildung 7 in Abhängigkeit von der Streckenkilometrierung grafisch dargestellt.

Die bei der Vormessung ermittelten Schallmesswagenpegel liegen im Wesentlichen zwischen ca. 1 dB und 4 dB, d.h. im Bereich der Eingriffsschwelle für das Schleifen im Rahmen des BüG-Verfahrens. Durch das Fräsen mit der Maßnahme 2 verschlechtert sich die akustische Schienenfahrflächenqualität signifikant und der SMW-Pegel steigt deutlich an. Durch den weiteren Betrieb auf dem Gleis sinkt er um ca. 3 dB und liegt zum Ende des Untersuchungszeitraums ungefähr bei 3 dB und damit nahe dem Ausgangszustand.

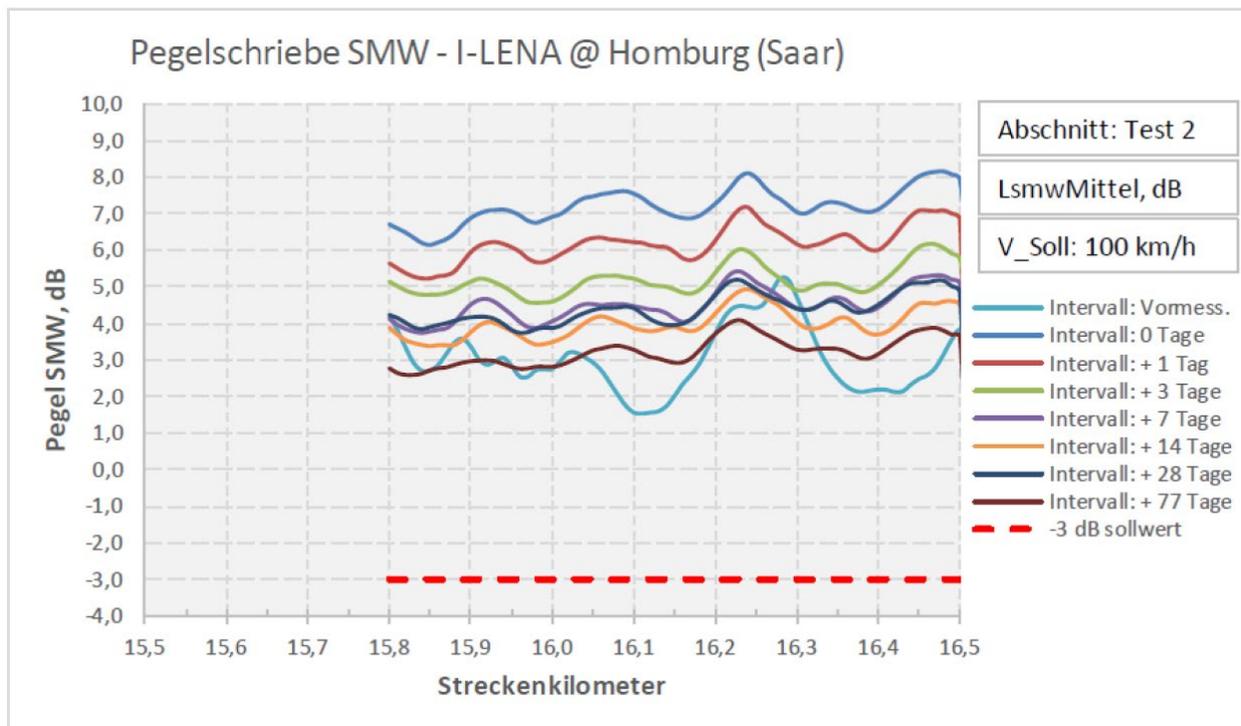


Abbildung 7: Vergleich der gemessenen Schallmesswagenpegel (Geschwindigkeit SMW 100 km/h) im Testabschnitt zu verschiedenen Zeitpunkten vor und nach dem Fräsen.

2.2.1.2 Ergebnisse Schienenrauheitsmessung

Die Ergebnisse der Messungen der akustisch relevanten Schienenrauheit im Test- und Referenzabschnitt sind in Abbildung 8 und Abbildung 9 dargestellt. Im Testabschnitt wurde die Schienenrauheit von km 16,000 bis km 16,075 ermittelt.

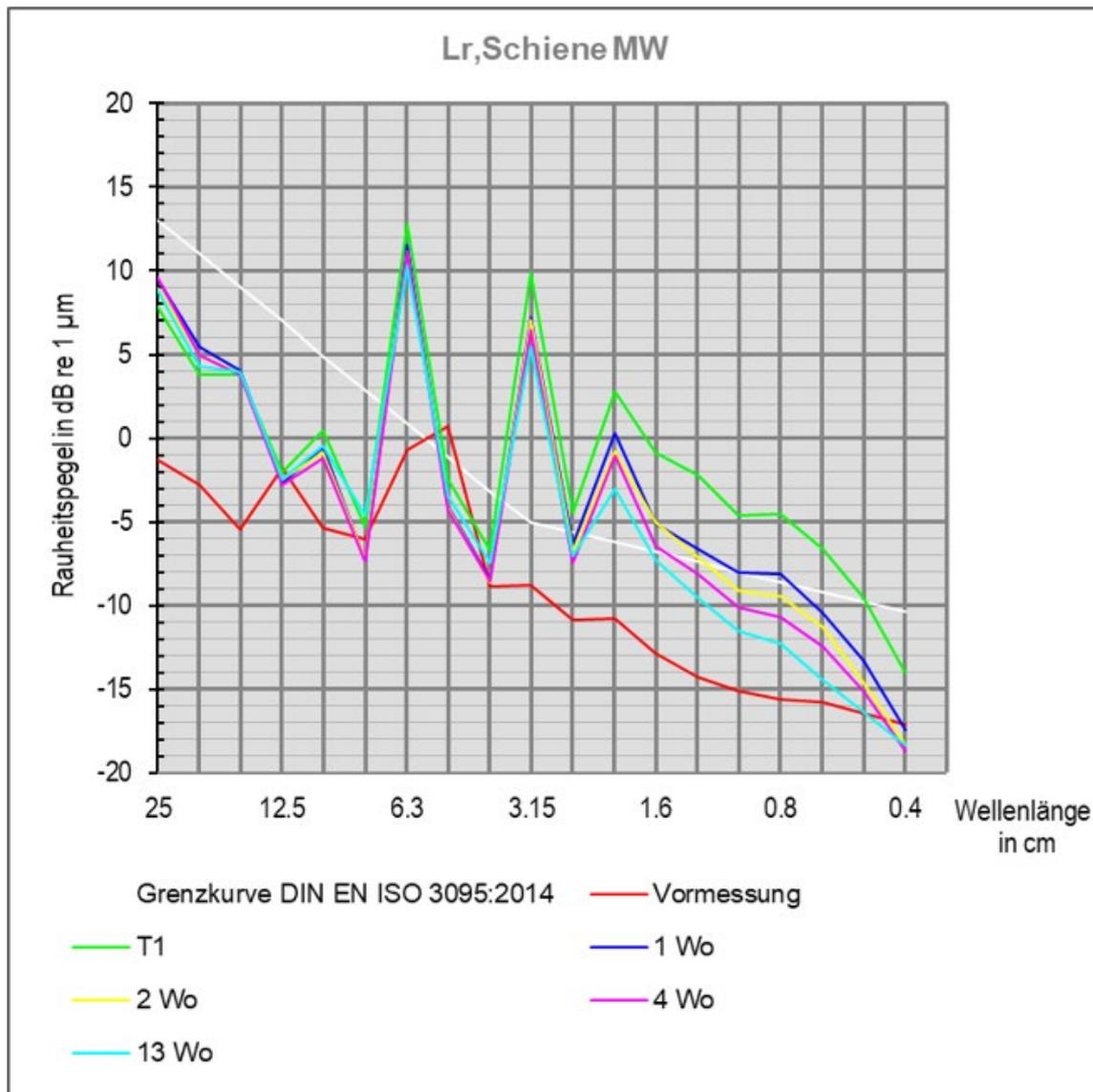


Abbildung 8: Vergleich der über beide Schienen gemittelten Rauheit der Schienenfahrflächen aus der Vormessung und den fünf Nachmessungen (T1=1. Tag, 1 Wo = 1 Woche) im Testabschnitt der Maßnahme 2.

Die Schienenrauheit im Testabschnitt wurde durch das Fräsen in den kurzwelligeren Bereichen breitbandig deutlich erhöht. Zusätzlich sind Pegelspitzen insbesondere im 6,3 cm-, 3,15 cm- und 2 cm-Terzwellenlängenband hinzugekommen. Durch die Überfahrten aus dem Regelverkehr (Einfahrphase) senkten sich die Rauheitspegel für Wellenlängen < 2,5 cm langsam wieder ab. Die Pegelspitzen im 6,3 cm- und 3,15 cm-Band blieben im Untersuchungszeitraum bestehen und wurden durch die Zugüberfahrten im Regelbetrieb nicht wieder ausgeglichen.

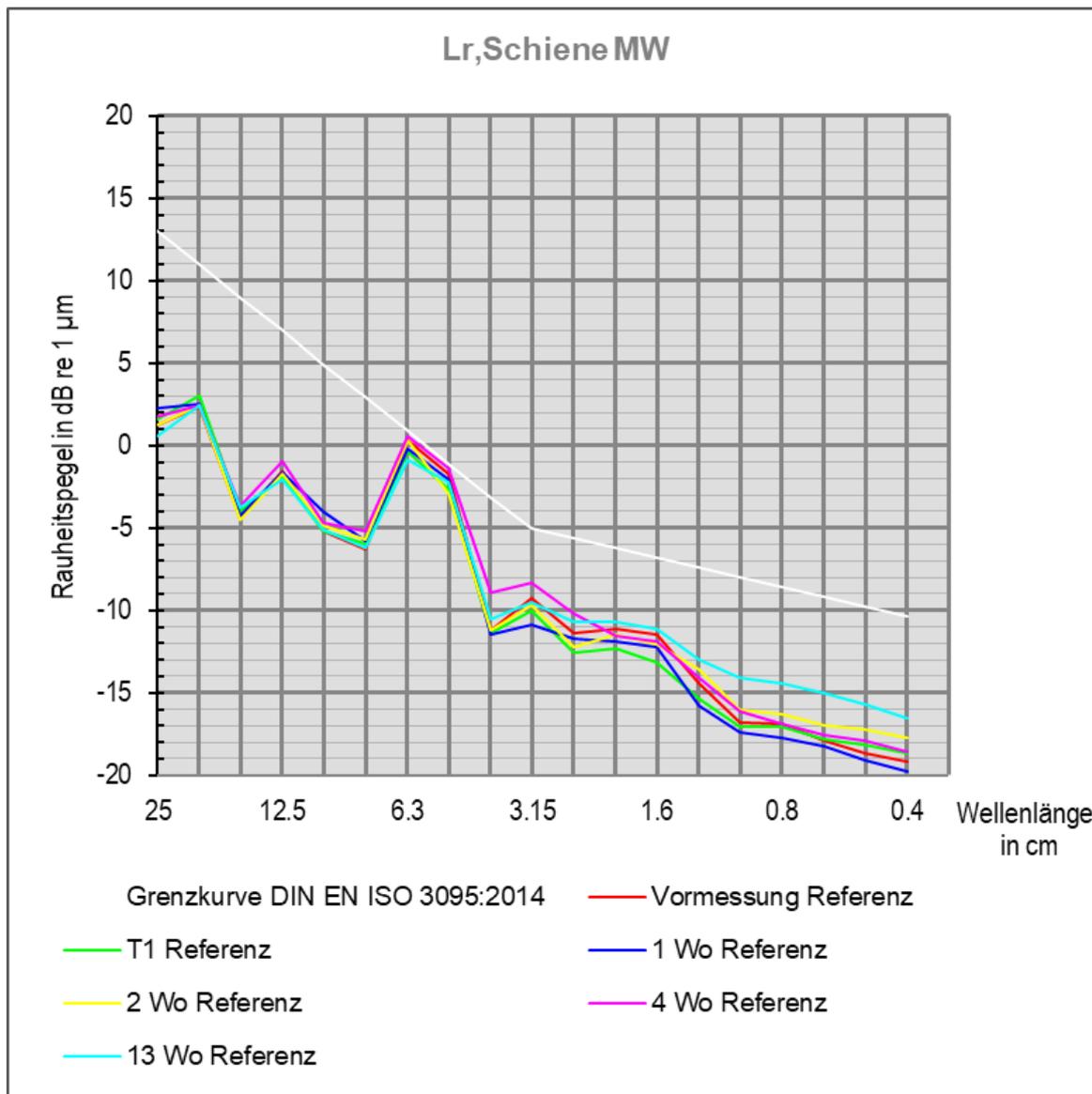


Abbildung 9: Vergleich der über beide Schienen gemittelten Rauheit der Schienenfahrflächen aus der Vormessung und den fünf Nachmessungen im nicht bearbeiteten Referenzabschnitt.

Aus Abbildung 9 lässt sich erkennen, dass sich die akustisch relevante Schienenrauheit im unbehandelten Referenzabschnitt während der Versuchsdauer nicht signifikant verändert hat.

2.2.2 Fazit

Vor Planung der Schleifversuche wurde in einer Abstimmung zwischen den Projektbeteiligten an I-LENA (Hersteller, EBA, DB) als Ziel festgelegt, einen Wert $L_{SMW} < -3$ dB innerhalb von drei Monaten nach dem Schleifen zu erreichen. Zusammen mit der Eingriffsschwelle $L_{SMW} = +3$ dB wäre damit ein zeitlicher Mittelwert von $L_{SMW} = 0$ dB erzielt. Dies ist eine notwendige Voraussetzung für den Einsatz der Maßnahme 2 auf BüG-Strecken.

Durch den Einsatz der Maßnahme 2 stieg der Wert L_{SMW} des Testabschnittes erheblich an, vor allem bei Wellenlängen von 6,3 cm, 3,15 cm und 2 cm wurden deutliche Rauheitspegelspitzen erzeugt.

Die durchgeführten Messungen zeigen, dass mit dem Schienenfräsverfahren der Maßnahme 2 die Anforderungen an ein BüG-Gleis nicht erfüllt wurden. Die nach der Schienenbearbeitung aufgetretenen Spitzen im Rauheitsspektrum führten zu tonalen Komponenten (Pfeifgeräuschen) im Rollgeräusch mit hoher Belästigungswirkung. Der akustische Zustand des Gleises hat sich insgesamt durch die Bearbeitung mit Maßnahme 2 verschlechtert.

2.3 Maßnahme 3 – Fräsverfahren mit nachlaufendem Schleifen

Der Hersteller stimmt einer gesamtheitlichen Veröffentlichung der Ergebnisse der Maßnahme 3 nicht zu.

3 Maßnahmen an der Schiene

3.1 Maßnahme 4 – Schienenstegdämpfer

Bei der Maßnahme 4 handelt es sich um ein Schienendämpfungssystem, welches aus einer Kombination von Schienenstegdämpfern (SSD) und einer Labyrinth-Dämpfungsstruktur (LAB) besteht. Das Dämpfungssystem wird direkt am Schienensteg befestigt (Abbildung 10).

Das physikalische Grundprinzip des Schienendämpfungssystems beruht darauf, dass die durch eine Zugvorbeifahrt angeregte Schwingung der Schienen gedämpft wird. Dadurch wird der von der Schiene abgestrahlte Luftschall vermindert. Dabei arbeiten die SSD nach dem klassischen Tilgerprinzip und die LAB-Struktur nach dem Constrained Layer Damping (CLD) Prinzip.



Abbildung 10: Maßnahme 4 im eingebauten Zustand.

Zur Bewertung der Maßnahme wurden Luftschallmessungen an Messpositionen neben dem Gleis während Zugvorbeifahrten im Regelgleis an einem Test- und einem Referenzabschnitt durchgeführt. Darüber hinaus wurden Schienenrauheiten sowie Gleisabklingraten (TDR) und kombinierte Rauheiten von Rad und Schiene gemessen.

Zur Bestimmung des Lärminderungspotentials des Schienendämpfungssystems wurden drei unterschiedliche Messkampagnen geplant und durchgeführt. Das Messkonzept wurde mit dem Hersteller und dem Eisenbahnbundesamt abgestimmt. Vorab wurde eine Vormessung ohne eingebaute Maßnahme durchgeführt, um den Ausgangszustand zu dokumentieren und um akustische Differenzen zwischen Test- und Referenzabschnitt zu ermitteln. Nach Durchführung der Vormessung wurde die Maßnahme im Testabschnitt verbaut und die erste Effektmessung durchgeführt. Ziel der ersten Effektmessung war es, das Lärminderungspotential des Schienendämpfungssystems bei Zugvorbeifahrten im Regelgleis zu bestimmen. Bei der zweiten Effektmessung wurde die Schallminderung des Schienendämpfungssystems ebenfalls bei Zugvorbeifahrten im Regelgleis bestimmt, um die Ergebnisse aus der ersten Effektmessung validieren zu können.

3.1.1 Bewertung der Ergebnisse

An der Strecke 5500-1 wurden eingerichtet:

- Referenzabschnitt MQ_1: km 49,130 - km 49,280 (Messebene bei km 49,200)
- Testabschnitt MQ_2: km 48,980 - km 49,130 (Messebene bei km 49,050)

Die Messungen fanden wie folgt statt:

- Messung ohne Maßnahme (Nullmessung N0) im August 2018
- 1. Effektmessung (E1) im Oktober / November 2018
- 2. Effektmessung (E2) im Mai 2020

Zur Bewertung der Schallminderungswirkung des SSD bei Zugvorbeifahrten von Regelzügen wurde eine geeignete Auswahl an Messpositionen zur Bestimmung der Wirkung der Maßnahme festgelegt (Abbildung 11). Die Positionen der einzelnen Messpunkte waren für den Test- und Referenzabschnitt identisch. Im Rahmen der Auswertung wurde der Testabschnitt mit eingebaute Maßnahme mit dem Referenzabschnitt ohne eingebaute Maßnahme verglichen und die Schallminderungswirkung abgeleitet.

Durch die vorab durchgeführte Vormessung ohne eingebaute Maßnahme im Testabschnitt wurden schallrelevante Unterschiede zwischen Referenz- und Testabschnitt, welche aus den Charakteristiken des Oberbaus oder den Ausbreitungsbedingungen resultieren, korrigiert. In der Vormessung konnte der Luftschall auf Grund örtlicher Besonderheiten ausschließlich am Messpunkt in 6 m Entfernung zur Gleismitte und 1,2 m Höhe über Schienenoberkante gemessen werden. In den nachfolgenden Messkampagnen wurden die Standardmesspunkte gemäß Abbildung 11 verwendet.

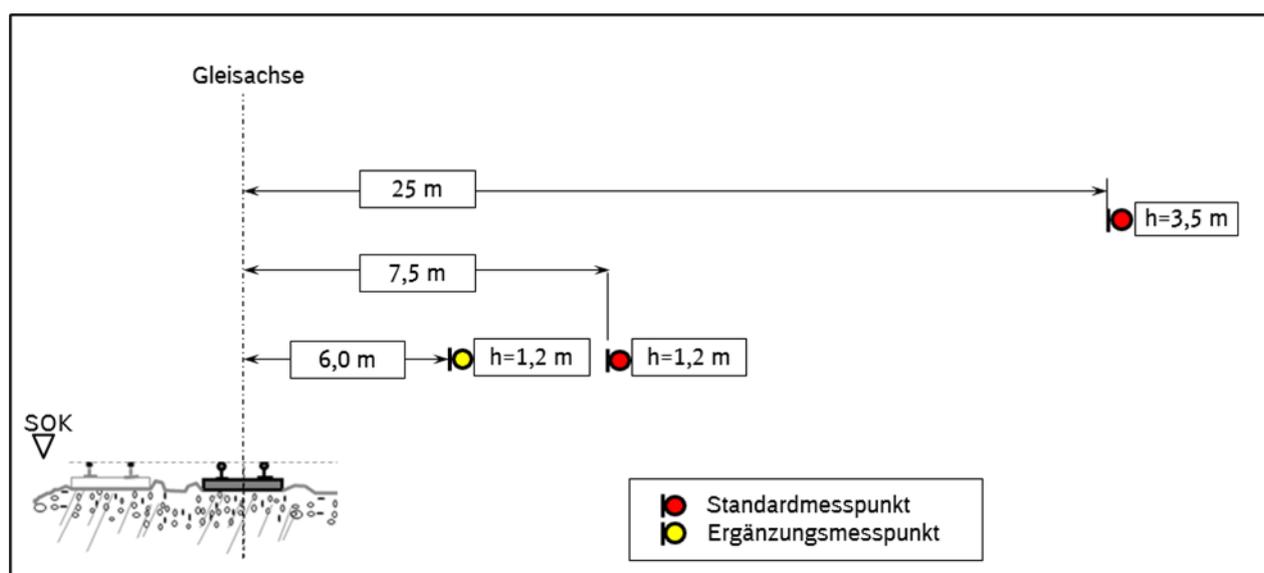


Abbildung 11: Anordnung der Luftschallmesspunkte bei der ersten und zweiten Effektmessung, bei der Vormessung wurden nur die Messpunkte in einem Abstand von 6,0 m zur Gleismitte verwendet.

Ergebnisse der Luftschallmessungen

Die Bewertung der Ergebnisse erfolgte anhand der folgenden Zugkategorien: Doppelstock -Züge (DoSto) mit 140 km/h und 150km/h, Elektrotriebzüge (ETZ) mit 110 km/h, 120km/h und 140 km/h sowie Reisezüge (RZ) mit 150 km/h. Die Ergebnisse der Luftschallmessungen sind in Tabelle 1 als Zahlenwerte dargestellt. Die Wirkung ΔL ist die Differenz der Messergebnisse aus dem Testabschnitt und Referenzabschnitt. Eine positive Differenz stellt eine Verbesserung im Vergleich zum Referenzabschnitt und somit eine Minderungswirkung der Maßnahme dar. Eine negative Differenz stellt eine Verschlechterung im Vergleich zum Referenzabschnitt dar. Die Differenzen für den Messpunkt in 6 m Entfernung zur Gleismitte und 1,2 m Höhe über Schienenoberkante wurden korrigiert, so dass akustisch relevante Unterschiede zwischen Test- und Referenzabschnitt eliminiert wurden. Aufgrund fehlender Messergebnisse aus der Vormessung für die Messpunkte in 25 m Entfernung zur Gleismitte und 3,5 m Höhe über Schienenoberkante und in 7,5 m Entfernung zur Gleismitte und 1,2 m Höhe über Schienenoberkante konnte für diese zwei Messpositionen keine Korrektur durchgeführt werden. Da die Korrektur zwischen Test- und Referenzabschnitt am Messpunkt in 6 m Entfernung zur Gleismitte und 1,2 m Höhe über Schienenoberkante zwischen 0,2 dB und 0,4 dB liegt, hat sie nur einen geringfügigen Einfluss auf das Gesamtergebnis und auf die Schallminderungswirkung des Schienendämpfungssystems. Daher werden in der Tabelle 1 die unkorrigierten Schallminderungswirkungen für den 25 m Messpunkt und den 7,5 m Messpunkt angegeben.

Für die Bewertung der Schallminderung des Schienendämpfungssystems wurden die Messergebnisse der ersten Effektmessung als validiert eingestuft, da während der zweiten Effektmessung aufgrund eines Schienenfehlers der Referenzabschnitt um 75 m verschoben wurde. Daher entsprechen die Ergebnisse der Tabelle 1 denen aus der ersten Effektmessung.

Tabelle 1: Differenz ΔL der A-bewerteten Oktavband- und Summenpegel bei Zugvorbeifahrt an den Messpunkten gemittelt über die Zugkategorien Dosto 140 km/h, Dosto 150 km/h, ETZ 110 km/h, ETZ 120 km/h, ETZ 140 km/h und RZ mit 150 km/h.

Messpunkt	Pegelminderung								
	Frequenzband								A-bewerteter Summenpegel
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
a = 6,0 m; h = 1,2 m	0,9 dB	0,5 dB	0,5 dB	1,0 dB	2,1 dB	2,8 dB	1,7 dB	3,2 dB	2,1 dB
a = 7,5 m; h = 1,2 m	1,7 dB	-0,1 dB	1,1 dB	0,7 dB	2,0 dB	2,2 dB	1,3 dB	2,1 dB	1,9 dB
a = 25 m; h = 3,5 m	0,4 dB	-1,5 dB	1,8 dB	2,2 dB	2,5 dB	3,1 dB	1,6 dB	1,9 dB	2,5 dB

Die Ergebnisse zeigen eine Pegelminderung in den relevanten Frequenzbändern ab 500 Hz zwischen 0,7 dB und 3,1 dB. Dabei zeigt der gleisnahe Messpunkt in 6 m Entfernung zur Gleismitte und 1,2 m Höhe über Schienenoberkante eine Schallpegelminderung von 2,1 dB im

A-bewerteten Summenpegel. Am Standard-Messpunkt in 7,5 m Entfernung und 1,2 m Höhe über Schienenoberkante wurde eine Reduzierung des Summenpegels aufgrund der Maßnahme um 1,9 dB gemessen. An dem weiter entfernten Messpunkt in 25 m Entfernung zur Gleismitte und 3,5 m Höhe über Schienenoberkante resultiert eine Pegelminderung von 2,5 dB.

3.1.2 Fazit

Nach dem Einbau des Schienendämpfungssystems trat im akustisch relevanten Frequenzbereich eine Schalldruckpegelminderung an allen Messpositionen auf.

3.2 Maßnahme 5 – Kombination von Schienenstegdämpfer und - Schienenstegabschirmung

Bei der Kombination von Schienenstegdämpfer und -abschirmung (SSDA, Maßnahme 5) handelt es sich um Dämpfungselemente, die direkt an der Schiene befestigt werden und dort die Schwingung der Schiene und damit auch das Rollgeräusch der Züge beeinflussen. Konstruktionsbasis ist ein SSD, auf dem zusätzliches Abdeckblech befestigt ist, welches die freie Fläche maximal bedeckt und damit zusätzlich wie eine Schienenstegabschirmung wirkt.

Im vorliegenden Fall wurden die SSDA im Testabschnitt mit Regeloberbau und harter Zwischenlage, im zweiten Testabschnitt mit Regeloberbau und elastischer Zwischenlage getestet. Abbildung 12 zeigt ein Foto des Systems.

Zur Bewertung der Maßnahmen wurden Luftschallmessungen an Messpositionen neben dem Gleis während der Vorbeifahrt von Regelzügen, Messungen der Schienenrauheiten, der kombinierten Rauheiten und der Gleisabklingrate an einem Test- und einem Referenzabschnitt vor und nach Einbau der Maßnahme durchgeführt. Eine Besonderheit bei der durchgeführten Untersuchung im Abschnitt mit elastischer Zwischenlage war, dass im Referenzabschnitt eine gleisnahe SSW eingebaut war. Der Vergleich zwischen Referenz- und Testabschnitt bei der Vormessung ergab daher im Referenzabschnitt deutlich geringere Werte als im Testabschnitt ohne SSDA. Berechnet man jedoch die Wirkung der Maßnahme als Differenz der Luftschallspektren von Referenz- und Testabschnitt aus der Effektmessung und korrigiert dies mit der Differenz der Luftschallspektren von Referenz- und Testabschnitt aus der Vormessung, wird der Effekt der SSW gerade herausgerechnet. Die berechnete Wirkung entspricht der Wirkung der SSDA.



Abbildung 12: Kombination eines Schienenstegdämpfers mit einer Schienenstegabschirmung.

3.2.1 Bewertung der Ergebnisse im Testabschnitt mit harter Zwischenlage Ergebnisse der Luftschallmessungen (Standard-Messpunkte)

An der Strecke 6153-1 wurden eingerichtet:

- Referenzabschnitt MQ_1: km 70,355 - km 70,450 (Messebene bei km 70,400)
- Testabschnitt MQ_2: km 70,450 - km 70,600 (Messebene bei km 70,537)

Die Messungen fanden wie folgt statt:

- Messung ohne Maßnahme (Nullmessung N0) im August 2019
- 1. Effektmessung (E1) im Oktober 2019

Die Abbildung 13 zeigt die beiden Messquerschnitte mit den dort verwendeten Positionen und Bezeichnungen der Luftschallmikrofone.

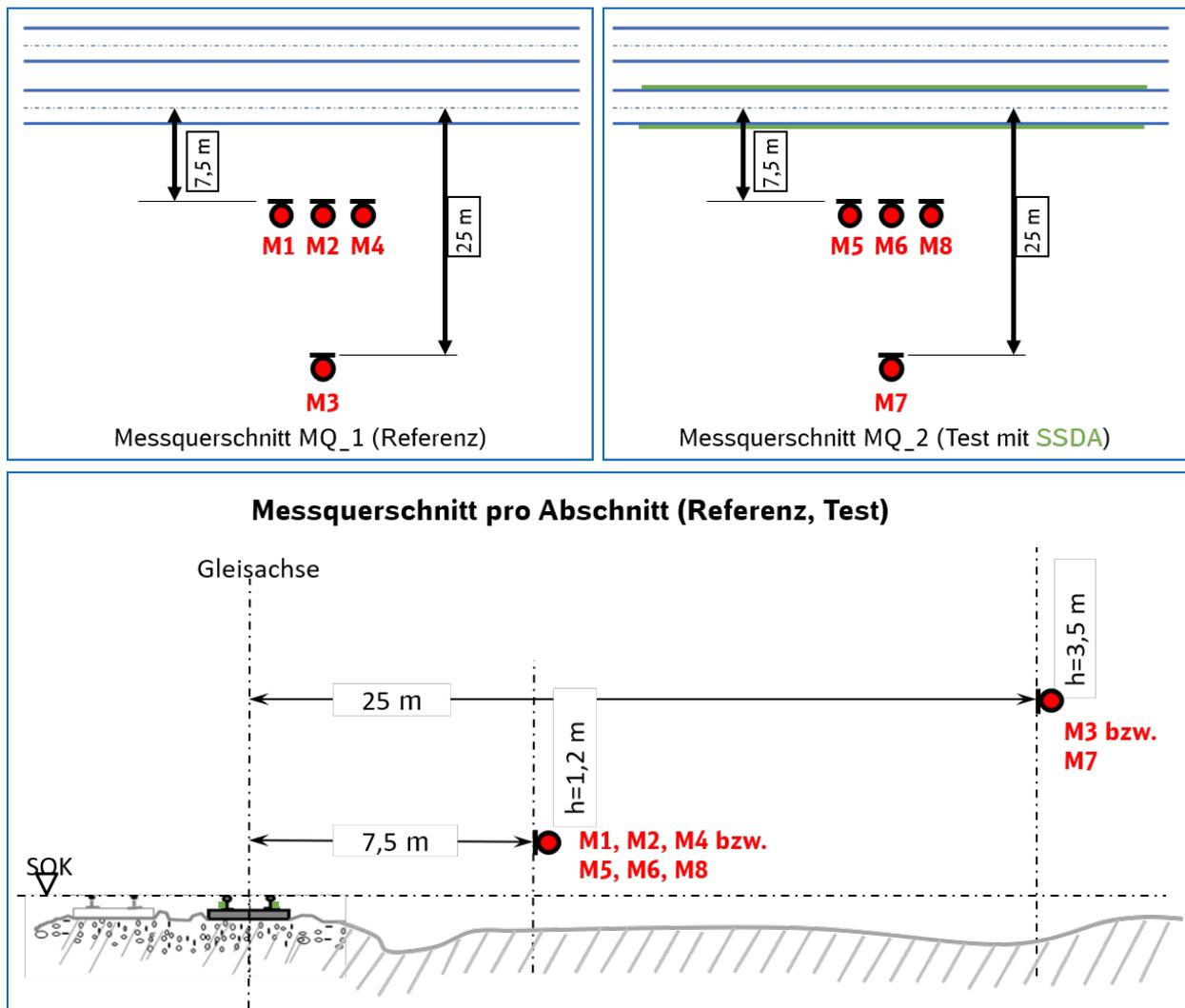


Abbildung 13: Positionen und Bezeichnungen der Luftschallmesspunkte (rot) in beiden Messebenen.

Die Luftschall-Mikrofone M1, M2, M4, M5, M6 und M8 waren in einem Abstand von 7,5 m von der Gleisachse und in 1,2 m Höhe über SOK, die Luftschall-Mikrofone M3 und M7 waren im Abstand von 25 m und in 3,5 m Höhe über SOK positioniert.

Im Folgenden sind die Wirkungen der SSDA an den Luftschall-Mikrofonen in 7,5 m Abstand von der Gleisachse (gemittelt über die drei Mikrofone 1/2/4) und am Luftschall-Mikrofon 3 (Abstand 25 m von der Gleismitte) dargestellt. Die Bewertung erfolgte anhand der Zugkategorien DoSto mit 140 km/h (DoSto-140) und 150 km/h (DoSto-150) sowie GZ mit 90 km/h (GZ-90) und 100 km/h (GZ-100). Abbildung 14 enthält die Terzspektren der Pegelminderung für die einzelnen Zugkategorien und Tabelle 2 die Mittelwerte über alle Zugkategorien.

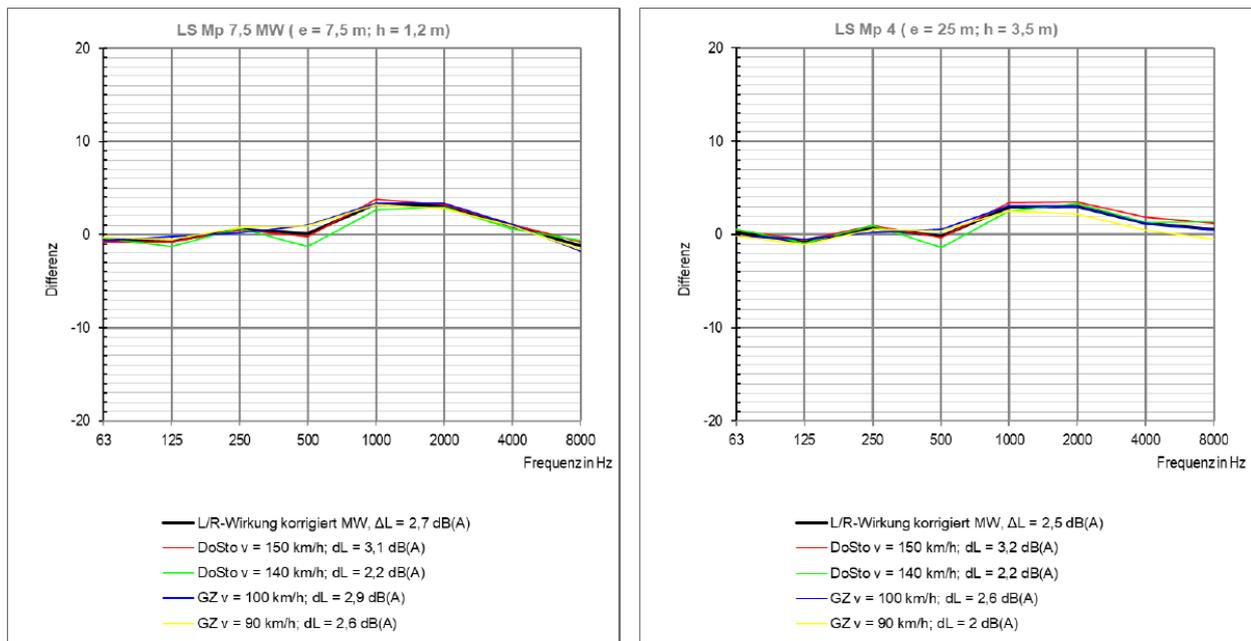


Abbildung 14: Vergleich der Wirkung an den Messpositionen in der Entfernung 7,5 m (Mittelung über Mp 1-3, links) und 25 m (MP 4, rechts), dargestellt sind die Ergebnisse der Zugkategorien DoSto 140 km/h, DoSto 150 km/h, GZ 90 km/h und GZ 100 km/h sowie die gemittelten Ergebnisse.

Tabelle 2: Pegelminderung an den Positionen in der Entfernung 7,5 m (Mittelwert über die Luftschallmikrofone 1 -3, links) und 25 m (Luftschallmikrofon 4, rechts) gemittelt über die vier ausgewerteten Zugkategorien DoSto 140 km/h, DoSto 150 km/h, GZ 90 km/h und GZ 100 km/h.

Frequenz	Pegelminderung, 7,5 m Entfernung (MW)	Pegelminderung, 25 m Entfernung (MP 4)
63 Hz	- 0,5 dB(A)	+ 0,2 dB(A)
125 Hz	- 0,7 dB(A)	- 0,8 dB(A)
250 Hz	+ 0,6 dB(A)	+ 0,7 dB(A)
500 Hz	+ 0,1 dB(A)	- 0,2 dB(A)
1000 Hz	+ 3,3 dB(A)	+ 2,9 dB(A)
2000 Hz	+ 3,1 dB(A)	+ 3,0 dB(A)
4000 Hz	+ 0,9 dB(A)	+ 1,2 dB(A)
8000 Hz	- 1,2 dB(A)	+ 0,6 dB(A)
Summenpegel	+ 2,7 dB(A)	+ 2,5 dB(A)

3.2.2 Bewertung der Ergebnisse im Testabschnitt mit elastischer Zwischenlage Ergebnisse der Luftschallmessungen (Standard-Messpunkte)

An der Strecke 6153-1 wurden eingerichtet:

- Referenzabschnitt MQ_1: km 62,80 – km 62,95 (Messebene bei km 62,88)
- Testabschnitt MQ_2: km 62,95 – km 63,10 (Messebene bei km 63,02)

Die Messungen fanden wie folgt statt:

- Messung ohne Maßnahme (Nullmessung N0) im Mai 2020
- 1. Effektmessung (E1) im Juli 2020

Im Folgenden sind die Resultate an den Luftschall-Messpunkten MP 1 (Abstand jeweils 7,5 m südlich von der Gleismitte, Höhe von 1,2 m über Schienenoberkante), MP 4 (Abstand 25 m südlich von der Gleismitte, Höhe von 3,5 m über Schienenoberkante) und MP 13 (Abstand 13 m nördlich von der Gleismitte, Höhe 1,5 m über Schienenoberkante) dargestellt. Der Messpunkt MP 13 war nördlich der Gleise positioniert und unterlag somit nicht dem Einfluss der südlich der Gleise positionierten Schallschutzwand.

Die Abbildung 15 zeigt die beiden Messquerschnitte mit den dort verwendeten Positionen und Bezeichnungen der Luftschallmikrofone, wie sie in der Messung relevant waren.

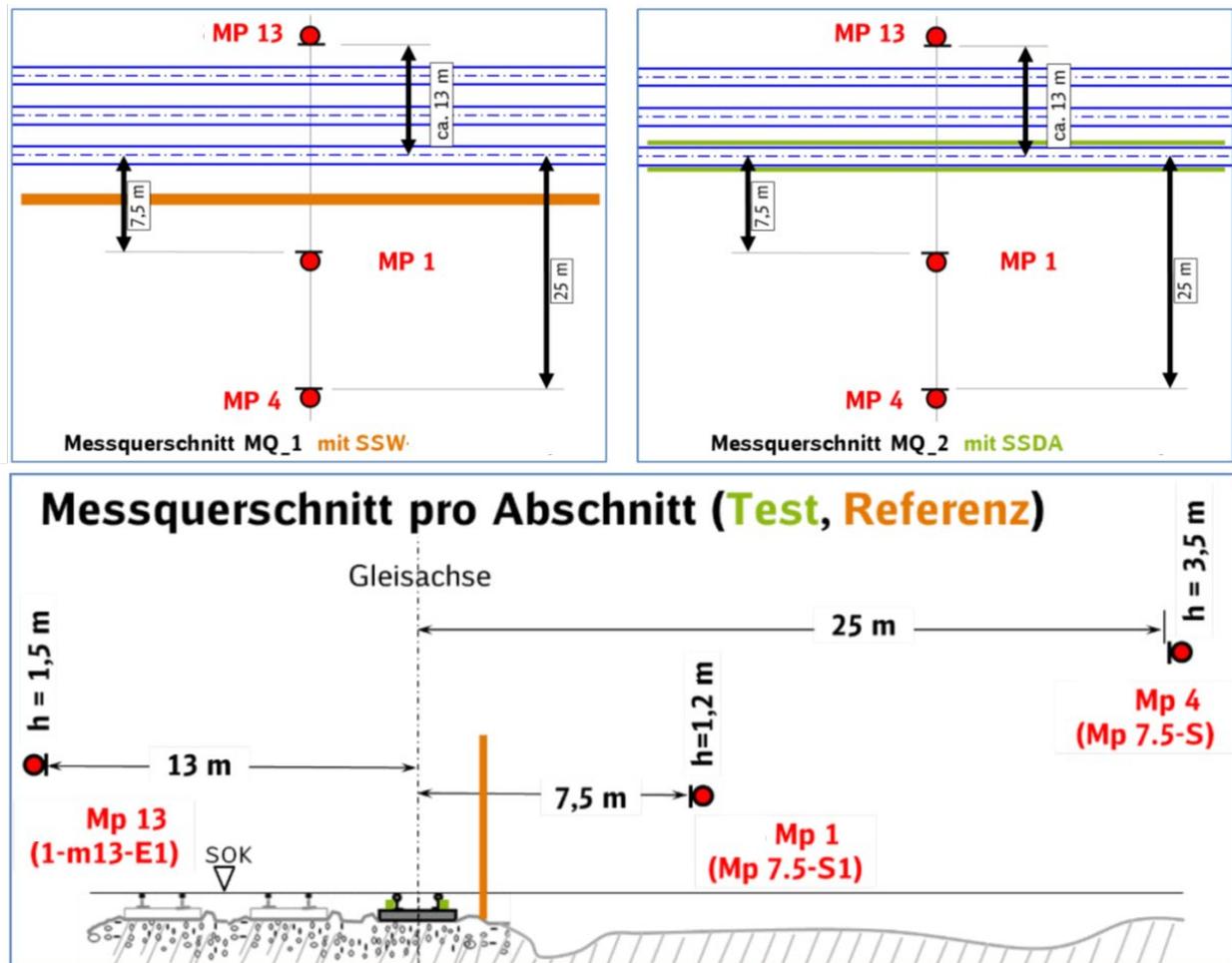


Abbildung 15: Positionen und Bezeichnungen der Luftschallmesspunkte (rot) in beiden Messebenen (oben) sowie im Querschnitt (unten).

Die Ergebnisse der Luftschallmessungen sind in Abbildung 16 grafisch und in Tabelle 3 als Zahlenwerte dargestellt. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgte anhand der folgenden Zugkategorien: DoSto mit 160 km/h (DoSto-160), GZ mit 90 km/h (GZ-90), teilweise auch GZ mit 100 km/h (GZ-100).

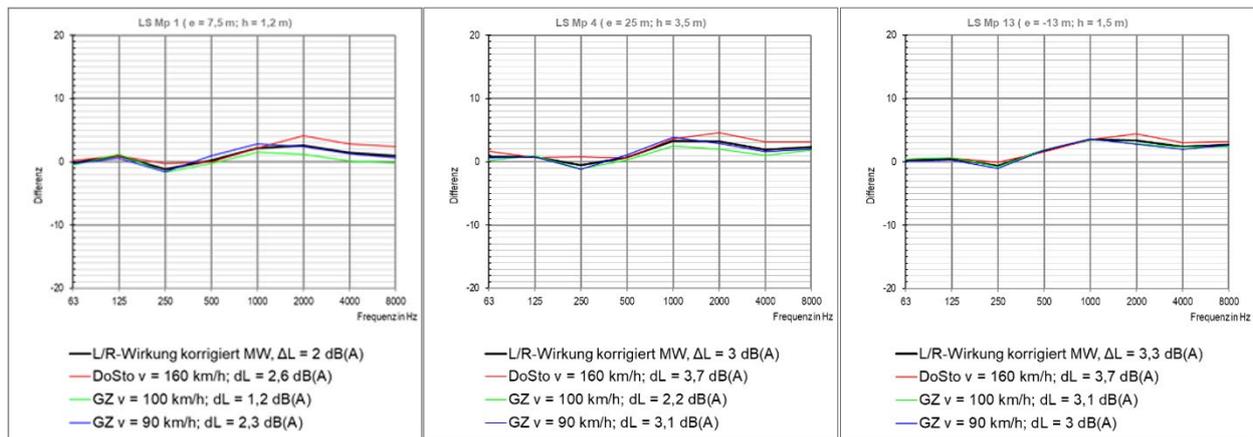


Abbildung 16: Vergleich der Wirkung an den Messpositionen in der Entfernung 7,5 m (Mp 1, links), 25 m (MP 4, Mitte) sowie 13 m (MP 13, rechts). Dargestellt sind die Ergebnisse der Zugkategorien DoSto 160 km/h, GZ90 km/h und GZ 100 km/h sowie die gemittelten Ergebnisse.

Tabelle 3: Pegelminderung an den Positionen in der Entfernung 7,5 m (MP 1, links), 25 m (MP 4, Mitte) und 13 m (MP 13, rechts) gemittelt über die Zugkategorien DoSto 160 km/h, GZ 90 km/h u. GZ 100 km/h.

Frequenz	Pegelminderung MP 1	Pegelminderung MP 4	Pegelminderung MP 13
63 Hz	- 0,2 dB(A)	+ 0,8 dB(A)	+ 0,3 dB(A)
125 Hz	+ 0,9 dB(A)	+ 0,8 dB(A)	+ 0,5 dB(A)
250 Hz	- 1,2 dB(A)	- 0,5 dB(A)	- 0,6 dB(A)
500 Hz	+ 0,2 dB(A)	+ 0,7 dB(A)	+ 1,8 dB(A)
1000 Hz	+ 2,2 dB(A)	+ 3,3 dB(A)	+ 3,5 dB(A)
2000 Hz	+ 2,6 dB(A)	+ 3,2 dB(A)	+ 3,4 dB(A)
4000 Hz	+ 1,4 dB(A)	+ 1,9 dB(A)	+ 2,4 dB(A)
8000 Hz	+ 0,9 dB(A)	+ 2,3 dB(A)	+ 2,7 dB(A)
Summenpegel	+ 2,0 dB(A)	+ 3,0 dB(A)	+ 3,3 dB(A)

Insgesamt ergibt sich an allen Messpositionen im akustisch relevanten Frequenzbereich eine positive Wirkung, d. h. eine Verminderung des Luftschallpegels. Die Wirkung im Abstand von 7,5 m zur Gleismitte ist dabei etwas geringer als die Wirkung im Abstand von 25 m zur Gleismitte bzw. in 13 m zur Gleismitte auf der gegenüberliegenden Seite. Dies kann eventuell darauf zurückgeführt werden, dass bei der Referenzmessung in einem Abstand von 7,5 m und einer Höhe von 1,2 m hinter der niedrigen Schallschutzwand sehr niedrige Werte gemessen wurden, bei denen mögliche Hintergrundgeräusche eher einen Einfluss haben könnten als bei den anderen beiden Messpositionen.

3.2.3 Fazit

Auf dem Abschnitt mit hoher Gleisabklingrate wurde nach dem Einbau eine Reduktion um ca. 2,5 dB(A) im Luftschall-Summenpegel gemessen. Die Messungen auf dem Abschnitt mit niedriger Gleisabklingrate ergaben Reduktionswerte von 2 - 3 dB(A). Die Ergebnisse sind in der Größenordnung vergleichbar mit Standard-SSD.

3.3 Maßnahme 6 – Schienenstegabschirmung

Bei der Maßnahme 6 handelt es sich um Schienenstegabschirmungen (SSA), die als absorbierende Elemente an der Schiene befestigt werden und den vom Schienensteg

abgestrahlten Anteil des Rollgeräusches mindern. Abbildung 17 zeigt das System im eingebauten Zustand.



Abbildung 17: Foto der Schienenstegabschirmung installiert im Gleis.

Zur Bewertung der Maßnahme wurden Luftschallmessungen an Positionen neben dem Gleis während der Vorbeifahrt von Regelzügen, Messungen der Schienenrauheiten und der Gleisabklingrate an einem Test- und einem Referenzabschnitt vor und nach Einbau der Maßnahme durchgeführt. Für einzelne Zugvorbeifahrten wurden in einem angrenzenden Abschnitt die kombinierte Schienen- und Radrauheit bestimmt.

3.3.1 Bewertung der Ergebnisse

Ergebnisse der Luftschallmessungen (Standard-Messpunkte)

An der Strecke 5500-1 wurden eingerichtet:

- Referenzabschnitt MQ_1: km 49,130 – km 49,280 (Messebene bei km 49,200)
- Testabschnitt MQ_2: km 48,450 – km 48,650 (Messebene bei km 48,550)

Die Messungen fanden wie folgt statt:

- Messung ohne Maßnahme (Nullmessung N0) im August 2018
- 1. Effektmessung (E1) im Oktober / November 2018
- 2. Effektmessung (E2) im Mai 2020

Die Bewertung erfolgte anhand der folgenden Zugkategorien: RZ mit 150 km/h (nur erste Effektmessung), DoSto mit 130 km/h und 140 km/h, ETZ mit 120 km/h und 140 km/h. Dabei wurde der Messpunkt 2 im Abstand von 6 m von der Gleismitte und einer Höhe von 1,2 m über Schienenoberkante sowie der Messpunkt 4 im Abstand von 25 m von der Gleismitte und einer Höhe von 3,5 m über Schienenoberkante verwendet. Die Ergebnisse der Luftschallmessungen sind in den Abbildung 18 und Abbildung 19 grafisch und in Tabelle 4 als Zahlenwerte dargestellt.

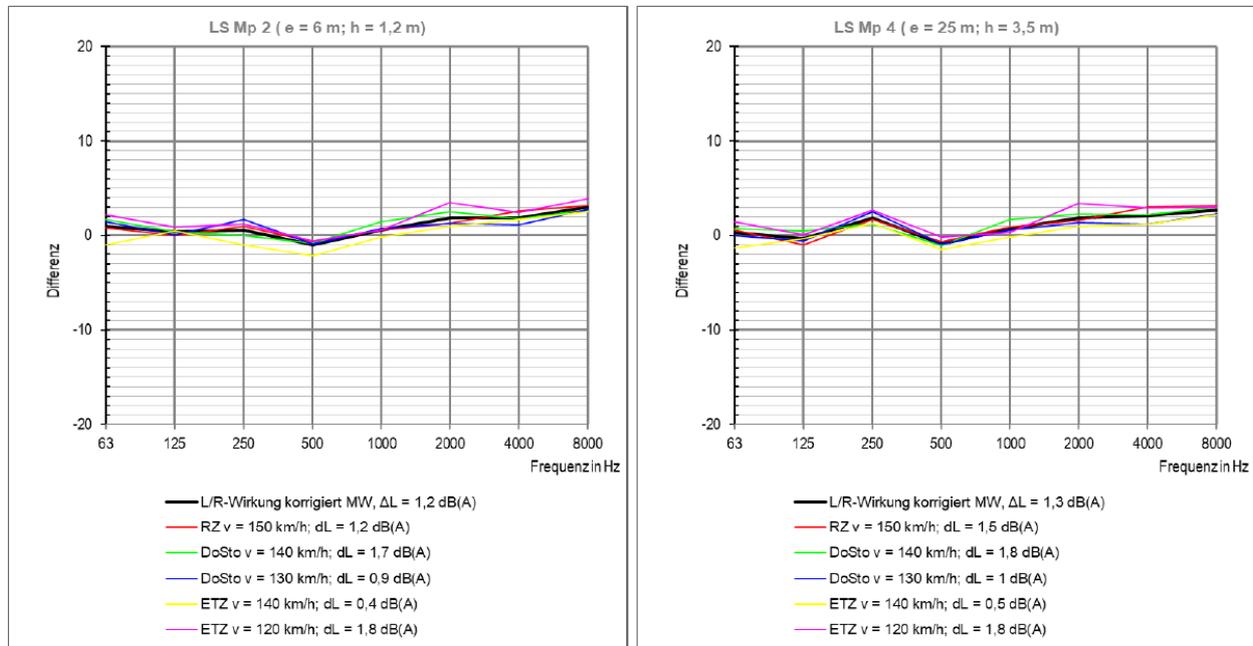


Abbildung 18: Differenz ΔL der A-bewerteten Oktavbandspektren an den Messpositionen MP 2 und MP 4 aus der ersten Effektmessung, dargestellt sind die Ergebnisse der Zugkategorien RZ 150 km/h, DoSto 130 km/h, DoSto 140 km/h, ETZ 120 km/h und ETZ 140 km/h sowie die gemittelten Ergebnisse.

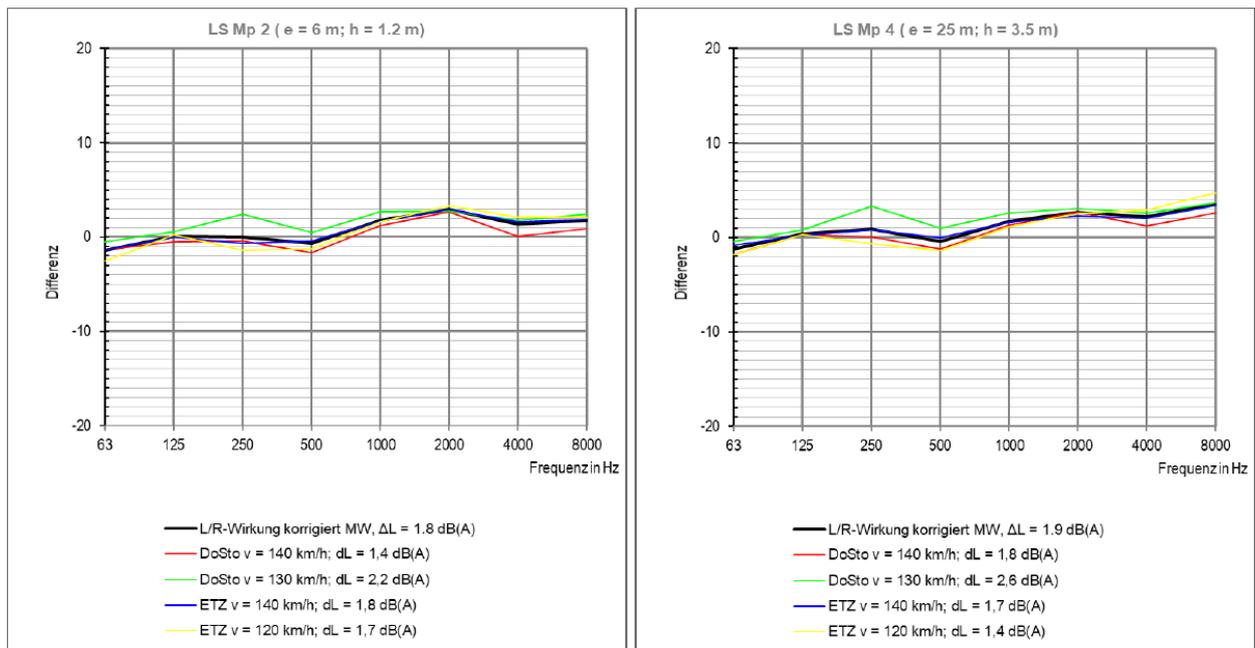


Abbildung 19: Differenz ΔL der A-bewerteten Oktavbandspektren an den Messpositionen MP 2 und MP 4 aus der zweiten Effektmessung, dargestellt sind die Ergebnisse der Zugkategorien DoSto 130 km/h, DoSto 140 km/h, ETZ 120 km/h und ETZ 140 km/h sowie die gemittelten Ergebnisse.

Tabelle 4: Differenz ΔL der A-bewerteten Oktavband- und Summenpegel an den Messpunkten MP 2 und MP 4 gemittelt über die Zugkategorien RZ 150 km/h (nur 1. Effektmessung), DoSto 130 km/h, DoSto 140 km/h, ETZ 120 km/h und ETZ 140 km/h.

Frequenz in Hz	Messpunkt 6 m / 1,2 m			Messpunkt 25 m / 3,5 m		
	1. Effektmess.	2. Effektmess.	Mittelwert	1. Effektmess.	2. Effektmess.	Mittelwert
	Wirkung in dB	Wirkung in dB	Wirkung in dB	Wirkung in dB	Wirkung in dB	Wirkung in dB
63	-0,2	-2,5	-1,4	0,3	-1,2	-0,5
125	0,1	0,2	0,2	-0,3	0,4	0,1
250	-2,3	-2,2	-2,3	1,9	0,9	1,4
500	-1,3	-0,2	-0,8	-0,9	-0,4	-0,7
1000	0,3	2,4	1,4	0,7	1,7	1,2
2000	1,9	3,8	2,9	1,9	2,7	2,3
4000	2,0	2,4	2,2	2,1	2,2	2,2
8000	2,5	2,7	2,6	2,7	3,6	3,2
Summenpegel	1,0	2,5	1,8	1,3	1,9	1,6

Insgesamt ergibt sich bei den betrachteten Messpositionen eine positive Wirkung zumindest im Summenpegel, wobei in der zweiten Effektmessung eine leicht höhere Schallminderungswirkung ermittelt wurde als in der ersten Effektmessung. Da die Schallminderungswirkung aus der ersten und der zweiten Effektmessung im Rahmen der Messgenauigkeit vergleichbar war, wurden die Ergebnisse im vorliegenden Fall gemittelt.

3.3.2 Fazit

Die durchgeführten Messungen zeigen nach dem Einbau der SSA eine leichte Reduktion des Rollgeräuschpegels um ca. 1,7 dB an den Standardmesspositionen.

4 Maßnahmen zur Lärminderung auf dem Ausbreitungsweg

4.1 Maßnahme 7 – Mini Schallschutzwand

Der Hersteller stimmt einer gesamtheitlichen Veröffentlichung der Ergebnisse der Maßnahme 7 nicht zu.

4.2 Maßnahme 8 – Gleisnahe Schallschutzwand

Bei der Maßnahme 8 handelt es sich um eine gleisnahe, niedrige SSW. Die Höhe beträgt 1,33 m über Schienenoberkante. Der Abstand im eingebauten Zustand zur Gleismitte des Regelgleises (wandnahes Gleis) beträgt 2,50 m.

Die Maßnahme 8 besteht aus flachgegründeten Betonsockelelementen, an denen Pfostenprofile befestigt werden. Zwischen die Pfostenprofile werden Aluminiumlärmschutzwandkassetten eingeschoben und fixiert. Die Maßnahme 8 bietet einen integrierten Kabelkanal und Fluchttüren. Zudem ist es durch die gelenkigen, formschlüssigen Abschlüsse der Betonsockelelemente möglich, die Maßnahme 8 auch in Gleisbögen zu errichten (siehe Abbildung 20).

Zur Bewertung der Maßnahme wurden Luftschallmessungen an Messpositionen neben dem Gleis während Zugvorbeifahrten im Regelgleis (wandnahem Gleis) und im Gegengleis (wandfernem Gleis) durchgeführt.



Abbildung 20: Maßnahme 8 im eingebauten Zustand an der Strecke 6153 in Briesen (Mark).

Darüber hinaus wurden Schienenrauheiten sowie Gleisabklingrate gemessen.

Die Vormessung ohne eingebaute Maßnahme dient zur Ermittlung von streckenbedingten, akustischen Differenzen zwischen Test- und Referenzabschnitt. Vor der ersten Effektmessung wurde die Maßnahme am Testabschnitt verbaut und Zugvorbeifahrten im Regelgleis gemessen.

Ziel der ersten Effektmessung ist es, dass Lärminderungspotential der Maßnahme 8 bei Zugvorbeifahrten im Regelgleis zu bestimmen. Bei der zweiten Effektmessung wurde auch die Schallminderung der Maßnahme 8 bei Zugvorbeifahrten im Regel- und im Gegengleis bestimmt.

4.2.1 Bewertung der Ergebnisse

An der Strecke 6153-1 wurden eingerichtet:

- Testabschnitt MQ_1: km 62,800 – km 62,950 (Messebene bei km 62,880)
- Referenzabschnitt MQ_2: km 62,950 – km 63,100 (Messebene bei km 63,020)

Die Messungen fanden wie folgt statt:

- Messung ohne Maßnahme (Nullmessung N0) im Mai 2019
- 1. Effektmessung (E1) im August 2019
- 2. Effektmessung (E2) im Mai 2020

Zur Bewertung des Schallminderungspotentials der Maßnahme 8 bei Zugvorbeifahrten im Regelgleis und Gegengleis wurde eine geeignete Auswahl an Messpositionen zur Charakterisierung des Schallfeldes festgelegt.

Die Positionen der einzelnen Messpunkte waren für den Test- und Referenzabschnitt identisch.

Im Rahmen der Auswertung wurden die gemessenen Schallpegel im Testabschnitt (mit Maßnahme) mit denjenigen aus dem Referenzabschnitt (ohne Maßnahme) verglichen und daraus die erzielte Schallminderung abgeleitet. Abschließend wurde die gemessene Schallpegelminderung mit der einer nach Anlage 2 der 16. BImSchV (Schall 03) [1] berechneten Schallschutzwand verglichen.

4.2.1.1 Regelgleis

Zur Bewertung des Schallminderungspotentials der Maßnahme 8 wurden im Test- und Referenzabschnitt die Mikrofonpositionen gemäß Abbildung 21 gewählt.

Durch die Vormessung ohne eingebaute Maßnahme im Testabschnitt wurden schallrelevante Unterschiede zwischen Referenz- und Testabschnitt, welche aus den Charakteristiken des Oberbaus oder den Ausbreitungsbedingungen resultieren, korrigiert.

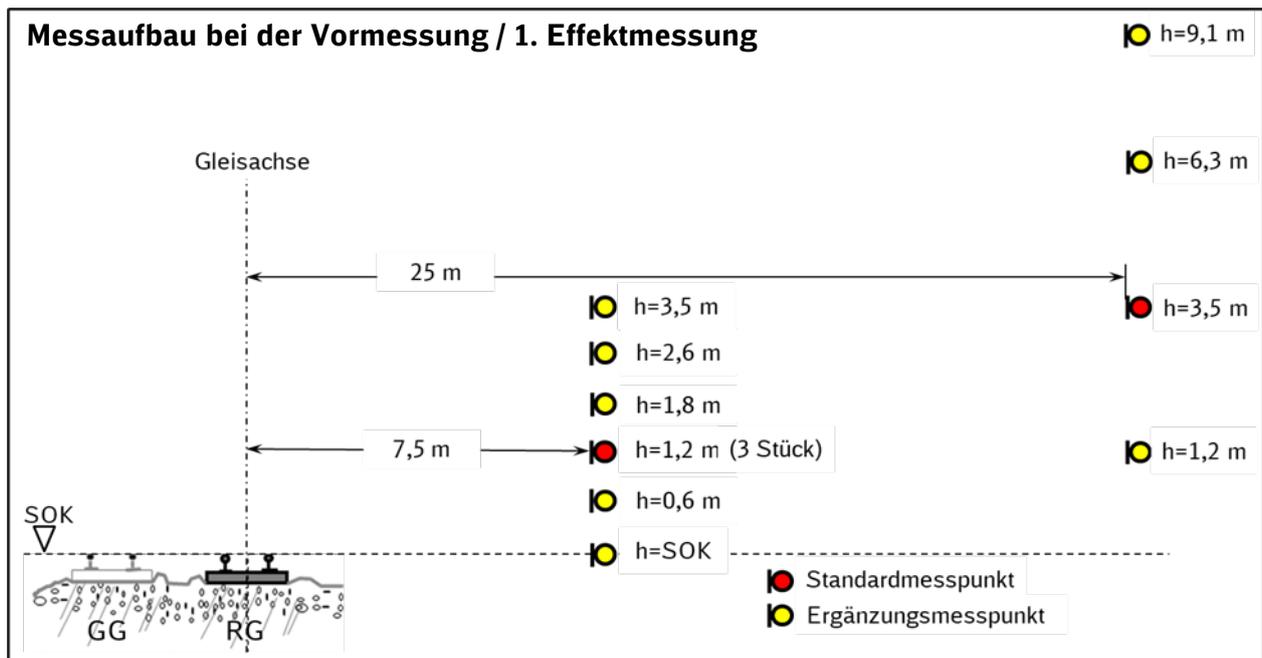


Abbildung 21: Anordnung der Luftschallmesspunkte bei der Vormessung und der ersten Effektmessung. Zusätzlich zum Mikrofon in 7,5 m Entfernung und 1,2 m Höhe wurden links und rechts in einem Abstand von 7,5 m zwei weitere Mikrofone ebenfalls in 1,2 m Höhe installiert.

In der zweiten Effektmessung wurde aus technischen Gründen auf das Mikrofon im Abstand von 7,5 m und auf Höhe SOK, auf die beiden zusätzlichen Mikrofone im Abstand von 7,5 m und bei 1,2 m Höhe sowie auf das Mikrofon bei 25 m und 1,2 m Höhe verzichtet.

Ergebnisse der Luftschallmessungen

Die Bewertung der Ergebnisse erfolgt anhand der folgenden Zugkategorien:

- 1. Effektmessung:
 - DoSto mit 160 km/h
 - RZ mit 120 km/h und 160 km/h
 - GZ mit 90 km/h und 100 km/h
- 2. Effektmessung¹:
 - DoSto mit 160 km/h
 - GZ mit 90 km/h und 100 km/h

Die Ergebnisse der Luftschallmessungen sind in Tabelle 5 als Zahlenwerte dargestellt. Die dargestellten Zahlenwerte werden aus dem arithmetischen Mittel der Wirkung ΔL der Maßnahme 8 über die oben genannten Zugkategorien der 1. und 2. Effektmessung gebildet.

¹ Aufgrund der COVID-19-Pandemie ist der Zugverkehr zum Zeitpunkt der 2. Effektmessungen stark eingeschränkt gewesen. Daher konnten keine ausreichenden Messungen für Reisezüge (RZ/EC) gewonnen werden.

Tabelle 5: Differenz ΔL der A-bewerteten Oktavband- und Summenpegel bei Zugvorbeifahrt an den Messpunkten gemittelt über die Zugkategorien DoSto 160 km/h, RZ 120 km/h, RZ 160 km/h, GZ 90 km/h, GZ 100 km/h der 1. Effektmessung und die Zugkategorien DoSto 160 km/h, GZ 90 km/h, GZ 100 km/h der 2. Effektmessung. Messpunkte mit * waren bei der 2. Effektmessung nicht vorhanden.

Messpunkt	Pegelminderung gemittelt aus 1. und 2. Effektmessung in dB(A)								
	Regelgleis								
	Frequenzband								
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	A-bewerteter Summenpegel
a = 7,5 m; h = 0,0 m*	-0,1	2,3	1,7	8,5	13,5	14,7	17,0	15,7	12,8
a = 7,5 m; h = 0,6 m	0,6	3,2	2,9	8,6	12,9	14,1	14,4	14,2	12,3
a = 7,5 m; h = 1,2 m	0,8	2,8	3,9	8,3	11,4	13,9	13,3	14,3	11,5
a = 7,5 m; h = 1,8 m	1,4	2,0	4,3	7,4	10,7	11,8	12,1	12,4	10,4
a = 7,5 m; h = 2,6 m	2,0	1,5	4,0	6,6	8,4	9,1	8,0	7,1	8,2
a = 7,5 m; h = 3,5 m	1,8	1,1	3,7	5,4	6,1	6,7	5,3	5,0	6,0
a = 25 m; h = 1,2 m*	-0,5	0,7	1,0	3,9	7,4	11,7	11,4	11,2	9,1
a = 25 m; h = 3,5 m	-0,4	1,7	1,2	5,4	9,7	11,2	10,0	10,4	9,5
a = 25 m; h = 6,3 m	1,0	2,5	3,4	7,0	8,7	10,2	8,9	8,3	9,0
a = 25 m; h = 9,1 m	1,0	1,4	2,6	5,1	6,0	6,4	6,8	5,4	6,0

Die Ergebnisse zeigen für die einzelnen Zugkategorien einen sehr ähnlichen Verlauf und auch nur geringe Unterschiede zwischen erster und zweiter Effektmessung. Daher ist eine solche Mittelung gerechtfertigt.

Die Wirkung ΔL ist die Differenz der Messergebnisse aus dem Referenzabschnitt und dem Testabschnitt. Eine positive Differenz stellt eine Verminderung des Rollgeräusches im Testabschnitt im Vergleich zum Referenzabschnitt und somit eine Minderungswirkung der Maßnahme dar. Die Differenzen sind korrigiert, so dass akustisch relevante Unterschiede zwischen Test- und Referenzabschnitt eliminiert sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere bei den niedrigen Messpunkten eine gute bis sehr gute Pegelminderung resultiert, was zum großen Teil auf die geometrischen Gegebenheiten zu-

rückzuführen ist (siehe Abbildung 22). Zwischen den Messpunkten und der Hauptemissionsquelle besteht keine direkte Sichtverbindung. Daher ist die Schallpegelminderung entsprechend gut.²

Es zeichnet sich dabei eine charakteristische Wirkungsweise der Maßnahme 8 ab. Im Bereich bis 250 Hz ist die Wirkung der Maßnahme 8 relativ gering. Ab 250 Hz steigt die Wirkung bis 2000 Hz deutlich an. Ab 2000 Hz besitzt die Maßnahme 8 das höchste Schallminderungspotential. Die Wirkung bleibt ab 2000 Hz konstant.

² Hinweis: Die Emissionsquelle des Rollgeräuschs bei Zugvorbeifahrt ist nicht punktförmig, sondern wird eher durch eine flächenförmige Quelle abgebildet, welche eine erhebliche vertikale Ausdehnung hat. Der von Rädern, Schienen und Schwellen abgestrahlte Schall wird im Unterflurbereich teilweise mehrfach reflektiert und gebeugt, teilweise absorbiert, so dass der Schall seitlich flächenförmig in Richtung Mikrofone abgestrahlt wird.

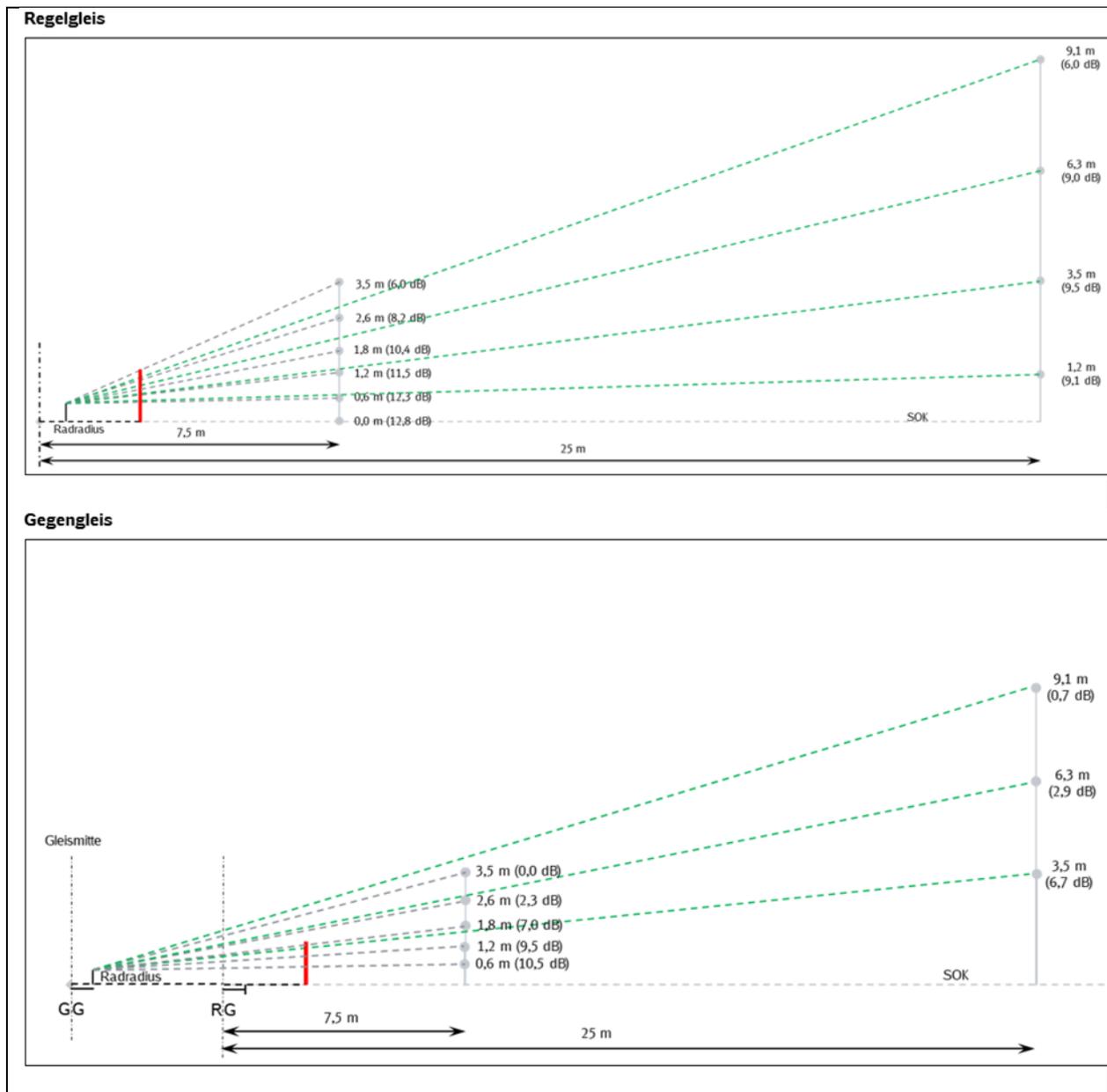


Abbildung 22: Maßstabsgetreuen Abmessungen des Versuchsaufbaus.

Die aufgetretenen negativen Werte im Oktavbereich von 63 Hz sind nicht relevant, da die Absolutwerte des Schalldruckpegels bei dieser Frequenz sehr niedrig sind und daher Messunsicherheiten das Ergebnis stark beeinflussen.

Vergleich der Ergebnisse mit der Schall 03

Zusätzlich zu der Bewertung der gemessenen Schallminderung der Maßnahme 8 war ein Vergleich mit der Wirkung einer nach Schall 03 prognostizierten SSW zu erstellen.

Um die gemessene Schallminderung der Maßnahme 8 mit der einer nach Schall 03 berechneten SSW vergleichen zu können, erfolgte der Aufbau eines akustischen Modells mit der Software Cadna/A. Im Modell wurde eine SSW nach Schall 03 mit den gleichen geometrischen Maßen wie der Maßnahme 8 modelliert und der gleiche Versuchsaufbau erstellt.³

³ Es handelt sich bei der Maßnahme 8 um keine gleisnahe, niedrige Schallschutzwand nach Schall 03.

Als Emissionsquellen (Regelgleis) werden gewählt und getrennt berechnet:

- Dosto, $v=160$ km/h, abgebildet durch einen Nahverkehrszug bespannt mit E-Triebzug nach Schall 03
- EuroExpress (EC/RZ), $v = \{120; 160\}$ km/h; abgebildet durch einen IC-Zug bespannt mit E-Lok nach Schall 03
- Güterzug (GZ), $v = \{90; 100\}$ km/h; abgebildet durch einen Güterzug 2020 bespannt mit E-Lok nach Schall 03

Die Minderungswirkung wurde für jede Zugkategorie einzeln berechnet und anschließend arithmetisch gemittelt.

Tabelle 6 zeigt die gemessenen Pegelminderungen aus der 1. und 2. Effektmessung sowie deren Mittelwert und die prognostizierte Minderungswirkung nach Schall 03.

Die gemessenen Schallpegelminderungen der Maßnahme 8 liegen im Mittel ca. 1 dB unter den nach Schall 03 berechneten Schallpegelminderungen. Die Schall 03 überschätzt die Wirkung der SSW um bis zu 2 dB.

Tabelle 6: Vergleich der bei der 1. und 2. Effektmessung gemessenen Schallpegelminderungen mit denen nach Schall 03 prognostizierten Schallpegelminderung im Regelgleis.

Messpunkt (Regelgleis)	Differenz der Summenpegel ΔL_{Σ} in dB (Mittelwert über Zugkategorien, korrigiert)				
	1. Effektmessung	2. Effektmessung	Gesamt	Schall 03	Differenz
a = 7,5 m; h = 0,0 m	12,8	-	12,8	14,4	-1,6
a = 7,5 m; h = 0,6 m	12,4	12,1	12,3	13,7	-1,4
a = 7,5 m; h = 1,2 m	11,8	11,0	11,5	12,7	-1,2
a = 7,5 m; h = 1,8 m	10,5	10,2	10,4	11,2	-0,8
a = 7,5 m; h = 2,6 m	8,4	7,8	8,2	8,6	-0,4
a = 7,5 m; h = 3,5 m	6,2	5,6	6,0	4,6	1,4
a = 25 m; h = 1,2 m	9,1	-	9,1	11,0	-1,9
a = 25 m; h = 3,5 m	9,9	9,0	9,5	11,5	-2,0
a = 25 m; h = 6,3 m	9,4	8,1	9,0	9,7	-0,7
a = 25 m; h = 9,1 m	6,2	5,7	6,0	7,1	-1,1

Das in der Anlage 2 zum KP-II Abschlussbericht [2] festgelegte Verfahren zur Bestimmung einer Ersatzschallschutzwand sieht vor, die Messergebnisse mit einer prognostizierten SSW in 3,8 m Entfernung zum Gleis zu modellieren und eine Höhe der Ersatzschallschutzwand zu bestimmen, bei welcher die Ergebnisse aus den Messungen, mit denen aus der Prognose übereinstimmen. Dieses Verfahren wurde im Rahmen der Auswertung getestet. Es stellte sich heraus, dass es nicht möglich war, eine Ersatzschallschutzwand zu modellieren, welche über alle Messpunkte einheitliche Ergebnisse liefert, die denen der gemessenen Ergebnisse entsprechen.

Stattdessen wurde ein Vergleich mit einer nach Schall 03 prognostizierten Ersatzschallschutzwand in 2,50 m Abstand zum Gleis (äquivalent zum Abstand der Maßnahme 8 während der Messung) modelliert, deren Höhe iterativ um 0,10 m verändert wurde, bis die Messwerte nahezu mit den prognostizierten Werten übereinstimmen. In Abbildung 23 sind die Ergebnisse der Ersatzschallschutzwand dargestellt. Auf der Abszisse sind die in der Messung verwendeten Messpositionen aufgetragen und auf der Ordinate die Differenz ΔL der A-bewerteten Summenpegel. Die farbigen Balken stellen jeweils die Pegelwerte für die modellierten Ersatzschallschutzwände unterschiedlicher Höhen dar. Dabei repräsentieren die rot-gestrichelten Balken die Messergebnisse. Als Startpunkt wurde die Höhe 1,33 m gewählt. Dies entspricht der Höhe der getesteten Maßnahme 8 (siehe Tabelle 6).

Anhand des Vergleichs lässt sich erkennen, dass am Messpunkt in 7,5 m Abstand zum Gleis und 1,2 m Höhe die Ergebnisse einer 1,10 m bzw. 1,20 m hohen Ersatzschallschutzwand ungefähr mit den Messergebnissen übereinstimmen (blauer bzw. oranger Balken). An den Messpunkten in 25 m Entfernung zum Gleis und 3,5 m Höhe stimmen die Ergebnisse einer 1,10 m hohen Ersatzschallschutzwand ungefähr den gemessenen Ergebnissen überein (blauer Balken).

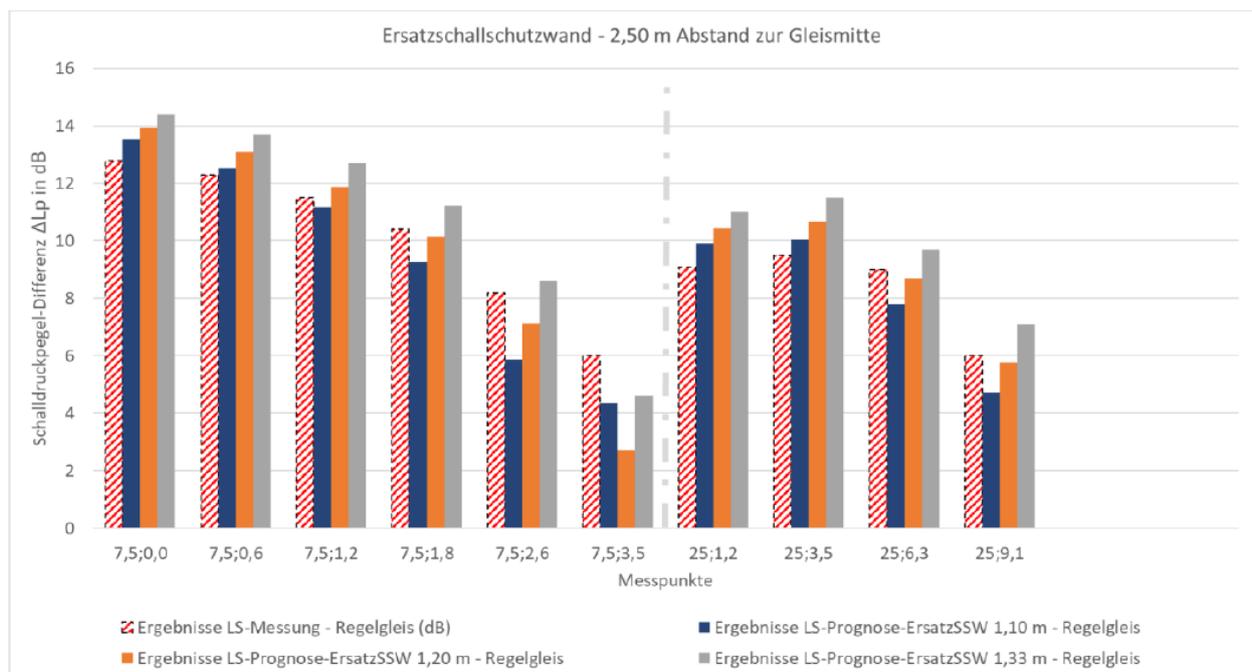


Abbildung 23: Ergebnisse unterschiedlich hoher Ersatzschallschutzwände in 2,50 m Entfernung zur Gleismitte. Auf der X-Achse sind die in der Messung verwendeten Messpositionen aufgetragen. Erste Zahl steht für die Entfernung, die zweite Zahl für die Höhe des Messpunktes.

4.2.1.2 Gegengleis

Zusätzlich zu der Messung der Minderungswirkung der Maßnahme 8 im Regelgleis wurde im Rahmen der zweiten Effektmessung auch die Minderungswirkung der Maßnahme 8 für Zugvorbeifahrten im Gegengleis gemessen. Zu beachten ist hierbei, dass die Messung des Gegengleises nicht bei der Vormessung und 1. Effektmessung durchgeführt wurde.

Die Position der einzelnen Messpunkte war bei der 2. Effektmessung für die Messungen des Regel- und des Gegengleises identisch.

Ergebnisvergleich Regelgleis und Gegengleis

Tabelle 7 zeigt den Ergebnisvergleich der Schallpegelminderung an jeden Messpunkt für das Regel- und Gegengleis.

Tabelle 7: Ergebnisvergleich der Schallpegelminderung an jeden Messpunkt für das Regel- und Gegengleis. Messpunkte mit * waren bei der 2. Effektmessung nicht vorhanden und werden hier nur zur besseren Übersichtlichkeit mit angegeben.

Messpunkt	Pegelminderung des A-bewerteten Summenpegels ΔL in dB		A-bewertete Summenpegel-Differenz
	Regelgleis	Gegengleis	
a = 7,5 m; h = 0,0 m*	-	-	-
a = 7,5 m; h = 0,6 m	12,1	10,5	1,6
a = 7,5 m; h = 1,2 m	11,0	9,5	1,5
a = 7,5 m; h = 1,8 m	10,2	7,0	3,2
a = 7,5 m; h = 2,6 m	7,8	2,3	5,5
a = 7,5 m; h = 3,5 m	5,6	0,0	5,6
a = 25 m; h = 1,2 m*	-	-	-
a = 25 m; h = 3,5 m	9,0	6,7	2,3
a = 25 m; h = 6,3 m	8,1	2,9	5,2
a = 25 m; h = 9,1 m	5,7	0,7	5,0

Vergleich der Ergebnisse mit der Schall 03

Ebenfalls wurde an dieser Stelle ein Vergleich mit einer nach Schall 03 prognostizierten SSW durchgeführt. Dazu wurde das unter Kapitel 4.2.1.1 verwendete Modell um das Gegengleis erweitert.

Als Emissionsquellen werden gewählt und getrennt berechnet:

- Dosto, $v = 160$ km/h, abgebildet durch einen Nahverkehrszug bespannt mit E-Triebzug nach Schall 03
- Güterzug (GZ), $v = \{90; 100\}$ km/h; abgebildet durch einen Güterzug 2020 bespannt mit E-Lok nach Schall 03

Die Minderungswirkung wurde für jede Zugkategorie einzeln berechnet und anschließend arithmetisch gemittelt.

Tabelle 8 zeigt die gemessenen Pegelminderungen aus der 2. Effektmessung mit der prognostizierten Minderungswirkung nach Schall 03.

Tabelle 8: Vergleich der bei der 2. Effektmessung gemessenen Schallpegelminderungen mit denen nach Schall 03 prognostizierten Schallpegelminderung im Gegengleis.

Messpunkt (Gegengleis)	Differenz der Summenpegel ΔL_{Σ} in dB (Mittelwert über Zugkategorien, korrigiert)				
	1. Effektmessung	2. Effektmessung	Gesamt	Schall 03	Differenz
a = 7,5 m; h = 0,0 m	-	-	-	12,5	-
a = 7,5 m; h = 0,6 m	-	10,5	-	11,1	-0,6
a = 7,5 m; h = 1,2 m	-	9,5	-	8,9	0,6
a = 7,5 m; h = 1,8 m	-	7,0	-	5,9	1,1
a = 7,5 m; h = 2,6 m	-	2,3	-	2,8	-0,5
a = 7,5 m; h = 3,5 m	-	0,0	-	0,0	0,0
a = 25 m; h = 1,2 m	-	-	-	7,2	-
a = 25 m; h = 3,5 m	-	6,7	-	5,5	1,2
a = 25 m; h = 6,3 m	-	2,9	-	3,6	-0,7
a = 25 m; h = 9,1 m	-	0,7	-	0,0	0,7

Die gemessenen Schallpegelminderungen der Maßnahme 8 liegen im Mittel ca. 0,3 dB über den nach Schall 03 berechneten Schallpegelminderungen. Die Schall 03 tendiert in diesem Fall eher dazu, die Wirkung der Wand leicht zu unterschätzen.

Analog zur Bewertung der Ergebnisse aus den Messungen im Regelgleis (siehe Kapitel 4.2.1.1) wurde ebenfalls eine nach Schall 03 prognostizierte Ersatzschallschutzwand iterativ modelliert. In Abbildung 24 sind die Ergebnisse der Ersatzschallschutzwand in Bezug auf die Messungen im Gegengleis dargestellt.

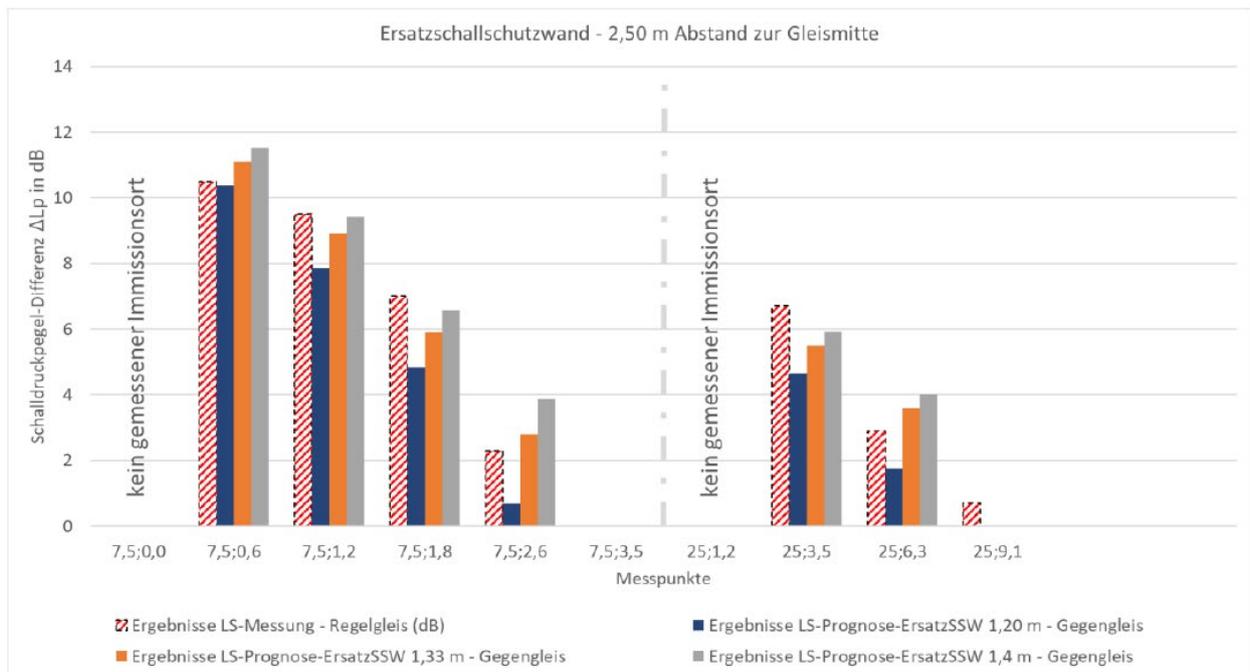


Abbildung 24: Ergebnisse unterschiedlich hoher Ersatzschallschutzwände in 2,50 m Entfernung zur Gleismitte des Richtungsgleises in Bezug auf die Messungen im Gegengleis. Auf der X-Achse sind die in der Messung verwendeten Messpositionen aufgetragen. Erste Zahl steht für die Entfernung, die zweite Zahl für die Höhe des Messpunktes.

Anhand des Vergleichs lässt sich erkennen, dass eine Ersatzschallschutzwand mit 1,33 m oder 1,40 m Höhe (oranger bzw. grauer Balken) an den meisten Messpunkten die größten Übereinstimmungen mit den Messwerten zeigen.

4.2.2 Fazit

Die durchgeführten Messungen zeigen nach dem Einbau der Maßnahme 8 eine Schallpegelminderung an allen Messpositionen sowohl bei Zugvorbeifahrten im Regelgleis als auch bei Zugvorbeifahrten im Gegengleis. Dies betrifft insbesondere die niedrigen Messpunkte. Eine Schallpegelminderung an den höchst gelegten Messpunkten, welche eine direkte Sichtverbindung zur Schallquelle haben, konnte durch die Maßnahme 8 bei der Betrachtung von Zugvorbeifahrten im Gegengleis nicht erreicht werden. Für Zugvorbeifahrten im Regelgleis werden auch an diesen Messpunkten noch gute Ergebnisse erreicht.

Ein Vergleich mit einer nach Schall 03 prognostizierten Schallschutzwand zeigt, dass die gemessene Schallpegelminderung der Maßnahme 8 bei Zugvorbeifahrten im Regel- und im Gegengleis recht gut übereinstimmen. Der Unterschied ist im Mittel $< |1|$ dB. Die Einführung einer ggf. neuen Kategorie zur Darstellung der der Maßnahme 8 in der Schall 03 ist somit nicht notwendig.

4.3 Maßnahme 9 – Niedrige Schallschutzwand

Bei der Maßnahme 9 handelt es sich um eine gleisnahe, niedrige SSW. Die Höhe beträgt 0,50 m über Schienenoberkante. Der Abstand im eingebauten Zustand zur Gleismitte des Regelgleises beträgt ca. 2,10 m.

Die SSW besteht aus einem mineralischen, hochabsorbierenden Werkstoff (offen- poriger Beton). Das bewehrungsfreie System liegt direkt auf dem Schottervorkopf auf und ist flach gegründet (siehe Abbildung 25).



Abbildung 25: Maßnahme 9 im eingebauten Zustand an der Strecke 6153 in Jacobsdorf (Mark).

Zur Bewertung der Maßnahme wurden Luftschallmessungen an Messpositionen neben dem Gleis während Zugvorbeifahrten im Regelgleis (wandnahes Gleis) durchgeführt. Darüber hinaus wurden Schienenrauheiten sowie Gleisabklingrate und Überprüfungsfahrten mit dem Schallmesswaagen durchgeführt.

Die Vormessung ohne eingebaute Maßnahme dient zur Ermittlung von streckenbedingten, akustischen Differenzen zwischen Test- und Referenzabschnitt. Vor der ersten Effektmessung wurde die Maßnahme am Testabschnitt verbaut und Zugvorbeifahrten im Regelgleis gemessen. Ziel der ersten Effektmessung ist es, dass Lärminderungspotential der Maßnahme 9 bei Zugvorbeifahrten im Regelgleis zu bestimmen. Bei der zweiten Effektmessung wurde auch die Schallminderung der Schallschutzwand bei Zugvorbeifahrten im Regel- und im Gegengleis bestimmt.

4.3.1 Bewertung der Ergebnisse

An der Strecke 6153-1 wurden eingerichtet:

- Referenzabschnitt MQ_1: km 68,000 – km 68,150 (Messebene bei km 68,100)
- Testabschnitt MQ_2: km 68,150 – km 68,300 (Messebene bei km 68,250)

Die Messungen fanden wie folgt statt:

- Messung ohne Maßnahme (Nullmessung N0) im Mai 2019
- 1. Effektmessung (E1) im August / September 2019
- 2. Effektmessung (E2) im Mai 2020

Zur Bewertung des Schallminderungspotentials der Maßnahme 9 bei Zugvorbeifahrten im Regelgleis wurde eine geeignete Auswahl an Messpositionen zur Charakterisierung des Schallfeldes festgelegt.

Die Positionen der einzelnen Messpunkte waren für den Test- und Referenzabschnitt identisch.

Im Rahmen der Auswertung wurde der Testabschnitt (mit Maßnahme) mit dem Referenzabschnitt (ohne Maßnahme) verglichen und das Schallminderungspotential abgeleitet. Abschließend wurde die gemessene Schallpegelminderung mit der einer nach Anlage 2 der 16. BImSchV (Schall 03) berechneten Schallschutzwand verglichen.

4.3.1.1 Regelgleis

Zur Bewertung des Schallminderungspotentials der Schallschutzwand wurden im Test- und Referenzabschnitt die Mikrofonpositionen gemäß Abbildung 26 gewählt.

Durch die Vormessung ohne eingebaute Maßnahme im Testabschnitt wurden schallrelevante Unterschiede zwischen Referenz- und Testabschnitt, welche aus den Charakteristiken des Oberbaus oder den Ausbreitungsbedingungen resultieren, korrigiert.

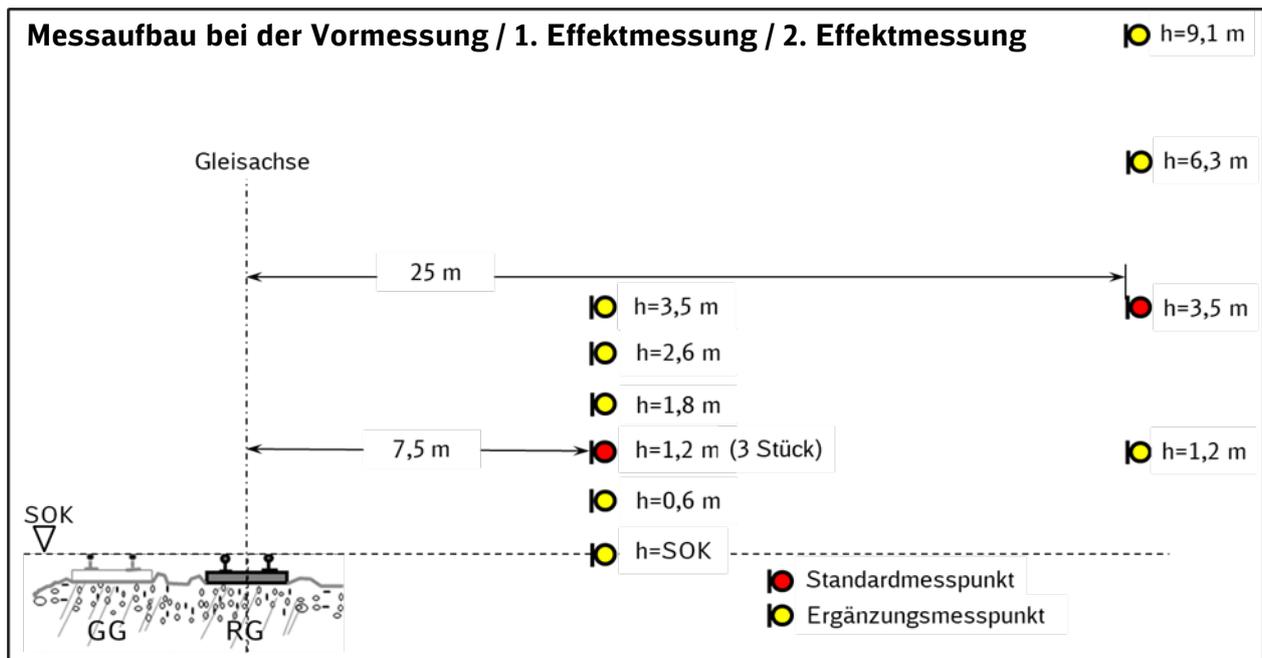


Abbildung 26: Anordnung der Luftschallmesspunkte bei der Vormessung sowie der 1. und 2. Effektmessung. Zusätzlich zum Mikrofon in 7,5 m Entfernung und 1,2 m Höhe wurden links und rechts in einem Abstand von 7,5 m zwei weitere Mikrofone ebenfalls in 1,2 m Höhe installiert.

Ergebnisse der Luftschallmessungen

Die Bewertung der Ergebnisse erfolgt anhand der folgenden Zugkategorien:

- 1. Effektmessung:
 - DoSto mit 140 km/h, 150 km/h und 160 km/h
 - RZ mit 120 km/h
 - GZ mit 90 km/h und 100 km/h
- 2. Effektmessung⁴:
 - DoSto mit 140 km/h, 150 km/h und 160 km/h
 - GZ mit 90 km/h und 100 km/h

Die Ergebnisse der Luftschallmessungen sind in Tabelle 9 als Zahlenwerte dargestellt. Die dargestellten Zahlenwerte werden aus dem arithmetischen Mittel der Wirkung ΔL der Maßnahme 9 über die oben genannten Zugkategorien der 1. und 2. Effektmessung gebildet.

Die Ergebnisse zeigen für die einzelnen Zugkategorien einen sehr ähnlichen Verlauf und auch nur geringe Unterschiede zwischen erster und zweiter Effektmessung. Daher ist eine solche Mittelung gerechtfertigt.

⁴ Aufgrund der COVID-19-Pandemie ist der Zugverkehr zum Zeitpunkt der 2. Effektmessungen stark eingeschränkt gewesen. Daher konnten keine ausreichenden Messungen für Reisezüge (RZ/EC) gewonnen werden.

Die Wirkung ΔL ist die Differenz der Messergebnisse aus dem Referenzabschnitt und dem Testabschnitt. Eine positive Differenz stellt eine Verminderung des Rollgeräusches im Testabschnitt im Vergleich zum Referenzabschnitt und somit eine Minderungswirkung der Maßnahme dar. Die Differenzen sind korrigiert, so dass akustisch relevante Unterschiede zwischen Test- und Referenzabschnitt eliminiert sind.

Tabelle 9: Differenz ΔL der A-bewerteten Oktavband- und Summenpegel bei Zugvorbeifahrt an den Messpunkten gemittelt über die Zugkategorien, die zur Auswertung der Ergebnisse aus der 1. und 2. Effektmessungen verwendet wurden.

Messpunkt	Pegelminderung gemittelt aus 1. und 2. Effektmessung in dB(A)								
	Frequenzband								A-bewerteter Summenpegel
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
a = 7,5 m; h = 0,0 m	-0,6	4,1	2,8	3,8	4,2	7,6	8,0	7,5	6,1
a = 7,5 m; h = 0,6 m	-0,4	4,1	1,7	4,4	6,1	5,6	6,0	5,3	5,5
a = 7,5 m; h = 1,2 m	-0,3	4,6	1,6	4,0	3,8	5,1	4,6	4,2	4,5
a = 7,5 m; h = 1,8 m	0,3	4,9	1,2	3,2	3,4	4,2	3,0	2,0	3,6
a = 7,5 m; h = 2,6 m	0,8	4,1	1,5	2,3	2,6	1,8	2,1	0,6	2,2
a = 7,5 m; h = 3,5 m	1,8	3,7	2,1	2,1	2,0	1,7	1,5	0,6	1,9
a = 25 m; h = 1,2 m	-0,5	2	0,2	6,4	5,8	8,4	7,4	6,7	7,1
a = 25 m; h = 3,5 m	-0,4	2,9	1,4	2,8	4,4	4,0	3,6	2,3	3,9
a = 25 m; h = 6,3 m	-0,9	2,8	0,6	1,8	2,3	2,0	2,1	0,6	2,1
a = 25 m; h = 9,1 m	-0,4	2,6	0,2	2,0	2,0	2,2	2,1	1,2	2,1

Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere bei den niedrigen Messpunkten und unter Berücksichtigung der geringen Höhe der SSW eine gute Pegelminderung vorhanden ist.

Insbesondere bei den höher liegenden Messpunkten, bei denen zum größten Teil eine direkte Sichtverbindung zwischen den Messpunkten und der Hauptemissionsquelle besteht (siehe Abbildung 27), wurden Pegelminderungen über den Erwartungen (der Schall 03) gemessen.⁵

Regelgleis

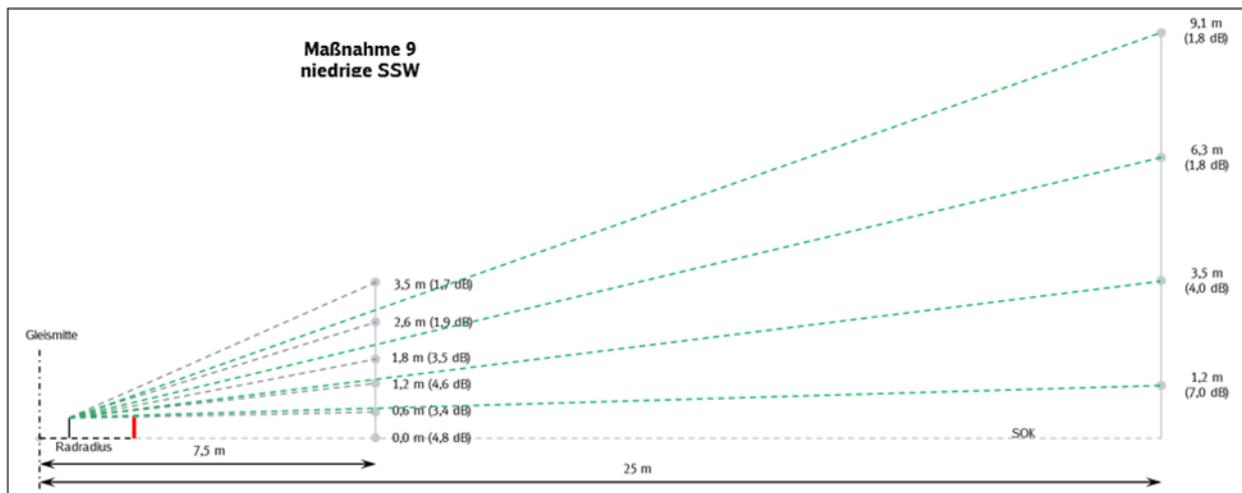


Abbildung 27: Maßstabsgetreuen Abmessungen des Versuchsaufbaus. Die in den Klammern dargestellten Zahlenwerte zeigen die Differenz ΔL der A-bewerteten Summenpegel.

An den meisten Messpunkten zeichnet sich eine charakteristische Wirkungsweise des Maßnahme 9 ab. Im Frequenzbereich bis 63 Hz hat die Wand keine akustische Wirkung. Anschließend erreicht die Wirkung bei 125 Hz ein Maximum und fällt dann bis 250 Hz erneut deutlich ab. Danach steigt die Wirkung erneut wieder an und erreicht bei 2000 Hz ihr Maximum. Die Wirkung bleibt ab 2000 Hz recht konstant.

Vergleich der Ergebnisse mit der Schall 03

Zusätzlich zu der Bewertung der gemessenen Schallminderung der Maßnahme 9 ist ein Vergleich mit der Wirkung einer nach Schall 03 prognostizierten SSW zu erstellen.

Um die gemessene Schallminderung der Maßnahme 9 näherungsweise, mit der einer nach Schall 03 berechneten SSW vergleichen zu können, erfolgt der Aufbau eines akustischen Modells mit der Software Cadna/A. Da die Geometrie der Maßnahme 9 in Cadna nicht nachmodelliert werden kann, wurde eine Ersatzschallschutzwand verwendet (Abbildung 28).

⁵ Hinweis: Die Emissionsquelle des Rollgeräuschs bei Zugvorbeifahrt ist nicht punktförmig, sondern wird eher durch eine flächenförmige Quelle abgebildet, welche eine erhebliche vertikale Ausdehnung hat. Der von Rädern, Schienen und Schwellen abgestrahlte Schall wird im Unterflurbereich teilweise mehrfach reflektiert und gebeugt, teilweise absorbiert, so dass der Schall seitlich flächenförmig in Richtung Mikrofone abgestrahlt wird.

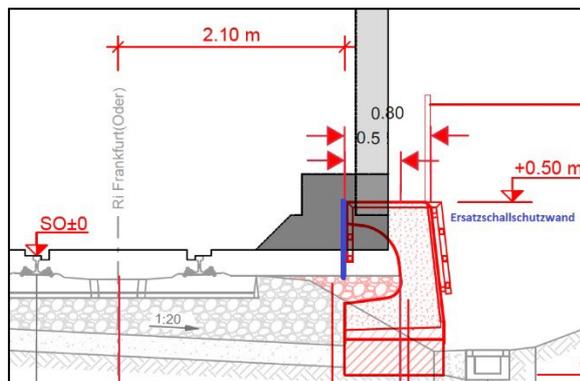


Abbildung 28: Verwendete Ersatzschallschutzwand (blau) für die Maßnahme 9 in Cadna.

Der Versuchsaufbau im Rechenmodell wurde analog zu den realen Gegebenheiten erstellt.⁶

Als Emissionsquellen (Regelgleis) werden gewählt und getrennt berechnet:

- Dosto, $v = \{140; 150; 160\}$ km/h, abgebildet durch einen Nahverkehrszug bespannt mit E-Triebzug nach Schall 03
- EuroExpress (EC/RZ), $v = 120$ km/h; abgebildet durch einen IC-Zug bespannt mit E-Lok nach Schall 03
- Güterzug (GZ), $v = \{90; 100\}$ km/h; abgebildet durch einen Güterzug bespannt mit E-Lok nach Schall 03

Die Minderungswirkung wurde für jede Zugkategorie einzeln berechnet und anschließend arithmetisch gemittelt.

Tabelle 10 zeigt die gemessenen Pegelminderungen aus der 1. und 2. Effektmessung sowie deren Mittelwert und die prognostizierte Minderungswirkung nach Schall 03.

⁶ Hinweis: Es handelt sich bei der Maßnahme 9 um keine gleisnahe, niedrige Schallschutzwand nach Schall 03.

Tabelle 10: Vergleich der bei der 1. und 2. Effektmessung gemessenen Schallpegelminderungen mit denen nach Schall 03 prognostizierten Schallpegelminderung im Regelgleis.

Messpunkt (Regelgleis)	Differenz der Summenpegel ΔL_{Σ} in dB (Mittelwert über Zugkategorien, korrigiert)				
	1. Effektmessung	2. Effektmessung	Gesamt	Schall 03	Differenz
a = 7,5 m; h = 0,0 m	7,2	4,8	6,1	9,6	-3,5
a = 7,5 m; h = 0,6 m	7,3	3,4	5,5	7,9	-2,4
a = 7,5 m; h = 1,2 m	4,4	4,6	4,5	5,6	-1,1
a = 7,5 m; h = 1,8 m	3,7	3,5	3,6	4,6	-1,0
a = 7,5 m; h = 2,6 m	2,4	1,9	2,2	1,0	1,2
a = 7,5 m; h = 3,5 m	2,1	1,7	1,9	0,1	1,8
a = 25 m; h = 1,2 m	7,2	7,0	7,1	6,1	1,0
a = 25 m; h = 3,5 m	3,8	4,0	3,9	5,4	-1,5
a = 25 m; h = 6,3 m	2,4	1,8	2,1	4,4	-2,3
a = 25 m; h = 9,1 m	2,2	1,8	2,1	0,9	1,2

Der Vergleich mit einer nach Schall 03 prognostizierten SSW zeigt, dass die gemessene Schallpegelminderung der Maßnahme 9 bei Zugvorbeifahrten im Regelgleis insgesamt ausreichend gut übereinstimmen. Dabei gibt es sowohl Abweichungen nach oben als auch nach unten hin. Diese bewegen sich aber im Rahmen der Mess- und Prognoseunsicherheiten.

Das in der Anlage 2 zum KP-II Abschlussbericht [2] festgelegte Verfahren zur Bestimmung einer Ersatzschallschutzwand sieht vor, die Messergebnisse mit einer prognostizierten Schallschutzwand in 3,8 m Entfernung zum Gleis zu modellieren und eine Höhe der Ersatzschallschutzwand zu bestimmen, bei welcher die Ergebnisse aus den Messungen, mit denen aus der Prognose übereinstimmen. Dieses Verfahren wurde im Rahmen der Auswertung getestet. Es stellte sich heraus, dass es nicht möglich war, eine Ersatzschallschutzwand zu modellieren, welche über alle Messpunkte einheitliche Ergebnisse liefert, die denen der gemessenen Ergebnisse entsprechen.

Stattdessen wurde ein Vergleich mit einer nach Schall 03 prognostizierten Ersatzschallschutzwand in 2,10 m Abstand zum Gleis (äquivalent zum Abstand der Maßnahme 9 während der Messung) modelliert, welche iterativ verändert wurde, bis die Messwerte nahezu mit den prognostizierten Werten übereinstimmen. In Abbildung 29 sind die Ergebnisse der Ersatzschallschutzwand dargestellt. Auf der Abszisse sind die in der Messung verwendeten

Messpositionen aufgetragen und auf der Ordinate die Differenz ΔL der A-bewerteten Summenpegel. Die farbigen Balken stellen jeweils die Pegelwerte für die modellierten Ersatzschallschutzwände unterschiedlicher Höhen dar. Dabei repräsentieren die rot-gestrichelten Balken die Messergebnisse. Die Höhe 0,5 m entspricht der Höhe der getesteten Maßnahme 9 (siehe Tabelle 10).

Anhand des Vergleichs lässt sich erkennen, dass am Messpunkt in 7,5 m Abstand zum Gleis und 1,2 m Höhe die Ergebnisse einer 1,10 m bzw. 1,20 m hohen Ersatzschallschutzwand ungefähr mit den Messergebnissen übereinstimmen (blauer bzw. oranger Balken). An den Messpunkten in 25 m Entfernung zum Gleis und 3,5 m Höhe stimmen die Ergebnisse einer 1,10 m hohen Ersatzschallschutzwand ungefähr den gemessenen Ergebnissen überein (blauer Balken).

Anhand des Vergleichs lässt sich erkennen, dass mit keiner Ersatzschallschutzwand an allen Immissionsorten die gemessenen Differenzen reproduziert werden können. Die Unterschiede zwischen den Höhen der Ersatzschallschutzwand fallen allerdings recht gering aus, so dass insgesamt eine Reproduzierbarkeit gegeben ist.

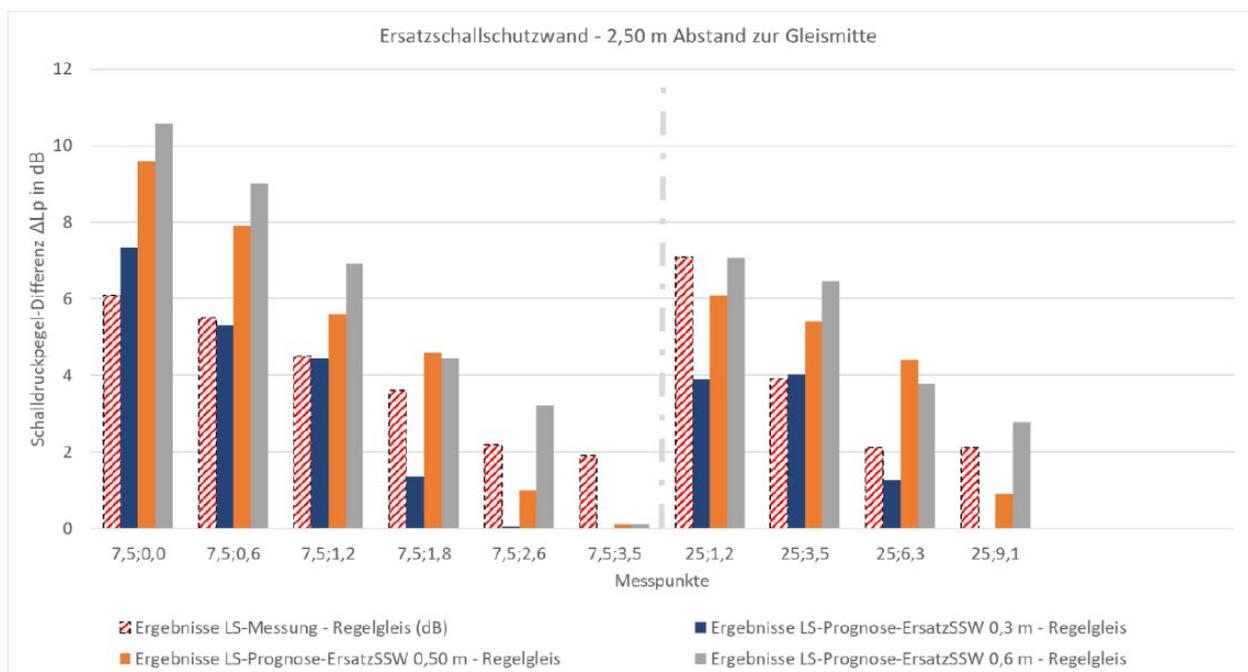


Abbildung 29: Ergebnisse unterschiedlich hoher Ersatzschallschutzwände in 2,10 m Entfernung zur Gleismitte. Auf der X-Achse sind die in der Messung verwendeten Messpositionen aufgetragen. Erste Zahl steht für die Entfernung, die zweite Zahl für die Höhe der Messpunkte.

4.3.2 Fazit

Die durchgeführten Messungen zeigen nach dem Einbau der Maßnahme 9 eine Schallpegelminderung an den betrachteten Messpositionen. Dies betrifft insbesondere die niedrigen Messpunkte. Die gemessene Schallpegelminderung bei Zugvorbeifahrten im Regelgleis stimmt insgesamt recht gut mit der Wirkung einer nach Schall 03 prognostizierten Schallschutzwand überein. Für Messpunkte, welche deutlich über der Sichtkante der

Schallschutzwand liegen, wurden höhere Pegelminderungen gemessen, als dies nach Schall 03 zu erwarten wäre.

4.4 Maßnahme 10 – Schallschutzwand mit Aufsatz

Bei der Maßnahme 10 handelt es sich um eine niedrige SSW mit Diffraktoraufsatz. Die Höhe beträgt 1,10 m über Schienenoberkante. Der Abstand im eingebauten Zustand zur Gleismitte des Regelgleises beträgt 5,52 m. Der Diffraktoraufsatz besteht aus Cortenstahl und die Unterkonstruktion aus absorbierend gestaltetem Beton (siehe Abbildung 30).



Abbildung 30: Seitenansicht der Maßnahme 10.

Das physikalische Grundprinzip des Aufsatzelements der niedrigen SSW beruht darauf, dass durch resonierende Hohlräumelemente der Schall nicht absorbiert, sondern nach oben abgeleitet wird, so dass direkt hinter der Wand eine erhöhte Schallminderung resultiert (Diffraktion des Schalls). Das physikalische Grundprinzip des Aufsatzelements der niedrigen SSW beruht darauf, dass durch resonierende Hohlräumelemente der Schall nicht absorbiert, sondern nach oben abgeleitet wird, so dass direkt hinter der Wand eine erhöhte Schallminderung resultiert (Diffraktion des Schalls).

Zur Bewertung der Maßnahme wurden Luftschallmessungen an Messpositionen neben dem Gleis während Zugvorbeifahrten im Regelgleis (wandnahes Gleis) und im Gegengleis (wandferneres Gleis) an einem Test- und einem Referenzabschnitt durchgeführt. Darüber hinaus wurden Schienenrauheiten sowie Gleisabklingrate gemessen.

Zur Bestimmung des Lärminderungspotentials der Maßnahme 10 wurden drei unterschiedliche Messkampagnen durchgeführt. Das Messkonzept wurde mit dem Hersteller und dem Eisenbahnbundesamt abgestimmt. Vorab wurde eine Vormessung ohne eingebaute Maßnahme durchgeführt, um akustische Differenzen zwischen Test- und Referenzabschnitt zu ermitteln. Nach Durchführung der Vormessung wurde die Maßnahme im Testabschnitt verbaut und die erste Effektmessung durchgeführt. Ziel der ersten Effektmessung ist es, dass Lärminderungspotential der Maßnahme 10 bei Zugvorbeifahrten im Regelgleis zu bestimmen. Bei der zweiten Effektmessung wurde die Schallminderung der Maßnahme 10 bei Zugvorbeifahrten im Regel- und im Gegengleis bestimmt.

4.4.1 Bewertung der Ergebnisse

4.4.1.1 Regelgleis

An der Strecke 5500-1 wurden eingerichtet:

- Referenzabschnitt MQ_1: km 47,150 - km 47,300 (Messebene bei km 47,220)
- Testabschnitt MQ_2: km 47,300 - km 47,450 (Messebene bei km 47,370)

Die Messungen fanden wie folgt statt:

- Messung ohne Maßnahme (Nullmessung N0) im April 2019
- 1. Effektmessung (E1) im November 2019
- 2. Effektmessung (E2) im März 2020

Zur Bewertung des Schallminderungspotentials der Maßnahme 10 wurden im Test- und Referenzabschnitt die Mikrofonpositionen gemäß Abbildung 31 gewählt. Die Positionen der einzelnen Messpunkte waren für den Test- und Referenzabschnitt identisch. Im Rahmen der Auswertung wurden die Messergebnisse im Testabschnitt mit eingebauter Maßnahme mit den Messergebnissen aus dem Referenzabschnitt ohne eingebaute Maßnahme verglichen und das Schallminderungspotential abgeleitet. Abschließend wurde die gemessene Schallminderung mit der einer nach Anlage 2 der 16. BImSchV (Schall 03) berechneten Schallschutzwand verglichen.

Durch die Vormessung ohne eingebaute Maßnahme im Testabschnitt wurden schallrelevante Unterschiede zwischen Referenz- und Testabschnitt, welche aus den Charakteristiken des Oberbaus oder den Ausbreitungsbedingungen resultieren, korrigiert.

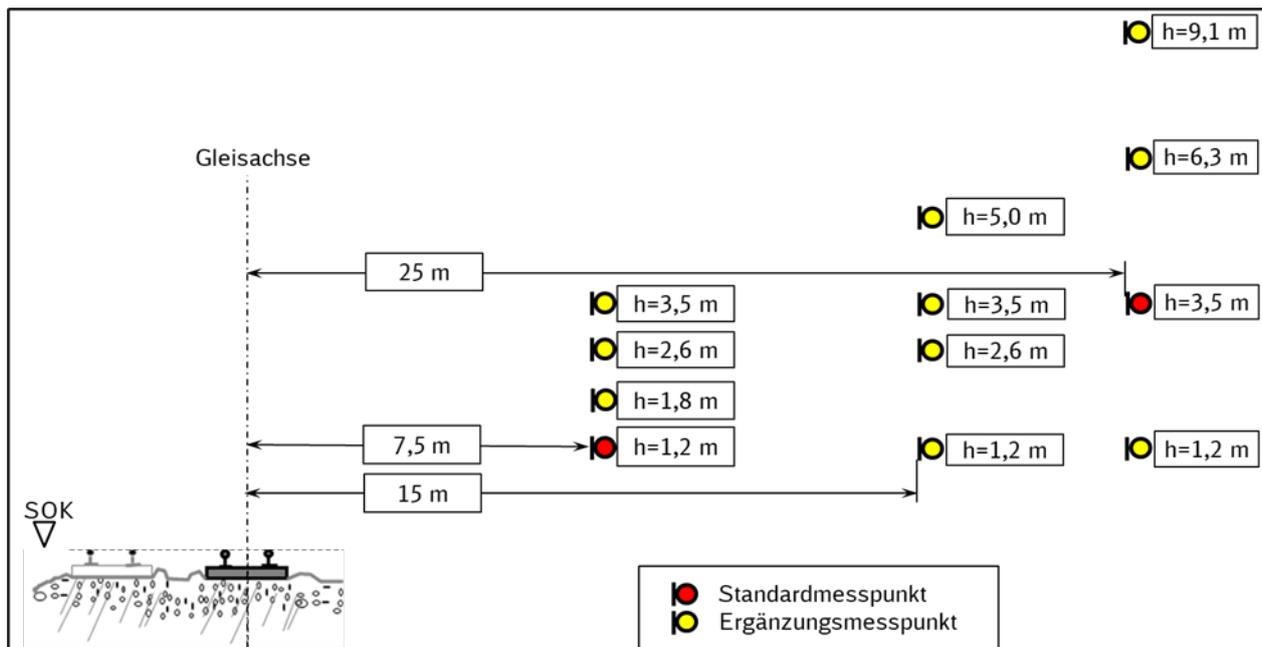


Abbildung 31: Anordnung der Luftschallmesspunkte bei der ersten Effektmessung.

Ergebnisse der Luftschallmessungen

Die Bewertung der Ergebnisse erfolgte anhand der folgenden Zugkategorien: DoSto mit 140 km/h, ETZ mit 120 km/h, 140 km/h, 150 km/h und 160 km/h, RZ mit 150 km/h und GZ mit 100 km/h. Die Ergebnisse der Luftschallmessungen sind in Tabelle 11 als Zahlenwerte dargestellt. Die Wirkung ΔL ist die Differenz der Messergebnisse aus dem Testabschnitt und Referenzabschnitt. Eine positive Differenz stellt eine Verbesserung im Vergleich zum Referenzabschnitt und somit eine Minderungswirkung der Maßnahme dar. Die Differenzen sind korrigiert, so dass akustisch relevante Unterschiede zwischen Test- und Referenzabschnitt eliminiert sind. Für die Bewertung der Schallminderung der Maßnahme 10 im Regelgleis wurden die Messergebnisse der zweiten Effektmessung als valider eingestuft, da sich im Ausbreitungsweg keine Hindernisse befanden. Während der ersten Effektmessung befand sich vor der eingebauten Maßnahme 10 ein Holzzaun.

Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere bei den niedrigen Messpunkten eine gute bis sehr gute Pegelminderung resultiert, was zum großen Teil auf die geometrischen Gegebenheiten zurückzuführen ist (siehe Abbildung 32). Besteht keine direkte Sichtverbindung zwischen Schallquelle und Mikrofon, kann die Maßnahme 10 abschirmend wirken, die Schallpegelminderung ist entsprechend gut. Eine direkte Sichtverbindung zwischen Schallquelle und Mikrofon, wie es bei den höher gelegenen Mikrofonen der Fall ist, sorgt hingegen dafür, dass die Schallpegelminderung gering ist. Darüber hinaus ist anzumerken, dass die Quelle des Rollgeräuschs bei Zugvorbeifahrt nicht punktförmig ist, sondern durch eine flächenförmige Quelle abgebildet werden kann, welche eine erhebliche vertikale Ausdehnung hat. (Der von Rädern, Schienen und Schwellen abgestrahlte Schall wird im Unterflurbereich teilweise mehrfach reflektiert und gebeugt, teilweise absorbiert, so dass der Schall seitlich flächenförmig in Richtung Mikrofone abgestrahlt wird.)

Tabelle 11: Differenz ΔL der A-bewerteten Oktavband- und Summenpegel bei Zugvorbeifahrt an den Messpunkten gemittelt über die Zugkategorien DoSto 140 km/h, ETZ 120 km/h, ETZ 140 km/h, ETZ 150 km/h, ETZ 160 km/h, GZ mit 100 km/h und RZ mit 150 km/h.

Messpunkt	Pegelminderung								
	Frequenzband								A-bewerteter Summenpegel
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
a = 7,5 m; h = 1,2 m	4,4 dB	4,1 dB	4,7 dB	6,7 dB	9,1 dB	10,5 dB	10,1 dB	9,3 dB	8,8 dB
a = 7,5 m; h = 1,8 m	3,4 dB	1,1 dB	2,6 dB	3,5 dB	0,6 dB	-0,3 dB	-0,2 dB	-1,3 dB	0,4 dB
a = 7,5 m; h = 2,6 m	1,6 dB	0,9 dB	2,1 dB	0,5 dB	-0,2 dB	-1,3 dB	0,1 dB	-1,2 dB	-0,5 dB
a = 7,5 m; h = 3,5 m	0,3 dB	0,4 dB	1,3 dB	-0,4 dB	0,1 dB	-0,9 dB	0,2 dB	0,7 dB	-0,3 dB
a = 15 m; h = 1,2 m	2,3 dB	6,8 dB	4,8 dB	3,9 dB	7,9 dB	8,8 dB	8,9 dB	7,5 dB	7,6 dB
a = 15 m; h = 2,6 m	3,1 dB	5,5 dB	1,0 dB	4,5 dB	4,9 dB	5,1 dB	2,7 dB	4,4 dB	4,6 dB
a = 15 m; h = 3,5 m	3,6 dB	4,0 dB	1,9 dB	3,2 dB	2,5 dB	1,2 dB	0,0 dB	0,1 dB	1,7 dB
a = 15 m; h = 5 m	3,6 dB	1,1 dB	1,4 dB	1,4 dB	-0,5 dB	-1,5 dB	-0,4 dB	-0,6 dB	-0,6 dB
a = 25 m; h = 1,2 m	1,8 dB	3,6 dB	6,2 dB	2,6 dB	6,9 dB	9,3 dB	9,6 dB	9,5 dB	7,3 dB
a = 25 m; h = 3,5 m	1,8 dB	4,8 dB	1,6 dB	3,2 dB	5,1 dB	5,6 dB	4,1 dB	4,5 dB	4,8 dB
a = 25 m; h = 6,3 m	3,5 dB	3,5 dB	1,1 dB	3,1 dB	2,1 dB	1,4 dB	-0,3 dB	-0,3 dB	1,6 dB
a = 25 m; h = 9,1 m	3,6 dB	2,1 dB	1,7 dB	1,6 dB	-0,2 dB	-0,5 dB	-1,3 dB	-0,3 dB	-0,2 dB

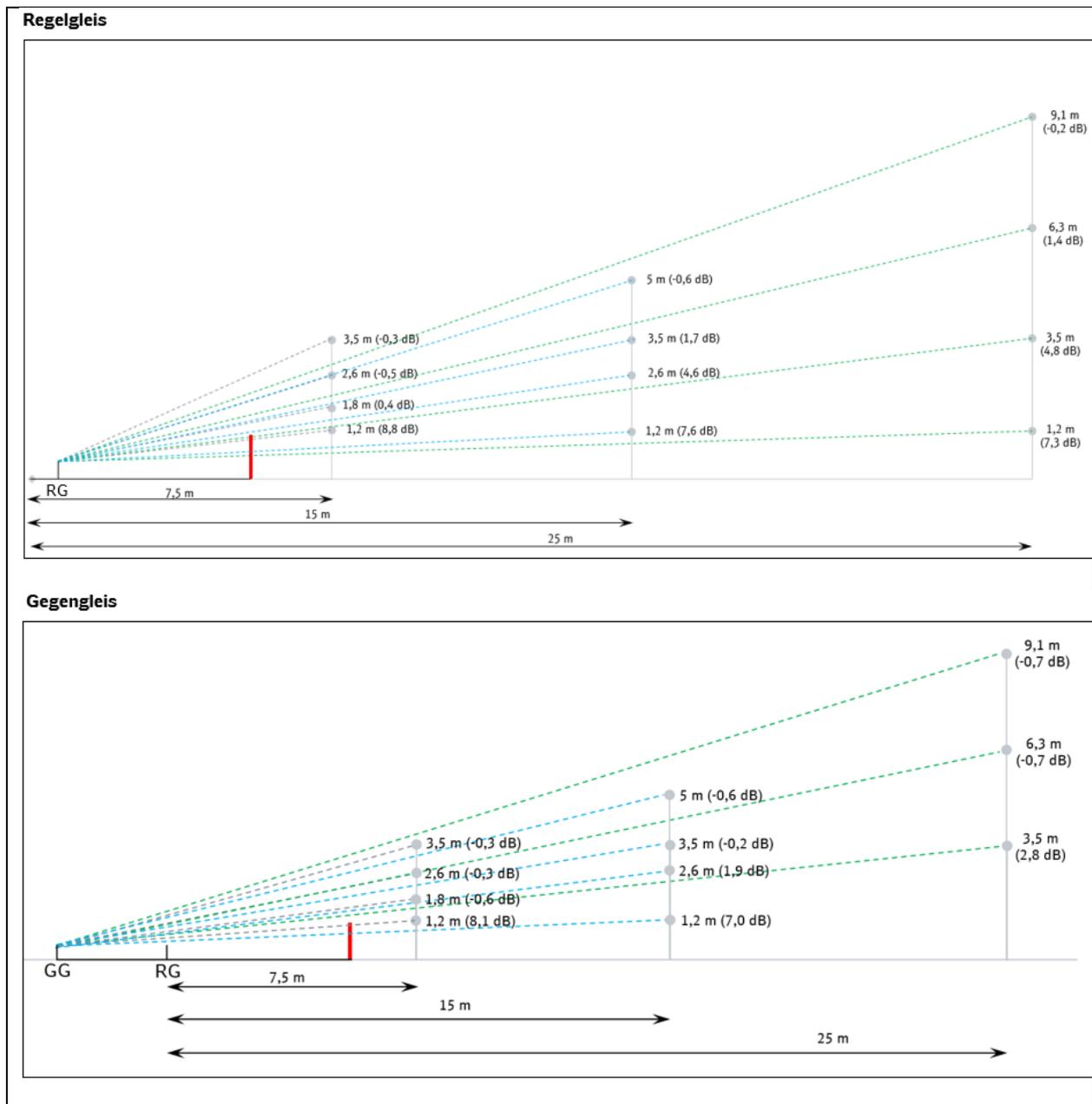


Abbildung 32: geometrischen Gegebenheiten bei den Luftschallmessungen im Regel- und Gegengleis. Der Maßstab wurde beim Regelgleis 1:100 gewählt und beim Gegengleis 1:150. Für die Höhe der Schallquelle wurden 0,45 m über SOK angesetzt (ca. mittig des Eisenbahnrad), da dieser Punkt den Abstrahlort der Schallquelle am ehesten widerspiegelt. Die in den Klammern dargestellten Zahlenwerte zeigen die Differenz ΔL der A-bewerteten Summenpegel.

Vergleich der Ergebnisse mit der Schall 03

Zusätzlich zu der Bewertung der Maßnahme 10 mittels der gemessenen Schallminderung ist ein Vergleich mit der Wirkung einer nach Schall 03 prognostizierten SSW zu erstellen. Dazu erfolgte der Aufbau eines akustischen Modells mit der Software Cadna/A, in welchem eine Standard-SSW mit den gleichen geometrischen Maßen wie der Maßnahme 10 (Wand und Aufsatzelement) modelliert wird. Als Immissionsorte wurden die Mikrofonpositionen aus der Messung angesetzt. Eine Modellierung des Aufsatzelements kann nach den Algorithmen der Schall 03 nicht erfolgen, da die Schall 03 Diffraktoraufsätze nicht berücksichtigt. Tabelle 12 zeigt den Vergleich der beiden Standardmesspunkte MP 1 und MP 2 ($a = 7,5 \text{ m}$; $h = 1,2 \text{ m}$ und $a = 25 \text{ m}$; $h = 3,5 \text{ m}$) mit den prognostizierten Werten nach Schall 03.

Anhand des Vergleichs lässt sich erkennen, dass die gemessene Schallpegelminderung bei dem Standardmesspunkt in 7,5 m Abstand zur Gleismitte und 1,2 m Höhe um 2,5 dB höher ist als bei einer nach Schall 03 prognostizierten SSW mit den gleichen Maßen. Bei dem Standardmesspunkt in 25 m Abstand zur Gleismitte und in 3,5 m Höhe liegt die Verbesserung der gemessenen Schallpegelminderung der Maßnahme 10 gegenüber der Prognose nach Schall 03 bei 0,3 dB.

Tabelle 12: Vergleich der gemessenen mit der nach Schall 03 prognostizierten Schallpegelminderung an den beiden Standardmesspunkten in 7,5 m Entfernung zum Gleis und 1,2 m Höhe sowie 25 m Entfernung zum Gleis und 3,5 m Höhe.

Frequenz	Wirkung MP 1 (a=7,5m_h=1,2m)	Wirkung MP 1 nach Schall 03	Wirkung MP 4 (a=25m, h=3,5m)	Wirkung MP 4 nach Schall 03
63 Hz	4,4 dB	4,3 dB	1,8 dB	2,6 dB
125 Hz	4,1 dB	4,1 dB	4,8 dB	2,7 dB
250 Hz	4,7 dB	3,5 dB	1,6 dB	2,3 dB
500 Hz	6,7 dB	5 dB	3,2 dB	3,5 dB
1000 Hz	9,1 dB	5,9 dB	5,1 dB	4,2 dB
2000 Hz	10,5 dB	7 dB	5,6 dB	5,0 dB
4000 Hz	10,1 dB	8,6 dB	4,1 dB	6,4 dB
8000 Hz	9,3 dB	8,8 dB	4,5 dB	6,8 dB
Summenpegel	8,8 dB	6,3 dB	4,8 dB	4,5 dB

Das in der Anlage 2 zum KP-II Abschlussbericht [2] festgelegte Verfahren zur Bestimmung einer Ersatzschallschutzwand sieht vor, die Messergebnisse mit einer prognostizierten SSW in 3,8 m Entfernung zum Gleis zu modellieren und eine Höhe der Ersatzschallschutzwand zu bestimmen, bei welcher die Ergebnisse aus den Messungen, mit denen aus der Prognose übereinstimmen. Dieses Verfahren wurde im Rahmen der Auswertung getestet. Es stellte sich heraus, dass es nicht möglich war, eine Ersatzschallschutzwand zu modellieren, welche über alle Messpunkte einheitliche Ergebnisse liefert, die denen der gemessenen Ergebnisse entsprechen.

Stattdessen wurde ein Vergleich mit einer nach Schall 03 prognostizierten Ersatzschallschutzwand in 5,52 m Abstand zum Gleis (äquivalent zum Abstand der Maßnahme 10 während der Messung) modelliert, welche iterativ um 0,10 m erhöht wurde, bis die Messwerte nahezu mit den prognostizierten Werten übereinstimmen. In Abbildung 33 sind die Ergebnisse der Ersatzschallschutzwand dargestellt. Auf der Abszisse sind die in der Messung verwendeten Messpositionen aufgetragen und auf der Ordinate die Differenz ΔL der A-bewerteten Summenpegel. Die farbigen Balken stellen jeweils die Pegelwerte für die modellierten Ersatzschallschutzwände unterschiedlicher Höhen dar. Dabei sind die rot-gestrichelten Balken

jeweils die Messergebnisse. Als Startpunkt wurde die Höhe 1,10 m gewählt (Höhe der in der Messung getesteten Maßnahme 10).

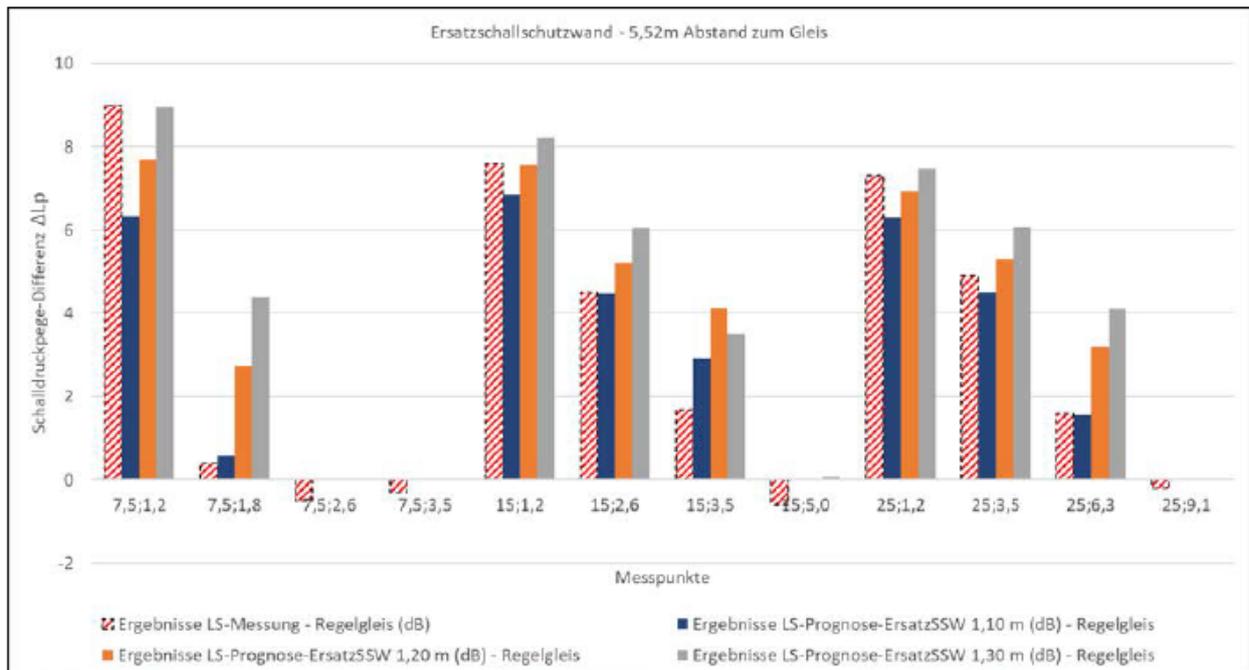


Abbildung 33: Ergebnisse unterschiedlich hoher Ersatzschallschutzwände in 5,52 m Abstand zur Gleismitte.

Anhand des Vergleichs lässt sich erkennen, dass am Messpunkt in 7,5 m Abstand zum Gleis und 1,2 m Höhe die Ergebnisse einer 1,3 m hohen Ersatzschallschutzwand ungefähr mit den Messergebnissen übereinstimmen (grauer Balken). An den Messpunkten in 15 m Entfernung zum Gleis und 2,6 m Höhe, in 25 m Entfernung zum Gleis und 3,5 m Höhe sowie in 25 m Entfernung zum Gleis und 6,3 m Höhe stimmen die Ergebnisse einer 1,1 m hohen Ersatzschallschutzwand ungefähr den gemessenen Ergebnissen überein (blauer Balken), was der Höhe der getesteten Maßnahme 10 entspricht.

4.4.1.2 Gegengleis

Zusätzlich zu der Messung der Minderungswirkung der Maßnahme 10 im Regelgleis wurde im Rahmen der zweiten Effektmessung die Minderungswirkung der Maßnahme 10 für Zugvorbeifahrten im Gegengleis gemessen. Die Messanordnung während der zweiten Effektmessung entsprach der aus der ersten Effektmessung, jedoch wurde aus technischen Gründen auf den Messpunkt in 25 m Abstand zur Gleismitte und 1,2 m Höhe verzichtet.

Ergebnisvergleich Regelgleis und Gegengleis

Tabelle 13 zeigt den Ergebnisvergleich für jeden Messpunkt für das Regel- und Gegengleis.

Tabelle 13: Ergebnisvergleich für jeden Messpunkt für Zugvorbeifahrten im Regel- und Gegengleis.

Messpunkt	Pegelminderung des A-bewerteten Summenpegels ΔL		A-bewertete Summenpegel-Differenz
	Regelgleis	Gegengleis	
a = 7,5 m; h = 1,2 m	8,8 dB	8,1 dB	0,7 dB
a = 7,5 m; h = 1,8 m	0,4 dB	-0,6 dB	1,0 dB
a = 7,5 m; h = 2,6 m	-0,5 dB	-0,3 dB	0,2 dB
a = 7,5 m; h = 3,5 m	-0,3 dB	-0,3 dB	0,0 dB
a = 15 m; h = 1,2 m	7,6 dB	7,0 dB	0,6 dB
a = 15 m; h = 2,6 m	4,6 dB	1,9 dB	2,7 dB
a = 15 m; h = 3,5 m	1,7 dB	-0,2 dB	1,9 dB
a = 15 m; h = 5 m	-0,6 dB	-0,6 dB	0,0 dB
a = 25 m; h = 1,2 m	7,3 dB	entfällt	-
a = 25 m; h = 3,5 m	4,8 dB	2,8 dB	2,0 dB
a = 25 m; h = 6,3 m	1,6 dB	-0,7 dB	2,3 dB
a = 25 m; h = 9,1 m	-0,2 dB	-0,7 dB	0,5 dB

Vergleich der Ergebnisse mit der Schall 03

Wie in Kapitel 4.4.1.1 wurde auch hier ein akustisches Modell mit den gleichen geometrischen Maßen der Maßnahme 10 mit der Software Cadna/A erstellt. Tabelle 14 zeigt den Vergleich der beiden Standardmesspunkte MP 1 und MP 2. Anhand des Vergleichs lässt sich erkennen, dass die am Standardmesspunkt in 7,5 m Abstand zur Gleismitte und 1,2 m Höhe gemessene Schallpegelminderung, um 4,3 dB höher ist als bei einer nach Schall 03 prognostizierten SSW. Bei dem Standardmesspunkt in 25 m Abstand zur Gleismitte und in 3,5 m Höhe liegt die Verbesserung des gemessenen Schallpegelminderung der Maßnahme 10 gegenüber der Prognose der Schall 03 bei 0,5 dB.

Tabelle 14: Vergleich der Schallminderung mit der Schall 03 anhand der beiden Standardmesspunkte in 7,5 m Entfernung zum Gleis und 1,2 m Höhe sowie 25 m Entfernung zum Gleis und 3,5 m Höhe.

Frequenz	Wirkung MP 1 (a=7,5m_h=1,2m)	Wirkung MP 1 nach Schall 03	Wirkung MP 4 (a=25m, h=3,5m)	Wirkung MP 4 nach Schall 03
63 Hz	4,1 dB	3,5 dB	1,9 dB	2,1 dB
125 Hz	5,2 dB	3,2 dB	5,9 dB	2,1 dB
250 Hz	3,5 dB	2,5 dB	0,6 dB	1,8 dB
500 Hz	6,3 dB	3,4 dB	2,8 dB	2,4 dB
1000 Hz	8,4 dB	3,7 dB	2,8 dB	2,5 dB
2000 Hz	9,1 dB	4,0 dB	3,2 dB	2,5 dB
4000 Hz	9,2 dB	4,7 dB	2,3 dB	2,5 dB
8000 Hz	7,8 dB	5,0 dB	1,6 dB	2,2 dB
Summenpegel	8,1 dB	3,8 dB	2,8 dB	2,3 dB

Analog zur Bewertung der Ergebnisse aus den Messungen im Regelgleis (siehe Kapitel 4.4.1.1) wurde ebenfalls eine nach Schall 03 prognostizierte Ersatzschallschutzwand iterativ modelliert. In Abbildung 34 sind die Ergebnisse der Ersatzschallschutzwand dargestellt.

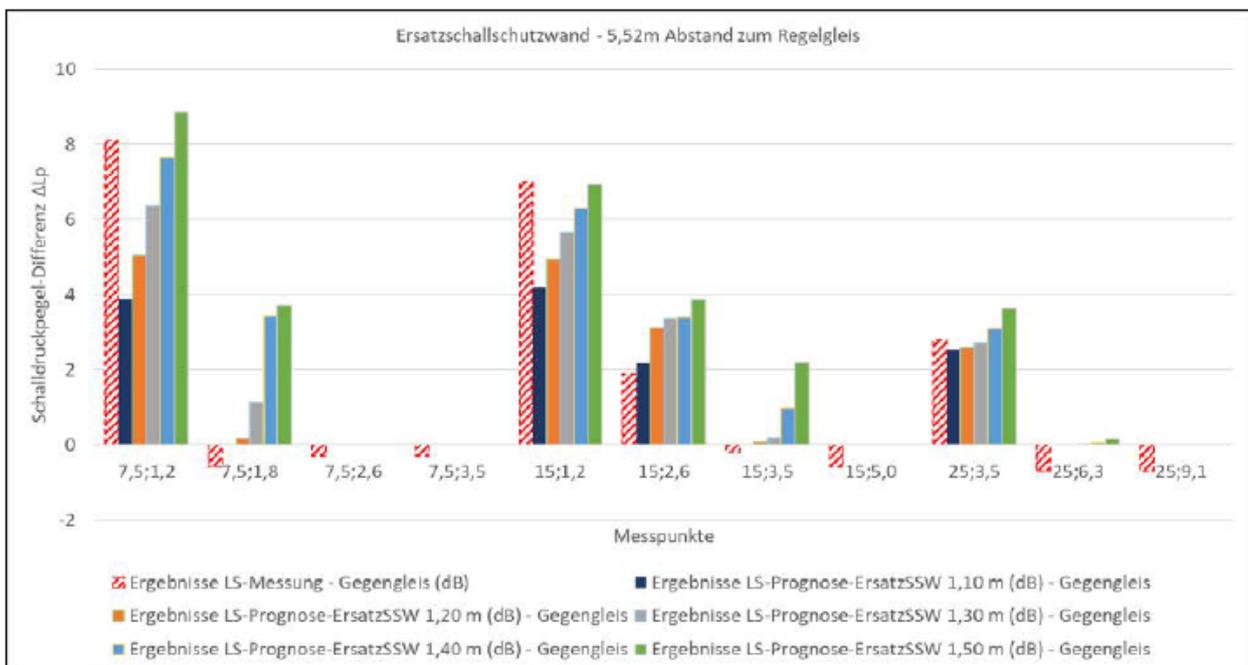


Abbildung 34: Ergebnisse unterschiedlich hoher Ersatzschallschutzwände in 5,52m Abstand zum Regelgleis.

Anhand des Vergleichs lässt sich erkennen, dass am Messpunkt in 7,5 m Abstand zum Regelgleis und 1,2 m Höhe die Ergebnisse einer 1,40 m hohen Ersatzschallschutzwand ungefähr mit den Messergebnissen übereinstimmen (hellblauer Balken). An dem Messpunkt in 15 m Entfernung zum Regelgleis und 2,6 m Höhe zeigt eine Ersatzschallschutzwand in 1,10 m Höhe (blauer Balken) ungefähr vergleichbare Ergebnisse wie in der Messung. An dem Messpunkt in

25 m Entfernung zum Regelgleis und 3,5 m Höhe stimmen die Ergebnisse einer 1,30 m hohen Ersatzschallschutzwand ungefähr mit den gemessenen Ergebnissen überein (grauer Balken).

4.4.2 Fazit

Die durchgeführten Messungen zeigen nach dem Einbau der Maßnahme 10 eine Schallpegelminderung an den betrachteten Messpositionen sowohl bei Zugvorbeifahrten im Gegengleis als auch bei Zugvorbeifahrten im Regelgleis. Dies betrifft insbesondere die niedrigen Messpunkte. Eine Schallpegelminderung an den höher gelegten Messpunkten, welche eine direkte Sichtverbindung zur Schallquelle haben, konnte durch die Maßnahme 10 nicht erreicht werden.

Ein Vergleich mit einer nach Schall 03 prognostizierten SSW zeigt, dass die gemessene Schallpegelminderung der Maßnahme 10 bei Zugvorbeifahrten im Gegengleis und im Regelgleis an dem Standardmesspunkt in 7,5 m Abstand zur Gleismitte und 1,2 m Höhe besser ist als die Pegelminderung einer nach Schall 03 berechneten SSW. Bei dem Messpunkt in 25 m Abstand zur Gleismitte und 3,5 m Höhe sind die Differenzen der Summenpegel gering.

4.5 Maßnahme 11 – Schallschutzwand mit Aufsatz

Bei der Maßnahme 11 handelt es sich um ein Aufsatzelement für bestehende Schallschutzwände. Die Höhe der getesteten Schallschutzwand mit Aufsatzelement beträgt 3,00 m über Schienenoberkante. Der Abstand im eingebauten Zustand zur Gleismitte beträgt 4,05 m. Das Aufsatzelement besteht aus beidseitig angebrachten Absorberkörpern aus zementgebundenen Holzspänen und wird am oberen Teil der Lärmschutzwand aufgebracht. (s. Abbildung 35).



Abbildung 35: Aufsatzelement auf bestehender Schallschutzwand.

Zur Bewertung der Maßnahme wurde ein Referenzabschnitt eingerichtet, in dem eine SSW gleicher Bauart ohne Aufsatzelement aber mit gleicher Gesamthöhe erstellt wurde. Auf die Weise kann der Effekt der Formgebung des Aufsatzelements, welche die Beugungseigenschaften an der Oberkante der SSW beeinflussen sollen, von dem Effekt der reinen Wanderrhöhung getrennt werden. Luftschallmessungen wurden an Messpositionen neben dem Gleis während Zugvorbeifahrten im Regelgleis (wandnahes Gleis) und im Gegengleis (wandfernes Gleis) an einem Test- und einem Referenzabschnitt durchgeführt. Darüber hinaus wurden Schienenrauheiten, kombinierte Schienen- und Radrauheiten sowie Gleisabklingrate gemessen.

Zur Bestimmung des Lärminderungspotentials des Aufsatzelementes wurden drei unterschiedliche Messkampagnen durchgeführt. Das Messkonzept wurde mit dem Hersteller und dem Eisenbahnbundesamt abgestimmt. Vorab wurde eine Vormessung ohne eingebaute Maßnahme durchgeführt, um akustische Differenzen aus dem Oberbau zwischen Test- und Referenzabschnitt zu detektieren vor Beginn der ersten Effektmessung wurde eine Schallschutzwand mit Aufsatzelement am Testabschnitt verbaut (Abbildung 35) und eine Schallschutzwand mit gleicher Höhe, jedoch ohne Aufsatzelement im Referenzabschnitt (Abbildung 36). Im Folgenden wurden Messungen bei Zugvorbeifahrten im Regelgleis durchgeführt, um die Minderungswirkung des Aufsatzelementes zu bestimmen. Ziel der ersten Effektmessung ist es, das Lärminderungspotential des Aufsatzelementes für Schallschutzwände bei Zugvorbeifahrten im Regelgleis zu bestimmen. Bei der zweiten

Effektmessung wurde zusätzlich auch das Lärminderungspotential des Aufsatzelementes bei Zugvorbeifahrten im Gegengleis bestimmt.



Abbildung 36: Schallschutzwand ohne Aufsatzelement im Referenzabschnitt.

4.5.1 Bewertung der Ergebnisse

4.5.1.1 Regelgleis

An der Strecke 5500-1 wurden eingerichtet:

- Referenzabschnitt MQ_1: km 47,450 - km 47,650 (Messebene bei km 47,518)
- Testabschnitt MQ_2: km 47,650 - km 47,850 (Messebene bei km 47,750)

Die Messungen fanden wie folgt statt:

- Messung ohne Maßnahme (Nullmessung N0) im April 2019
- 1. Effektmessung (E1) im November 2019
- 2. Effektmessung (E2) im März 2020

Ziel der ersten Effektmessung war es, das Schallminderungspotential des Aufsatzelementes für Schallschutzwände bei Zugvorbeifahrten im Regelgleis zu bewerten. Dazu wurde eine geeignete Auswahl an Messpositionen zur Charakterisierung des Schallfeldes festgelegt (Abbildung 37). Die Positionen der einzelnen Messpunkte waren für den Test- und Referenzabschnitt identisch. Im Rahmen der Auswertung wurde der Testabschnitt mit eingebauter Maßnahme (Schallschutzwand mit Aufsatz) mit dem Referenzabschnitt ohne eingebaute Maßnahme

verglichen und die Schallminderung abgeleitet. Abschließend wurde das gemessene Schallminderungspotential mit einer nach Schall 03 berechneten Ersatzschallschutzwand verglichen.

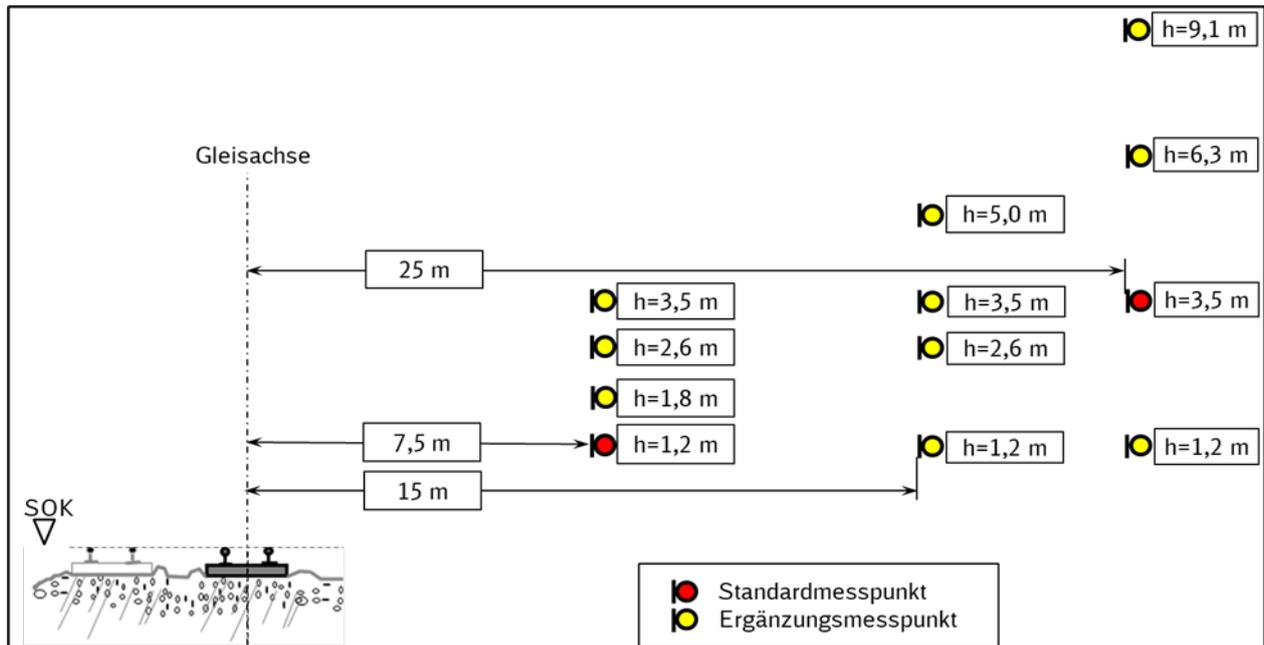


Abbildung 37: Anordnung der Luftschallmesspunkte bei der ersten Effektmessung.

Ergebnisse der Luftschallmessungen

Die Bewertung der Ergebnisse erfolgte anhand der folgenden Zugkategorien: DoSto mit 140 km/h, ETZ mit 120 km/h, 140 km/h, 150 km/h und 160 km/h, RZ mit 150 km/h und GZ mit 100 km/h. Tabelle 15 zeigt die Ergebnisse der Luftschallmessungen. Die Zahlenwerte resultieren aus einer Mittelung der Ergebnisse der ersten und zweiten Effektmessung bei Zugvorbeifahrten im Regelgleis. Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der ersten und zweiten Effektmessung liegen innerhalb der Messunsicherheit und sind kleiner als 1 dB. Die Wirkung ΔL ist die Differenz der A-bewerteten Summenpegel der Messergebnisse aus dem Testabschnitt und Referenzabschnitt. Eine positive Differenz stellt eine Verbesserung im Vergleich zum Referenzabschnitt dar.

Tabelle 15: Differenz der A-bewerteten Summenpegel ΔL_{Σ} an den Messpunkten gemittelt über die Zugkategorien DoSto 140 km/h, ETZ 120 km/h, ETZ 140 km/h, ETZ 150 km/h, ETZ 160 km/h, GZ mit 100 km/h und RZ mit 150 km/h für die einzelnen Oktav-Frequenzbänder.

Messpunkt	Oktav-Frequenzbänder								Summenpegel ΔL_{Σ}
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	
a = 7,5 m; h = 1,2 m	-0,6 dB	0,7 dB	1,2 dB	1,2 dB	1,4 dB	0,8 dB	2,2 dB	1,5 dB	1,2 dB
a = 7,5 m; h = 1,8 m	-0,3 dB	2,6 dB	1,5 dB	0,9 dB	1,7 dB	1,6 dB	1,4 dB	0,9 dB	1,5 dB
a = 7,5 m; h = 2,6 m	0,8 dB	1,2 dB	1,3 dB	0,7 dB	1,5 dB	2,6 dB	1,1 dB	1,7 dB	1,9 dB
a = 7,5 m; h = 3,5 m	1,5 dB	0,8 dB	1,1 dB	0,6 dB	1,1 dB	1,3 dB	1,4 dB	0,8 dB	1,1 dB
a = 15 m; h = 1,2 m	2,9 dB	0,0 dB	0,6 dB	3,0 dB	1,6 dB	1,7 dB	0,9 dB	1,6 dB	1,4 dB
a = 15 m; h = 2,6 m	1,5 dB	-1,5 dB	3,0 dB	1,1 dB	1,3 dB	1,3 dB	1,4 dB	1,7 dB	1,4 dB
a = 15 m; h = 3,5 m	0,0 dB	-0,4 dB	2,1 dB	0,8 dB	1,2 dB	0,9 dB	0,9 dB	1,1 dB	1,0 dB
a = 15 m; h = 5 m	-1,0 dB	1,3 dB	1,9 dB	0,9 dB	1,0 dB	1,3 dB	2,3 dB	2,1 dB	1,3 dB
a = 25 m; h = 1,2 m	2,0 dB	2,7 dB	1,9 dB	3,9 dB	2,3 dB	0,0 dB	2,9 dB	1,4 dB	1,9 dB
a = 25 m; h = 3,5 m	2,2 dB	0,5 dB	2,2 dB	1,5 dB	1,1 dB	-0,7 dB	2,0 dB	0,3 dB	0,5 dB
a = 25 m; h = 6,3 m	0,7 dB	-1,5 dB	2,0 dB	0,0 dB	0,3 dB	0,3 dB	1,4 dB	1,8 dB	0,4 dB
a = 25 m; h = 9,1 m	-1,0 dB	-0,5 dB	0,7 dB	0,4 dB	0,6 dB	-0,2 dB	2,0 dB	1,2 dB	0,4 dB

Die Auswertung der Messergebnisse erfolgt für alle Messpunkte. Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Maßnahme 11 bei den gleisnahen Messpositionen (Abstand 7,5 m und 15 m zur Gleismitte) eine Schallminderung von ca. 1,4 dB resultiert. Bei den weiter entfernten Messpunkten (25 m Abstand zur Gleismitte) ist die Schallminderungswirkung der Maßnahme 11 < 1 dB (Ausgenommen ist der Messpunkt in 25 m Entfernung und 1,2 m Höhe).

Vergleich der Ergebnisse mit der Schall 03

Zusätzlich zu der Bewertung der gemessenen Schallminderung der Maßnahme 11, ist ein Vergleich mit einer nach Schall 03 prognostizierten SSW zu erstellen.

Um die gemessene Schallminderung der Maßnahme 11 näherungsweise, mit der einer nach Schall 03 berechneten SSW vergleichen zu können, erfolgt der Aufbau eines akustischen Modells mit der Software Cadna/A. Da eine Modellierung der Maßnahme 11 nach den Algorithmen der Schall 03 nicht möglich war, wurde stattdessen nach Schall 03 eine Ersatzschallschutzwand in

4,05 m Abstand zum Regelgleis (äquivalent zum Abstand der Maßnahme 11) modelliert, welche iterativ um 0,10 m erhöht wurde, bis die Messwerte nahezu mit den prognostizierten Werten übereinstimmen. In Abbildung 38 sind die Ergebnisse dargestellt. Auf der Abszisse sind die in der Messung verwendeten Messpositionen aufgetragen und auf der Ordinate die Differenz ΔL der A-bewerteten Summenpegel. Die farbigen Balken stellen die jeweils die Pegelwerte für die modellierten Ersatzschallschutzwände unterschiedlicher Höhen dar und die rot-gestrichelten Balken die Messergebnisse. Als Startpunkt wurde die Höhe 3,1 m gewählt (Höhe der getesteten Maßnahme 11).

Anhand des Vergleichs lässt sich erkennen, dass am Messpunkt in 15 m Abstand zum Gleis und 2,6 m Höhe die Ergebnisse einer 3,4 m hohen Ersatzschallschutzwand ungefähr mit den Messergebnissen übereinstimmen (hellblauer Balken). An dem Messpunkt in 25 m Entfernung zum Gleis und 6,3 m Höhe stimmen die Ergebnisse einer 3,2 m hohen Ersatzschallschutzwand ungefähr den gemessenen Ergebnissen überein (grauer Balken).

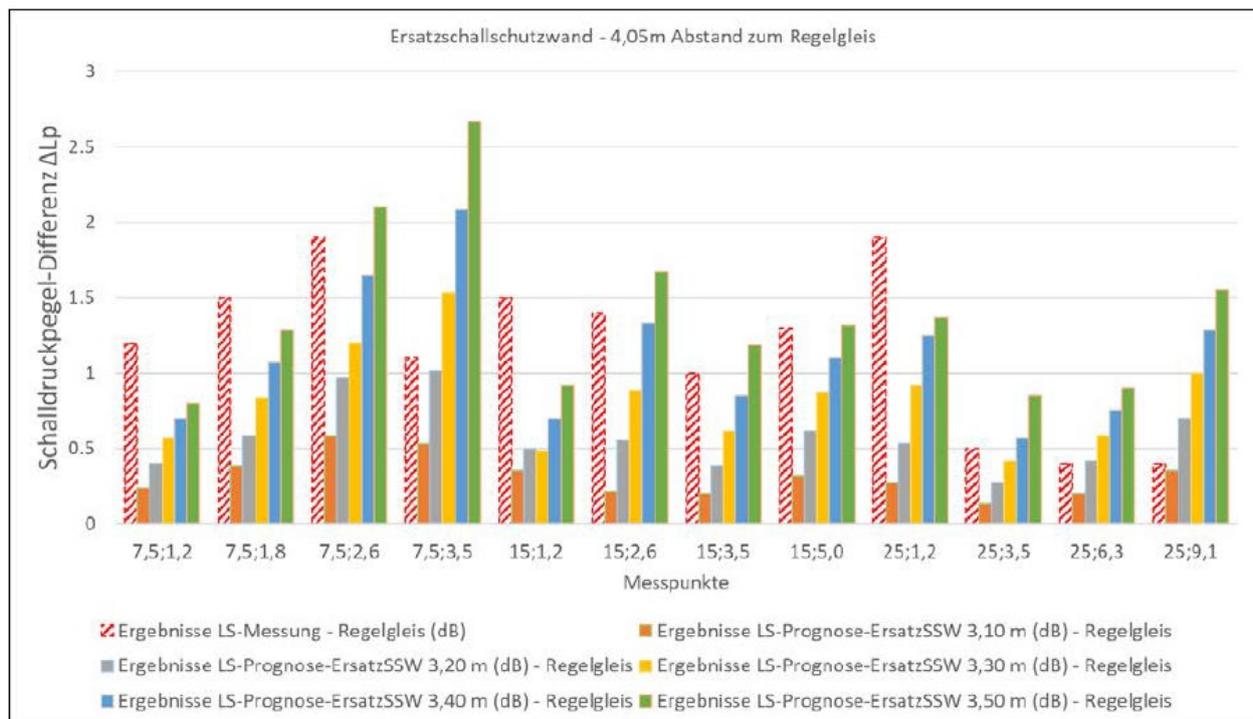


Abbildung 38: Ergebnisse unterschiedlich hoher Ersatzschallschutzwände in 4,05m Abstand zum Gleis.

Das in der Anlage 2 zum KP-II Abschlussbericht [2] festgelegte Verfahren sieht vor, die Ersatzschallschutzwand in 3,8 m Entfernung zum Gleis zu modellieren und diejenige Höhe zu bestimmen, bei welcher die Ergebnisse aus den Messungen, mit denen aus der Prognose am besten übereinstimmen. Es stellte sich heraus, dass es nicht möglich war, eine Ersatzschallschutzwand so zu modellieren, dass an allen Immissionspunkte die Messwerte reproduziert werden konnten.

4.5.1.2 Gegengleis

Zusätzlich zu der Messung der Minderungswirkung der Maßnahme 11 im Regelgleis wurde im Rahmen der zweiten Effektmessung die Minderungswirkung der Maßnahme 11 für Zugvorbeifahrten im Gegengleis gemessen. Die Messanordnung während der zweiten Effektmessung entsprach der aus der ersten Effektmessung, jedoch wurde aus technischen Gründen auf den Messpunkt in 25 m Abstand zur Gleismitte und 1,2 m Höhe verzichtet.

Ergebnisvergleich Regelgleis und Gegengleis

Tabelle 16 zeigt den Ergebnisvergleich für jeden Messpunkt für das Regel- und Gegengleis.

Tabelle 16: Ergebnisvergleich für jeden Messpunkt für Zugvorbeifahrten im Regel- und Gegengleis.

Messpunkt	Pegelminderung des A-bewerteten Summenpegels ΔL		A-bewertete Summenpegel-Differenz
	Regelgleis	Gegengleis	
a = 7,5 m; h = 1,2 m	1,2 dB	2,3 dB	1,1 dB
a = 7,5 m; h = 1,8 m	1,5 dB	2,0 dB	0,5 dB
a = 7,5 m; h = 2,6 m	1,9 dB	1,7 dB	0,2 dB
a = 7,5 m; h = 3,5 m	1,1 dB	0,8 dB	0,3 dB
a = 15 m; h = 1,2 m	1,5 dB	1,7 dB	0,2 dB
a = 15 m; h = 2,6 m	1,4 dB	1,1 dB	0,3 dB
a = 15 m; h = 3,5 m	1,0 dB	0,9 dB	0,1 dB
a = 15 m; h = 5 m	1,3 dB	0,5 dB	0,8 dB
a = 25 m; h = 1,2 m	1,9 dB	Entfällt	-
a = 25 m; h = 3,5 m	0,5 dB	0,1 dB	0,4 dB
a = 25 m; h = 6,3 m	0,4 dB	0,5 dB	0,1 dB
a = 25 m; h = 9,1 m	0,4 dB	0,4 dB	0,0 dB

Vergleich der Ergebnisse mit der Schall 03

Analog zur Bewertung der Ergebnisse aus den Messungen im Regelgleis (siehe Kapitel 4.5.1.1) wurde ebenfalls eine nach Schall 03 prognostizierte Ersatzschallschutzwand iterativ modelliert.

In Abbildung 39 sind die Ergebnisse der Ersatzschallschutzwand dargestellt.

Anhand des Vergleichs lässt sich erkennen, dass am Messpunkt in 15 m Abstand zum Gleis und 2,6 m Höhe die Ergebnisse einer 3,40 m hohen Ersatzschallschutzwand ungefähr mit den Messergebnissen übereinstimmen (hellblauer Balken). An dem Messpunkt in 25 m Entfernung zum Gleis und 6,3 m Höhe stimmen die Ergebnisse einer 3,20 m hohen Ersatzschallschutzwand ungefähr den gemessenen Ergebnissen überein (grauer Balken).

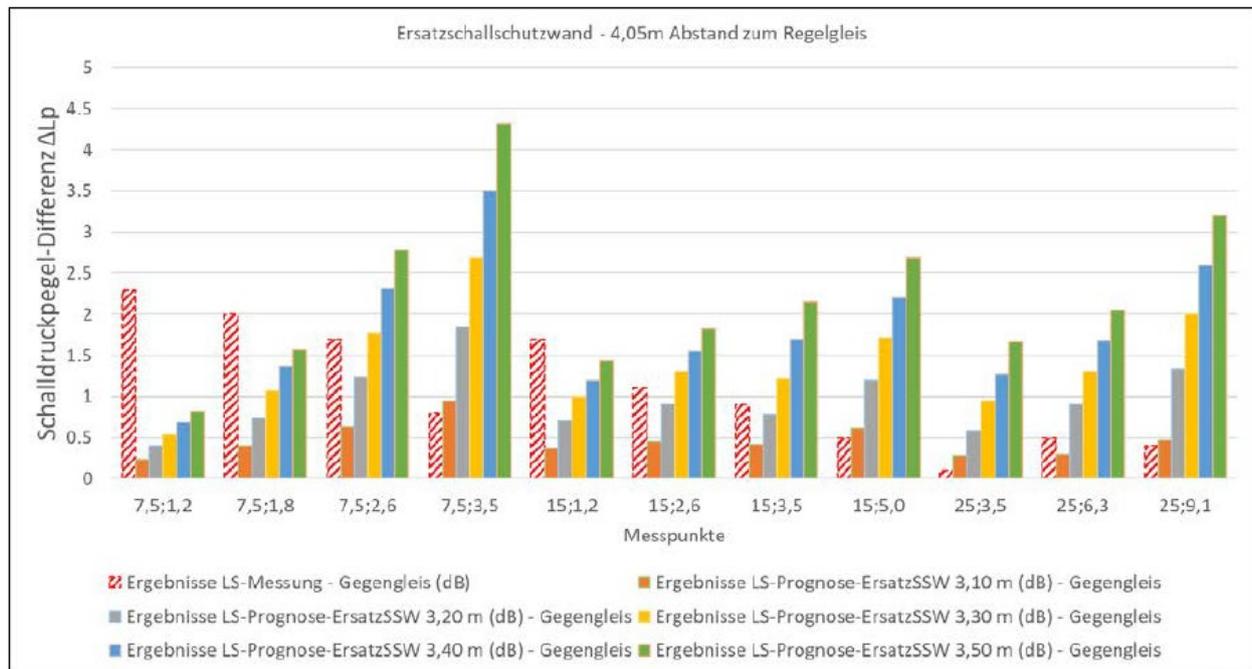


Abbildung 39: Ergebnisse unterschiedlich hoher Ersatzschallschutzwände in 4,05m Abstand zum Gleis.

Wie bei den Messungen im Regelgleis zeigte sich auch hier, dass das Verfahren zur Bestimmung einer Ersatzschallschutzwand gemäß Anlage 2 zum KP-II Abschlussbericht [2] nicht sinnvoll möglich war.

4.5.2 Fazit

Die durchgeführten Messungen zeigen nach dem Einbau der Maßnahme 11 im Vergleich zu einer SSW ohne Aufsatzelement bei gleicher Gesamthöhe eine Schallminderungswirkung von ca. 1 dB bei den gleisnahen Messpositionen. Mit zunehmendem Abstand zum Gleis nimmt die Wirkung des Aufsatzelementes weiter ab, so dass an den Messpunkten in 25 m Entfernung eine Wirkung < 1 dB resultiert. Die Wirkung der ist bei Zugvorbeifahrten im Gegengleis geringfügig (ca. 1 dB) höher. Dies ist jedoch ausschließlich bei den gleisnahen Messpunkten der Fall.

5 Maßnahmen an der Schwelle zur Minderung von Luft- und Körperschall

In dem folgenden Kapitel werden die Ergebnisse von vier Maßnahmen zur Minderung von Erschütterungen und einer Maßnahme zur Minderung der Rollgeräusch aus dem Schienenverkehr vorgestellt. Entsprechend lag der Fokus auf Messungen von Bodenschwingungen neben dem Gleis während der Vorbeifahrt von Zügen. Zusätzlich zu den Erschütterungsmessungen mit Schwingungssensoren im Boden wurden Luftschallmessungen an den Standardpositionen durchgeführt. Eine Übersicht der Messpunkte ist in Abbildung 40 dargestellt.

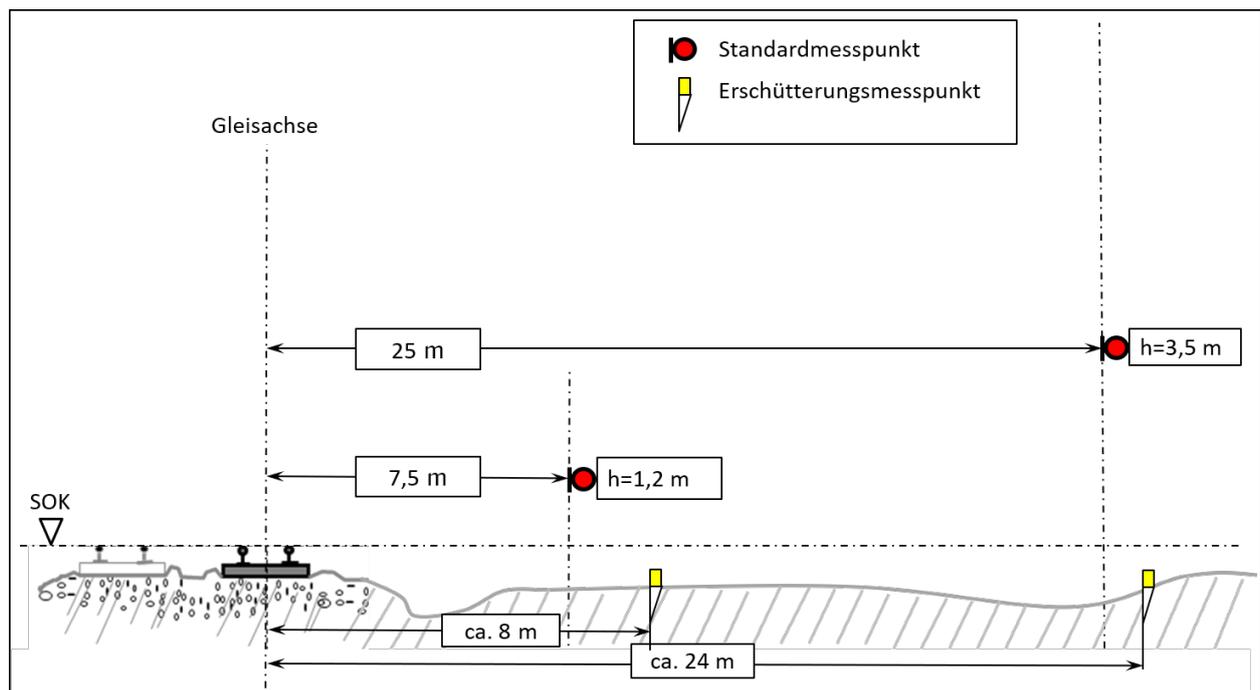


Abbildung 40: Schematische Anordnung der Mikrofone für Luftschallmessungen und Sensoren für Erschütterungsmessungen an einem Testabschnitt in unterschiedlichen Höhen und Abständen von der Gleisachse.

Die Testeinbauten erfolgten an der Strecke 6153-2 (Berlin - Frankfurt (Oder)) in der Nähe der Ortschaft Pillgram. Auf einer Länge von insgesamt 1080 m wurden vier Testabschnitte (MQ1, MQ2, MQ3, MQ5) für fünf Maßnahmen und drei Referenzabschnitte (MQ 4, MQ6, MQ7) mit einer Länge von jeweils ca. 150 m eingerichtet. In allen Abschnitten waren durchgehend Schienen vom Typ 60 E2 verbaut. Der Referenzabschnitt MQ 4 hatte eine elastische Zwischenlage (Zw 700), in den beiden anderen Referenzabschnitten MQ 6 und MQ 7 war eine harte Zwischenlage (Zw 687a) verbaut. In Abbildung 41 ist eine Übersicht der Lage der Messquerschnitte dargestellt.

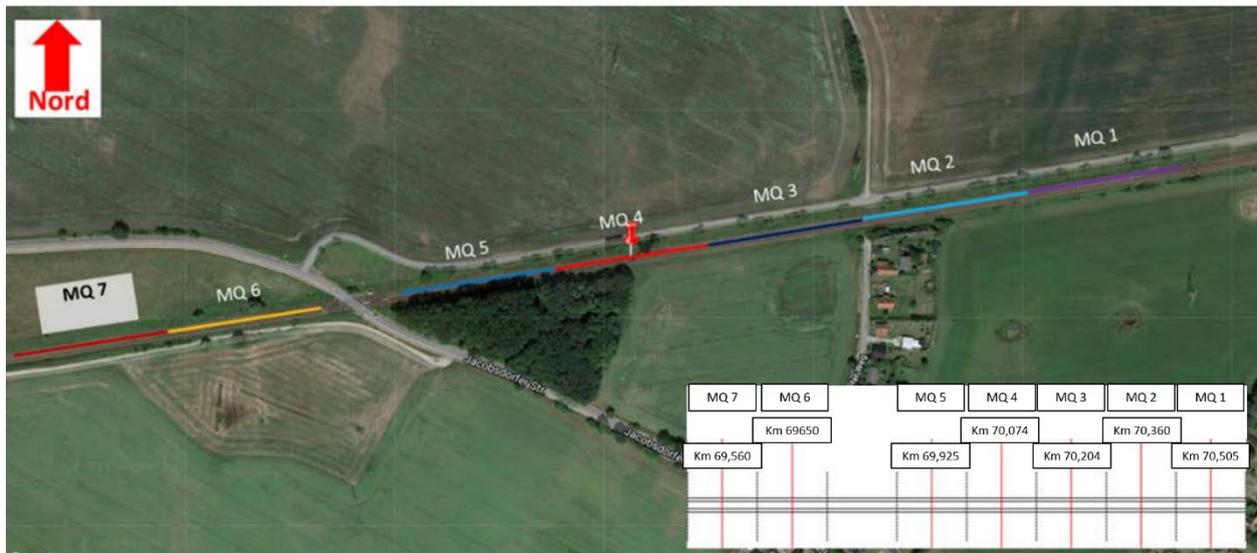


Abbildung 41: Übersicht der verschiedenen Messquerschnitte (MQ) mit Angabe der km der Messebene an der Strecke 6153 bei Pillgram.

Die Nachweisführung erfolgte analog zum Luftschall sowohl durch Vergleich der Erschütterungsemissionen vor und nach Einbau der Maßnahmen als auch durch den Vergleich mit einem Referenzabschnitt (siehe Abbildung 42).

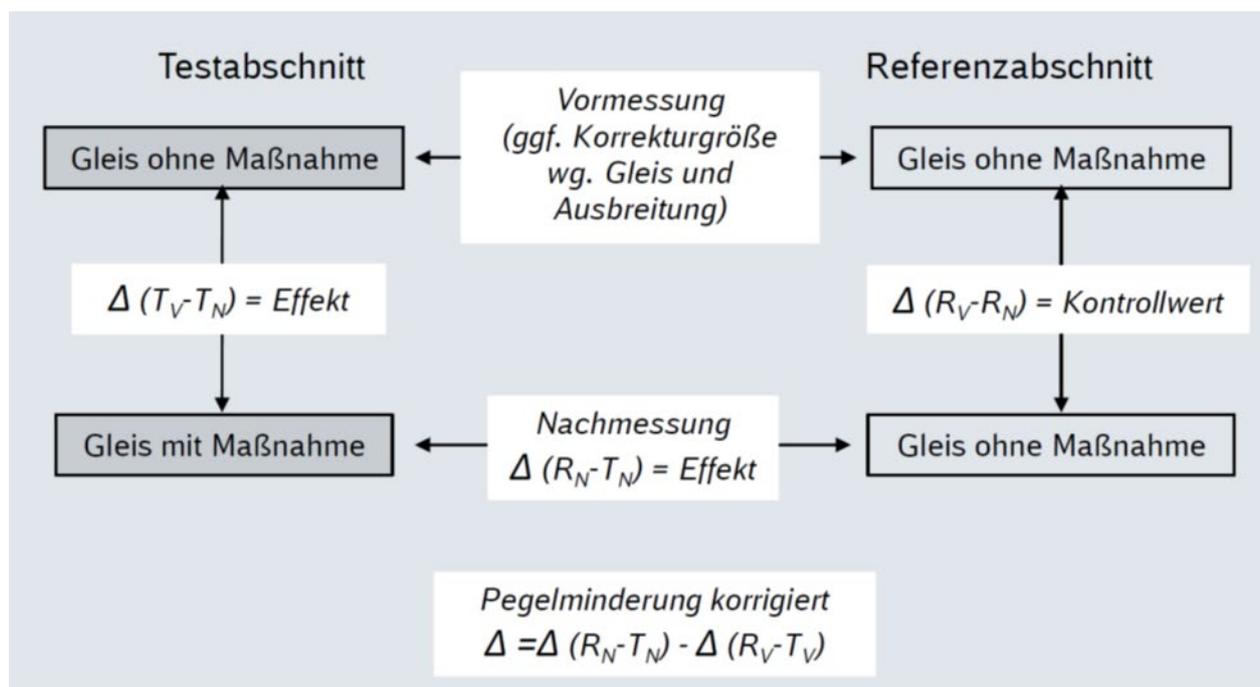


Abbildung 42: Auswertekonzept in Anlehnung an [3], R-Referenzabschnitt, T-Testabschnitt.

Die Messkampagnen für die Maßnahmen 12 bis 15 fanden wie folgt statt:

- 1. Effektmessung (E1) im Oktober 2019
- 2. Effektmessung (E2) im Mai / Juni 2020
- Messung ohne Maßnahmen (Nullmessung N0) im Oktober 2020 (nach Ausbau der Maßnahmen)

Im Rahmen der Auswertung der gemessenen Emissionspegel erfolgte im ersten Schritt die Zuordnung zu den Zugkategorien Güterzug (GZ) mit 100 km/h, Doppelstock als lokbespannter Wendezug (DoSto, Regionalverkehr) sowie lokbespannter Reisezug (RZ, Fernverkehr) mit 160km/h. Aus den 3 Messkampagnen lagen für jeden der Messquerschnitte (Test- und Referenzabschnitt) ca. 1000 Terz-Schnellepegelspektren vor, die in der Gesamtschau zu analysieren waren.

Die folgenden Abbildung 43 und Abbildung 44 zeigen exemplarisch die im Boden gemessenen Erschütterungen (in vertikaler Richtung) anhand von Schwingschnellespektren, die in 8 m Entfernung von der Gleisachse während der Vorbeifahrt von Regelzügen gemessen wurden.

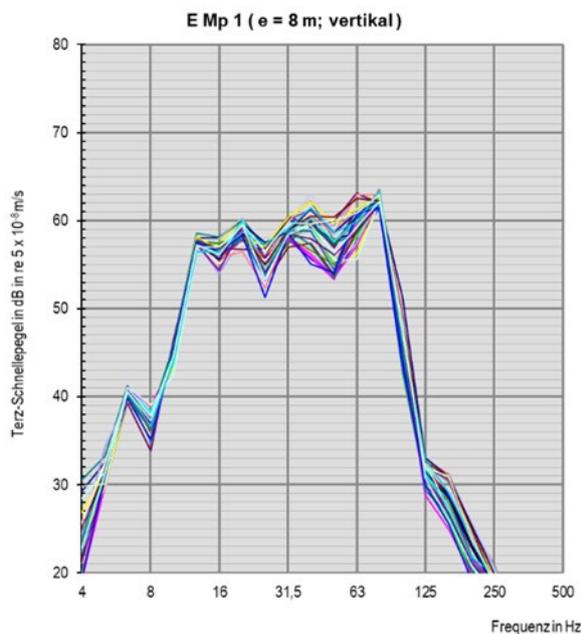


Abbildung 43: Schwingschnellespektren bei Vorbeifahrten von DoSto 160 km/h.

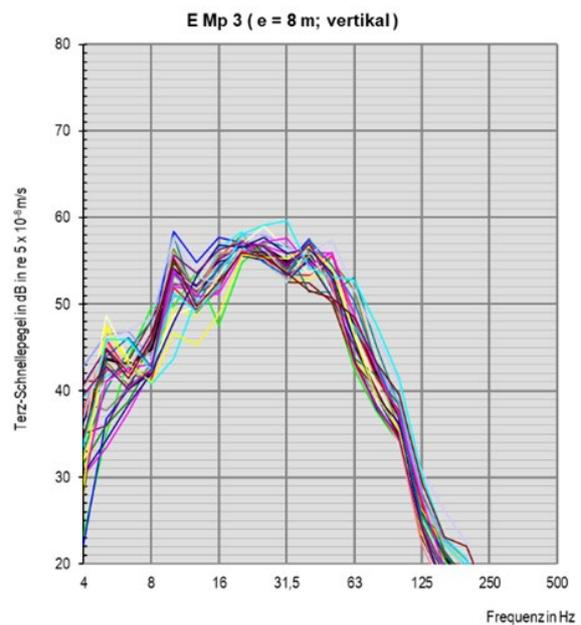


Abbildung 44: Schwingschnellespektren bei Vorbeifahrten von GZ 100 km/h.

In der weiteren Bearbeitung wurden die -Spektren für die einzelnen Zugkategorien energetisch gemittelt. Dabei wurden offensichtliche Ausreißer nicht berücksichtigt.

Die vorgenannten Arbeitsschritte wurden gleichermaßen für den Test- und den Referenzabschnitt ausgeführt. Als Maß für die Wirksamkeit einer Maßnahme wurde die Einfügedämmung D_e ermittelt [3]:

$$D_e(f_{Tn}) = [L_{vRef, Eff}(f_{Tn}) - L_{vTest, Eff}(f_{Tn})] - [L_{vRef, N0}(f_{Tn}) - L_{vTest, N0}(f_{Tn})] \quad (1)$$

- Mit:
- L_v Terz-Schnellepegel
 - n Terzband
 - Ref, Test Referenzabschnitt, Testabschnitt
 - Eff, N0 Effektmessung, Nullmessung

Der Term in der ersten Rechteck-Klammer enthält den Effekt, so wie er sich aus der Differenz der Messwerte an Test- und Referenzabschnitt nach Einbau der Maßnahme ergibt (rechts/links Vergleich). Diese Differenz wird bezüglich der Unterschiede in den Ausbreitungsbedingungen von Bodenschwingungen im Test- und Referenzabschnitt (Term in der zweiten Rechteck-Klammer), die aus den Nullmessungen (ohne eingebaute Maßnahme) ermittelt werden, korrigiert.

5.1 Maßnahme 12 – Kombination einer elastischen Zwischenlage und einer Betonschwellenbesohlung

An der Strecke 6153-2 wurden zwischen km 70,140 und km 70,280 Betonschwellen vom Typ B70 mit elasto-plastischer Schwellensohle in Kombination mit einer elastischen Zwischenlage Zw 700 (Maßnahme 12) auf einer Länge von 140 m eingebaut. Durch diese Kombination erwartet der Hersteller eine Minderung der Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen.

Zur Bewertung der Wirkung der Maßnahme erfolgten Erschütterungsmessungen während der Vorbeifahrt von Regelzügen. Ergänzend wurden Luftschall, Schienenrauheiten und Gleisabklingrate gemessen.

In Abbildung 45 sind Schwellensohle und Zwischenlage schematisch dargestellt.

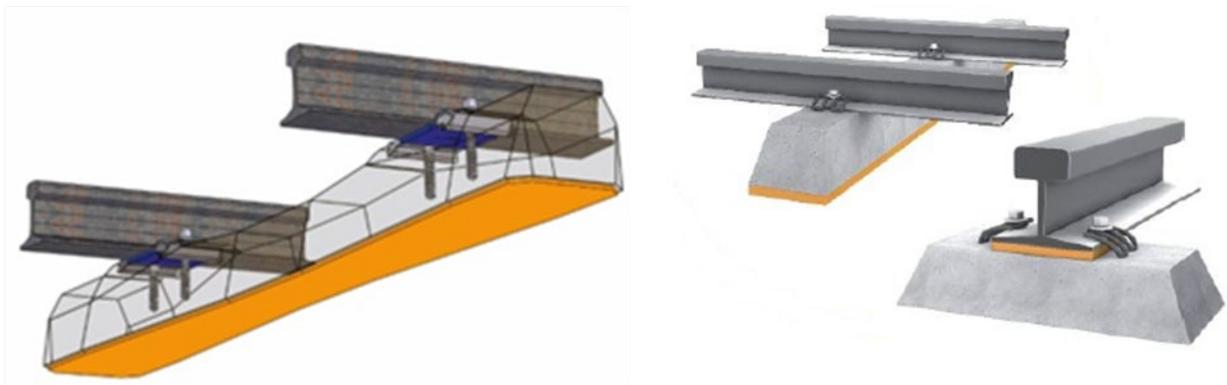


Abbildung 45: Schematische Darstellung der Oberbaumaßnahme im Testabschnitt der Strecke 6153 (Quelle: Hersteller).

An der Strecke 6153-2 wurden folgende Messquerschnitte eingerichtet:

- Testabschnitt MQ 3: km 70,140 – km 70,280 (Messebene bei km 70,204)
- Referenzabschnitt MQ 4 (mit elastischer Zw): km 70,000 – km 70,140 (Messebene bei km 70,074)

5.1.1 Erschütterungsmessungen

Aus den Messungen der Schwingschnellen im Boden während der Vorbeifahrt der Regelzüge wurden gemäß Gl. (1) die Einfügedämmungen als Maß für die Wirkung für die Zugkategorien

Personenzug (Doppelstock und lokbespannter Reisezug) sowie Güterzug gebildet. Die Einfügedämmungen als Funktion der Frequenz sind jeweils für 8 m und 24 m Entfernung von der Gleismitte in Abbildung 46 und Abbildung 47 abgebildet. Die gemessenen Einfügedämmungen verlaufen bis ca. 50 Hz im negativen Bereich. Bei ca. 40 Hz tritt ein deutlicherer Einbruch der Einfügedämmung auf, der vermutlich zu einer Resonanzschwingung ‚Schwelle auf Schwellensohle‘ gehört. Oberhalb von ca. 50Hz geht die gemessene Einfügedämmung in den positiven Bereich über. Die maximale Wirkung mit ca. 15 dB wurde im Bereich von 80 Hz in 8 m Entfernung von der Gleisachse gemessen. Zu höheren Frequenzen hin nimmt die Wirkung wieder stark ab.

Die Maßnahme 12 zeigt im Frequenzbereich unterhalb von 50Hz, der zum Erschütterungsschutz von Anwohnern in Gebäuden relevant ist, keine bzw. sogar eine leicht verstärkende Wirkung. Im Frequenzbereich des sekundären Luftschalls wurden oberhalb von 50 Hz deutliche Minderungswirkungen gemessen. Die gemessene Wirkung am 24m-Messpunkt ist grundsätzlich geringer als am gleisnahen 8m-Messpunkt.

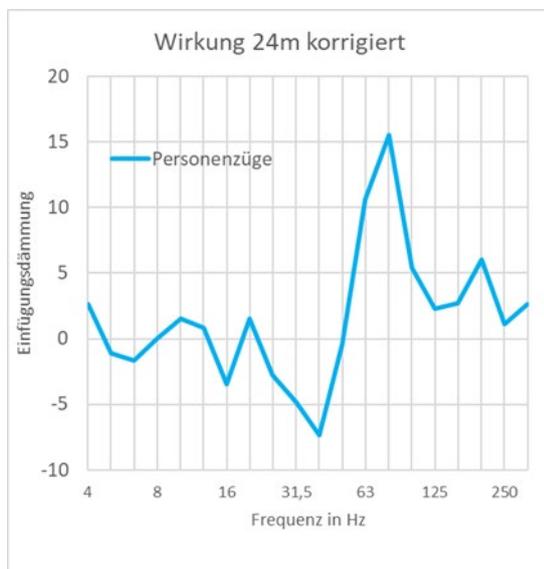
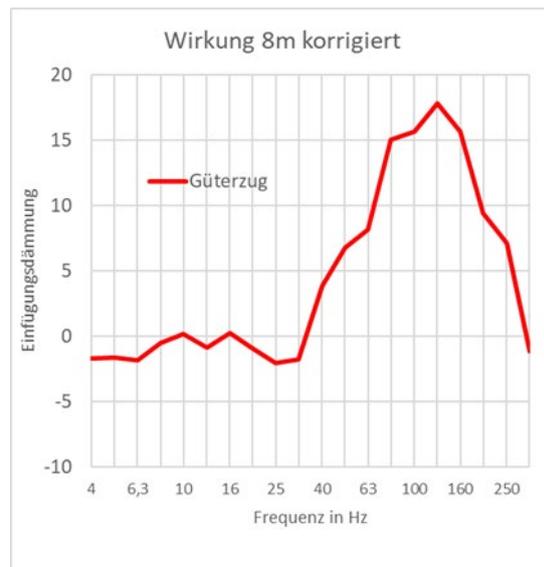
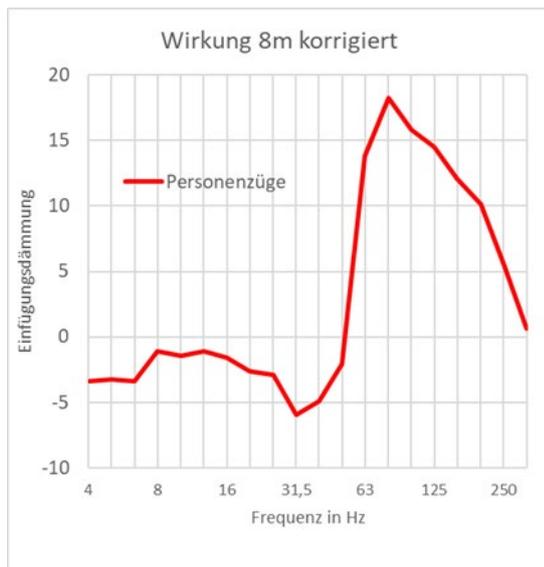


Abbildung 46: Gemessene Einfügedämmung für Personenzüge.

Abbildung 47: Gemessene Einfügedämmung für Güterzüge.

5.1.2 Luftschallmessungen

Obwohl der Fokus der Maßnahme 12 auf der Minderung von Erschütterungsemissionen lag, erfolgten auch Messungen des Luftschalls an den Standardpositionen in den Abständen 7,5m und 25m vom Gleis, um einen möglichen Einfluss der Maßnahme auf die Schallemission zu quantifizieren. Als Referenz wurde der akustisch gleichwertige Abschnitt MQ 4 gewählt. In Abbildung 48 sind die Differenzen der Luftschallpegel, gemessen am Test- und Referenzabschnitt, als Funktion der Frequenz für die unterschiedlichen Zugkategorien aufgetragen. Im akustisch relevanten Frequenzbereich oberhalb von 250 Hz gibt es keine signifikanten Unterschiede in der Luftschallemission zwischen Test- und Referenzabschnitt. Die Unterschiede im Summenpegel liegen unterhalb von 1 dB.

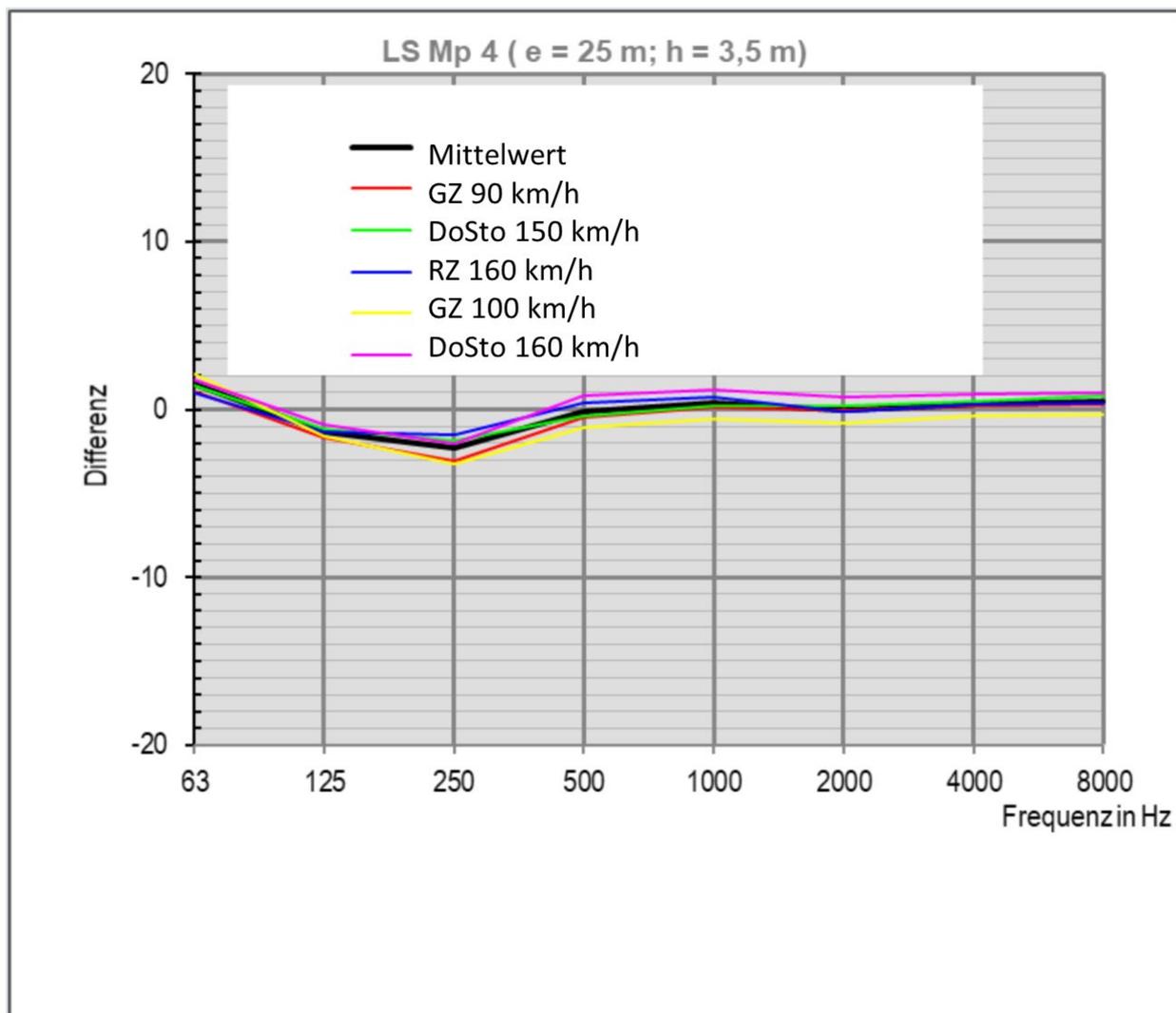


Abbildung 48: Pegeldifferenz Referenzabschnitt-Testabschnitt bei 25m Abstand von Gleismitte, jeweils Mittelwert (Schwarze Kurve) und alle ausgewertete Zugkategorien (farbige Kurven).

5.1.3 Fazit

Eine zum Erschütterungsschutz nutzbare Minderungswirkung von Gebäuden mit entsprechenden Deckeneigenfrequenzen liegt im relevanten Frequenzbereich unterhalb von 40 Hz nicht vor. Im Bereich von 40 Hz wirkt die Kombination besohlte Betonschwelle und elastische Zwischenlage Zw 700 sogar leicht pegelerhöhend.

Eine Schutzwirkung vor sekundärem Luftschall ist ab einer Frequenz von ca. 63 Hz nachweisbar.

Die Messungen des Luftschalls zeigen beim Vergleich der Summenpegel von Testabschnitt und einem akustisch gleichwertigen Referenzabschnitt mit gleichwertiger Zwischenlage nur einen geringen Unterschied von ca. 1,0 dB. Die Schwellensole hat erwartungsgemäß keinen nennenswerten Einfluss auf den abgestrahlten Luftschall.

5.2 Maßnahme 13 – Schwellenbesohlung

An der Strecke 6153-2 war zwischen km 70,280 und km 70,420 eine Betonschwelle mit einer optimierten Schwellensole (Maßnahme 13) auf einer Länge von 140 m eingebaut.

Zur Bewertung der Wirkung der Maßnahme erfolgten Erschütterungsmessungen während der Vorbeifahrt von Regelzügen. Ergänzend wurden Luftschall, Schienenrauheit und Gleisabklingrate gemessen.

Die Abbildung 49 zeigt ein Foto der optimierten Schwellensohle.



Abbildung 49: Schwelle mit optimierter Schwellensohle am Testabschnitt der Strecke 6153.

Durch die Maßnahme 13 erwartet der Hersteller eine Minderung der Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen.

An der Strecke 6153-2 wurden folgende Messquerschnitte eingerichtet:

- Testabschnitt MQ 2: km 70,280 - km 70,420 (Messebene bei km 70,360)
- Referenzabschnitt MQ 4 (mit elastischer Zw): km 70,000 - km 70,140 (Messebene bei km 70,074)

5.2.1 Erschütterungsmessungen

Ebenfalls wie bei der Maßnahme 12 wurden aus den Messungen der Schwingschnellen im Boden während der Vorbeifahrt der Regelzüge (Personen- und Güterzüge) gemäß Gl. (1) die Einfügedämmungen als Wirkung der Oberbaumaßnahme gebildet. Die Einfügedämmungen als Funktion der Frequenz sind jeweils für 8 m und 24 m Entfernung von Gleismitte in Abbildung 50

und Abbildung 51 abgebildet. In Abbildung 50 sind die gemessenen Einfügedämmungen für Personenzüge dargestellt. Hier ist zu sehen, dass im Bereich zwischen 10 Hz und 20 Hz sowie oberhalb der 63 Hz-Terz eine positive Wirkung eintritt, sich ein Maximum von ca. 11 dB von 80 - 125 Hz einstellt und ab ca. 250 Hz die Wirkung wieder gering wird. Das heißt auch die Maßnahme 13 zeigt im Bereich der fühlbaren Erschütterungen unterhalb von 40 Hz geringe Wirkung. Im Frequenzbereich des sekundären Luftschalls von 63 -250 Hz wurden deutliche Minderungswirkungen gemessen. Bei der Kurve für Güterzüge (Abbildung 51) verhält es sich ähnlich, jedoch stellt sich eine positive Wirkung schon ab ca. 30 Hz ein und wirkt ebenfalls bis ca. 250 Hz. Die gemessene Wirkung am 24m-Messpunkt ist grundsätzlich geringer als am gleisnahen 8m-Messpunkt.

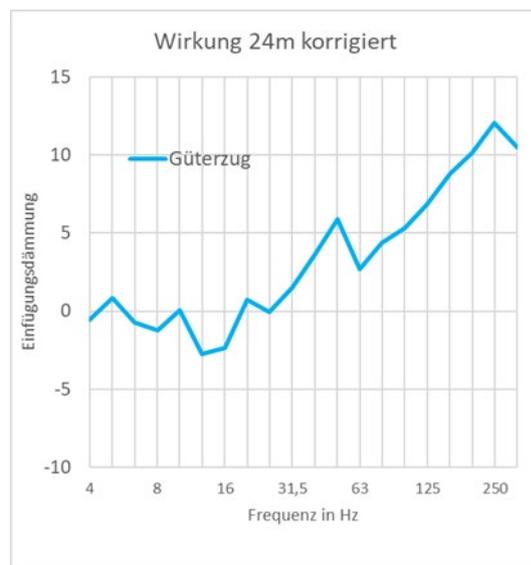
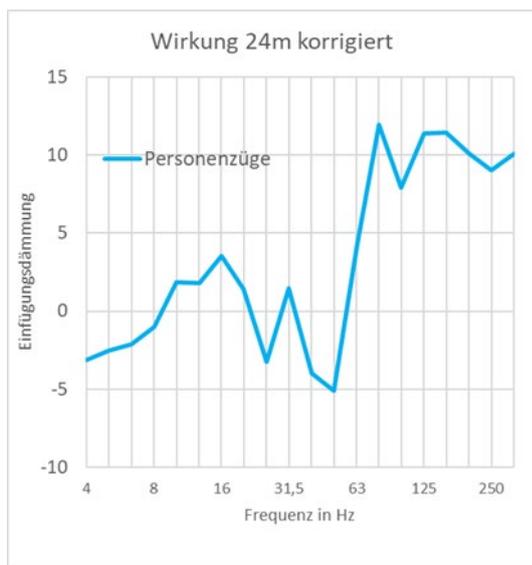
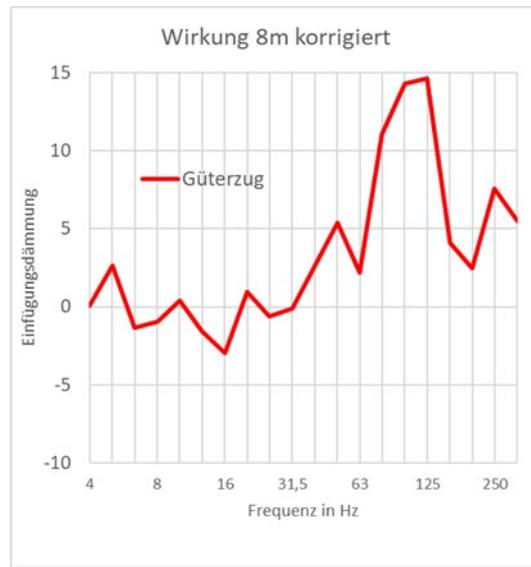
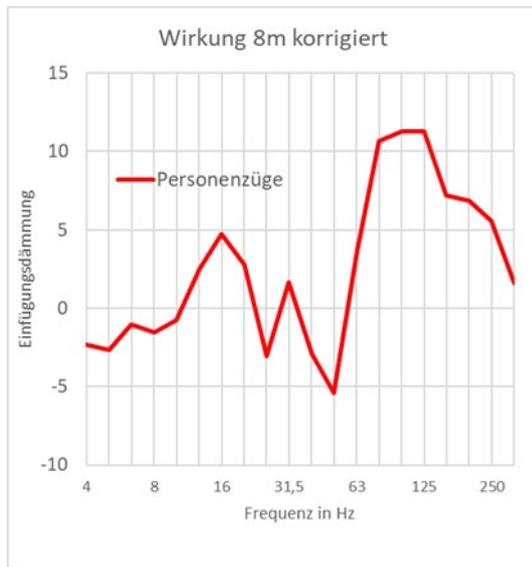


Abbildung 50: Einfügedämmung für Personenzüge.

Abbildung 51: Einfügedämmung für Güterzüge.

5.2.2 Luftschallmessungen

Obwohl der Fokus auf dem Einfluss der Maßnahme 13 auf den Erschütterungsemissionen lag, erfolgten auch Messungen des Luftschalls an den Standardpositionen in den Abständen 7,5 m

und 25 m vom Gleis, um einen möglichen Einfluss der Maßnahme auf die Schallemission zu quantifizieren. Hier wurde ebenfalls der MQ 4 mit elastischer Zwischenlage als Referenzabschnitt eingerichtet, da dieser akustisch gleichwertig zum Testabschnitt MQ 2 war. In Abbildung 52 sind die Differenzen der Luftschallpegel, gemessen am Test- und Referenzabschnitt, als Funktion der Frequenz für die unterschiedlichen Zugkategorien aufgetragen. Im akustisch relevanten Frequenzbereich oberhalb von 250 Hz gibt es keine Unterschiede in der Luftschallemission zwischen Test- und Referenzabschnitt. Die Unterschiede im Summenpegel liegen bei 0 dB.

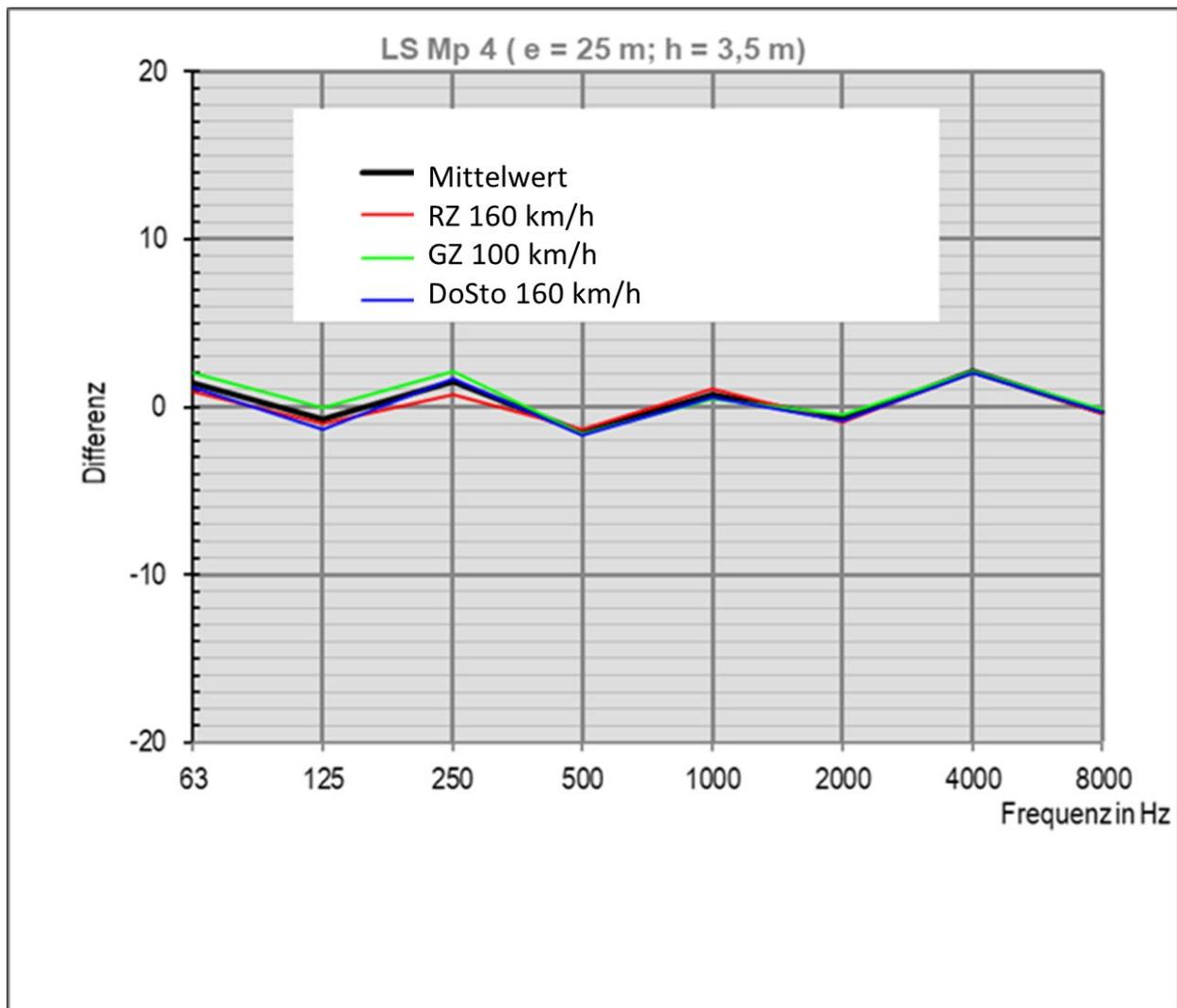


Abbildung 52: Pegeldifferenz Referenzabschnitt-Testabschnitt bei 25m von Gleismitte, jeweils Mittelwert (Schwarze Kurve) und alle ausgewertete Zugkategorien (farbige Kurven).

5.2.3 Fazit

Eine nutzbare Minderungswirkung im relevanten Frequenzbereich von ca. 10 bis 40 Hz zum Erschütterungsschutz von Gebäuden mit entsprechenden Deckeneigenfrequenzen liegt nur bedingt vor, zum Teil (um 50 Hz) wirkt die Schwellensole leicht pegelerhöhend. Dieses Verhalten ist abhängig von der Art der Züge.

Eine Schutzwirkung vor sekundärem Luftschall zeigt sich unabhängig von der Zugkategorie ab einer Frequenz von ca. 60 Hz.

Die Messungen des Luftschalls zeigen beim Vergleich der Summenpegel von Testabschnitt und einem akustisch gleichwertigen Referenzabschnitt mit gleichwertiger Zwischenlage keinen Unterschied. Die Schwellensole hat erwartungsgemäß keinen nennenswerten Einfluss auf den abgestrahlten Luftschall.

5.3 Maßnahme 14 – Besohlte Breitschwelle

Der Hersteller stimmt einer gesamtheitlichen Veröffentlichung der Ergebnisse der Maßnahme 14 nicht zu.

5.4 Maßnahme 15 – Kunststoffschwelle

An der Strecke 6153-2 war zwischen km 69,860 und km 70,000 eine FFU-Kunststoffschwelle (Maßnahme 15) mit einer Zwischenlage Zw 687 auf einer Länge von 140 m eingebaut. Die Kunststoffschwelle wird in einem Pultrusionsverfahren, bestehend aus langen Glasfasern und Polyurethan (**F**iber-**R**einforced **F**oamed **U**rethane, FFU) in unterschiedlichen Schichten mit verschiedenen Dichten und Druckfestigkeiten, hergestellt.

Zur Bewertung der Maßnahme erfolgten Erschütterungsmessungen während der Vorbeifahrt von Regelzügen. Ergänzend wurden Luftschall, Schienenrauheit und Gleisabklingraten gemessen.

Die Abbildung 53 zeigt ein Foto der Kunststoffschwelle.



Abbildung 53: Kunststoffschwelle für das Projekt I-LENA.

Durch die Kunststoffschwelle erwartet der Hersteller eine Minderung der Erschütterungs- und Sekundärschallimmissionen.

An der Strecke 6153-2 wurden folgende Messquerschnitte eingerichtet:

- Testabschnitt MQ 5: km 69,860 – km 70,000 (Messebene bei km 96,925)
- Referenzabschnitt MQ 6 (mit harter Zw): km 69,630 – km 69,770 (Messebene bei km 69,650)

5.4.1 Erschütterungsmessungen

Bei der Maßnahme 15 wurde auch aus den Messungen der Schwingschnellen am 8 m und 24 m-Messpunkt während den Vorbeifahrten von Personen- und Güterzügen die Einfügedämmungen bestimmt, siehe Abbildung 54 und Abbildung 55. Die Einfügedämmung für Personenzüge (Abbildung 54) weist ab ca. 80 Hz einen positiven Wert auf, sprich ab diesem Bereich zeigt die Maßnahme 15 eine positive Wirkung gegen Erschütterungen. Die maximale Wirkung von ca. 8 dB bzw. 10 dB liegt bei ca. 125 Hz vor, für höhere Frequenzen nimmt die Wirkung wieder ab und fällt bis ca. 250 Hz auf ca. 0 dB. Somit ist bei dieser Maßnahme ebenfalls im Bereich der fühlbaren Erschütterungen (< 40 Hz) keine Wirkung vorhanden.

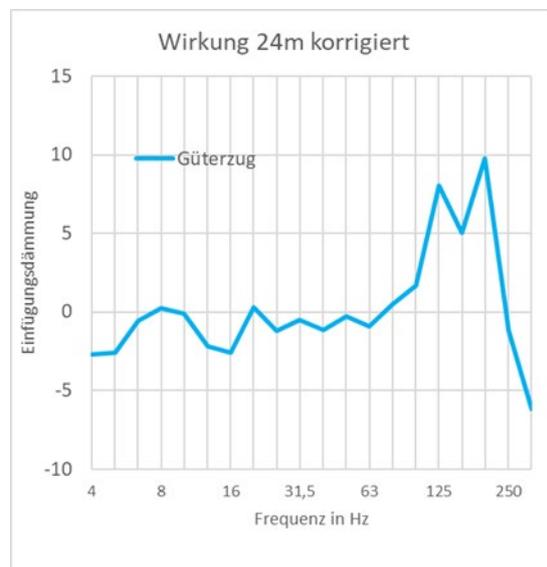
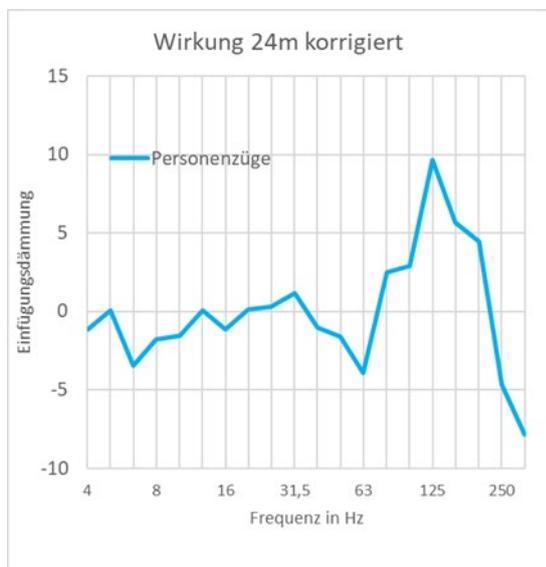
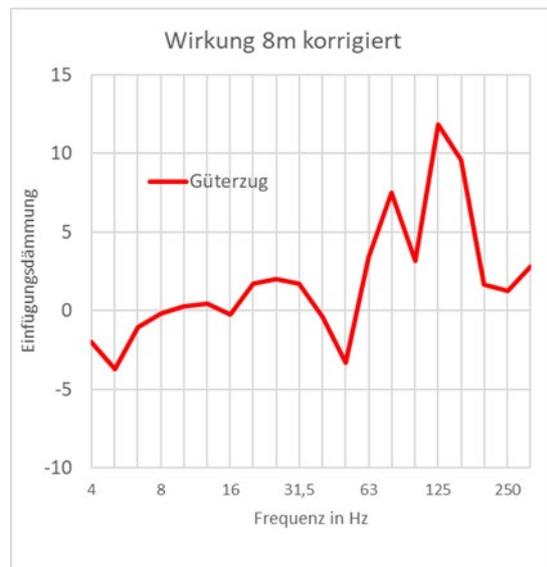
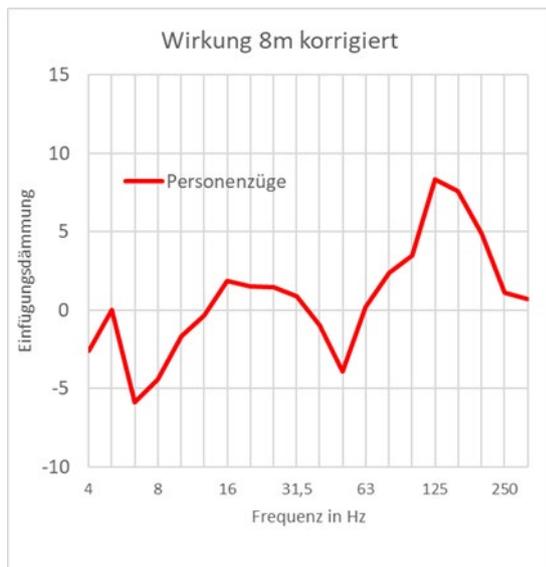


Abbildung 54: Gemessene Einfügedämmung für Personenzüge.

Abbildung 55: Gemessene Einfügedämmung für Güterzüge.

5.4.2 Luftschallmessungen

Der Fokus der Maßnahme 15 lag auf der Minderung von Erschütterungsemissionen. Zusätzlich erfolgten auch Messungen des Luftschalls an den Standardpositionen in den Abständen 7,5 m und 25 m vom Gleis, um einen möglichen Einfluss der Maßnahme auf die Schallemission zu quantifizieren. Als Referenz wurde hier der Abschnitt mit Standard-Oberbau und harter Zwischenlage Zw 687 gewählt, da diese auch im Testabschnitt eingesetzt wurde. In Abbildung 56 sind die Differenzen der Luftschallpegel, gemessen am Test- und Referenzabschnitt, als Funktion der Frequenz für die unterschiedlichen Zugkategorien aufgetragen. Für alle Zugkategorien ist die gleiche akustische Wirksamkeit der Maßnahmen 15 abzuleiten: Im Bereich zwischen 250 Hz und 2000 Hz ist sie negativ. Die maximale Erhöhung des Luftschalls tritt bei der Frequenz von 500 Hz auf. Im Summenpegel des Luftschalls führt die Maßnahme 15 zu einer um ca. 1,4 dB höheren Schallabstrahlung. Zugkategorien

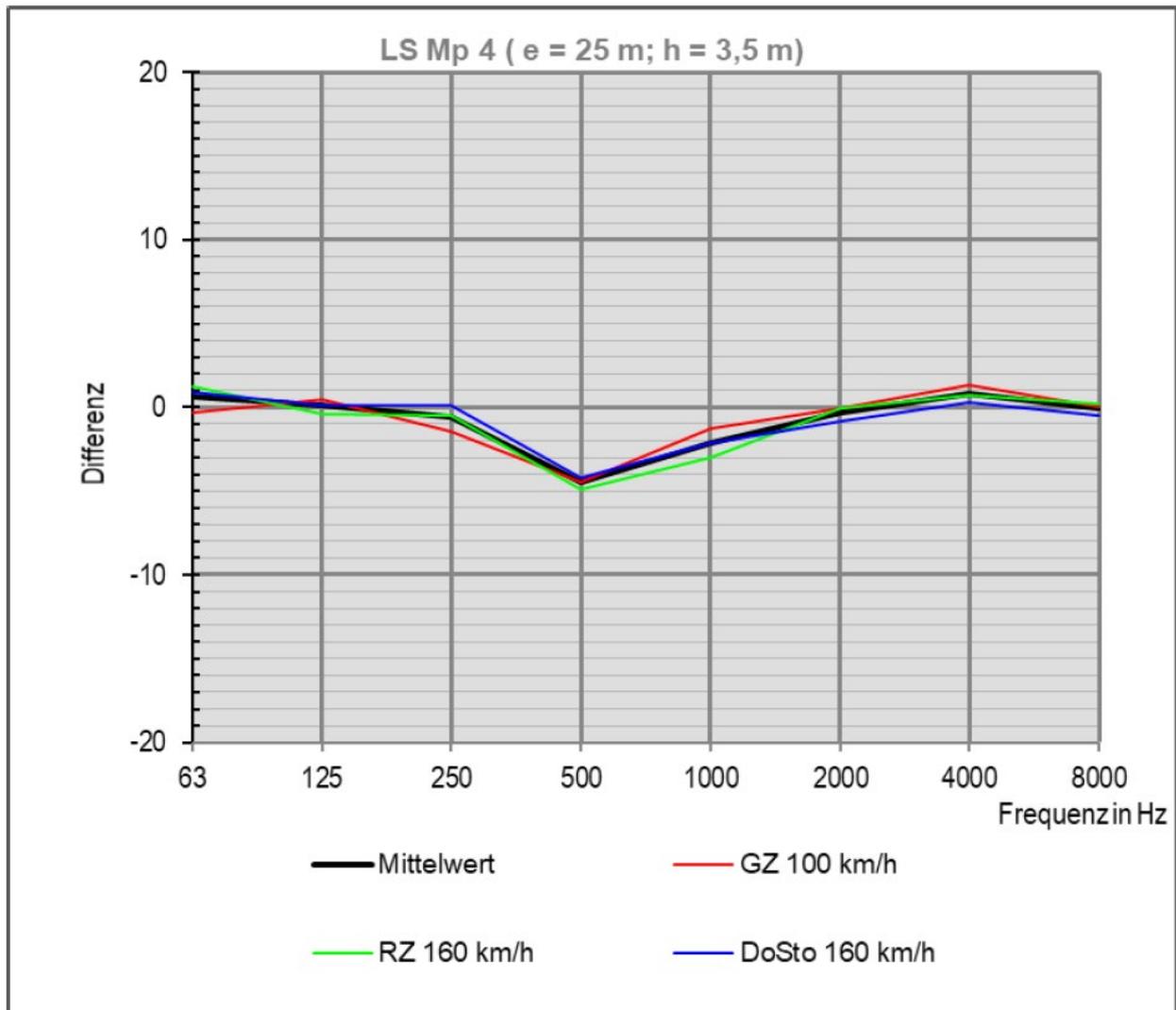


Abbildung 56: Pegeldifferenz Referenzabschnitt-Testabschnitt, gemessen im Abstand von 25m von der Gleisachse, jeweils Mittelwert (schwarze Kurve) und alle ausgewertete Zugkategorien (farbige Kurven).

5.4.3 Fazit

Eine zum Erschütterungsschutz nutzbare Minderungswirkung von Gebäuden mit entsprechenden Deckeneigenfrequenzen liegt im relevanten Frequenzbereich unterhalb von 40 Hz nicht vor. Im Bereich von 50 Hz wirkt die Maßnahme 15 sogar leicht pegelerhöhend.

Eine Schutzwirkung vor sekundärem Luftschall ab einer Frequenz von ca. 80 Hz ist unabhängig von der Zugkategorie nachweisbar.

Die Messungen des Luftschalls zeigen eine geringe Erhöhung des Rollgeräuschs in den pegelbestimmenden Frequenzbereichen. Der Summenpegel des abgestrahlten Luftschalls erhöht sich um bis zu 1,4 dB.

5.5 Maßnahme 16 – Schienenstegdämpfer (SSD) in Kombination mit einer elastischen Zwischenlage und einer Schwellensohle

Bei der Maßnahme 16 wurden im Testabschnitt der Maßnahme 12 (Betonschwellen mit elastoplastischen Schwellensohlen und elastischen Zwischenlagen) zusätzlich SSD eingebaut. Als

Referenzabschnitt wurde analog zu Maßnahme 12 ebenfalls der Abschnitt mit elastischer Zwischenlage aber ohne Schwellensohle gewählt.

Abbildung 57 zeigt die eingebauten SSD im Testabschnitt. Zur Bewertung der Maßnahme 16 wurden Luftschallmessungen an Messpositionen neben dem Gleis während der Vorbeifahrt von Regelzügen, Messungen der Schienenrauheiten, der kombinierten Rauheiten und der Gleisabklingrate an Test- und Referenzabschnitt nach Einbau und nach Ausbau der SSD durchgeführt.



Abbildung 57: Schienenstegdämpfer, eingebaut im Testabschnitt.

5.5.1 Bewertung der Ergebnisse der Luftschallmessungen

An der Strecke 6153-2 wurden eingerichtet:

- Testabschnitt MQ 3: km 70,140 – km 70,280 (Messebene bei km 70,204)
- Referenzabschnitt MQ 4 (mit elastischer Zw): km 70,000 – km 70,140 (Messebene bei km 70,074)

Abweichend zu den Maßnahmen 12 bis 15 fanden die Messungen wie folgt statt:

- Effektmessung (E1) im März 2020
- Messung ohne Maßnahme (Nullmessung N0) im Mai / Juni 2020

Im Folgenden sind die Resultate an den Luftschall-Messpunkten MP 1-3 (Abstand jeweils 7,5 m von der Gleismitte, Höhe von 1,2 m über Schienenoberkante) sowie MP 4 (Abstand 25 m von der Gleismitte, Höhe von 3,5 m über Schienenoberkante) dargestellt.

Die Ergebnisse der Luftschallmessungen sind in Abbildung 58 grafisch als Differenzspektren von Test- und Referenzabschnitt dargestellt. Die Bewertung erfolgte anhand der folgenden Zugkategorien: DoSto mit 150 km/h (DoSto-150), DoSto mit 160 km/h (DoSto-160), GZ mit 90 km/h (GZ-90), GZ mit 100 km/h (GZ-100).

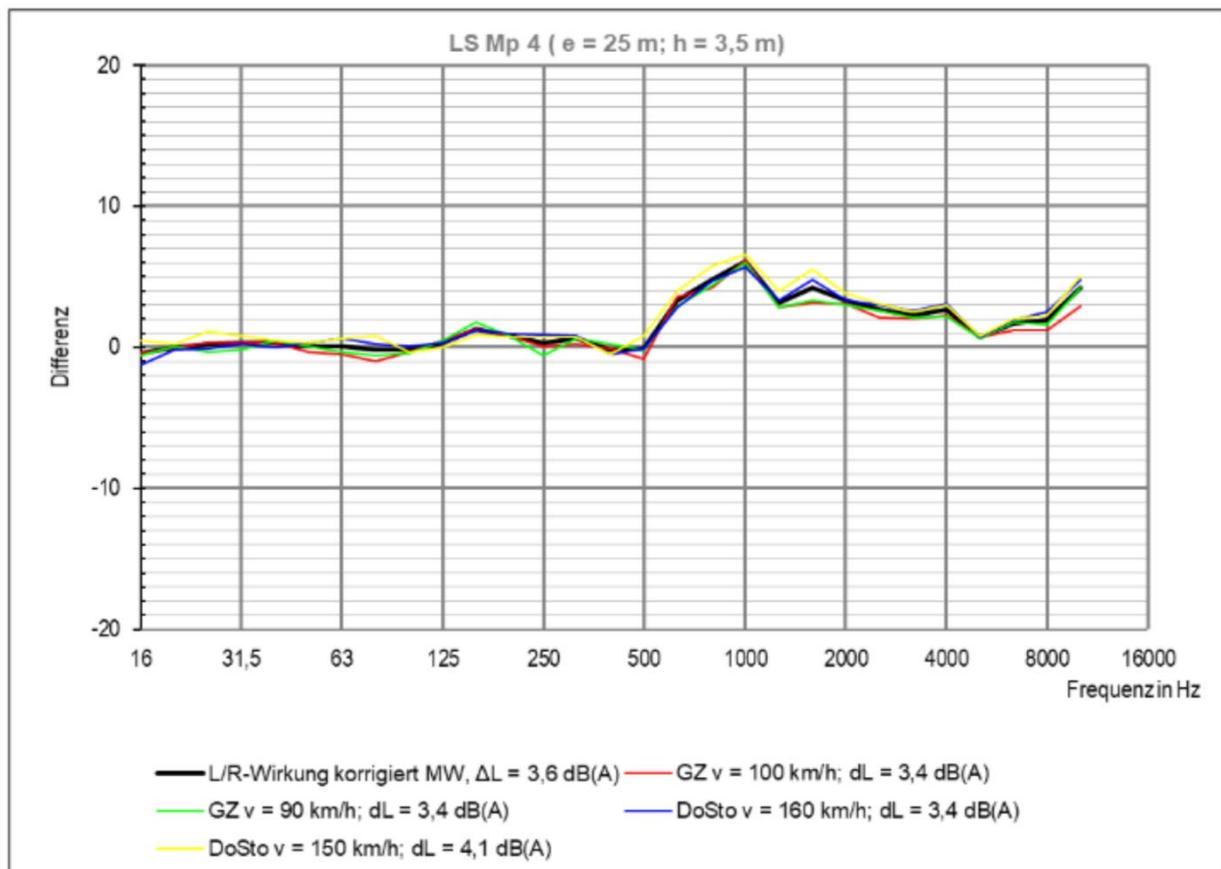
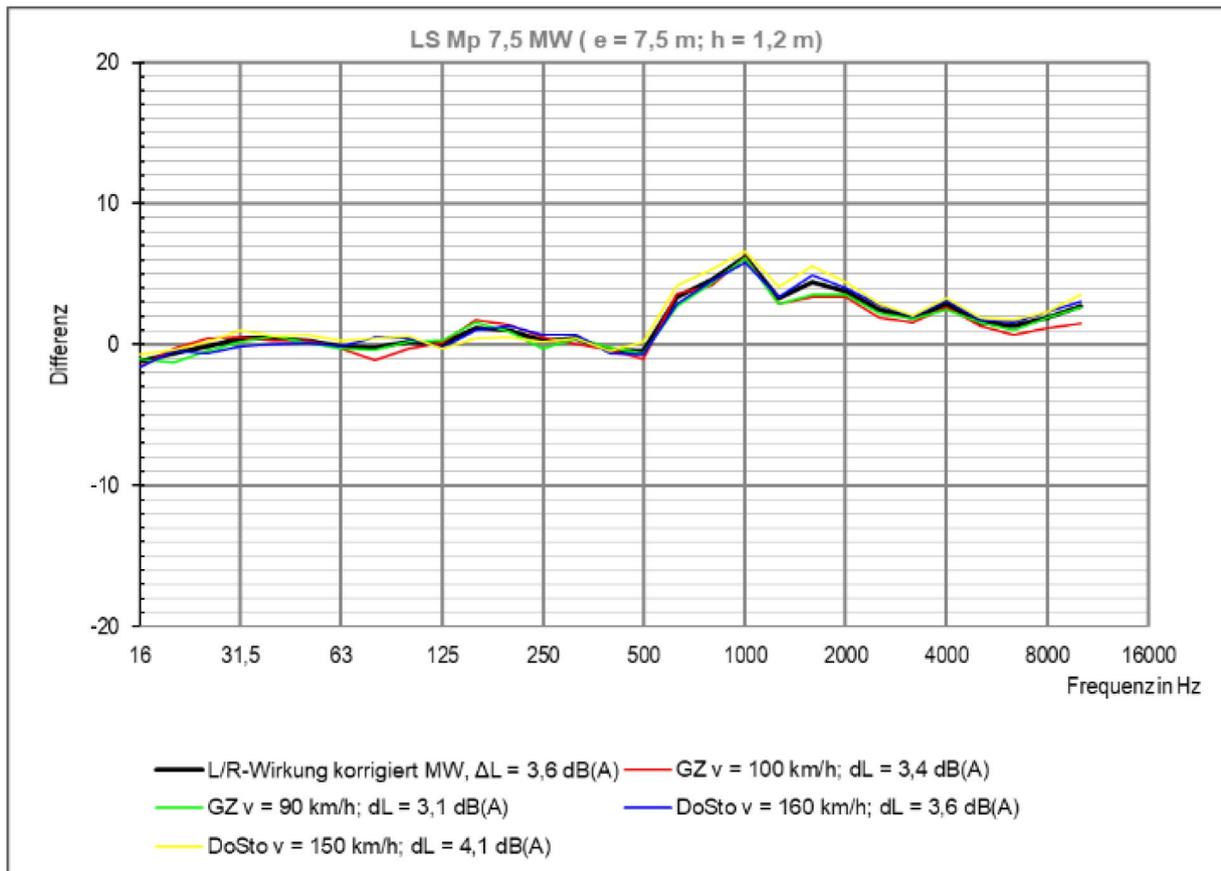


Abbildung 58: Minderung des Luftschallpegels in der Entfernung 7,5 m (oben) und 25 m (unten). Dargestellt sind die Ergebnisse der Zugkategorien DoSto 150 km/h, DoSto 160 km/h, GZ 90 km/h und GZ 100 km/h sowie die gemittelten Ergebnisse.

Insgesamt ergibt sich bei den betrachteten Messpositionen eine positive Wirkung, d. h. eine Reduktion der Summenpegel.

Der Effekt der Schwellenbesohlung auf den Luftschall zeigt sich im Vergleich von Referenz- und Testabschnitt bei der Nullmessung (Testabschnitt ohne SSD). Er ist exemplarisch für DoSto mit einer Geschwindigkeit von 160 km/h Abbildung 59 (rot = Referenzabschnitt, grün = Testabschnitt) und für GZ mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h in Abbildung 60 (rot = Referenzabschnitt, grün = Testabschnitt) dargestellt:

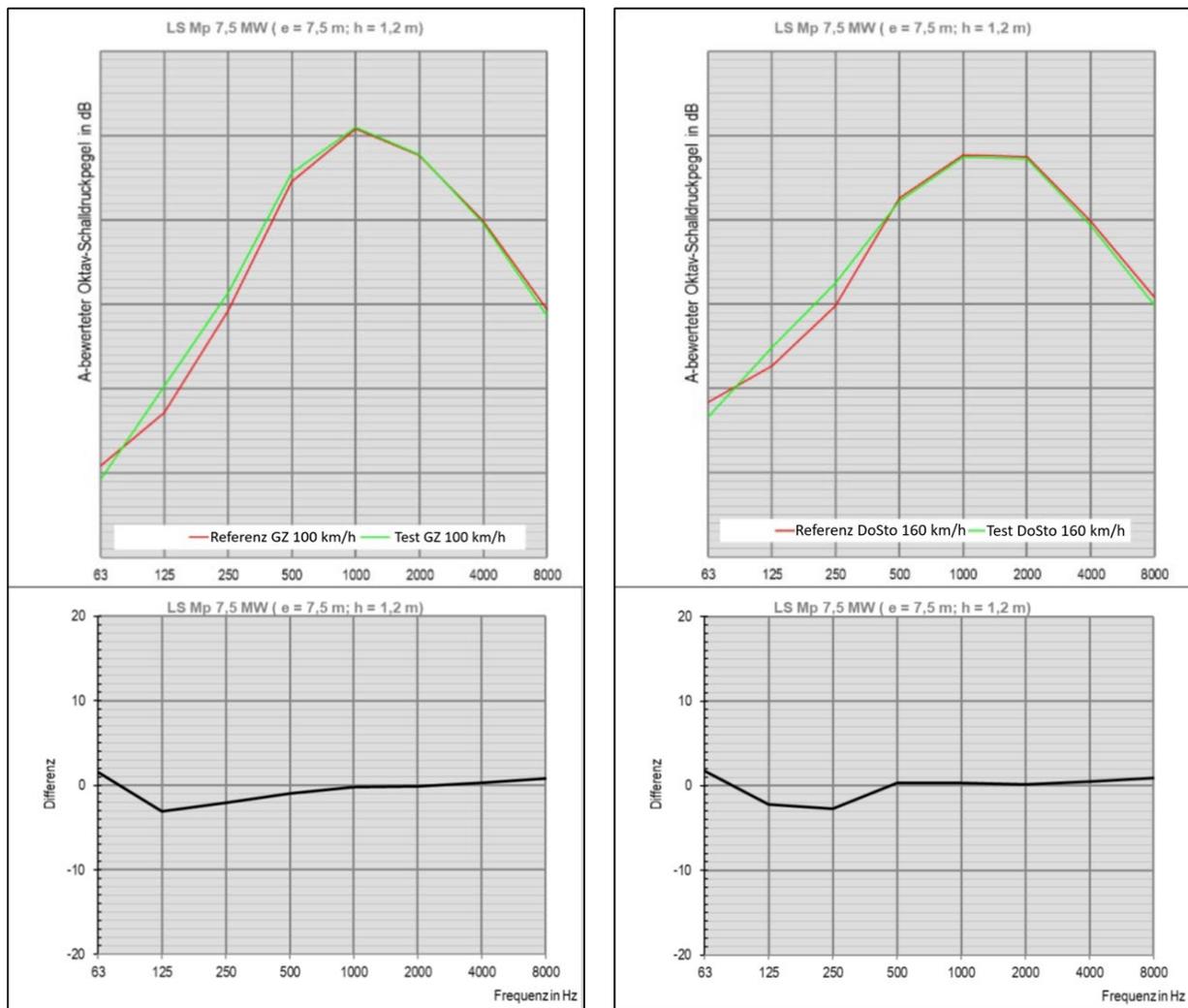


Abbildung 59: Vergleich der Pegeldifferenz für GZ mit 100 km/h an den Messpositionen in der Entfernung 7,5 m vom Gleis an Referenz- und Testabschnitten während der Vormessung. Die obere Abbildung zeigt das Pegelspektrum (rot = Referenzabschnitt, grün = Testabschnitt), die untere Abbildung zeigt die Pegeldifferenz.

Abbildung 60: Vergleich der Pegeldifferenz für DoSto mit 160 km/h an den Messpositionen in der Entfernung 7,5 m vom Gleis an Referenz- und Testabschnitten während der Vormessung. Die obere Abbildung zeigt das Pegelspektrum (rot = Referenzabschnitt, grün = Testabschnitt), die untere Abbildung zeigt die Pegeldifferenz.

Die Schwellenbesohlung bewirkt also im Bereich von 125 Hz - 500 Hz eine leichte Luftschallerhöhung. In diesem Frequenzbereich sind jedoch die Luftschallpegel über 15 dB geringer als die Maximalpegel der Zugvorbeifahrten (im Bereich 1000 Hz - 2000 Hz), so dass die Schwellenbesohlung keinen quantitativen Effekt auf die Vorbeifahrt-Summenpegel hat.

5.5.2 Fazit

Die durchgeführten Messungen zeigen nach dem Einbau der Schienenstegdämpfer eine deutliche Reduktion des Rollgeräuschpegels an den betrachteten Standardmesspositionen (Vergleich von Test- und Referenzabschnitt bei der Testmessung). Die Wirkung der besohnten Schwellen auf den Luftschall ist vernachlässigbar (Vergleich von Test- und Referenzabschnitt bei der Nach- bzw. Nullmessung). Ein Zusatznutzen aus der Kombination mit einer Schwellensohle wurde nicht nachgewiesen.

6 Maßnahmen zur Reduzierung von Kurvenquietschen

In dem folgenden Kapitel werden die Ergebnisse von vier Maßnahmen, die das „Kurvenquietschen“ reduzieren sollten, vorgestellt.

Quietschgeräusche treten während des Durchfahrens einer Kurve als zeitlich sehr stark schwankende Signale mit ausgeprägten Spitzen auf, wobei die Maxima selbst bei Vorbeifahrten identischer Züge im Allgemeinen an verschiedenen Stellen entlang einer Kurve liegen. Grund hierfür ist, dass das Auftreten von Quietschgeräuschen von der jeweiligen Lage des Rad-Schiene Kontakts und dem Anlaufwinkel der Achsen abhängt. Das Auftreten von Quietschgeräuschen ist witterungsabhängig, stochastisch und somit schwer reproduzierbar.

Für die Bewertung von Quietschgeräuschen aus dem Schienenverkehr und damit zusammenhängend der Wirksamkeit von Maßnahmen zu deren Minderung existiert kein allgemein anerkanntes, standardisiertes Verfahren. Oftmals wird der subjektive Höreindruck als alleiniges Kriterium herangezogen. Dies ist problematisch, da Kurvenquietschen im Gegensatz zum Rollgeräusch nicht als zeitlich konstantes Schallereignis auftritt und außerdem sowohl in der Höhe als auch in der Tonhaltigkeit stark variieren kann. Die Wirkung einer Maßnahme zur Minderung des Kurvenquietschens kann daher in der Verminderung der Häufigkeit des Auftretens und in der Reduzierung der Pegelhöhe liegen.

Um das I-LENA Ziel einer objektiven Bewertung von Maßnahmen zur Lärminderung zu erreichen, wurde auf Messverfahren und Auswertungen zurückgegriffen, die im Rahmen des UIC-Projekts 'Combating Curve Squeal' vor ca. 15 Jahren entwickelt wurden [4], [5]. Basierend darauf wurde der Squeal Indicator (Sql) als Einzahlwert entwickelt. Zusätzlich wurde auch der Höreindruck von geschultem Personal herangezogen.

Bevor die vier Maßnahmen getestet werden konnten, wurden im Vorfeld potenzielle Kurven identifiziert und bei einer Ortsbesichtigung geprüft, ob ein deutliches Kurvenquietschen auftrat. Nachdem vier Testabschnitte aufgefunden waren, wurde an jedem Abschnitt eine Mikrofonkette aufgebaut. Üblicherweise wurden sechs Mikrofone im Abstand von jeweils 20 m entlang der Testabschnitte installiert, dargestellt am Beispiel der Messung in Wachenheim, siehe Abbildung 61. Gemessen wurden die Schalldruckpegel von Regelzügen während des Durchfahrens der Testabschnitte. Zusätzlich wurde für jede Messung die Geschwindigkeit des Zuges gemessen und dokumentiert.



Abbildung 61: Beispiel einer Mikrofonkette (innerhalb der roten Ovale) während der Messung an der Strecke 3436 bei Wachenheim.

Für jedes Mikrofon wurde innerhalb des Untersuchungsbereichs alle 125 ms der Maximalpegel L_{pmaxF} (Zeitbewertung „fast“ mit einer Integrationszeitkonstanten von 125 ms) während der Durchfahrt eines Zuges durch die Kurve ermittelt. Für jedes dieser Zeitintervalle t_i mit der Länge $\Delta t = 125$ ms wurde für jedes Terzband f der Maximalwert $L_{max}(f, t_i)$ aller Mikrofone j bestimmt:

$$L_{max}(f, t_i) = \max(L_{pmaxF}(f, t_i))_j$$

Für jede Zugvorbeifahrt wurden Häufigkeitsverteilungen der Pegel $L_{max}(f, t)$ ermittelt und als Histogramm dargestellt mit der Schrittweite $\Delta L = 1$ dB. Diese Histogramm-Darstellung enthält in vielen Fällen zwei deutlich voneinander getrennte Maxima. Das Maximum bei höheren Schallpegeln kann den Quietschgeräuschen zugeordnet werden und das Maximum bei niedrigeren Schallpegel dem Rollgeräusch. Dies ermöglicht die Abtrennung von Roll- und Quietschgeräusch. Ein Beispiel zeigt Abbildung 62.

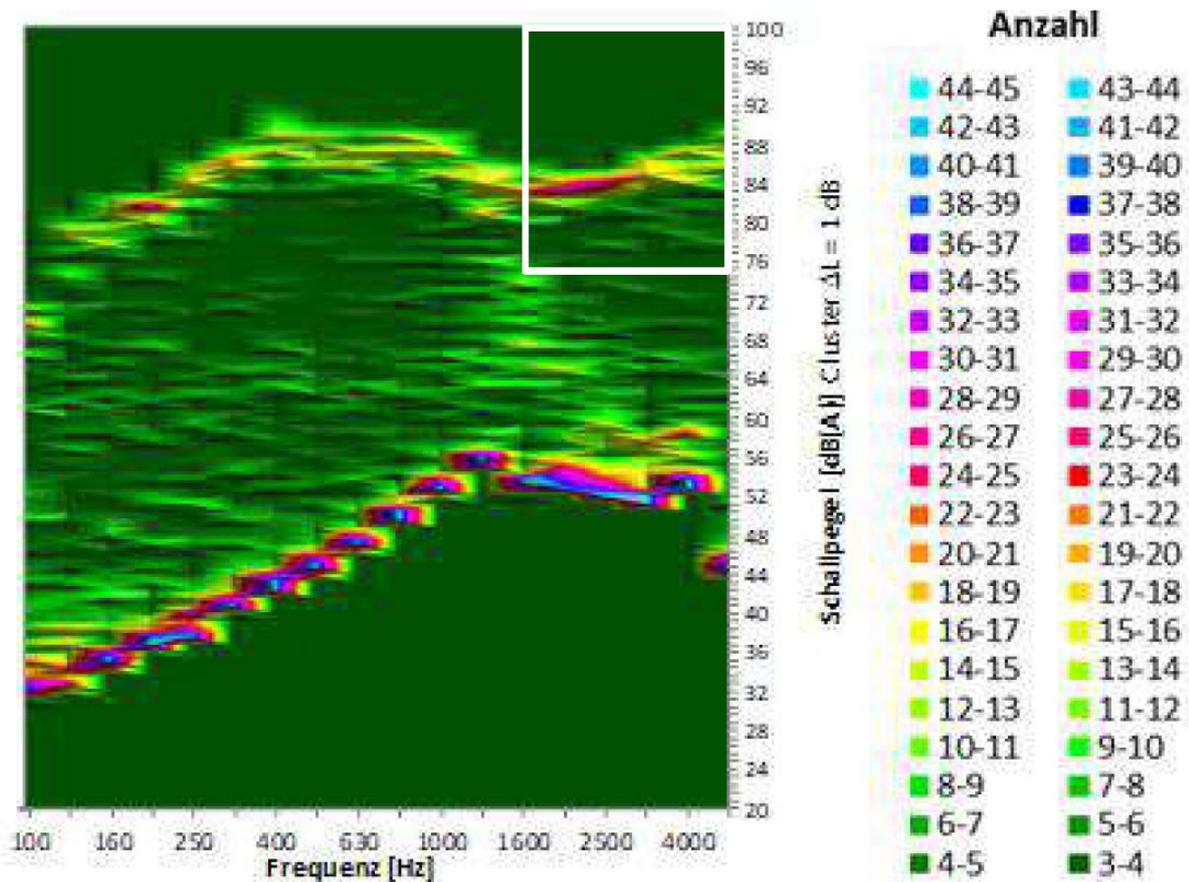


Abbildung 62: Beispiel einer Häufigkeitsverteilung der Terzbandpegel für eine Gruppe von Zugfahrten im Untersuchungsabschnitt. Die Ereignisse im oberen rechten Kasten werden dem Quietschen zugeordnet. In dem Pegel- und Frequenzbereich wird durch gewichtetes Abzählen der ‚Squeal-Indikator‘ SqI ermittelt.

Auf diese Weise wurde der Bereich der Quietschgeräusche sowohl bezüglich der Pegelhöhe als auch der Frequenz wie folgt eingegrenzt:

Frequenzbereich: $1600 \text{ Hz} < f < 5000 \text{ Hz}$

Pegelbereich: $L_{\max}(f, t_i) > 75 \text{ dB(A)}$

Durch gewichtetes Abzählen aller Ereignisse in dem so definierten Bereich lässt sich ein Einzahlwert sowohl für einzelne Zugvorbeifahrten als auch für eine gesamte Messkampagne ermitteln:

$$SqI = \sum 10^{\frac{L_i - L_0}{20}} Anz_i$$

SqI = Squeal-Indikator
 L_i = Pegelklasse i
 L_0 = Bezugspegelklasse = 75dB(A)
 Anz_i = Anzahl der ermittelten 125msec-Zeitschritte, deren Schallpegel in der Pegelklasse L_i während der Messdauer von 50 Sekunden gezählt wurden

6.1 Maßnahme 17 – Schienenschmierenrichtung

Bei der Maßnahme 17 handelt es sich um eine ortsfeste Schienenflankenschmieranlage, welche durch einen kontaktlosen Sensor einzelne Räder eines herannahenden Zuges erkennt und

entsprechend der Einstellung den Schmiervorgang an der Schienenflanke auslöst, siehe Abbildung 63.



Abbildung 63: Schienenschmiereinrichtung in Grünstadt.

Im nördlichen Einfahrbereich des Bahnhofs Grünstadt wurde eine Anlage der Maßnahme 17 eingebaut. Messungen zur Wirksamkeit erfolgten mittels einer Mikrofonkette entlang der Strecke 3430 von km 28,600 bis km 28,750 (siehe Abbildung 64).

Zur Bewertung der Maßnahme erfolgten Messungen des Luftschalls während der Vorbeifahrt von Regelzügen sowie Messungen von Körperschallschwingungen an ausgewählten Positionen an der Schiene.

Die Messungen fanden wie folgt statt:

- Messung ohne Maßnahme (Nullmessung N0) im August 2018
- 1. Effektmessung (E1) im Oktober 2018
- 2. Effektmessung (E2) im Juni 2019
- 3. Effektmessung (E3) im Oktober 2019

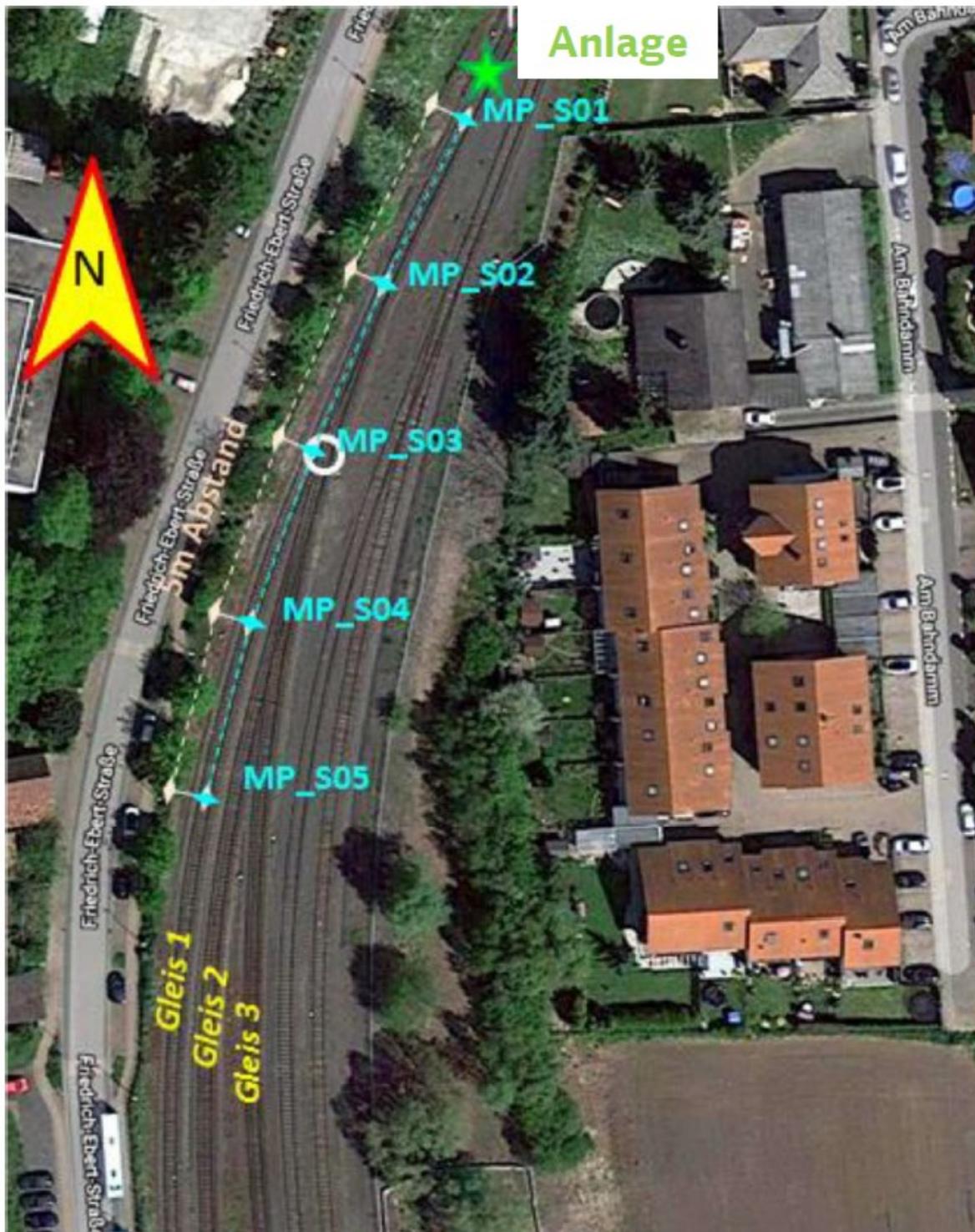


Abbildung 64: Position der Anlage und der Mikrofone im nördlichen Bereich des Bf. Grünstadt.

6.1.1 Bewertung der Ergebnisse

Nach Auswertung der Messergebnisse wird in Abbildung 65 die Veränderung des S_{q1} zwischen den einzelnen Messkampagnen, aufgeschlüsselt nach den unterschiedlichen Fahrtrichtungen, aufgezeigt. Die Quadrate geben den Wert von S_{q1} für alle Zugvorbeifahrten an und die Fehlerbalken die Streubreite für die einzelnen Zugvorbeifahrten.

Bei keiner der Effektmessungen war eine klare Tendenz zur Verminderung der Quietschgeräusche bezogen auf die Vormessung festzustellen. Dieser Befund deckt sich mit der subjektiven Einschätzung (s. nächster Abschnitt).

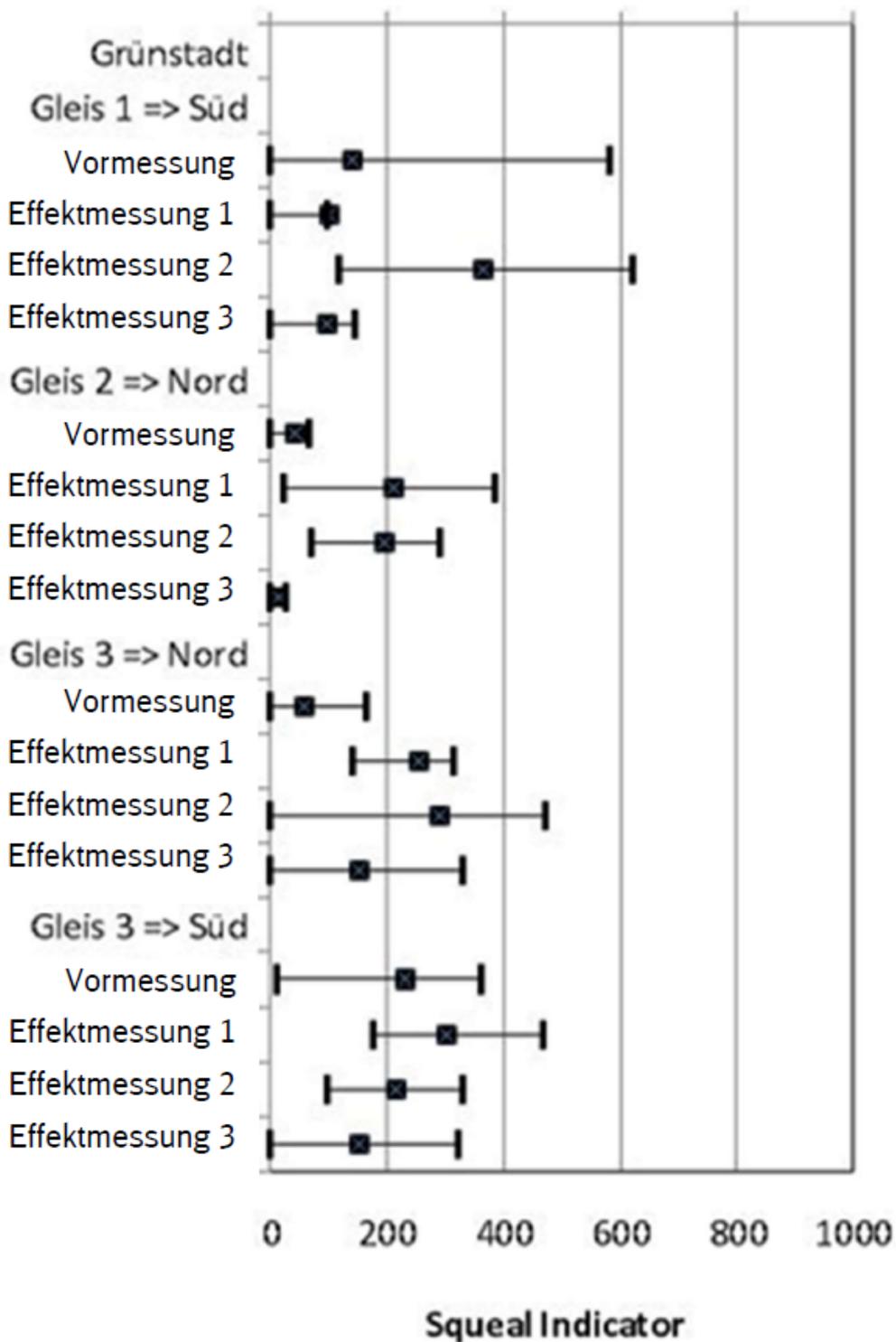


Abbildung 65: Werte der Sqi der Vor- und Effektmessungen für die ausgewerteten Fahrwege im Untersuchungsbereich Grünstadt.

Bewertung auf Basis des subjektiven Höreindrucks

Parallel zu den Schallpegelmessungen erfolgte eine Bewertung des subjektiven Höreindrucks der Vorbeifahrt durch die Mitarbeiter des für die Messung beauftragten Ingenieurbüros auf einer

Skala von 0 (kein hörbares Quietschgeräusch) bis 3 (sehr lautes Quietschen). Abbildung 66 zeigt den auf Eins normierten Anteil der Bewertungen für die vier durchgeführten Messkampagnen. Die Messungen im Aug. 2018 erfolgten vor der erstmaligen Inbetriebnahme der Anlage.

Jeweils 20 - 30 % der Zugvorbeifahrten wurden der Kategorie 2 (lautes Quietschen) zugeordnet. Hier zeigt sich am deutlichsten, dass durch die Installation der Anlage und die nachfolgenden Modifikationen keine Verbesserung der Situation eingetreten ist.

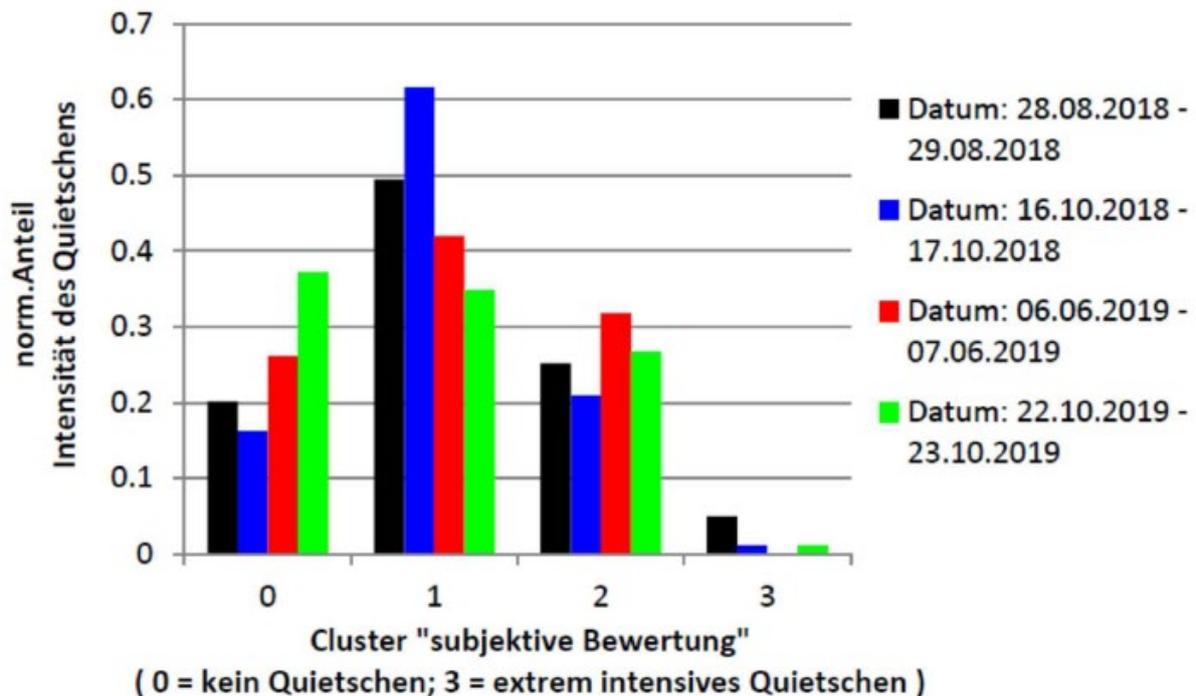


Abbildung 66: Subjektive Beurteilungen des Quietschens während der Zugvorbeifahrten.

6.1.2 Maßnahmen zur Verbesserung der Wirksamkeit

Da die erste Effektmessung keine nachhaltige Minderung der Quietschgeräusche erbracht hat, wurde das Schmiermittel vom Hersteller getauscht und es fand eine 2. Effektmessung statt. Auch hier wurde keine signifikante Reduzierung des Kurvenquietschens festgestellt. In Abstimmung mit Akustikern, Experten der Anlagentechnik und dem Hersteller wurde mögliches Optimierungspotential durch Anbringen einer zweiten Verteilleiste an der Innenschiene identifiziert. Auch dies führte zu keiner Verbesserung.

6.1.3 Fazit

Sowohl der subjektive Höreindruck als auch die quantitative Analyse der Mikrofonmessungen auf Basis des Sql ergaben, dass durch die Anlage keine Minderung der Quietschgeräusche eingetreten ist. Auch die nach der ersten Effektmessung durchgeführten Modifikationen der Schmiereinrichtung hatten keine nachhaltige Wirkung.

6.2 Maßnahme 18 – Schienenschmier- und Schienenkonditionieranlage

Bei der Maßnahme 18 handelt es sich um eine ortsfeste Schienenschmier- und Schienenkonditionieranlage, siehe Abbildung 67. Neben der Flankenschmierung mit Schmierfett wurde eine Spezialpaste – das Konditioniermittel – auf den Schienenkopf aufgetragen. Dabei werden an das Konditioniermittel deutlich höhere Anforderungen gestellt als an das Schmierfett, da es direkt zwischen dem Rad und der Schiene wirkt.



Abbildung 67: Schienenschmier- und Schienenkonditionieranlage in Freinsheim.

Im nördlichen Einfahrbereich des Bahnhofs Freinsheim wurden zwei Anlagen zur Schienenschmierung (Maßnahme 18) eingebaut. Eine Anlage wurde nördlich der Überführung über die Bahnhofstraße installiert (siehe Abbildung 68). Diese deckt sowohl den Bereich der Kurve in nördlicher Richtung als auch in südlicher Richtung die Bahnhofseinfahrt einschließlich der Weichen bis in den Bereich des Bahnsteigs ab. Zur Unterstützung bei Fahrten im östlichen Bahnhofsgleis wurde eine zweite Anlage am bahnhofseitigen Ende der Weichenstraße eingebaut (siehe Abbildung 68).

Messungen zur Wirksamkeit erfolgten mittels einer Mikrofonkette entlang der Strecke über eine Distanz von ca. 400 m (siehe Abbildung 68).

Zur Bewertung der Maßnahme erfolgten Messungen des Luftschalls während der Vorbeifahrt von Regelzügen sowie Messungen von Körperschallschwingungen an ausgewählten Positionen an der Schiene.

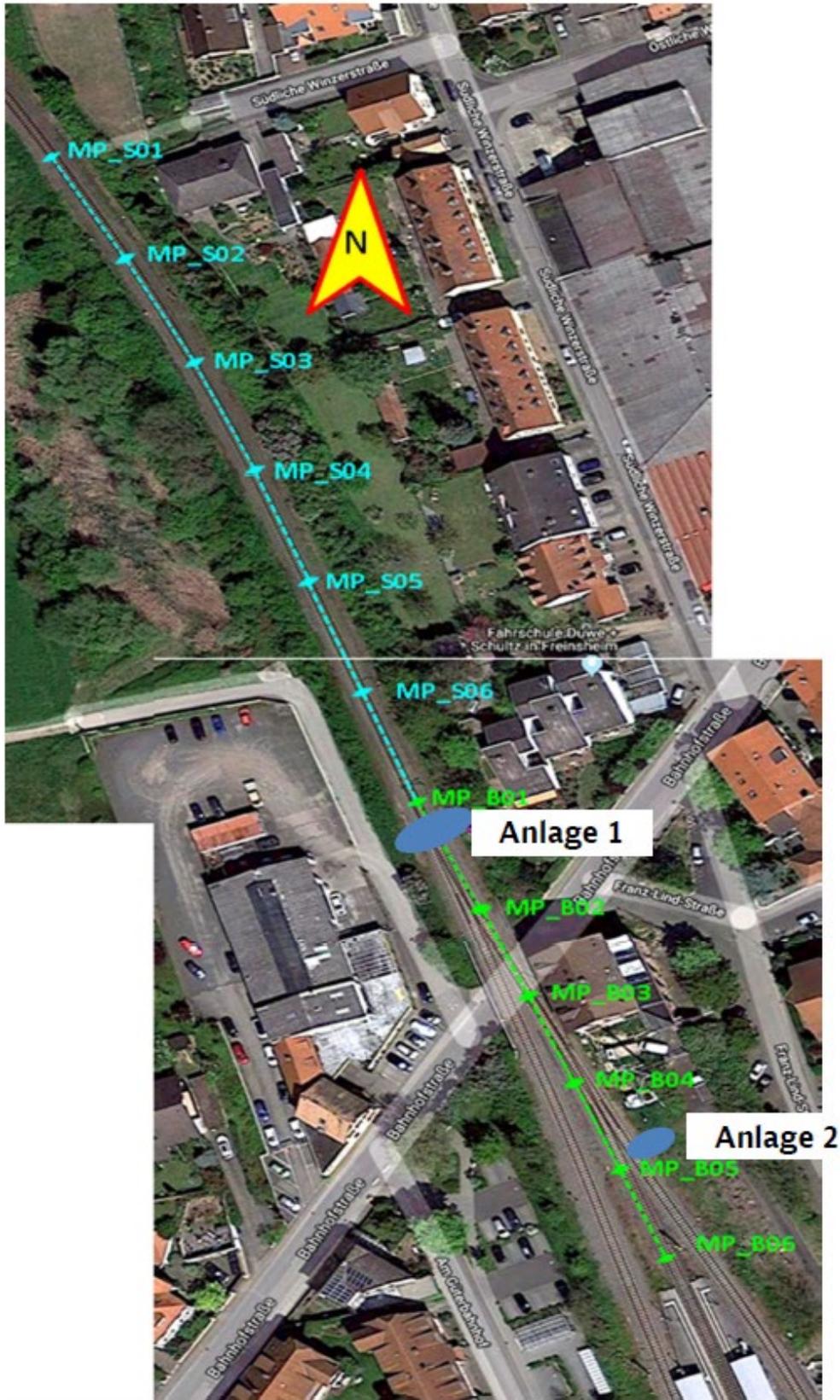


Abbildung 68: Position der Anlagen und der Mikrofone im nördlichen Bereich des Bf. Freinsheim.

Die Messungen fanden wie folgt statt:

- Messung ohne Maßnahme (Nullmessung N0) im August 2018
- 1. Effektmessung (E1) im Oktober 2018
- 2. Effektmessung (E2) im Mai 2020
- Nachmessung (nach Abschaltung der Anlage) im Oktober 2020

6.2.1 Bewertung der Ergebnisse

Die Auswertung erfolgte getrennt für den Untersuchungsbereich ‚Bahnhof‘ mit den Messpositionen MP_B01 bis MP_B06 und für den Untersuchungsbereich ‚Strecke‘ mit den Messpositionen MP_S01 bis MP_S06, siehe Abbildung 68.

6.2.1.1 Untersuchungsbereich Bahnhof

Nach Auswertung der Messergebnisse wird in Abbildung 69 der S_{qI} und seine Veränderung zwischen den einzelnen Messkampagnen für den Bereich ‚Bahnhof‘ aufgezeigt. Bedingt durch die Fahrtrichtungen Nord/Süd und die drei Bahnhofsgleise ergeben sich sechs Fahrwege. Die Zuordnung ergibt sich aus Abbildung 70. Die Quadrate geben den Wert von S_{qI} für alle Zugvorbeifahrten an und die Fehlerbalken die Streubreite für die einzelnen Zugvorbeifahrten. Folgende Schlussfolgerungen ergeben sich aus Abbildung 69:

- Bedingt durch den nahezu geraden Verlauf des Fahrwegs von/nach Gleis 3 traten in allen vier Messkampagnen nur geringe Quietschgeräusche auf.
- Bei Fahrten von/nach Gleis 1 und Gleis 2 trat vor Inbetriebnahme der Anlagen intensives Quietschen auf, das nach Inbetriebnahme nahezu vollständig verschwand. Effektmessung 1 lieferte leicht bessere Ergebnisse als Effektmessung 2, was möglicherweise witterungsbedingt war.
- Die Nachmessung erfolgte nach Abschalten der Anlagen. Es trat erneut intensives Quietschen auf. Der Wert von S_{qI} erreichte den Ausgangswert vor der Installation der Anlagen. Dies ist ein Nachweis der Wirksamkeit der Anlagen und der Eignung des angewendeten Bewertungsverfahrens.
- Die Streubreiten des S_{qI} sind in den beiden Effektmessungen weitaus geringer als in Vor- und Nachmessung. Das bedeutet, dass insbesondere Zugvorbeifahrten mit sehr hohen Pegeln und/oder langanhaltendem Quietschen und damit hoher Belästigungswirkung von den Anlagen wirksam unterdrückt wurden.

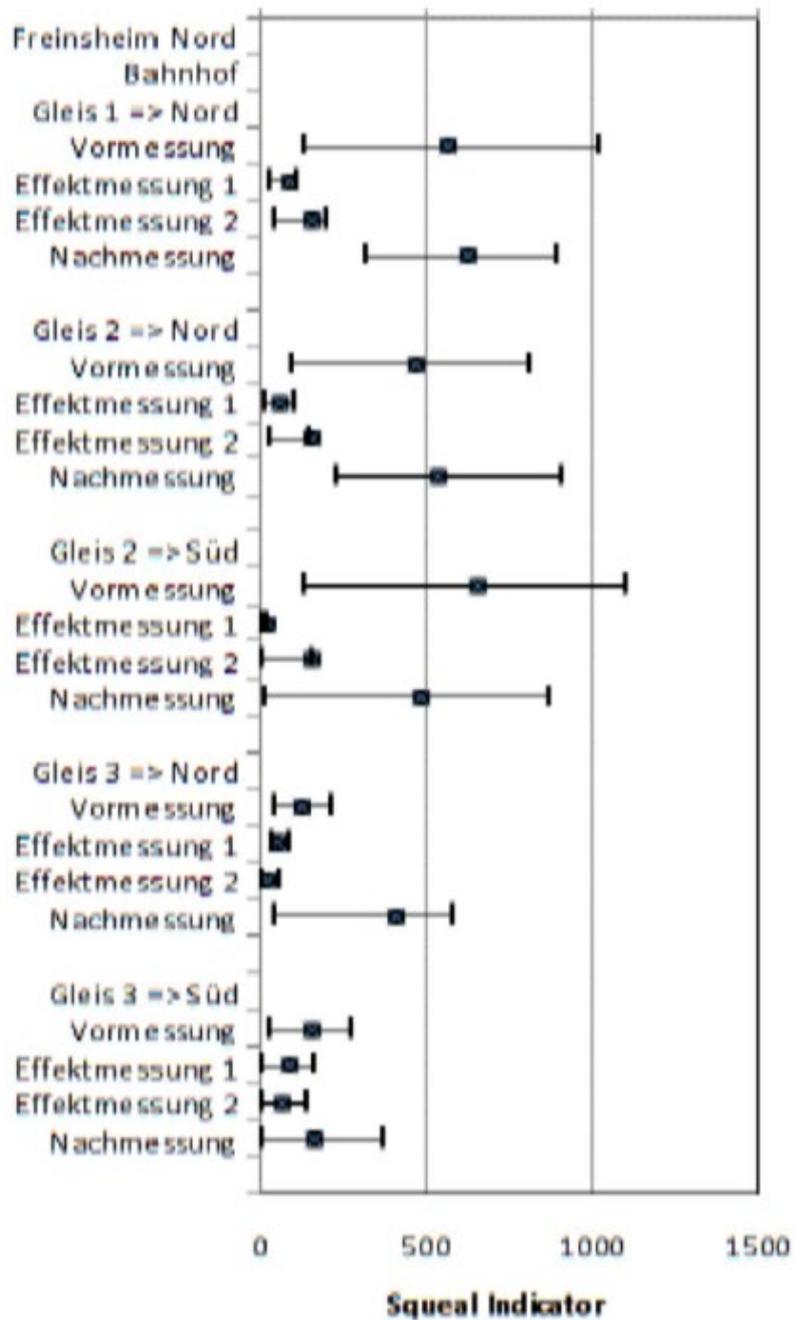


Abbildung 69: Werte des Sqi, die aus den vier Messkampagnen für die sechs Fahrwege im Untersuchungsbereich ‚Bahnhof‘ ermittelt wurden. Fahrten von und nach Gleis 3 verlaufen weitgehend ohne Bogen. Entsprechend wurden dort in allen Fällen nur geringen Werte für Sqi ermittelt.

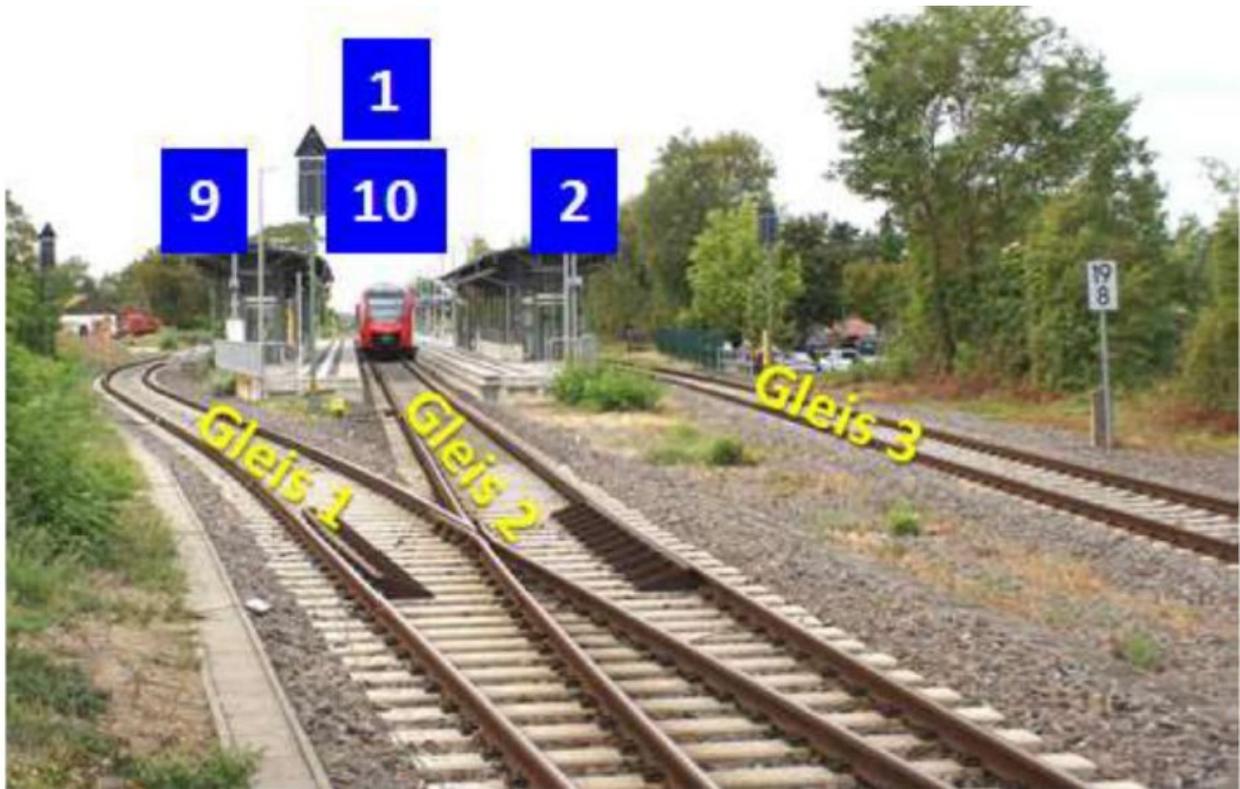


Abbildung 70: Blick in Richtung Bf. Freinsheim auf die Gleisharfe; blaue Zahlen geben die Bahnsteignummerierung im Bahnhof an, die gelbe Beschriftung gibt die während der Messungen verwendete Nummerierung. Fahrten von/nach Gleis 3 verlaufen weitgehend gradlinig. Dort traten nur geringfügige Quietschgeräusche auf.

6.2.1.2 Untersuchungsbereich Strecke

In Abbildung 71 sind die Werte für den S_{ql} und seine Veränderung zwischen den einzelnen Messkampagnen für den Bereich ‚Strecke‘ ausgewiesen getrennt für die Fahrrichtungen Nord und Süd. Die Ergebnisse sind bezüglich der Wirksamkeit der Anlage weitgehend konsistent mit den Ergebnissen aus dem Untersuchungsbereich Bahnhof. Folgende Schlussfolgerungen ergeben sich aus Abbildung 71:

- In beiden Fahrrichtungen trat vor Inbetriebnahme der Anlagen intensives Quietschen auf.
- Während der Effektmessung 1 nach Inbetriebnahme war das Kurvenquietschen nahezu vollständig verschwunden.
- Effektmessung 2 lieferte höhere Werte für den S_{ql} als Effektmessung 1, insbesondere für die Fahrrichtung Süd. Allerdings lagen die Werte immer noch signifikant unter denen der Vormessung. Der Grund liegt möglicherweise in der Witterung, da auch an einem anderen Messort im südlichen Teil des Bf. Freinsheim zeitgleich stärkere Quietschgeräusche auftraten.
- Die Nachmessung erfolgte nach Abschalten der Anlagen. Es trat erneut intensives Quietschen auf. Der Wert von S_{ql} erreichte den Ausgangswert vor der Installation der

Anlagen bzw. lag sogar darüber. Dies ist ein Nachweis der Wirksamkeit der Anlagen und der Eignung des angewendeten Bewertungsverfahrens.

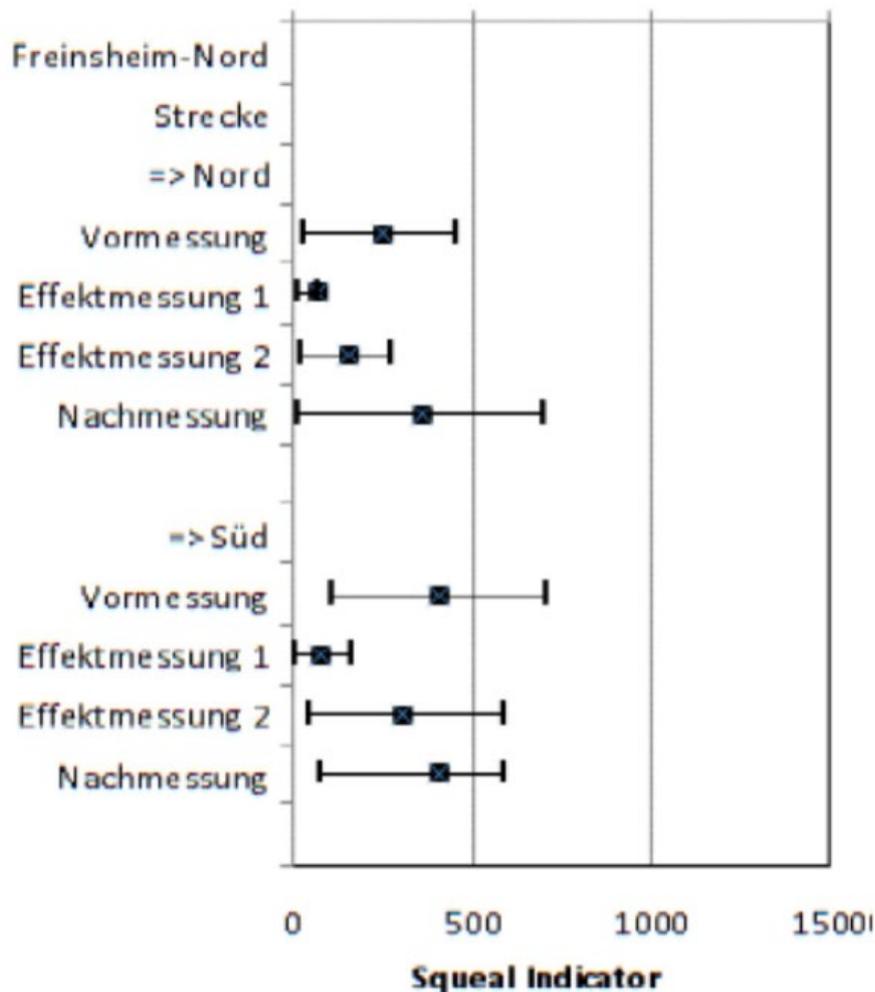


Abbildung 71: Werte des Sql, die aus den vier Messkampagnen für die Fahrwege Nord (Ausfahrt) und Süd (Einfahrt) im Untersuchungsbereich ‚Strecke‘ ermittelt wurden.

6.2.2 Fazit

Durch die zwei Anlagen zur Schienenschmierung wurden die im nördlichen Bereich des Bf. Freinsheim auftretenden Quietschgeräusche sowohl im Bereich der Weichen als auch in der anschließenden Kurve deutlich reduziert. Zur Absicherung der Ergebnisse erfolgte am Ende der Untersuchung eine erneute Nullmessung mit abgeschalteten Anlagen. Die Quietschgeräusche traten dort in gleicher Weise wie vor Installation wieder auf. Dies bestätigt sowohl die Wirksamkeit der Anlagen als auch die Aussagekraft des Sql.

6.3 Maßnahme 19 – Schienenstegdämpfer zur Reduzierung des Kurvenquietschens

Bei der Maßnahme 19 handelt es sich um SSD, welche direkt am Schienensteg befestigt werden, siehe Abbildung 72. Durch Messungen des Luftschalls während der Vorbeifahrt von Zügen sollte geklärt werden, ob die Dämpfung von Schienenschwingungen neben der Verminderung des Rollgeräusches auch eine Reduktion von Quietschgeräuschen beim Durchfahren enger Gleisbögen bewirken kann.



Abbildung 72: Schienenstegdämpfer gegen Kurvenquietschen bei Freinsheim.

Im südlichen Einfahrbereich des Bahnhofs Freinsheim wurden an der Strecke 3435 Freinsheim - Frankenthal am Gleis 9 im Bereich eines Gleisbogens (km 0 - km 0,4) Schienenstegdämpfer (Maßnahme 19) auf einer Länge von ca. 150 m eingebaut.

Messungen zur Wirksamkeit erfolgten mittels einer Mikrofonkette entlang der Strecke über eine Distanz von ca. 200 m (siehe Abbildung 73). Die Mikrofone wiesen untereinander einen Abstand von 20m auf. Parallel zum Untersuchungsabschnitt verläuft ein weiteres Gleis (Gleis 10), an dem auch intensive Quietschgeräusche auftreten. Dieses Gleis wurde als Referenz verwendet, da das Auftreten von Kurvenquietschen auch durch Faktoren wie z.B. die Luftfeuchtigkeit beeinflusst werden kann.

Zur Bewertung der Maßnahme erfolgten Messungen des Luftschalls während der Vorbeifahrt von Regelzügen sowie Messungen von Körperschallschwingungen an ausgewählten Positionen an der Schiene.

Die Messungen fanden wie folgt statt:

- Messung ohne Maßnahme (Nullmessung N0) im August 2018
- 1. Effektmessung (E1) im Oktober 2018
- 2. Effektmessung (E2) im Mai 2020

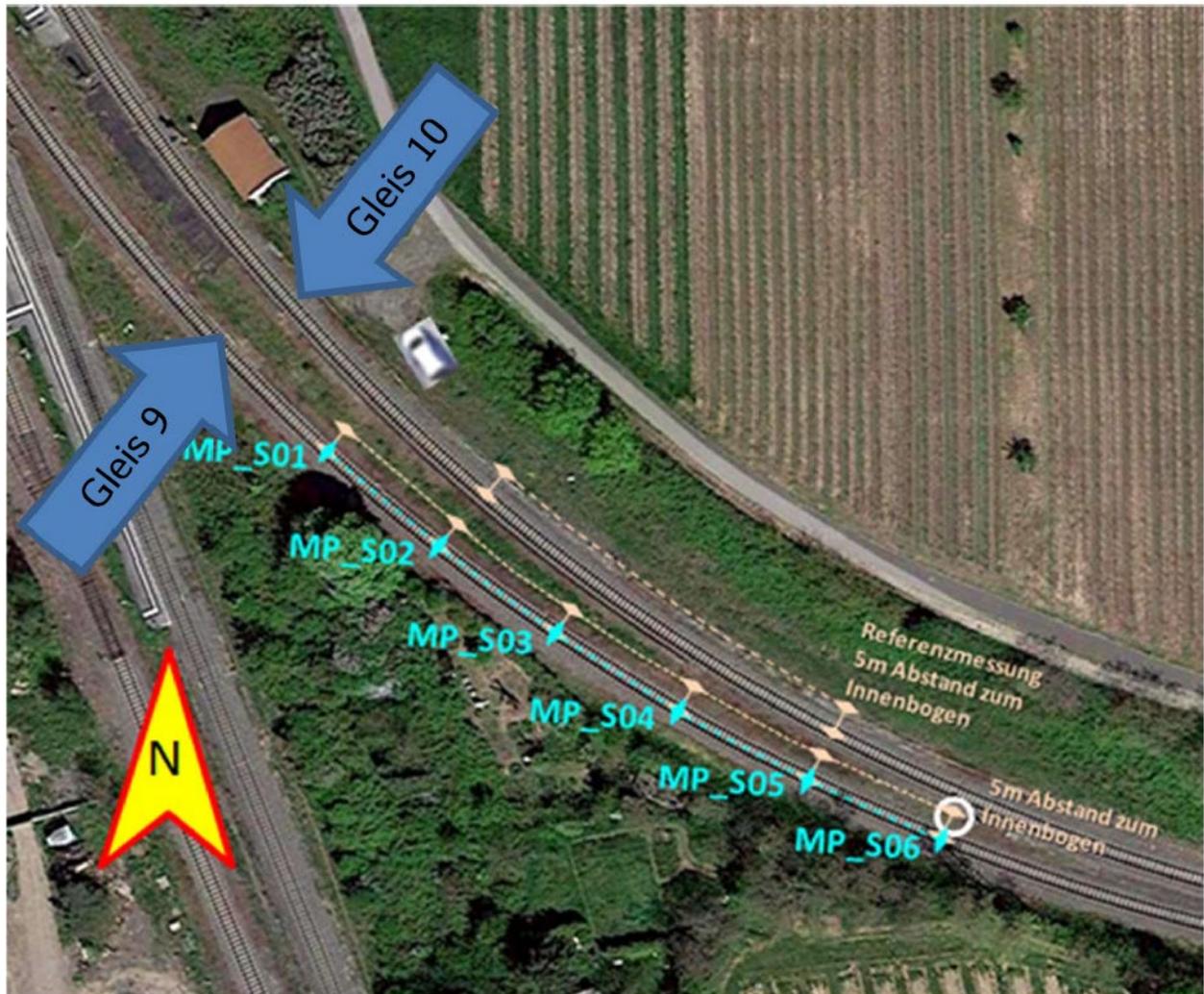


Abbildung 73: Position der Mikrofone im südlichen Bereich des Bf. Freinsheim. Ausgewertet wurden die Zugfahrten auf Gleis 9 in beiden Fahrrichtungen. Messungen während Zugfahrten auf Gleis 10 wurden als Referenz verwendet.

6.3.1 Bewertung der Ergebnisse

Die Abbildung 74 zeigt den S_{q1} und seine Veränderung zwischen den einzelnen Messkampagnen. Die Quadrate geben den Wert von S_{q1} für alle Zugvorbeifahrten in Gleis 9 getrennt für Fahrtrichtung Süd (Ausfahrt) und Fahrtrichtung Nord (Einfahrt) an. Die Fehlerbalken zeigen die Streubreite für die einzelnen Zugvorbeifahrten.

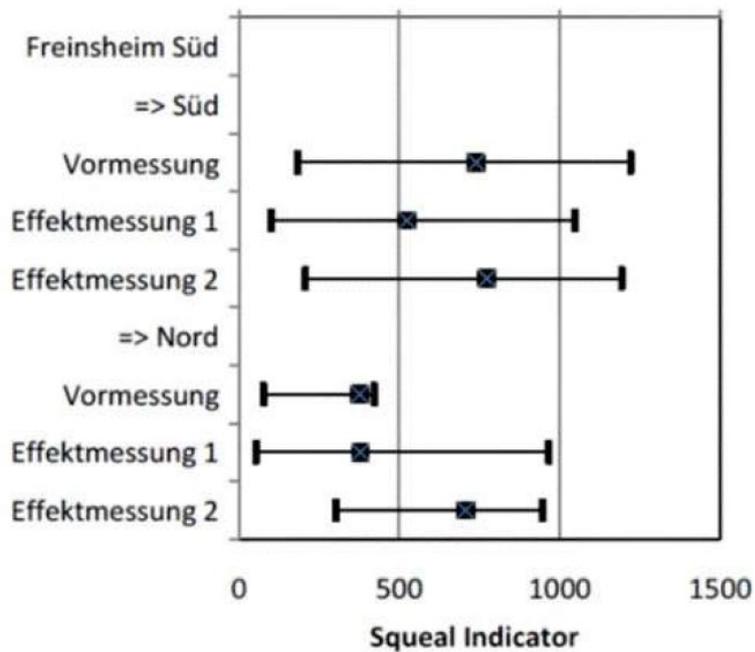


Abbildung 74: Werte der Sqi der Vor- und Effektmessungen für die ausgewerteten Vorbeifahrten im Gleis 9.

Folgende Schlussfolgerungen ergeben sich aus Abbildung 74:

- In allen Messkampagnen wurde eine große Streubreite des Sqi bei den einzelnen Vorbeifahrten gemessen.
- Die mittlere Veränderung des Sqi liegt innerhalb der Streuung der Einzelwerte.
- Eine messbare Verbesserung trat nach Einbau der SSD nicht auf. Dieser Befund deckt sich mit dem subjektiven Höreindruck.

Messungen am Referenzgleis

Am Gleis 10 wurden mit reduzierter Anzahl von Mikrofonen ebenfalls die Zugvorbeifahrten während der Messkampagnen erfasst. Die Auswertung erfolgte entsprechend der Auswertung der an Gleis 9 gewonnenen Daten.

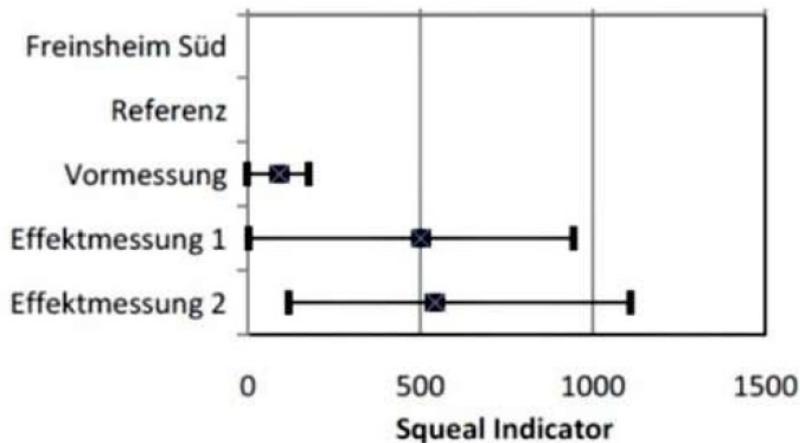


Abbildung 75: Werte der Sqi der Vor- und Effektmessungen für die ausgewerteten Vorbeifahrten im Referenzgleis.

Gemäß Abbildung 75 wurden während der beiden Messkampagnen zur Effektmessung vergleichbare Werte des Sqi ermittelt, während in der Vormessung Quietschgeräusche deutlich seltener bzw. in geringerer Intensität auftraten. Der Grund für dieses Verhalten ist nicht bekannt, allerdings wird hier deutlich, dass Kurvenquietschen im Gegensatz zum normalen Rollgeräusch nur eingeschränkt reproduzierbar auftritt.

6.3.2 Fazit

Sowohl der subjektive Höreindruck als auch die quantitative Analyse der Mikrofonmessungen auf Basis des Sqi ergaben, dass durch die Installation der Maßnahme 19 keine nachweisbare Minderung der Quietschgeräusche eingetreten ist.

6.4 Maßnahme 20 – Schienenstegdämpfer zur Reduzierung des Kurvenquietschens

Bei der Maßnahme 20 handelt es sich um ein weiterentwickeltes Schienendämpfungssystem (siehe Abbildung 76) der Maßnahme 4, siehe Kapitel 3.1. Analog zu Maßnahme 19 sollte auch hier durch Messungen des Luftschalls während der Vorbeifahrt von Zügen an der eingleisigen, nicht elektrifizierten DB Eisenbahnstrecke 3436 Neustadt – Bad Dürkheim, die Eignung des Dämpfers zur Reduktion von Quietschgeräuschen bei der Durchfahrt enger Gleisbögen bewertet werden.



Abbildung 76: Schienenstegdämpfer gegen Kurvenquietschen bei Wachenheim.

In der Linkskurve südlich vom Bahnhof Wachenheim (km 9,80 - km 10,089,80) wurden die SSD auf einer Länge von 140 m zwischen km 9,94 und km 10,08 eingebaut. Die Nachweisführung erfolgte auf der Basis eines Vorher-Nachher-Vergleichs. Zusätzlich konnte aufgrund der örtlichen Randbedingungen auch ein benachbarter Referenzabschnitt ohne Schienenstegdämpfer eingerichtet werden.

Messungen zur Wirksamkeit erfolgten mittels zwei Mikrofonketten bestehend aus jeweils sechs Mikrofonen in jeweils 5 m Abstand von Gleismitte und 1,2 m Höhe über Schienenoberkante. Die sechs Mikrofone wurden in jeweils ca. 20 m Abstand voneinander seitlich des Gleises angeordnet. Der Testabschnitt befand sich von km 9,94 - km 10,08, unmittelbar angrenzend erstreckte sich der Referenzabschnittes von km 9,80 - km 9,94, siehe Abbildung 77.

Zur Bewertung der Maßnahme erfolgten Messungen des Luftschalls während der Vorbeifahrt von Regelzügen sowie Messungen von Körperschallschwingungen in horizontaler Richtung, seitlich am Schienenkopf der Bogeninnenschiene, an einer ausgewählten Position im Testabschnitt.



Abbildung 77: Verteilung der Messpositionen entlang der Strecke 3436 im südlichen Einfahrbereich zum Bahnhof Wachenheim, im Testabschnitt (Luftschall: MES 01 bis MES 10, Körperschall: MES 11) und im angrenzenden Referenzabschnitt (Luftschall: REF 01 bis REF 06).

Auf Grund der Corona Pandemie verzögerte sich die Lieferung der SSD, sodass die ursprünglich geplante zweite Effektmessung in Abstimmung mit dem Hersteller entfallen musste.

Die Messungen fanden wie folgt statt:

- Messung ohne Maßnahme (Nullmessung N0) im August 2020
- 1. Effektmessung (E1) im September 2020

6.4.1 Bewertung der Ergebnisse

Die Auswertung erfolgte getrennt für den Testabschnitt mit den Mikrofonen MES 01 bis MES 10 und den Referenzabschnitt mit den Mikrofonen REF 01 bis REF 06. Die gemessenen Zugvorbeifahrten wurden nach der Messkampagne (Vor- bzw. Nachmessung) und Fahrtrichtung (Nord bzw. Süd) gruppiert.

In Abbildung 78 und Abbildung 79 werden die arithmetischen Mittelwerte (Quadrate) mit Streubreite (Fehlerbalken) für die Zugfahrten in Richtung Nord bzw. Richtung Süd dargestellt.

Links bzw. rechts in den beiden Abbildungen sind die Sql für den Testabschnitt bzw. für den Referenzabschnitt jeweils im Vergleich Vor-/ Nachmessung dargestellt.

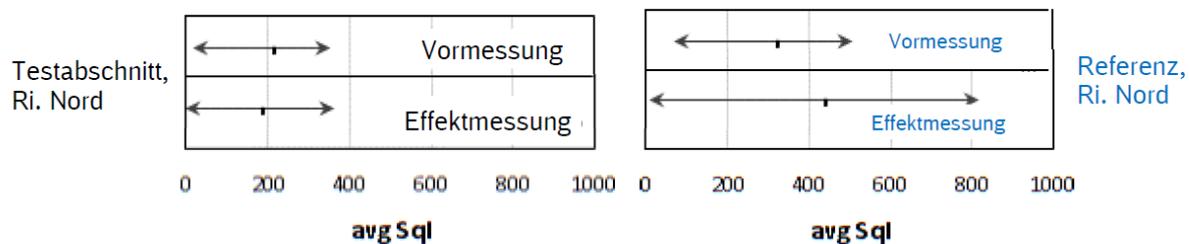


Abbildung 78: Arithmetische Mittelwerte und Streubreite der Sql für die Zugfahrten in Richtung Nord, Testabschnitt (links) mit Vor-/ Effektmessung und Referenzabschnitt (rechts) mit Vor-/ Effektmessung.

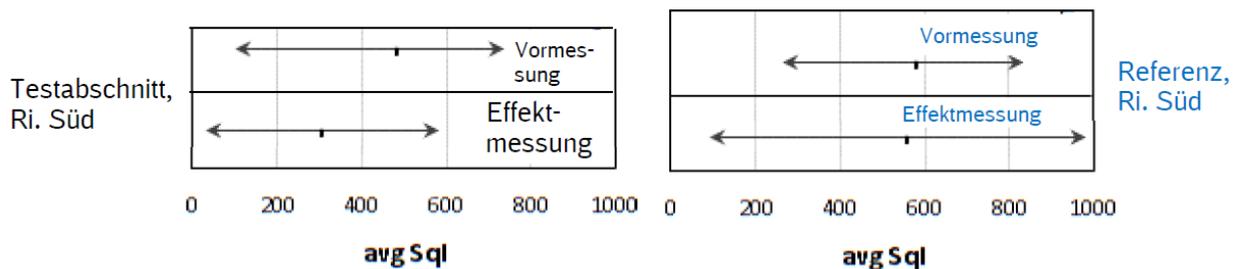


Abbildung 79: Arithmetische Mittelwerte und Streubreite der Sql für die Zugfahrten in Richtung Süd, Testabschnitt (links) mit Vor-/ Effektmessung und Referenzabschnitt (rechts) mit Vor-/ Effektmessung.

Folgende Schlussfolgerungen ergeben sich aus Abbildung 78 und Abbildung 79:

- In Richtung Süd traten im Vergleich zur Richtung Nord stärkere Quietschgeräusche auf
- Während der Null- und Effektmessung waren die Sql in der Referenz größer als im Testabschnitt
- Im Vergleich Vor-/ Nachmessung, in Richtung Nord, waren die arithmetischen Mittelwerte der Sql im Testabschnitt nur geringfügig kleiner nach Einbau der SSD, bei etwa gleichbleibenden Streubreiten.
- In Richtung Süd haben sich die Sql im Testabschnitt nach Einbau der SSD verringert (Arithmetischer Mittelwert und die Streubreite). Im Referenzabschnitt waren die arithmetischen Mittelwerte der Sql im Vergleich Vor-/ Nachmessung fast identisch, jedoch mit einer großen Streubreite

6.4.2 Fazit

Sowohl der subjektive Höreindruck als auch die quantitative Analyse der Mikrofonmessungen auf Basis des S_ql ergaben eine moderate Minderung der Quietschgeräusche bei den Fahrten in Richtung Süd (mit dem stärkeren Quietschen) und keine oder nur eine geringe Minderung der Quietschgeräusche bei den Fahrten in Richtung Nord – siehe Abbildung 78 bzw. Abbildung 79.

Auffällig ist die große Streuung der S_ql-Werte, insbesondere bei den Fahrten in Richtung Süd. Das heißt, dass auch nach der Montage der SSD vereinzelt noch sehr laute Quietschgeräusche auftreten können. Der Nachweis, dass mit dem SSD-System eine deutlich wahrnehmbare Reduktion des Kurvenquietschen erzielt werden kann, wurde nicht erbracht.

7 Maßnahme zur Brückenentdröhnung

7.1 Maßnahme 21 – Dämpfungsfolie gegen Brückendröhnen

Brückendröhnen entsteht, wenn bei der Überfahrt eines Zuges über eine Brücke Schwingungen in das Bauwerk übertragen werden und in der Folge die schwingenden Brückenteile wiederum Luftschall abstrahlen. Dieser Effekt, der zusätzlich zum normalen Vorbeifahrgeräusch der Züge auftritt, ist bei tiefen Frequenzen besonders ausgeprägt. Das Brückendröhnen wird durch den sogenannten Brückenzuschlag beschrieben, der als Differenz des Z-bewerteten Gesamtgeräusches bei der Vorbeifahrt eines Zuges an der Brücke und an der angrenzenden freien Strecke bestimmt wird.

Bei der Maßnahme 21 handelt es sich um zweilagige Dämpfungsfolien bestehend aus einer 0,5 mm dicken selbstklebenden Harzschicht und einer 0,8 mm dicken Metallschicht. Die Folien wurden auf die ebenen, nicht genieteten Flächen der zwei Haupt-, fünf Quer- und zwei Längsträgern der Brücke aufgeklebt, um die Dämpfung zu erhöhen und damit die Schallabstrahlung der stählernen Brückenteile zu reduzieren. Abbildung 80 zeigt ein Foto der eingebauten Dämpfungsfolien.

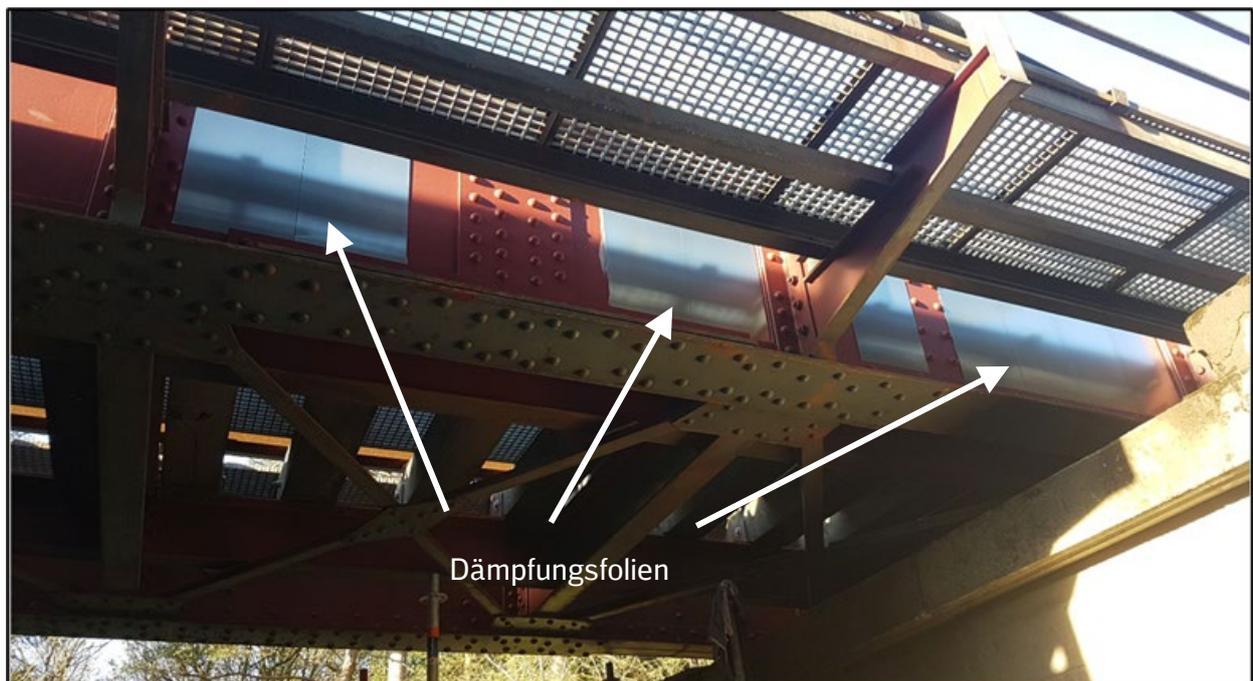


Abbildung 80: Brücke mit auf dem Hauptträger aufgeklebten Dämpfungsfolien.

Der Test der Dämpfungsfolie erfolgt an einer direkt befahrene Vollwandträgerbrücke mit einer lichten Weite von 8,2 m und einer lichten Höhe von 3,5 m. Der eingleisige, gerade Streckenabschnitt wird von Regionalzügen (Regio Shuttle RS 1, Baureihe 650) mit einer maximalen Geschwindigkeit von 100 km/h befahren.

Zur Bewertung der Maßnahme erfolgten Körperschall- und Luftschallmessungen an der Brücke und der freien Strecke während der Vorbeifahrt von Regelzügen. Weiterhin erfolgten Messungen

der Schienenrauheiten, der kombinierten Schienen- und Radrauheiten sowie des Verlustfaktors an der Brückenkonstruktion. Der Verlustfaktor ist ein Maß für die Dämpfung des Systems und beschreibt, wie der Körperschall nach einer Anregung reduziert wird.

7.1.1 Bewertung der Luftschallmessungen

An der Strecke 6153-1 wurden eingerichtet:

- Testabschnitt MQ_1: Messebene bei km 143,550
- Referenzabschnitt MQ_2: Messebene bei km 143,595

Die Messungen fanden wie folgt statt:

- Messung ohne Maßnahme (Nullmessung N0) im September und November 2019
- 1. Effektmessung (E1) im November / Dezember 2019
- 2. Effektmessung (E2) im Mai 2020

Gemessen wurde an drei Luftschallmesspunkten an der freien Strecke und an zwei Luftschallmesspunkten an der Brücke der Z-bewertete Luftschallpegel in 7,5 m Abstand zur Gleismitte und 1,2 m über Schienenoberkante. Für die weitere Auswertung wurden die Luftschallmessungen an der freien Strecke bzw. an der Brücke jeweils gemittelt. Für die Bewertung wurden die Vorbeifahrten der Diesellokomotiven (DTZ) in die Geschwindigkeitskategorien 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h und 100 km/h eingeteilt. Die Darstellungen in den folgenden Abbildungen zeigen den Brückenzuschlag, also die Differenz des gemittelten Luftschallpegels an der Brücke und der angrenzenden freien Strecke während der Vorbeifahrt von Zügen einer Geschwindigkeitskategorie.

7.1.1.1 Ergebnisse der Luftschallmessungen der ersten Effektmessung im Vergleich zur Vormessung

Die Ergebnisse der Brückenzuschläge sind in Abbildung 81 und Abbildung 82 grafisch als Terz- und Oktavspektren und die Wirkung der Maßnahme als Einzahlwerte (nur Oktaven) in Tabelle 17 dargestellt.

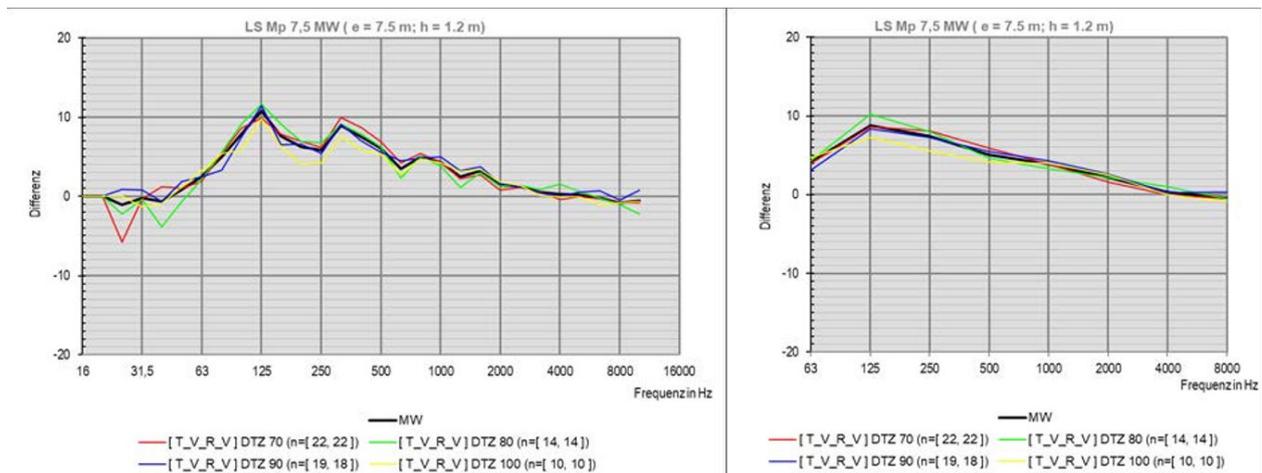


Abbildung 81: Brückenzuschlag aus der Vormessung als Terzspektrum (links) und als Oktavspektrum (rechts) ausgewertet für die Zugkategorien DTZ 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h und 100 km/h sowie die gemittelten Ergebnisse.

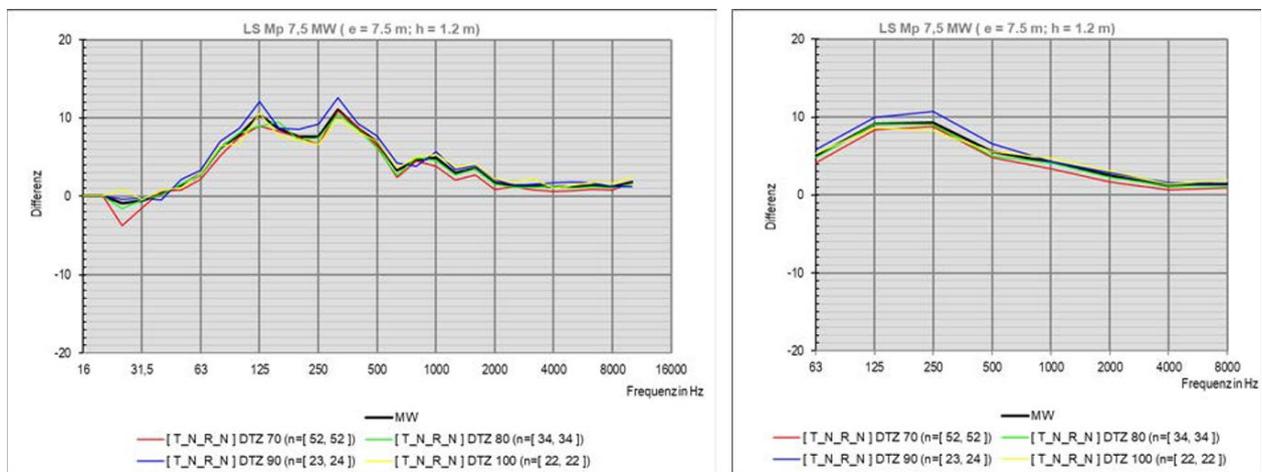


Abbildung 82: Brückenzuschlag aus der ersten Effektmessung nach Einbau der Dämpfungsfolien als Terzspektrum (links) und als Oktavspektrum (rechts) ausgewertet für die Zugkategorien DTZ 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h und 100 km/h sowie die gemittelten Ergebnisse.

Tabelle 17: Brückenzuschläge aus der Vormessung und der ersten Effektmessung nach Einbau der Dämpfungsfolie und Minderungswirkung der Dämpfungsfolie gemittelt über die Zugkategorien DTZ 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h und 100 km/h.

Frequenz	Brückenzuschlag (Vormessung)	Brückenzuschlag (Erste Effektmessung)	Minderungswirkung Dämpfungsfolie
63 Hz	4,1 dB	5,0 dB	-1,0 dB
125 Hz	8,8 dB	9,1 dB	-0,4 dB
250 Hz	7,4 dB	9,3 dB	-2,0 dB
500 Hz	5,1 dB	5,6 dB	-0,5 dB
1000 Hz	3,9 dB	4,2 dB	-0,3 dB
2000 Hz	2,2 dB	2,5 dB	-0,3 dB
4000 Hz	0,3 dB	1,2 dB	-0,9 dB
8000 Hz	-0,4 dB	1,4 dB	-1,8 dB

Insgesamt ergab sich in der ersten Effektmessung eine leicht negative Minderungswirkung der Dämpfungsfolien, d. h. eine geringfügige Erhöhung des Brückenzuschlages im Summenpegel um 0,7 dB.

7.1.1.2 Ergebnisse der Luftschallmessungen der zweiten Effektmessung im Vergleich zur Vormessung

Die Ergebnisse sind in den Abbildung 83 und Abbildung 84 grafisch und in Tabelle 18 als Einzahlwerte dargestellt. Die Messergebnisse aus der Vormessung sind identisch mit denen aus Kapitel 7.1.1.1, eine Darstellung erfolgt hier nur zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Vor- und der zweiten Effektmessung.

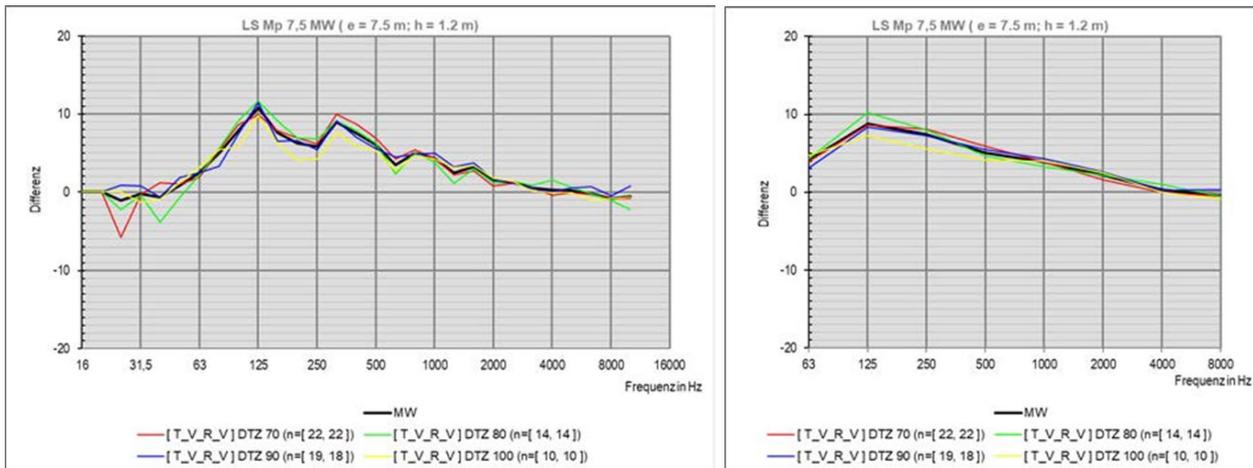


Abbildung 83: Darstellung des Brückenzuschlages der Vormessung als Terzspektrum (links) und als Oktavspektrum (rechts) ausgewertet für die Zugkategorien DTZ 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h und 100 km/h sowie die gemittelten Ergebnisse.

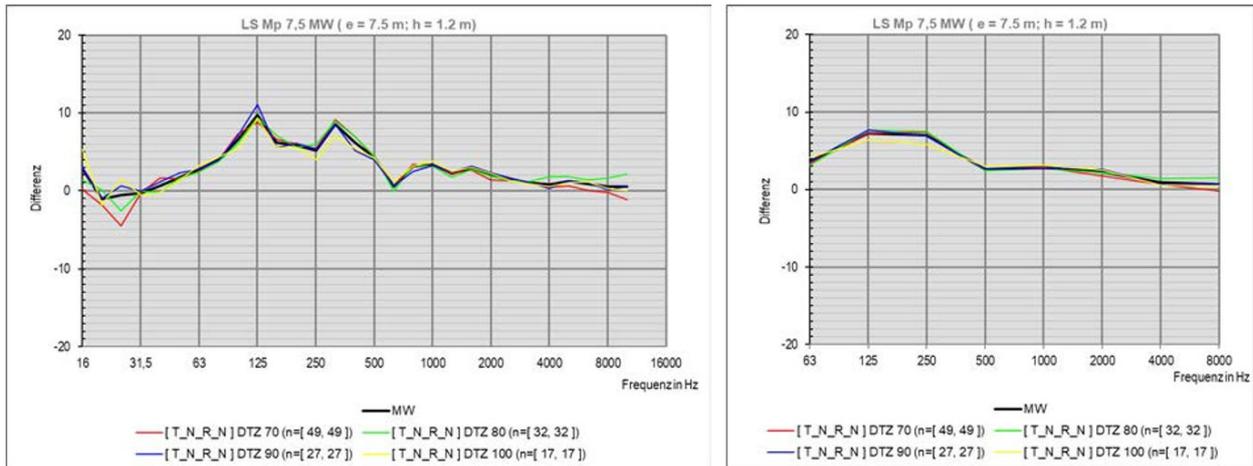


Abbildung 84: Darstellung des Brückenzuschlages der zweiten Effektmessung nach Einbau der Dämpfungsfolien als Terzspektrum (links) und als Oktavspektrum (rechts) ausgewertet für die Zugkategorien DTZ 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h und 100 km/h sowie die gemittelten Ergebnisse.

Tabelle 18: Brückenzuschläge aus der Vormessung und der zweiten Effektmessung nach Einbau der Dämpfungsfolie und Minderungswirkung der Dämpfungsfolie gemittelt über die Zugkategorien DTZ 70 km/h, 80 km/h, 90 km/h und 100 km/h.

Frequenz	Brückenzuschlag (Vormessung)	Brückenzuschlag (Erste Effektmessung)	Minderungswirkung Dämpfungsfolie
63 Hz	4,1 dB	3,6 dB	0,5 dB
125 Hz	8,8 dB	7,3 dB	1,4 dB
250 Hz	7,4 dB	7,0 dB	0,4 dB
500 Hz	5,1 dB	2,6 dB	2,4 dB
1000 Hz	3,9 dB	2,9 dB	1,0 dB
2000 Hz	2,2 dB	2,3 dB	-0,1 dB
4000 Hz	0,3 dB	0,9 dB	-0,6 dB
8000 Hz	-0,4 dB	0,7 dB	-1,0 dB

Die aus den Brückenzuschlägen ermittelte Minderungswirkung ist positiv, das Brückendrühen wird leicht reduziert. Im Summenpegel ergibt sich eine Reduktion um 0,9 dB.

7.1.2 Bewertung der Körperschallmessungen

7.1.2.1 Ergebnisse der Körperschallmessungen der ersten Effektmessung im Vergleich zur Vormessung

Neben dem Luftschall wurde auch der Körperschall während der Vorbeifahrt von Regelzügen gemessen. Abbildung 85 zeigt die Differenzen der Körperschallpegel der ersten Effektmessung und der Vormessung an der Brücke.

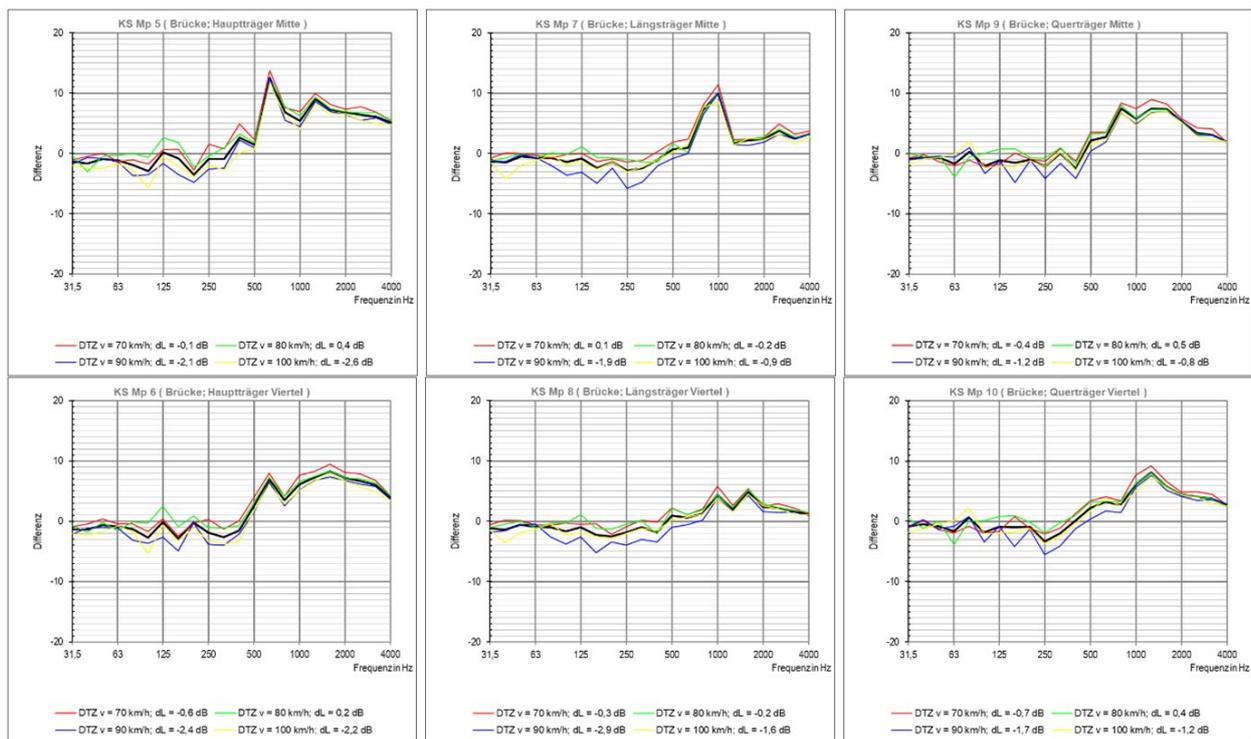


Abbildung 85: Darstellung der Differenzen der Körperschallpegel der ersten Effektmessung und der Vormessung an der Brücke (links: Hauptträger, Mitte: Längsträger und rechts: Querträger). In der oberen Reihe sind die Ergebnisse für die Messpunkte in der Mitte der Träger und in der unteren Reihe für die Messpunkte an der Außenseite der Träger dargestellt. Ausgewertet wurden die Zugkategorien DTZ 80 km/h, 90 km/h und 100 km/h sowie die gemittelten Ergebnisse.

Die Messungen zeigen deutliche Reduktionen der Körperschallpegel oberhalb von 500 Hz, unterhalb von 500 Hz erhöhen sich die Körperschallpegel an den Trägern leicht.

7.1.2.2 Ergebnisse Körperschallmessungen der zweiten Effektmessung im Vergleich zur Vormessung

Abbildung 86 zeigt die Differenzen der Körperschallpegel der zweiten Effektmessung und der Vormessung v an der Brücke.

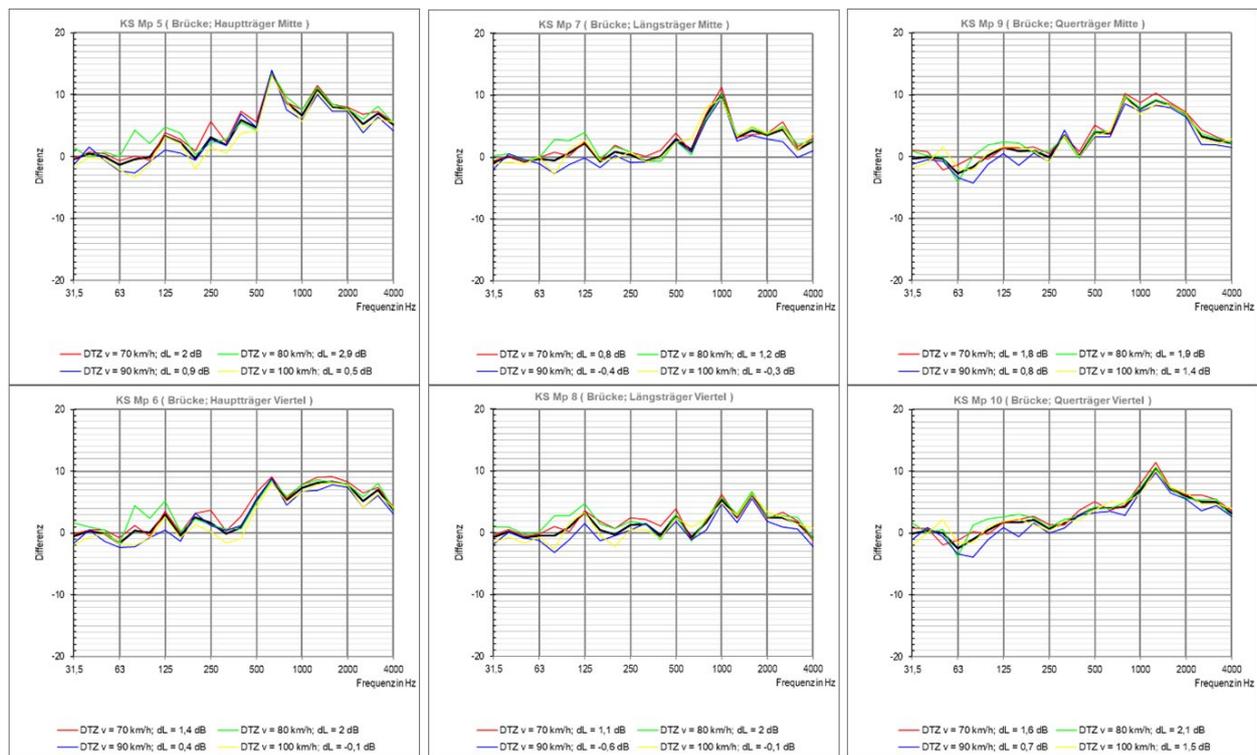


Abbildung 86: Darstellung der Differenzen der Körperschallpegel der zweiten Effektmessung und der Vormessung an der Brücke (links: Hauptträger, Mitte: Längsträger und rechts: Querträger). In der oberen Reihe sind die Ergebnisse für die Messpunkte in der Mitte der Träger und in der unteren Reihe für die Messpunkte an der Außenseite der Träger dargestellt. Ausgewertet wurden die Zugkategorien DTZ 80 km/h, 90 km/h und 100 km/h sowie die gemittelten Ergebnisse.

Neben der deutlichen Reduktion der Körperschallpegel oberhalb von 500 Hz sind nun auch geringe Reduktionen bei Frequenzen unterhalb von 500 Hz zu erkennen. Auch dies ist in guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Luftschallmessungen (siehe auch Tabelle 18). Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass eine Reduktion der Körperschallpegel im Frequenzbereich oberhalb von 500 Hz nicht zu einem hörbaren Effekt im Luftschall führt, da in diesem Frequenzbereich das Rollgeräusch der Züge deutlich über dem Brückendröhnen liegt.

7.1.3 Fazit

Die durchgeführten Messungen zeigen nach dem Einbau der Dämpfungsfolien in der ersten Effektmessung eine leichte Erhöhung des Brückendröhnens und bei der zweiten eine leichte Reduktion des Brückendröhnens. Die Ergebnisse sind in Übereinstimmung mit den Körperschallmessungen an der Brücke und an den Hauptträgern. Es ist davon auszugehen, dass die zweite Effektmessung eher die Langzeitwirkung der Dämpfungsfolien beschreibt, da die erste Effektmessung in der ersten Woche nach dem Einbau der Dämpfungsfolien durchgeführt wurde und zu diesem Zeitpunkt Aushärtungsprozesse der eingesetzten Materialien eventuell noch nicht abgeschlossen waren. Die Wirkung im Frequenzbereich oberhalb von 500 Hz ist aus akustischer Sicht nicht relevant, da in diesem Bereich das Gesamtgeräusch dominiert. Die Reduktion des Brückendröhnens im tieffrequenten Bereich liegt nur bei ca. 1 dB und damit im nicht wahrnehmbaren Bereich.

8 Maßnahmen zur Reduzierung von Baustellenlärm

Es wurden fünf mobile Schallschutzwände (moSSW) im Rahmen von I-LENA getestet (Maßnahme 22 - 26). Hierzu wurde ein Testfeld in der Nähe der Ortschaft Tüßling für die akustische Messungen an den moSSW eingerichtet. Das Testfeld hatte eine Ausdehnung von ca. 260 m x 110 m und besaß eine ebene Oberfläche ohne Bewuchs. Durch seine Lage inmitten landwirtschaftlicher Nutzflächen war der Bereich weitgehend frei von Störgeräuschen. Dort wurden fünf moSSW unterschiedlicher Hersteller auf einer Länge von jeweils 50 m aufgebaut (siehe Abbildung 87). Die Höhen über Boden variierten leicht und lagen zwischen 4,0 m und 4,35 m. Da das Testfeld eine ausreichende Tiefe besaß, konnten Quellen in unterschiedlichen Abständen (5 m, 10 m, 20 m) vor den Wänden positioniert und das Schallfeld hinter den Wänden über einen Bereich von 30 m Abstand von den Wänden ausgemessen werden. Zusätzlich erfolgten Referenzmessungen mit identischen Positionen von Quellen und Mikrofonen an einem Abschnitt ohne moSSW.



Abbildung 87: Testfeld bei Tüßling. Mobile Schallschutzwände unterschiedlicher Bauform mit einer Höhe von ca. 4 m wurden jeweils auf einer Länge von 50 m aufgebaut (im Hintergrund). Im Vordergrund sichtbar sind die Schallquelle ‚Vibrationsramme‘ und die Mikrofone für eine Messung der Schalleistung der Quelle sowie weiter hinten die Mikrofone für Messungen in der Referenzebene.

Der Messaufbau war in allen Messabschnitten identisch. In jedem Testabschnitt wurden auf der Immissionsseite in einer Messebene etwa in der Mitte der moSSW in 2,5 m (Mi.1), 15 m (Mi.2) und 30 m (Mi.3) Abstand neun Mikrofone in 1,7 m, 2,3 m, 5,1 m und 7,9 m Höhe über Boden installiert (siehe Abbildung 88). Die Höhen der Mikrofone wurden gewählt, weil sie der Höhe des Ohres eines Menschen, der Mitte eines Fensters im Erdgeschoss eines Hauses, der Mitte eines Fensters im 1. OG und der Mitte eines Fensters im 2. OG entsprechen.

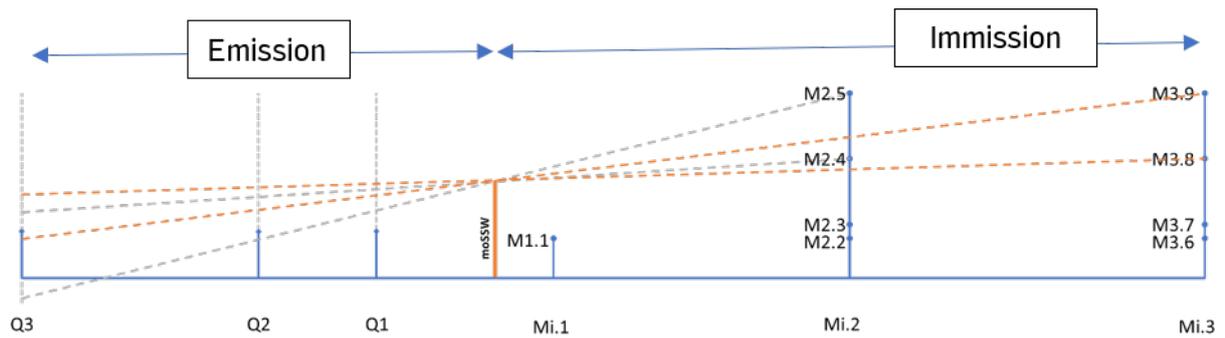


Abbildung 88: Schematische Darstellung eines Messquerschnittes. Rechts befinden sich auf der Immissionsseite die Mikrofonpositionen und links die Emissionspositionen (Q1 bis Q3). Die Strahlen symbolisieren den Verlauf der Sichtkante über den Schirm. Auf der Emissionsseite ist in den drei Abschnitten Q1 bis Q3 die Höhe der künstlichen Quelle eingezeichnet.

Als Schallquellen kamen sowohl künstliche Quellen (kQ) als auch reale technische Schallquellen zum Einsatz, die typisch für Bahnbaustellen sind. Technische Schallquellen waren:

- ATWS: Automatisches Warnsystem
- BR: Bagger mit Ramme
- BS: Bagger mit Spitzmeißel
- SA: Stromaggregat
- SU: Schotterumschlag (Beladung eines LKW mit Schotter)
- W: Walze (Verdichtungsarbeiten)

Eine Gesamtübersicht der sechs Messabschnitte (MA0 - MA5) mit den geometrischen Abmessungen und den entsprechenden Lärmquellen (Qi.1 - Qi.3) und Mikrofonpositionen Mi.1 - Mi.9 als Draufsicht ist in Abbildung 89 dargestellt.

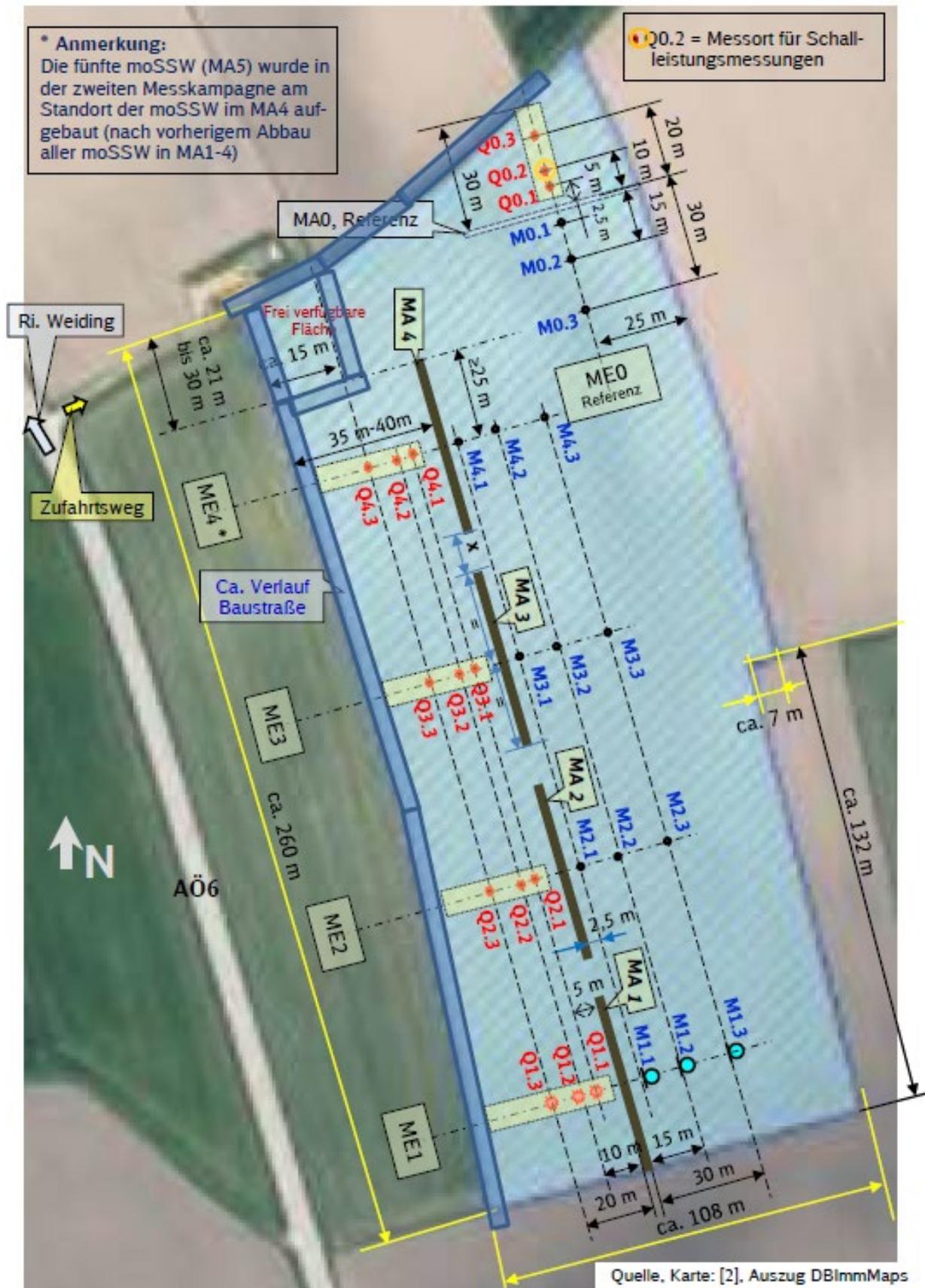


Abbildung 89: Übersicht Gesamtaufbau der Referenz (MA0) und der fünf moSSW (MA1 - MA5) mit den Positionen der Lärmquellen (Qi.1 - Qi.3) und Mikrofone (Mi.1 - Mi.9).

Für die künstliche Quelle wurde ein Dodekaeder-Lautsprecher verwendet. Als Geräusch diente ein rosa Rauschen mit flachem Frequenzgang. Der Vorteil einer künstlichen Schallquelle gegenüber den technischen Quellen besteht darin, dass das Schallsignal einfacher reproduzierbar ist und die Schallquelle in guter Näherung als exakt lokalisierbare Punktquelle betrachtet werden kann. In den Messungen wurde u.a. die Differenz $\Delta L_{pAeq,T}$ der Luftschallpegel an den verschiedenen Mikrofonpositionen (siehe Abbildung 88) von Referenzabschnitt (keine moSSW) und Testabschnitt (mit moSSW) ermittelt. Die Ergebnisse werden für jede der Maßnahmen 22 bis 28 unten einzeln aufgeführt, siehe Kapitel 8.1.1 bis 8.5.1 bzw. 8.7.1.

Neben den Messungen mit künstlichen bzw. technischen Schallquellen wurden für die Maßnahmen 22 - 26 In-Situ-Messungen durchgeführt, um die Schalldämm-Maße nach DIN EN 16272-3-2 [6] und DIN EN 16272-6 [7] zu bestimmen. Das Schalldämm-Maß ist ein logarithmisches Maß, welches die Schalldämmung eines Systems beschreibt. Ein hohes Schalldämmmaß bedeutet einen geringen Transmissionsgrad und somit ein hohes Schalldämmvermögen. Die Messungen wurden für jede moSSW an drei Schallschutzelementen und im Bereich von zwei Pfosten (Bereich zwischen zwei Elementen) durchgeführt. Untenstehend bei den einzelnen Maßnahmen 22 - 26 (siehe Kapiteln 8.1.2 bis 8.5.2) wird für die drei Elemente und die zwei Pfostenbereiche jeweils ein arithmetisch gemittelter Pegel angegeben. Für die Elemente, Pfosten und die gesamte Schallschutzwand wird ebenfalls ein Einzahlwert angegeben.

Abschließend gibt es im Kapitel 8.6 ein Fazit für die fünf moSSW, da sie sich je nach Lärmquelle nur in Nuancen unterscheiden.

8.1 Maßnahme 22 – mobile Schallschutzwand

Bei der Maßnahme 22 (siehe Abbildung 90) handelt es sich um eine moSSW, die aus aufblasbaren Elementen besteht. Die Abmessung pro Element beträgt 4,2 m x 3,4 m. Vor Ort wurde die Maßnahme 22 im Messabschnitt 1 auf dem Testfeld aufgebaut.

Die Messungen fanden im Juni 2019 statt.



Abbildung 90: Maßnahme 22.

8.1.1 Auswertung der gemessenen Schallpegel

In Tabelle 19 sind die Differenzen $\Delta L_{pAeq,T}$ der Luftschallpegel aus den Messungen an Referenzabschnitt und Testabschnitt dargestellt. Links in der Tabelle sind die verschiedenen Lärmquellen (kQ, ATWS, etc.), unterteilt nach den drei Positionen Q1 - Q3 (siehe Abbildung 88 links) aufgeführt. Rechts daneben sind die Pegel $\Delta L_{pAeq,T}$ für die neun Mikrofonpositionen M1.1 bis M3.9 eingetragen.

Tabelle 19: Differenz des Luftschallpegels $\Delta L_{pAeq,T}$ aus den Messungen an Referenz- und Testabschnitt an der Maßnahme 22.

Differenz der Luftschallpegel $\Delta L_{pAeq,T}$ Referenzabschnitt zu Messabschnitt										
Maßnahme 22										
Lärmquelle		Mikrofonposition								
Bez.	Pos.	M1.1	M2.2	M2.3	M2.4	M2.5	M3.6	M3.7	M3.8	M3.9
KQ	Q1	19,5	17,6	17,4	15,3	15,1	16,3	14,9	17,1	14,7
	Q2	17,8	14,3	16,4	14,8	7,7	15,2	15,1	14,0	14,2
	Q3	16,0	14,3	13,9	12,1	3,0	16,1	13,2	14,1	8,8
ATWS	Q1	11,0	16,1	16,1	14,3	18,4	17,3	15,5	16,2	12,8
	Q2	11,9	9,3	5,9	9,7	5,3	13,3	14,5	13,4	9,0
	Q3	13,6	11,5	6,8	7,1	2,1	7,2	7,6	6,0	7,8
SA	Q1	17,8	17,4	17,1	16,1	14,2	14,4	13,6	13,9	14,1
	Q2	17,3	14,8	15,6	13,5	13,5	14,1	14,6	13,6	11,9
	Q3	16,2	13,9	13,9	12,2	5,5	11,9	12,0	10,2	10,9
BR	Q1	20,0	17,1	16,8	15,3	11,6	15,9	14,4	14,2	12,4
	Q2	16,9	14,9	15,7	11,6	6,6	14,9	14,3	12,5	11,1
	Q3	17,4	15,0	13,5	10,1	2,0	13,8	13,1	10,0	6,6
W	Q1	15,1	14,2	14,5	14,2	12,6	14,8	13,9	13,1	13,1
	Q2	14,9	13,8	14,3	12,6	7,7	14,6	13,4	12,1	11,2
	Q3	15,0	13,8	14,1	10,6	2,6	13,2	12,7	11,3	8,4
SU	2	18,9	16,6	15,7	12,4	3,4	14,5	14,4	13,2	9,2
	3	20,3	17,0	16,9	10,3	2,0	16,3	15,3	12,8	5,9
BS	2	18,0	17,0	17,4	16,0	8,5	16,8	15,8	16,6	14,7
	3	18,6	16,4	14,8	14,1	3,7	16,6	16,2	15,2	12,8

ATWS: Automatisches Warnsystem | BR: Bagger mit Ramme | BS: Bagger mit Spitzmeißel | KQ: künstliche Lärmquelle | SA: Stromaggregat | SU: Schotterumschlag | W: Walze

8.1.2 Ergebnisse der In-Situ-Messungen

In Abbildung 91 sind die Ergebnisse der In-Situ Messungen zur Bestimmung der Schalldämm-Maße, getrennt für die Elemente und die Pfosten und zusätzlich der Mittelwert für das Gesamtsystem Elemente/Pfosten, dargestellt. Zusätzlich werden die Mindestwerte für das Schalldämm-Maß für Lärmschutzwände an Eisenbahnstrecken nach RIL 804.5501 mit

angegeben, um eine bessere Einordnung der Ergebnisse zu ermöglichen.

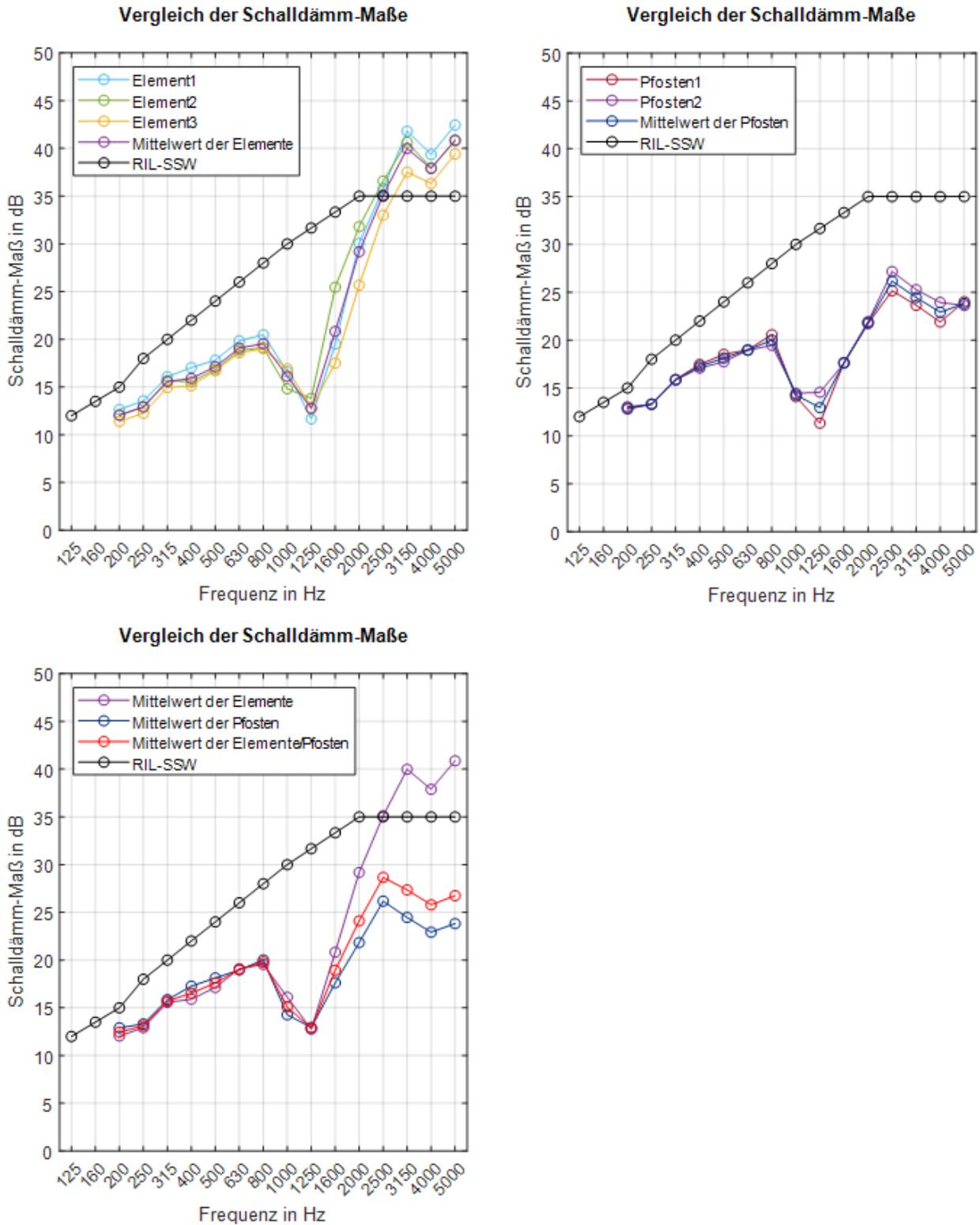


Abbildung 91: Vergleich der Schalldämm-Maße der drei gemessenen Zwischenelemente (oben links) und der zwei gemessenen Pfofen (oben rechts) sowie der Mittelwerte der Elemente und der Pfofen (unten links) mit den Mindestwerten für das Schalldämm-Maß nach RIL 804.5501. Der „Mittelwert der Elemente/Pfofen“ wird nach DIN EN 16272-3-2 bestimmt.

Tabelle 20: Resultierende Einzahlwerte der Schalldämm-Maße. Der mit * gekennzeichnete Pegelwert gibt den nach DIN EN 16272-3-2 gemittelten Gesamtwert an [6].

Typ	Schalldämm-Maß der Elemente $DL_{SI,E}$ in dB	Schalldämm-Maß der Pfosten $DL_{SI,p}$ in dB	Gesamtschalldämm-Maß $DL_{SI,G}$ in dB
Maßnahme 22	18,3	17,5	17,8*

Informativ wird hier auch das Gesamtschalldämm-Maß für eine Schallschutzwand, welche der Richtlinie 804.5501 entspricht, ebenfalls nach DIN EN 16272-3-2 bestimmt. Es liegt bei 36,2 dB [6] [11].

Wie aus Abbildung 91 zu erkennen ist, sind die Kurvenverläufe der Schalldämm-Maße für die Einzelemente (oben links) bzw. für die der Pfosten (oben rechts) im tieffrequenten Bereich nahezu deckungsgleich. Im Frequenzbereich > 1250 Hz treten dagegen insbesondere bei den Messungen der Einzelemente Schwankungen in den einzelnen Terzen bis zu 8 dB auf.

Die Kurvenverläufe der Schalldämm-Maße für die Einzelemente und die Pfosten im Frequenzbereich zwischen 200 Hz und 1250 Hz sind nahezu deckungsgleich. Erst im Frequenzbereich > 1250 Hz ist eine deutliche Verringerung der Schalldämmwirkung im Bereich der Pfosten gegenüber dem Bereich der Einzelemente erkennbar (Doppelschalenresonanz). Für hochfrequente Bereiche > 3150 Hz beträgt der Unterschied ca. 16 dB.

Verglichen mit den Mindestanforderungen der RIL 804.5501 zeigt sich, dass im Bereich der Einzelemente ab einem Frequenzbereich > 2500 Hz die Mindestanforderungen übertroffen werden. Das relativiert sich allerdings, wenn man die Mittelwerte der Schalldämm-Maße der Elemente und der Pfosten nach EN 16272-3-2 mittelt (unteres Diagramm rote Kurve). Bei allen anderen betrachteten Frequenzbereichen liegen die gemessenen Werte unterhalb der Mindestanforderung der RIL 804.5501. An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass mobile Schallschutzwände außerhalb des Geltungsbereiches der RIL 804.5501 liegen. Die Mindestwerte der Richtlinie sind daher nur als Anhaltswerte zu verstehen, um eine grobe Einordnung der Ergebnisse zu ermöglichen.

Insgesamt entsprechen die gemessenen Werte dem idealisierten Frequenzverlauf der Schalldämmung für zweischalige Bauteile. Demnach steigt das Schalldämm-Maß mit ca. 6 dB/Oktave bis zu der Resonanzfrequenz f_0 des Schwingungssystems an. Bei der Resonanzfrequenz selbst tritt eine deutliche Verschlechterung des Schalldämm-Maßes ein, bei höheren Frequenzen beträgt der Anstieg der Schalldämmung ca. 18 dB/Oktave und ist in der Regel besser als der Anstieg bei einschaligen Bauteilen.

Sowohl bei den Elementen als auch bei den Pfosten zeichnet sich im Bereich von 1000 Hz bis 1250 Hz ein deutlicher Einbruch des Schalldämm-Maßes ab. Dies ist insofern kritisch zu sehen, da insbesondere in diesem Frequenzbereich häufig ein Maximalwert im Frequenzspektrum (A-Bewertung) von Baumaschinen vorliegt (siehe Hessisches Landesamt für Umwelt und

Geologie Heft 2, Heft 3 und Heft 247 [12][13][14]). Die verminderte Wirkung der Wand in diesem Frequenzbereich prägt sich auch auf die Spektren der Luftschallmessungen auf.

Im Bereich von ca. 4000 Hz ist ein erneuter Abfall des Schalldämm-Maßes vorhanden. Zwischen den beiden Schalen können sich stehende Wellen ausbilden, wenn im Schalenzwischenraum keine Faserdämmstoffe zur Hohlraumdämpfung angeordnet sind. Stehende Wellen machen sich als Einbruch im Verlauf der Schalldämmkurve bemerkbar (Hohlraumresonanz). Der Einbruch des Schalldämm-Maßes in diesem Bereich könnte auch auf das Vorhandensein einer Koinzidenzfrequenz hindeuten. Die Koinzidenzfrequenz bewirkt einen Einbruch der Schalldämmung. Sie ist die Frequenz, bei der die Wellenlänge des Luftschalls gerade derjenigen der Biegewelle des Bauteils entspricht.

8.2 Maßnahme 23 – mobile Schallschutzwand

Bei der Maßnahme 23 (siehe Abbildung 92) handelt es sich um eine moSSW, die aus aufblasbaren Membrankissen aus verschiedenen Größen besteht und modular aufgebaut werden kann. Die Abmessung pro Element beträgt 4,4 m x 3,4 m. Vor Ort wurde die Maßnahme 23 im Messabschnitt 2 auf dem Testfeld aufgebaut.

Die Messungen fanden im Juni 2019 statt.



Abbildung 92: Maßnahme 23.

8.2.1 Auswertung der gemessenen Schallpegel

In Tabelle 21 sind die Differenzen $\Delta L_{pAeq,T}$ der Luftschallpegel aus den Messungen an Referenzabschnitt und Testabschnitt dargestellt. Links in der Tabelle sind die verschiedenen Lärmquellen (kQ, ATWS, etc.), unterteilt nach den drei Positionen Q1 - Q3 (siehe Abbildung 88 links) aufgeführt. Rechts daneben sind die Pegel $\Delta L_{pAeq,T}$ für die neun Mikrofonpositionen M1.1 bis M3.9 eingetragen.

Tabelle 21: Differenz des Luftschallpegels $\Delta L_{pAeq,T}$ aus den Messungen an Referenz- und Testabschnitt an der Maßnahme 23.

Differenz der Luftschallpegel $\Delta L_{pAeq,T}$ Referenzabschnitt zu Messabschnitt										
Maßnahme 23										
Lärmquelle		Mikrofonposition								
Bez.	Pos.	M1.1	M2.2	M2.3	M2.4	M2.5	M3.6	M3.7	M3.8	M3.9
KQ	Q1	18,3	17,0	17,8	16,8	15,3	17,0	16,5	15,9	16,1
	Q2	19,2	16,7	15,6	14,1	4,1	15,5	13,4	15,1	12,2
	Q3	16,9	14,1	12,6	8,2	1,6	13,6	12,3	10,8	5,0
ATWS	Q1	10,5	14,1	20,2	16,7	18,2	8,9	8,8	12,4	13,7
	Q2	12,5	14,1	12,6	11,6	2,0	12,5	13,3	12,7	11,5
	Q3	18,1	11,2	9,7	6,4	0,9	8,7	11,7	11,2	0,5
SA	Q1	16,3	17,1	16,7	16,8	14,6	15,0	15,7	16,5	15,1
	Q2	18,1	17,0	15,2	13,6	12,3	13,8	14,1	13,6	12,6
	Q3	17,4	15,7	14,9	11,1	2,8	12,2	13,0	12,4	9,3
BR	Q1	15,1	12,7	13,7	10,7	7,9	11,6	11,1	11,8	9,5
	Q2	17,2	14,7	16,0	12,5	3,9	14,7	13,9	13,3	10,1
	Q3	16,6	13,9	13,1	8,5	0,1	13,2	12,4	10,2	4,8
W	Q1	13,0	13,0	13,2	13,0	11,7	13,7	13,0	12,9	12,5
	Q2	13,3	12,5	12,9	12,0	6,7	13,7	12,7	11,8	11,4
	Q3	14,8	13,4	13,6	9,5	2,5	12,9	11,9	11,1	7,0
SU	Q2	20,5	16,4	15,5	11,3	3,9	14,5	14,1	12,7	8,4
	Q3	23,3	17,8	17,8	10,2	3,0	17,8	16,3	13,1	5,8
BS	Q2	18,4	17,6	18,2	15,9	7,2	16,1	15,6	15,9	14,0
	Q3	18,9	15,5	14,2	10,9	0,8	14,9	15,4	13,8	9,3

ATWS: Automatisches Warnsystem | BR: Bagger mit Ramme | BS: Bagger mit Spitzmeißel | KQ: künstliche Lärmquelle | SA: Stromaggregat | SU: Schotterumschlag | W: Walze

8.2.2 Ergebnisse der In-Situ-Messungen

In Abbildung 93 sind die Ergebnisse der In-Situ Messungen zur Bestimmung der Schalldämm-Maße, getrennt für die Elemente und die Pfosten und zusätzlich der Mittelwert für das Gesamtsystem Elemente/Pfosten, dargestellt. Zusätzlich werden die Mindestwerte für das Schalldämm-Maß für Lärmschutzwände an Eisenbahnstrecken nach RIL 804.5501⁷ mit angegeben, um eine bessere Einordnung der Ergebnisse zu ermöglichen.

⁷ Die Mindestwerte der RIL 804.5501 beziehen sich auf dauerhaft installierte Lärmschutzwände an Eisenbahnstrecken. An diese Lärmschutzwände werden hohe akustische Anforderungen gestellt. Ein

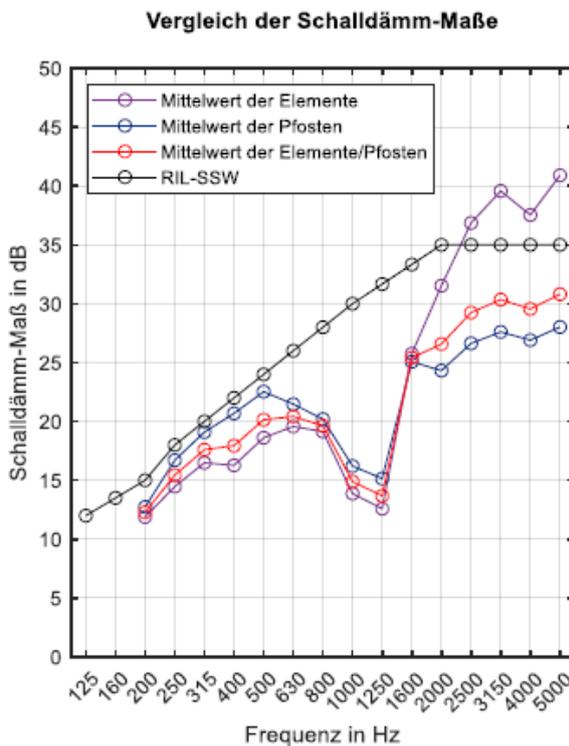
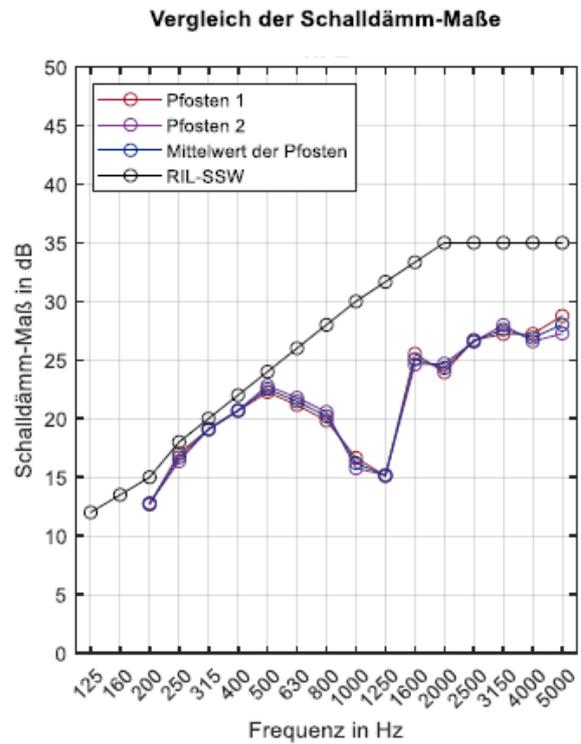
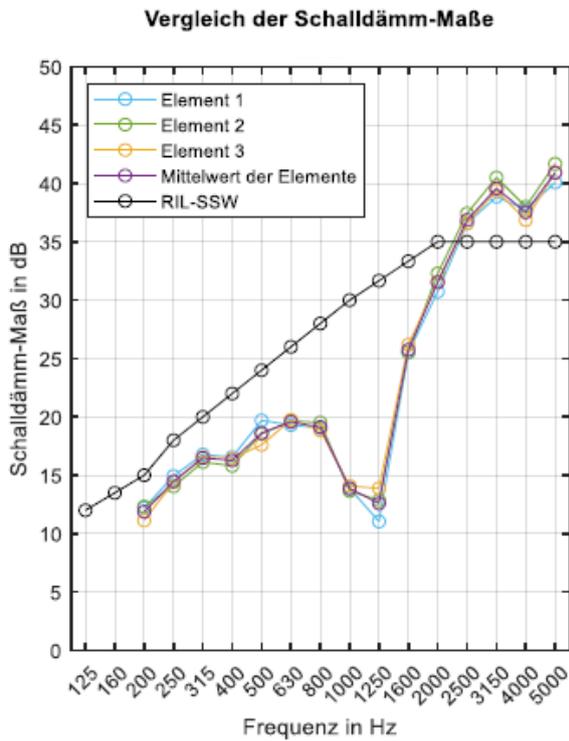


Abbildung 93: Vergleich der Schalldämm-Maße der drei gemessenen Zwischenelemente (oben links) und der zwei gemessenen Pfosten (oben rechts) sowie der Mittelwerte der Elemente und der Pfosten (unten links) mit den Mindestwerten für das Schalldämm-Maß nach RIL 804.5501. Der „Mittelwert der Elemente/Pfosten“ wird nach DIN EN 16272-3-2 bestimmt.

Vergleich mit der hier getesteten mobilen Schallschutzwand ist daher nur als erste Einordnung zu verstehen.

Tabelle 22: Resultierende Einzahlwerte der Schalldämm-Maße. Der mit * gekennzeichnete Pegelwert gibt den nach DIN EN 16272-3-2 gemittelten Gesamtwert an [6].

Typ	Schalldämm-Maß der Elemente $DL_{SI,E}$ in dB	Schalldämm-Maß der Pfosten $DL_{SI,p}$ in dB	Gesamtschalldämm-Maß $DL_{SI,G}$ in dB
Maßnahme 23	18,1	20,0	19,0*

Informativ wird hier auch das Gesamtschalldämm-Maß für eine Schallschutzwand, welche der Richtlinie 804.5501 entspricht, ebenfalls nach DIN EN 16272-3-2 bestimmt. Es liegt bei 36,2 dB [6] [11].

Wie aus Abbildung 93 zu erkennen ist, sind die Kurvenverläufe der Schalldämm-Maße für die Einzelelemente (oben links) bzw. für die der Pfosten (oben rechts) nahezu deckungsgleich, was auf eine gute Reproduzierbarkeit der Messungen und eine gleichbleibende Qualität der Wand schließen lässt.

Im Frequenzbereich zwischen 200 Hz und 1250 Hz sind die gemittelten Werte im Bereich der Pfosten besser als die der gemittelten Einzelelemente. Erst im Frequenzbereich > 1600 Hz ist eine deutliche Verringerung der Schalldämmwirkung im Bereich der Pfosten erkennbar. Für hochfrequente Bereiche > 3150 Hz beträgt der Unterschied ca. 11 dB.

Verglichen mit den Mindestanforderungen der RIL 804.5501 zeigt sich, dass im Bereich der Einzelelemente bei Frequenzen oberhalb von 2500 Hz die Mindestanforderungen übertroffen werden. Bei allen anderen betrachteten Frequenzbereichen liegen die gemessenen Werte unterhalb der Mindestanforderung der RIL 804.5501. Auffällig ist dabei aber, dass im Frequenzbereich zwischen 250 Hz und 500 Hz die ermittelten Werte der Pfosten relativ nahe an den Mindestanforderungen liegen. An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass mobile Schallschutzwände außerhalb des Geltungsbereiches der RIL 804.5501 liegen. Die Mindestwerte der Richtlinie sind daher nur als Anhaltswerte zu verstehen, um eine grobe Einordnung der Ergebnisse zu ermöglichen.

Insgesamt entsprechen die gemessenen Werte dem idealisierten Frequenzverlauf der Schalldämmung für zweischalige Bauteile. Demnach steigt das Schalldämm-Maß mit ca. 6 dB/Oktave bis zu der Resonanzfrequenz f_0 des Schwingungssystems an. Bei der Resonanzfrequenz selbst tritt eine deutliche Verschlechterung des Schalldämm-Maßes ein, bei höheren Frequenzen beträgt der Anstieg der Schalldämmung ca. 18 dB/Oktave und ist in der Regel besser als der Anstieg bei einschaligen Bauteilen.

Sowohl bei den Elementen als auch bei den Pfosten zeichnet sich im Bereich von 1000 Hz bis 1250 Hz ein deutlicher Einbruch des Schalldämm-Maßes ab. Dies ist insofern kritisch zu sehen, da insbesondere in diesem Frequenzbereich häufig ein Maximalwert im Frequenzspektrum (A-Bewertung) von Baumaschinen vorliegt (siehe Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie Heft 2, Heft 3 und Heft 247 [12], [13], [14]). Die verminderte Wirkung der Wand in diesem Frequenzbereich prägt sich auch auf die Spektren der Luftschallmessungen auf.

Im Bereich von ca. 4000 Hz ist ein erneuter Abfall des Schalldämm-Maßes vorhanden. Zwischen den beiden Schalen können sich stehende Wellen ausbilden, wenn im Schalenzwischenraum keine Faserdämmstoffe zur Hohlraumdämpfung angeordnet sind. Stehende Wellen machen sich als Einbruch im Verlauf der Schalldämmkurve bemerkbar (Hohlraumresonanz). Der Einbruch des Schalldämm-Maßes in diesem Bereich könnte auch auf das Vorhandensein einer Koinzidenzfrequenz hindeuten. Die Koinzidenzfrequenz bewirkt einen Einbruch der Schalldämmung. Sie ist die Frequenz, bei der die Wellenlänge des Luftschalls gerade derjenigen der Biegewelle des Bauteils entspricht.

8.3 Maßnahme 24 – mobile Schallschutzwand

Bei der Maßnahme 24 (siehe Abbildung 94) handelt es sich um eine moSSW, die aus einzelnen Wandtafeln besteht, welche mittels Verbinder an den Eckpunkten zu einem Wandsystem werden. Die Wandtafeln bestehen aus Aluminium-Trapezblechen. Die Trapezbleche sind auf einem Hohlprofilrahmen befestigt. Auf den Trapezblechen ist eine Absorberschicht angeordnet. Die Blechelemente befinden sich auf der Immissionsseite und die Dämmelemente (an Streben verklebt) auf der Emissionsseite. An den Verbindungsstellen werden Abstützung angeordnet. Diese können auf einer der beiden Seiten der moSSW aufgebaut werden. Die Abmessung pro Element beträgt 3,0 m x 2,0 m. Vor Ort wurde die Maßnahme 24 im Messabschnitt 3 auf dem Testfeld aufgebaut.

Die Messungen fanden im Juni 2019 statt.



Abbildung 94: Maßnahme 24.

8.3.1 Auswertung der gemessenen Schallpegel

In Tabelle 23 sind die Differenzen $\Delta L_{pAeq,T}$ der Luftschallpegel aus den Messungen an Referenzabschnitt und Testabschnitt dargestellt. Links in der Tabelle sind die verschiedenen Lärmquellen (kQ, ATWS, etc.), unterteilt nach den drei Positionen Q1 - Q3 (siehe Abbildung 88 links) aufgeführt. Rechts daneben sind die Pegel $\Delta L_{pAeq,T}$ für die neun Mikrofonpositionen M1.1 bis M3.9 eingetragen.

Tabelle 23: Differenz des Luftschallpegels $\Delta L_{pAeq,T}$ aus den Messungen an Referenz- und Testabschnitt an der Maßnahme 24.

Differenz der Luftschallpegel $\Delta L_{pAeq,T}$ Referenzabschnitt zu Messabschnitt										
Maßnahme 24										
Lärmquelle		Mikrofonposition								
Bez.	Pos.	M1.1	M2.2	M2.3	M2.4	M2.5	M3.6	M3.7	M3.8	M3.9
KQ	Q1	15,4	17,0	14,2	13,8	13,2	18,7	16,3	14,9	12,9
	Q2	14,0	15,5	15,0	13,1	6,3	16,4	16,0	12,9	12,8
	Q3	13,2	14,4	12,7	11,1	2,5	16,5	14,3	11,6	8,8
ATWS	Q1	19,4	17,3	17,8	18,9	15,6	17,3	13,1	19,7	16,4
	Q2	16,9	15,1	17,6	16,2	7,6	17,1	17,0	18,9	15,6
	Q3	15,1	15,3	15,3	11,2	2,4	18,2	16,8	16,1	8,2
SA	Q1	12,5	17,0	16,3	13,4	14,9	15,6	16,2	16,0	14,2
	Q2	16,7	16,2	15,6	14,7	11,6	14,8	15,5	14,3	13,5
	Q3	15,8	16,5	14,7	11,9	5,5	13,1	13,1	11,2	11,1
BR	Q1	12,9	13,1	11,3	10,0	7,6	12,7	12,4	9,5	8,5
	Q2	14,0	13,8	13,8	10,6	5,2	14,3	14,0	10,8	9,7
	Q3	14,3	16,1	15,2	10,8	2,0	16,4	16,0	11,1	8,5
W	Q1	10,3	11,3	11,7	11,8	10,1	13,0	12,6	12,1	12,0
	Q2	11,5	13,1	13,6	10,9	5,5	13,9	12,9	11,0	9,9
	Q3	12,7	12,4	12,6	7,9	1,3	11,3	10,5	8,5	6,6
SU	Q2	16,7	15,9	15,2	11,9	2,1	15,3	15,0	12,5	8,8
	Q3	18,7	17,3	17,4	10,4	1,5	17,8	16,0	12,4	6,0
BS	Q2	15,8	16,2	18,5	15,3	8,4	16,9	15,9	16,0	14,2
	Q3	15,9	14,8	14,8	10,6	0,6	16,0	14,8	13,7	9,8

ATWS: Automatisches Warnsystem | BR: Bagger mit Ramme | BS: Bagger mit Spitzmeißel |
 KQ: künstliche Lärmquelle | SA: Stromaggregat | SU: Schotterumschlag | W: Walze

8.3.2 Ergebnisse der In-Situ-Messungen

In Abbildung 95 sind die Ergebnisse der In-Situ Messungen zur Bestimmung der Schalldämm-Maße, getrennt für die Elemente und die Pfosten und zusätzlich der Mittelwert für das Gesamtsystem Elemente/Pfosten, dargestellt. Zusätzlich werden die Mindestwerte für das Schalldämm-Maß für Lärmschutzwände an Eisenbahnstrecken nach RIL 804.5501 mit angegeben, um eine bessere Einordnung der Ergebnisse zu ermöglichen.

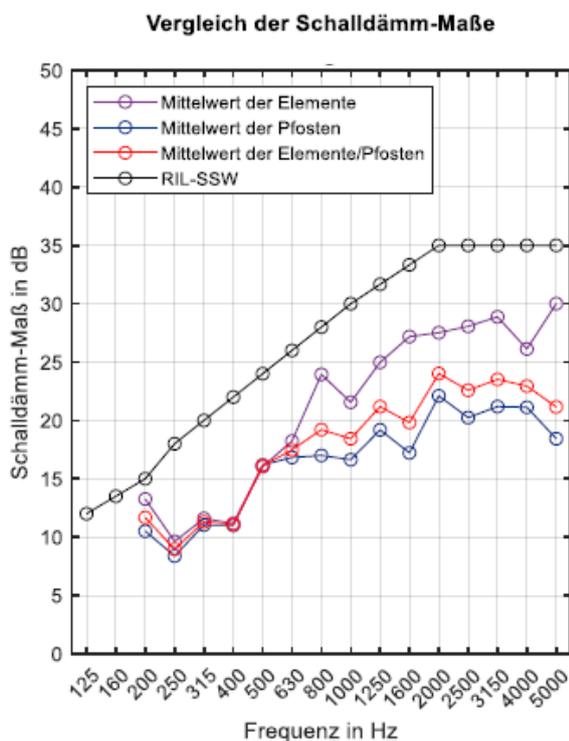
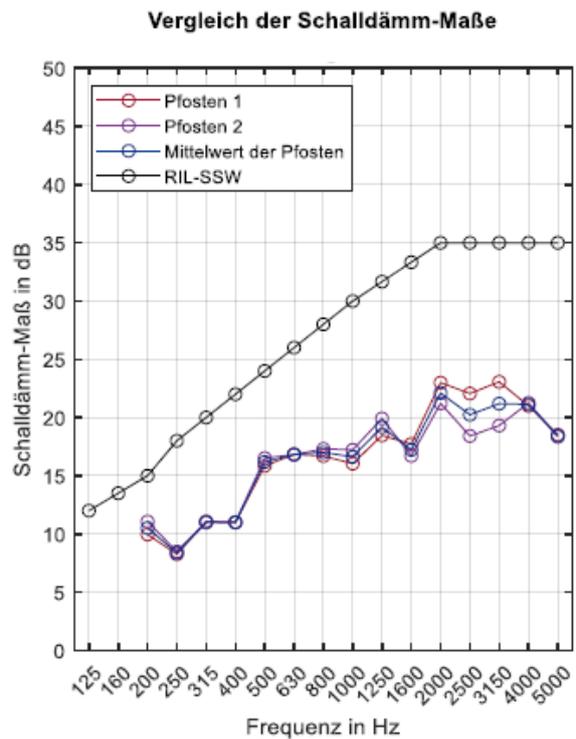
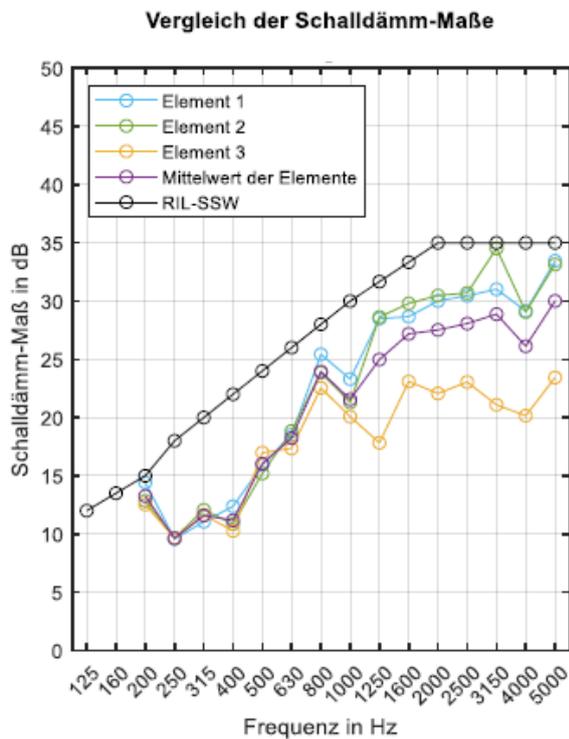


Abbildung 95: Vergleich der Schalldämm-Maße der drei gemessenen Zwischenelemente (oben links) und der zwei gemessenen Pfosten (oben rechts) sowie der Mittelwerte der Elemente und der Pfosten (unten links) mit den Mindestwerten für das Schalldämm-Maß nach RIL 804.5501. Der „Mittelwert der Elemente/Pfosten“ wird nach DIN EN 16272-3-2 bestimmt.

Tabelle 24: Resultierende Einzahlwerte der Schalldämm-Maße. Der mit * gekennzeichnete Pegelwert gibt den nach DIN EN 16272-3-2 gemittelten Gesamtwert an [6].

Typ	Schalldämm-Maß der Elemente $DL_{SI,E}$ in dB	Schalldämm-Maß der Pfosten $DL_{SI,P}$ in dB	Gesamtschalldämm-Maß $DL_{SI,G}$ in dB
Maßnahme 24	20,1	17,1	18,4*

Zusätzlich werden die Mindestwerte des Schalldämm-Maß für Lärmschutzwände an Eisenbahnstrecken nach RIL 804.5501⁸ mit angegeben, um eine bessere Einordnung der Ergebnisse zu ermöglichen.

Informativ wird hier auch das Gesamtschalldämm-Maß für eine Schallschutzwand, welche der Richtlinie 804.5501 entspricht, ebenfalls nach DIN EN 16272-3-2 bestimmt. Es liegt bei 36,2 dB [6] [11].

Wie aus Abbildung 95 (oben links bzw. oben rechts) zu erkennen ist, sind die Kurvenverläufe der Schalldämm-Maße für die Einzelemente bzw. für die der Pfosten im tieffrequenten Bereich nahezu deckungsgleich. Für höherfrequente Bereiche > 1000 Hz treten insbesondere bei den gemessenen Elementen hohe Schwankungen bis zu ca. 14 dB auf. Wobei die Kurven von Element 1 und 2 nahezu identisch sind, während die Werte bei Element 3 deutlich geringer sind.

Die Kurvenverläufe der Schalldämm-Maße für die Einzelemente und der Pfosten im Frequenzbereich zwischen 200 Hz und 630 Hz sind nahezu deckungsgleich (siehe Abbildung 95 unten). Erst im Frequenzbereich > 630 Hz ist eine deutliche Verringerung der Schalldämmwirkung im Bereich der Pfosten erkennbar. Für hochfrequente Bereiche > 3150 Hz beträgt der Unterschied ca. 8 dB.

Verglichen mit den Mindestanforderungen der RIL 804.5501 zeigt sich, dass die gemessenen Werte unterhalb der Mindestanforderung der RIL 804.5501 liegen. An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass mobile Schallschutzwände außerhalb des Geltungsbereiches der RIL 804.5501 liegen. Die Mindestwerte der Richtlinie sind daher nur als Anhaltswerte zu verstehen, um eine grobe Einordnung der Ergebnisse zu ermöglichen.

⁸ Die Mindestwerte der RIL 804.5501 beziehen sich auf dauerhaft installierte Lärmschutzwände an Eisenbahnstrecken. An diese Lärmschutzwände werden hohe akustische Anforderungen gestellt. Ein Vergleich mit der hier getesteten mobilen Schallschutzwand ist daher nur als erste Einordnung zu verstehen.

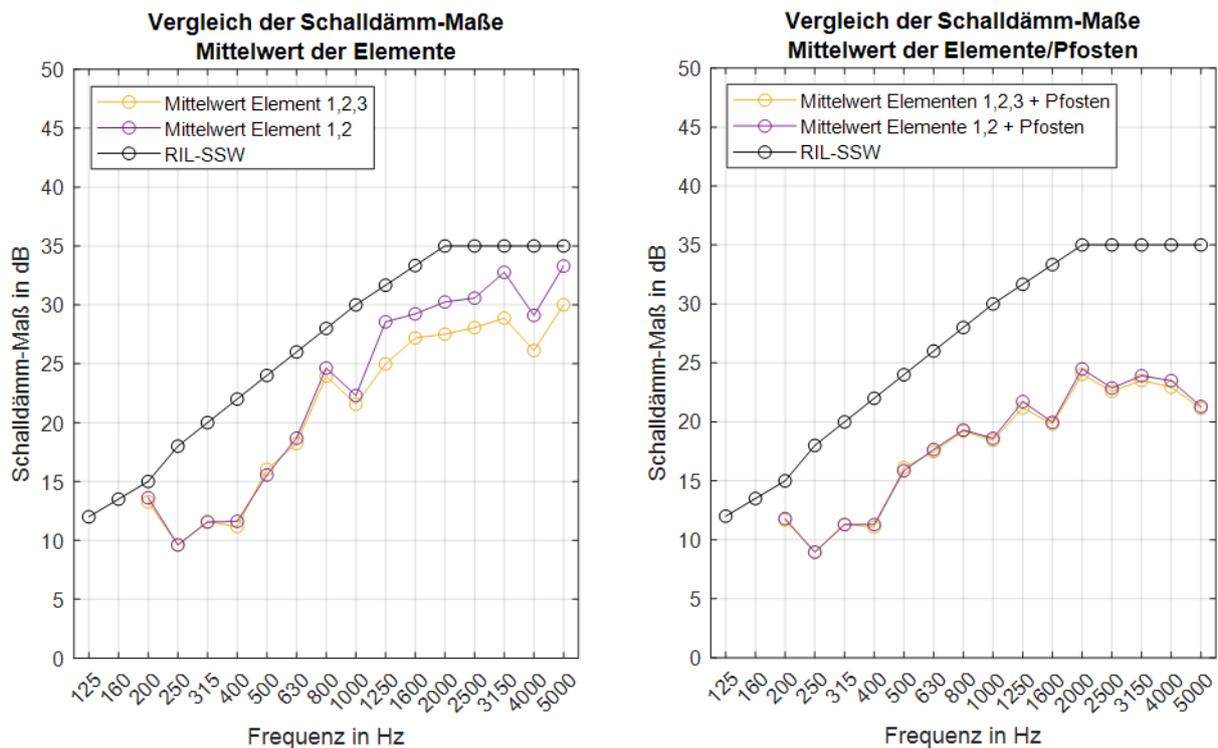


Abbildung 96: Vergleich der arithmetisch gemittelten Schalldämm-Maße der Elemente 1,2,3 und der Elemente 1,2.

Im Frequenzbereich > 1250 liegt der Mittelwert des Schalldämm-Maß aus den Elementen 1 und 2 ca. 3 bis 4 dB über dem Mittelwert des Schalldämm-Maß aus den Elementen 1,2 und 3.

Im Frequenzbereich um 4000 Hz zeichnet sich ein Einbruch des Schalldämm-Maßes ab. Möglich ist, dass in diesem Bereich die Wellenlänge des Luftschalls mit der Wellenlänge der Biegewelle des Bauteils übereinstimmt. In diesem Frequenzbereich kann aufgrund der Spuranpassung eine Verschlechterung der Luftschalldämmung auftreten. Die entsprechende Frequenz wird als Koinzidenzgrenzfrequenz bezeichnet.

8.4 Maßnahme 25 – mobile Schallschutzwand

Bei der Maßnahme 25 (siehe Abbildung 97) handelt es sich um eine moSSW, die aus einer Gerüstkonstruktion (zur Immissionsseite) und einzelnen Schwergewichtsmatten (Gewicht je Matte: ca. 12 kg) modular zu einer SSW mit einer Höhe von 1,5 m, 3,0 m oder 4,5 m aufgestellt werden kann. Die Länge der Wand kann variable um je 3,0 m aufgebaut werden. Die Standfestigkeit wird mit Gewichten auf der Gerüstkonstruktion erreicht, Befestigungen im Erdreich sind nicht notwendig. Vor Ort wurde die Maßnahme 25 im Messabschnitt 4 auf dem Testfeld aufgebaut.

Die Messungen fanden im Juni 2019 statt.



Abbildung 97: Maßnahme 25.

8.4.1 Auswertung der gemessenen Schallpegel

In Tabelle 25 sind die Differenzen $\Delta L_{pAeq,T}$ der Luftschallpegel aus den Messungen an Referenzabschnitt und Testabschnitt dargestellt. Links in der Tabelle sind die verschiedenen Lärmquellen (kQ, ATWS, etc.), unterteilt nach den drei Positionen Q1 - Q3 (siehe Abbildung 88 links) aufgeführt. Rechts daneben sind die Pegel $\Delta L_{pAeq,T}$ für die neun Mikrofonpositionen M1.1 bis M3.9 eingetragen.

Tabelle 25: Differenz des Luftschallpegels $\Delta L_{pAeq,T}$ aus den Messungen an Referenz- und Testabschnitt an der Maßnahme 25.

Differenz der Luftschallpegel $\Delta L_{pAeq,T}$ Referenzabschnitt zu Messabschnitt										
Maßnahme 25										
Lärmquelle		Mikrofonposition								
Bez.	Pos.	M1.1	M2.2	M2.3	M2.4	M2.5	M3.6	M3.7	M3.8	M3.9
KQ	Q1	18,4	16,6	16,7	13,0	11,9	14,8	13,9	13,8	12,4
	Q2	17,9	14,9	14,7	11,9	3,7	14,3	13,7	12,3	10,7
	Q3	17,3	13,3	13,3	6,8	1,2	13,7	12,1	7,6	1,8
ATWS	Q1	17,8	19,4	21,8	15,6	16,4	16,0	18,1	17,9	15,1
	Q2	22,4	13,4	11,5	12,8	5,7	14,3	18,8	13,8	14,5
	Q3	20,8	14,2	15,5	7,9	1,7	11,6	15,3	10,8	3,5
SA	Q1	15,5	15,3	15,2	14,7	14,3	13,7	14,7	15,6	14,8
	Q2	15,4	14,7	14,6	12,9	11,1	13,6	13,7	13,2	13,2
	Q3	14,7	12,8	12,1	11,6	4,8	10,5	12,0	12,0	10,7
BR	Q1	14,6	9,6	9,7	10,2	7,9	9,5	8,7	8,2	8,6
	Q2	14,1	11,8	11,6	9,5	4,7	11,4	11,4	9,8	7,8
	Q3	12,7	11,6	11,5	10,4	3,5	10,2	10,3	9,9	7,9
W	Q1	11,8	10,7	10,9	12,6	10,9	13,0	12,6	11,1	11,7
	Q2	10,5	10,8	11,8	11,3	8,0	12,7	11,9	11,3	10,5
	Q3	11,5	11,7	12,9	10,2	3,9	12,0	11,4	11,2	9,3
SU	Q2	18,5	16,9	16,6	14,7	6,3	16,4	16,6	15,3	12,9
	Q3	21,7	19,4	19,8	15,2	5,4	20,7	20,1	17,2	11,6
BS	Q2	17,7	16,5	18,1	15,6	8,4	15,9	15,2	15,1	13,7
	Q3	17,2	13,8	13,8	10,8	0,1	14,3	13,9	13,9	9,2

ATWS: Automatisches Warnsystem | BR: Bagger mit Ramme | BS: Bagger mit Spitzmeißel |
 KQ: künstliche Lärmquelle | SA: Stromaggregat | SU: Schotterumschlag | W: Walze

8.4.2 Ergebnisse der In-Situ-Messungen

In Abbildung 98 sind die Ergebnisse der In-Situ Messungen zur Bestimmung der Schalldämm-Maße, getrennt für die Elemente und die Pfosten und zusätzlich der Mittelwert für das Gesamtsystem Elemente/Pfosten, dargestellt. Zusätzlich werden die Mindestwerte für das Schalldämm-Maß für Lärmschutzwände an Eisenbahnstrecken nach RIL 804.5501 mit angegeben, um eine bessere Einordnung der Ergebnisse zu ermöglichen.

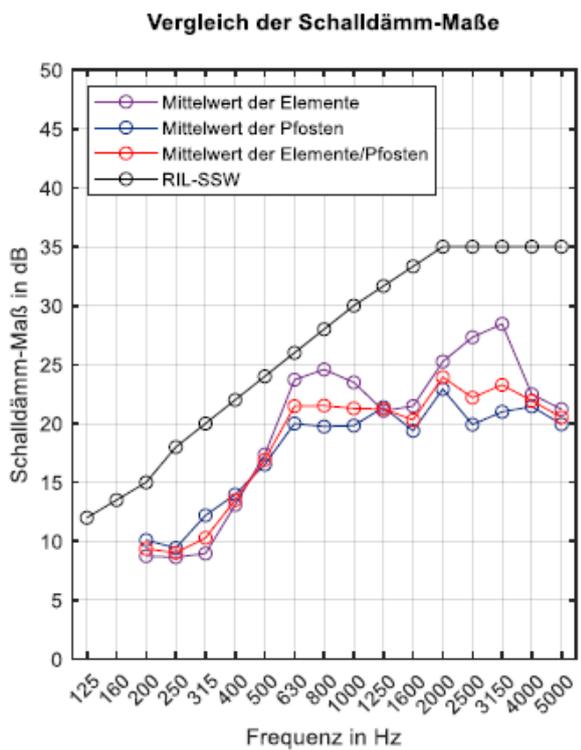
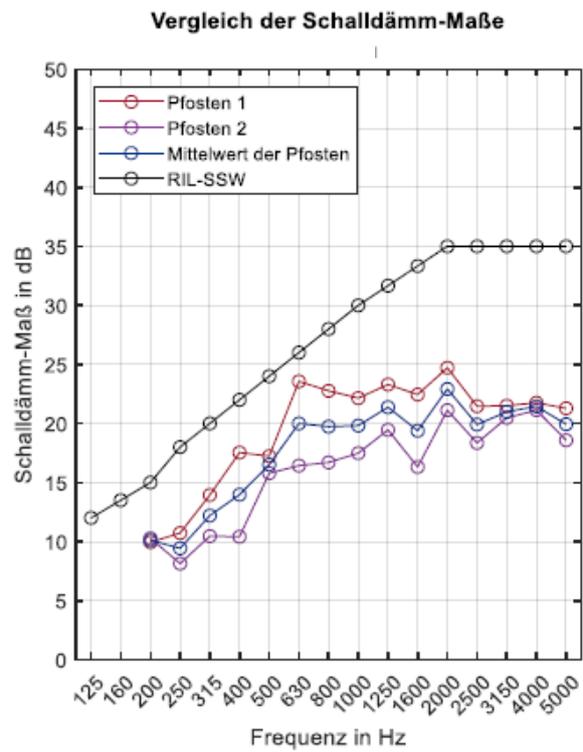
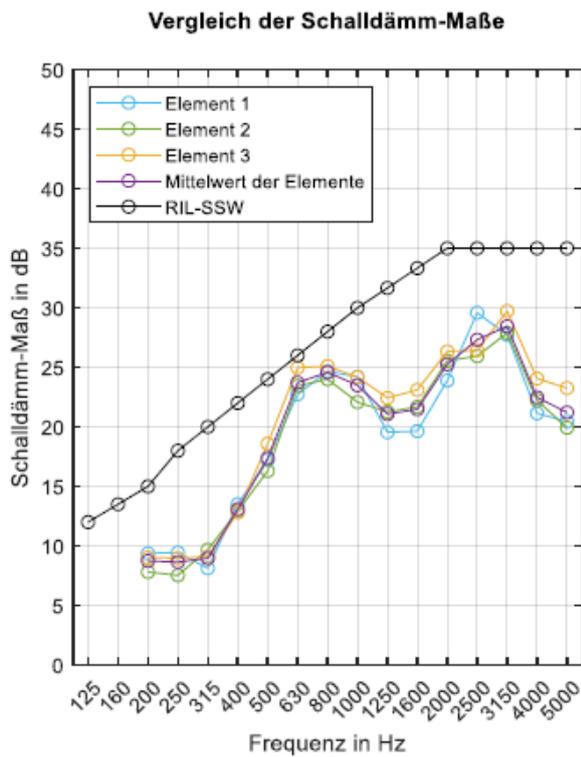


Abbildung 98: Vergleich der Schalldämm-Maße der drei gemessenen Zwischenelemente (oben links) und der zwei gemessenen Pfosten (oben rechts) sowie der Mittelwerte der Elemente und der Pfosten (unten links) mit den Mindestwerten für das Schalldämm-Maß nach RIL 804.5501. Der „Mittelwert der Elemente/Pfosten“ wird nach DIN EN 16272-3-2 bestimmt.

Tabelle 26: Resultierende Einzahlwerte der Schalldämm-Maße. Der mit * gekennzeichnete Pegelwert gibt den nach DIN EN 16272-3-2 gemittelten Gesamtwert an [6].

Typ	Schalldämm-Maß der Elemente $DL_{SI,E}$ in dB	Schalldämm-Maß der Pfosten $DL_{SI,p}$ in dB	Gesamtschalldämm-Maß $DL_{SI,G}$ in dB
Maßnahme 25	19,4	18,7	19,1*

Informativ wird hier auch das Gesamtschalldämm-Maß für eine Schallschutzwand, welche der Richtlinie 804.5501 entspricht, ebenfalls nach DIN EN 16272-3-2 bestimmt. Es liegt bei 36,2 dB [6] [11].

Wie aus Abbildung 98 (oben links bzw. oben rechts) zu erkennen ist, liegen die Kurvenverläufe der Schalldämm-Maße für die Einzelelemente relativ nahe beieinander. Im Bereich der Pfosten liegt die Streubreite der Messwerte in den einzelnen Terzen nahezu im kompletten Frequenzbereich bei bis zu 8 dB. Das könnte auf ein Problem bei der Montage hindeuten, wodurch die Befestigung an den Posten nicht einheitlich durchgeführt wurde. Da aber lediglich zwei Messungen im Bereich der Pfosten durchgeführt wurden, kann hierrüber keine endgültige Aussage getroffen werden.

Im Frequenzbereich zwischen 200 Hz und 500 Hz sind die gemittelten Werte im Bereich der Pfosten geringfügig besser als die der gemittelten Einzelelemente. In den darüberliegenden Frequenzbereichen > 500 Hz ist eine Verringerung der Schalldämmwirkung im Bereich der Pfosten um bis zu 8 dB erkennbar (siehe Abbildung 98 unten).

Verglichen mit den Mindestanforderungen der RIL 804.5501 zeigt sich, dass die gemessenen Werte unterhalb der Mindestanforderung der RIL 804.5501 liegen. Im Frequenzbereich um 630 Hz liegt der ermittelte Wert allerdings relativ nahe an der Mindestanforderung. An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass mobile Schallschutzwände außerhalb des Geltungsbereiches der RIL 804.5501 liegen. Die Mindestwerte der Richtlinie sind daher nur als Anhaltswerte zu verstehen, um eine grobe Einordnung der Ergebnisse zu ermöglichen.

Ein Einbruch der Schalldämm-Maßes bei ca. 1250 Hz könnte auf das Vorhandensein einer Resonanzfrequenz des Systems hindeuten. Eine Resonanzfrequenz tritt bei zweischaligen Bauteilen auf, wenn die beiden Schalen bei Kompression mit der elastischen Zwischenschicht gegeneinander mit maximaler Amplitude schwingen. Die hier gemessenen Elemente der mobilen Schallschutzwandmatten können allerdings nur im mittleren Bereich als zweischalig angesehen werden, da die beiden Seitenflächen an den Rändern direkt zusammengeführt werden. Der Einbruch des Schalldämm-Maßes ist daher im Vergleich mit einer zweischaligen Wand weniger ausgeprägt.

8.5 Maßnahme 26 – mobile Schallschutzwand

Bei der Maßnahme 26 (siehe Abbildung 99) handelt es sich um eine moSSW, die aus einer Gerüstkonstruktion (zur Immissionsseite) und einzelnen schallabsorbierenden Elementen

(Flächengewicht: 6 kg/m²), bestehend aus Gittergewebe und spezieller Mineralwolle, modular zu einer SSW aufgestellt werden kann. Die Elemente haben eine Größe (Höhe x Breite) von ca. 2,07 m x 2,65 m.

Die Messungen fanden im September 2019 statt.



Abbildung 99: Maßnahme 26.

8.5.1 Auswertung der gemessenen Schallpegel

In Tabelle 27 sind die Differenzen $\Delta L_{pAeq,T}$ der Luftschallpegel aus den Messungen an Referenzabschnitt und Testabschnitt dargestellt. Links in der Tabelle sind die verschiedenen Lärmquellen (kQ, ATWS, etc.), unterteilt nach den drei Positionen Q1 - Q3 (siehe Abbildung 88 links) aufgeführt. Rechts daneben sind die Pegel $\Delta L_{pAeq,T}$ für die neun Mikrofonpositionen M1.1 bis M3.9 eingetragen.

Tabelle 27: Differenz des Luftschallpegels $\Delta L_{pAeq,T}$ aus den Messungen an Referenz- und Testabschnitt an der Maßnahme 26.

Differenz der Luftschallpegel $\Delta L_{pAeq,T}$ Referenzabschnitt zu Messabschnitt										
Maßnahme 26										
Lärmquelle		Mikrofonposition								
Bez.	Pos.	M1.1	M2.2	M2.3	M2.4	M2.5	M3.6	M3.7	M3.8	M3.9
KQ	Q1	19,4	17,5	17,1	16,0	12,9	16,6	16,4	16,4	13,5
	Q2	17,5	16,6	17,3	12,0	7,3	14,8	14,7	11,0	11,2
	Q3	16,3	14,1	14,2	9,4	2,0	13,9	12,4	9,1	4,0
ATWS	Q1	22,7	22,1	19,1	20,1	20,0	14,4	16,0	21,2	14,3
	Q2	20,9	20,1	19,7	16,0	9,7	11,8	19,5	15,5	9,5
	Q3	16,7	11,2	14,4	9,2	2,1	8,9	14,4	9,1	1,7
SA	Q1	15,3	16,8	16,3	15,3	14,5	13,7	14,8	15,1	13,0
	Q2	15,0	15,0	14,2	14,3	10,4	11,0	12,2	12,6	12,3
	Q3	13,9	14,7	14,2	9,6	6,0	11,0	12,4	10,6	9,2
BR	Q1	16,4	14,5	14,3	11,3	7,9	12,7	11,7	11,4	8,8
	Q2	17,3	14,2	15,0	11,8	6,8	12,0	12,4	11,4	9,6
	Q3	15,6	13,4	13,4	10,1	3,6	10,9	11,2	9,8	6,4
W	Q1	10,7	11,3	12,0	11,2	8,7	11,3	11,7	11,3	10,4
	Q2	9,6	11,2	11,6	8,7	5,1	9,9	9,7	10,0	7,6
	Q3	8,5	10,3	11,6	6,1	2,4	9,0	8,9	6,7	5,2
SU	Q2	19,8	16,1	15,6	12,7	5,6	13,7	13,7	12,1	8,3
	Q3	22,4	18,2	18,6	12,8	4,4	17,1	16,2	13,3	7,9
BS	Q2	18,3	17,7	18,8	15,9	8,6	15,0	15,0	15,1	13,2
	Q3	17,2	14,6	13,8	9,3	0,0	12,3	12,4	9,7	3,1

ATWS: Automatisches Warnsystem | BR: Bagger mit Ramme | BS: Bagger mit Spitzmeißel |
 KQ: künstliche Lärmquelle | SA: Stromaggregat | SU: Schotterumschlag | W: Walze

8.5.2 Ergebnisse der In-Situ-Messung

In Abbildung 100 sind die Ergebnisse der In-Situ Messungen zur Bestimmung der Schalldämm-Maße, getrennt für die Elemente und die Pfosten und zusätzlich der Mittelwert für das Gesamtsystem Elemente/Pfosten, dargestellt. Zusätzlich werden die Mindestwerte für das Schalldämm-Maß für Lärmschutzwände an Eisenbahnstrecken nach RIL 804.5501 mit angegeben, um eine bessere Einordnung der Ergebnisse zu ermöglichen.

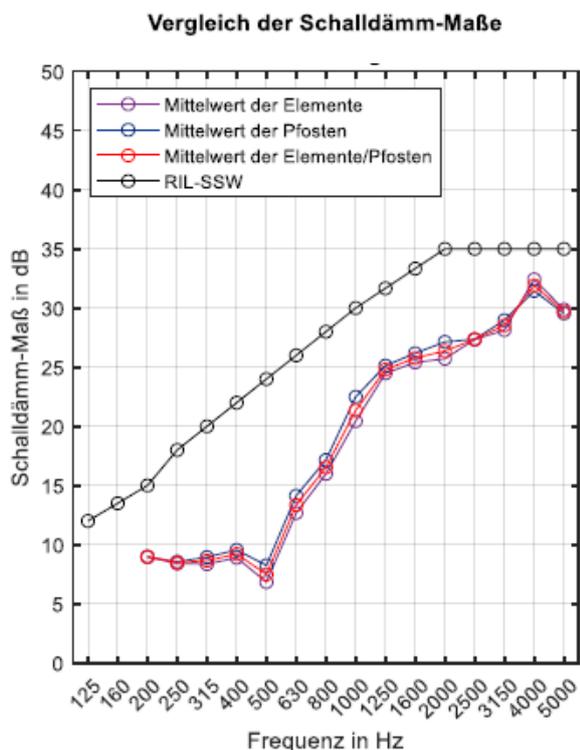
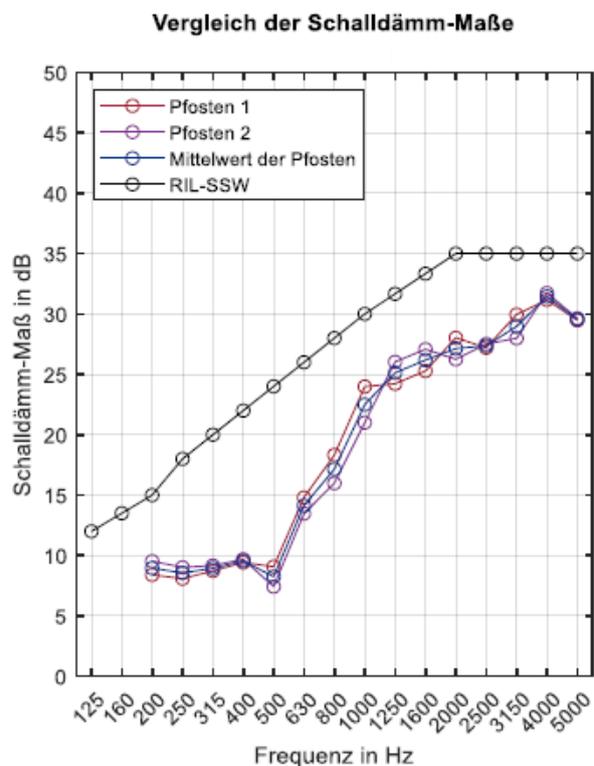
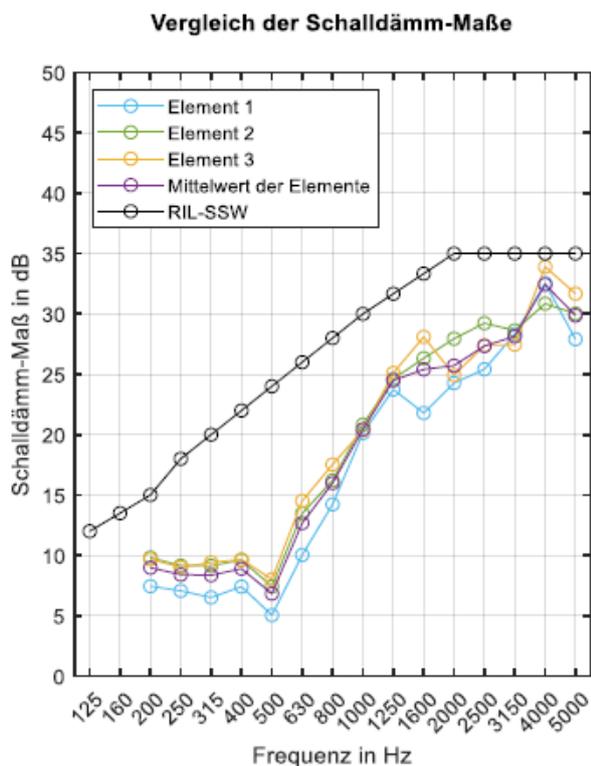


Abbildung 100: Vergleich der Schalldämm-Maße der drei gemessenen Zwischenelemente (oben links) und der zwei gemessenen Pfofen (oben rechts) sowie der Mittelwerte der Elemente und der Pfofen (unten links) mit den Mindestwerten für das Schalldämm-Maß nach RIL 804.5501. Der „Mittelwert der Elemente/Pfofen“ wird nach DIN EN 16272-3-2 bestimmt.

Tabelle 28: Resultierende Einzahlwerte der Schalldämm-Maße. Der mit * gekennzeichnete Pegelwert gibt den nach DIN EN 16272-3-2 gemittelten Gesamtwert an [6].

Typ	Schalldämm-Maß der Elemente $DL_{SI,E}$ in dB	Schalldämm-Maß der Pfosten $DL_{SI,p}$ in dB	Gesamtschalldämm-Maß $DL_{SI,G}$ in dB
Maßnahme 26	15,7	16,7	16,2*

Informativ wird hier auch das Gesamtschalldämm-Maß für eine Schallschutzwand, welche der Richtlinie 804.5501 entspricht, ebenfalls nach DIN EN 16272-3-2 bestimmt. Es liegt bei 36,2 dB [6] [11].

Wie aus Abbildung 100 zu erkennen ist, sind die Kurvenverläufe der Schalldämm-Maße für die Einzelemente (oben links) bzw. für die der Pfosten (oben rechts) im gesamten Frequenzbereich relativ identisch. Das Element 1 weist gegenüber den anderen beiden Elementen tendenziell etwas schlechtere Werte (< 4 dB) auf, was aber im Rahmen einer vertretbaren Streuung liegt und allgemeine Aussagen aufgrund der geringen Anzahl der Messungen eher schwierig sind. Optische Unterschiede der Elemente waren vor Ort auf dem Testfeld nicht zu sehen.

Die Kurvenverläufe der Mittelwerte der Schalldämm-Maße für die Einzelemente und die Pfosten sind ebenfalls im gesamten Frequenzbereich nahezu identisch (Abbildung 100 unten). Dieser Umstand ist positiv zu bewerten, da der Übergangsbereich zwischen zwei Elementen aufgrund der Art der Befestigung häufig eine akustische Schwachstelle bildet und die Wirkung in diesem Bereich vermindert ist. Somit kann von einer einheitlichen Schalldämmung über den gesamten Wandbereich ausgegangen werden.

Verglichen mit den Mindestanforderungen der RIL 804.5501 zeigt sich, dass die gemessenen Werte unterhalb der Mindestanforderung der RIL 804.5501 liegen. Im Frequenzbereich um 4000 Hz liegt der ermittelte Wert allerdings relativ nahe an der Mindestanforderung. An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass mobile Schallschutzwände außerhalb des Geltungsbereiches der RIL 804.5501 liegen. Die Mindestwerte der Richtlinie sind daher nur als Anhaltswerte zu verstehen, um eine grobe Einordnung der Ergebnisse zu ermöglichen.

Ein Einbruch der Schalldämm-Maßes bei ca. 500 Hz könnte auf das Vorhandensein einer Resonanzfrequenz des Systems hindeuten. Eine Resonanzfrequenz tritt in der Regel nur bei zweischaligen Bauteilen auf, wenn die beiden Schalen bei Kompression mit der elastischen Zwischenschicht gegeneinander mit maximaler Amplitude schwingen. Die hier gemessenen Elemente der mobilen Schallschutzwandmatten können allerdings in grober Näherung als zweischalig angesehen werden. Der Einbruch des Schalldämm-Maßes ist daher im Vergleich mit einer zweischaligen Wand weniger ausgeprägt.

Der leichte Einbruch des Schalldämm-Maßes im Bereich von 5000 Hz könnte auf das Vorhandensein einer Koinzidenzfrequenz in diesem Bereich hindeuten. Die Koinzidenzfrequenz

bewirkt einen Einbruch der Schalldämmung. Sie ist die Frequenz, bei der die Wellenlänge des Luftschalls gerade derjenigen der Biegewelle des Bauteils entspricht.

8.6 Fazit für die fünf mobilen Schallschutzwände

Alle betrachteten moSSW können bei entsprechender Positionierung den Immissionspegel merklich reduzieren. Ihre Wirksamkeit hängt von der Geräuschcharakteristik, d.h. dem Schallemissionsspektrum der Quelle, ab. Das kann u.a. auf die unterschiedlichen Schalldämm-Maße der Wände zurückzuführen sein. So zeigen die beiden luftgefüllten Wände (Maßnahme 22 und 23) beim Einsatz des ATWS weniger gute Ergebnisse als die übrigen Wände. Wie bei den In-Situ-Messungen in den Kapiteln 8.1.2 bis 8.5.2 gezeigt werden kann, haben die Maßnahmen 22 und 23 einen deutlichen Einbruch des Schalldämm-Maßes im Bereich von 1000 Hz. Der Einbruch äußert sich in den Immissionsspektren der Mikrofone als deutliche Erhöhung des gemessenen Schallpegels im Bereich von 1000 Hz. Der Einbruch des Schalldämm-Maßes wirkt sich hierbei signifikant auf den Gesamtpegel aus. Dagegen liefert die Maßnahme 22 beim Einsatz der Quellen Vibrationsramme, Bagger mit Spitzmeißel und Walze recht gute Ergebnisse im Vergleich zu den anderen Wänden.

Es zeigt sich, dass jede Schallschutzwand bei bestimmten Quellen gute, bei anderen Quellen hingegen weniger gute Ergebnisse liefert. Der Einsatz einer mobilen Schallschutzwand kann daher unter Berücksichtigung der Geräuschart sowie Quellenposition optimiert werden.

8.7 Maßnahmen 27 und 28 – Niedrige und hohe Lärmschutzmatten an einer festen Absperrung

Bei den Maßnahmen 27 und 28 handelt es sich im Unterschied zu den Maßnahmen 22 - 25 um Schallschutzelemente an einer Festen Absperrung (FA), welche aus aufblasbaren Membrankissen aus kunststoffbeschichteten Textilmembranen bestehen. Die beiden Maßnahmen unterscheiden sich nur in der Bauhöhe der Kissen. Die Kissen haben jeweils eine Länge von 3 m und Höhen von 1 m (Maßnahme 27) bzw. 2 m (Maßnahme 28).

Die Luftschallmessungen wurden an einem Ladegleis im Bahnhof München-Riem durchgeführt. Dazu wurden die beiden Maßnahmen auf einer Länge von jeweils 25 m an einer FA montiert (siehe beispielhafte Darstellung der Maßnahmen 28 in Abbildung 101). Neben den Messabschnitten mit Maßnahme (MA1n und MA2h) wurde auch ein Referenzabschnitt mit gleicher Länge ohne Maßnahme (MA0) eingerichtet. Für die Messung wurden sowohl die künstliche als auch technische Schallquelle eingesetzt, zusätzlich kam hier ein Trennschleifer (STIHL TS 500i), welcher eine Stahlplatte schneidet, zum Einsatz. Zur Vermessung des Schallfeldes wurden auf der Immissionsseite acht Mikrofone im Abstand von 15 m und 20 m von Gleismitte jeweils in 1,7 m, 2,3 m, 5,1 m und 7,9 m Höhe über Boden installiert (siehe Abbildung 101).



Abbildung 101: Feste Absperrung mit 2 m hohen Schallschutzelementen. Die roten Kreise markieren Mikrofonpositionen im Abstand von 15 m bzw. 20 m von Gleismitte.

Die Messungen fanden im August 2019 statt. Die Durchführung erfolgte entsprechend den Normen DIN 45645-1 [8], DIN EN ISO 3095 (Juli 2014) [9] und DIN EN ISO 9095 (November 2005) [10].

8.7.1 Auswertung der gemessenen Schallpegel

In Tabelle 29 sind die Differenzen $\Delta L_{pAeq,T}$ der gemessenen Luftschallpegel zwischen Referenzabschnitt zum Testabschnitt dargestellt. Links in der Tabelle sind die verschiedenen Lärmquellen (kQ, ATWS, etc. aufgeführt. Rechts daneben sind sowohl die Pegel $\Delta L_{pAeq,T}$ für die niedrige Schallschutzelemente (MA1n) als auch für die hohen Schallschutzelemente (MA2h) eingetragen, jeweils für die acht Mikrofonpositionen M15.1 bis M20.8 (siehe Abbildung 101).

Tabelle 29: Differenzpegel aus Messung ohne Schallschutz (Referenzmessung) und Messung mit Schallschutzelementen. Die Darstellung gibt einen Überblick, wie die Wirkung der Schallschutzwände insgesamt von der Mikrofonposition und der Höhe des Schallschutzelementes abhängt.

Quelle	$\Delta L_{pAeq,T,(MA0-MA1n)} / MA0-MA1n$								$\Delta L_{pAeq,T,(MA0-MA2h)} / MA0-MA2h$							
	M15.1	M15.2	M15.3	M15.4	M20.5	M20.6	M20.7	M20.8	M15.1	M15.2	M15.3	M15.4	M20.5	M20.6	M20.7	M20.8
kQ	6,7	6,2	1,4	-0,5	6,4	5,9	3,3	0,8	12,1	12,5	12,8	8,5	12,1	11,6	12,5	11,7
ATWS	1,7	3,1	0,4	-0,4	1,1	3,0	0,1	-1,5	11,8	12,4	1,4	0,5	10,3	11,1	1,7	-0,6
SA	7,3	7,1	2,8	0,3	6,5	6,4	4,6	2,5	10,3	10,6	9,0	7,7	9,2	9,2	8,7	8,1
TS	10,0	9,4	3,8	0,2	9,5	9,8	6,4	2,9	14,4	14,2	11,5	10,7	13,5	14,0	11,3	11,4
BS	7,5	5,5	1,1	-1,2	6,6	8,0	2,4	0,0	11,8	9,6	6,1	4,5	10,6	12,1	6,8	5,2
BM	1,1	1,1	1,0	0,1	1,2	0,7	0,9	0,5	2,9	2,4	1,2	0,3	2,7	2,0	1,4	0,7

ATWS: Automatisches Warnsystem | BM: Baggermotor | BS: Bagger mit Spitzmeißel | kQ: künstliche Lärmquelle | SA: Stromaggregat | TS: Trennschleifer

Es lässt sich allgemein festhalten, dass die Wirkung des Schallschutzes tendenziell mit zunehmender Entfernung zur Schallquelle sinkt. Die zunehmende Höhe der Immissionsorte verringert ebenfalls die Wirkung. Das lässt sich damit begründen, dass sich direkt hinter dem Schallschutzelement die gesamte Wirkung entfalten kann (nur der Transmissionsanteil ist ausschlaggebend), während mit zunehmendem Abstand sich die Schallanteile, „welche über die Wand gehen“, pegelbestimmend auswirken und sich der Schallschatten durch Beugungseffekte verkleinert.

Wie erwartet, ist die Wirkung des höheren Schallschutzelementes wesentlich besser.

An den Mikrofonen M15.3, M15.4, M20.7 und M20.8 ist die Wirkung der Schallschutzelemente z.T. deutlich reduziert. Das liegt daran, dass zum Teil eine direkte Sichtverbindung des Mikrofons zur Emissionsquelle bestand. Dennoch sind die ermittelten Pegeldifferenzen insbesondere für die 2m hohen Abschirmelemente durchaus beachtlich.

8.7.2 Fazit

Nach Abschluss und Auswertung der Messergebnisse lässt sich festhalten, dass durch schallabsorbierende Kissen an einer festen Absperrung, wie sie bei Arbeiten im Gleisbereich häufig eingesetzt wird, eine signifikante Lärminderung erzielt werden kann. Von den beiden geprüften Schallschutzsystemen haben insbesondere die Elemente mit der Höhe 2 m das Potential, Lärm aus dem Gleisbereich wirkungsvoll abzuschirmen, sofern sich die Schallquelle unterhalb der Sichtkante Schallschutzwand - Immissionsort befindet.

Die beiden Systeme eignen sich besonders dort, wo mobile Schallschutzwände nicht zum Einsatz kommen können zum Beispiel zwischen einzelnen Gleisen in einem Bahnhofsbereich oder auf einem Bahndamm.

9 Quellenverzeichnis

- [1] Anlage 2 der Verkehrslärmschutzverordnung - Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03); Fassung gültig ab 1.1.2015
- [2] DB Systemtechnik GmbH, Innovative Maßnahmen zum Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg Anlage 2 zum KP II Schlussbericht, 22.07.2010
- [3] DIN SPEC 45673-3 (2014), Mechanische Schwingungen -Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen - Teil 3: Messtechnische Ermittlung der Einfügdämpfung im eingebauten Zustand (Versuchsaufbau und Betriebsgleis)
- [4] UIC-Projekt 'Combating Curve Squeal Phase II', Final Report 2005
- [5] B. Müller, J. Oertli: Combating Curve Squeal: Monitoring existing applications; Journal of Sound and Vibration 293(3), 728-734 (2006)
- [6] DIN EN 16272-3-2:2014, Bahnanwendungen - Oberbau - Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 3-2: Standardisiertes Schienenverkehrslärmspektrum und Einzahl-Angaben für gerichtete Schallfelder; Oktober 2014
- [7] DIN EN 16272-6:2014, Bahnanwendungen - Oberbau - Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung - Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften - Teil 6: Produktspezifische Merkmale - In-situ-Werte zur Luftschalldämmung in gerichteten Schallfeldern, Dezember 2014
- [8] DIN 45645-1, „Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen, Teil 1: Geräuschemissionen in der Nachbarschaft,“ Juli 1996
- [9] DIN EN ISO 3095, Akustik - Bahnanwendungen - Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen, Juli 2014.
- [10] DIN EN ISO 3095, „Akustik - Bahnanwendungen - Messung der Geräuschemission von spurgebundenen Fahrzeugen,“ November 2005
- [11] DB Netz AG, Richtlinie 804.5501 Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken, Version 3.0, gültig ab 01.10.2017
- [12] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie: Technischer Bericht zur Untersuchung der Geräuschemissionen von Baumaschinen, Schriftenreihe Umwelt und Geologie, Unterreihe Lärmschutz in Hessen, Heft 2, 2004
- [13] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Technischer Bericht zur Untersuchung der Geräuschemissionen von Baumaschinen, Schriftenreihe Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Heft 247, 1998
- [14] Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Technischer Bericht zur Untersuchung der Geräuschemissionen durch Lastkraftwagen auf Betriebsgeländen von Frachtzentren, Auslieferungslagern, Speditionen und Verbrauchermärkten sowie weiterer typischer Geräusche insbesondere von Verbrauchermärkten, Schriftenreihe Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Heft 247, 2005

10 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Langname
ATWS	Automatisches Warnsystem
BR	Bagger mit Ramme
BS	Bagger mit Spitzmeißel
BüG	Besonders überwachtes Gleis
dB (A)	Dezibel (A-Bewertet)
DB AG	Deutsche Bahn AG
DoSto	Doppelstock Züge
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
ETZ	Elektrotriebzüge
FA	Feste Absperrung
GM	Gleismitte
GZ	Güterzüge
Hz	Hertz (Maßeinheit für Frequenz)
I-LENA	Initiative Lärmschutzerprobung neu und anwendungsorientiert
ΔL	Pegeldifferenz, Wirkung der Minderungsmaßnahme
moSSW	Mobile Schallschutzwand
MW	Mittelwert
RZ	Reisezüge
SA	Stromaggregat
SMW	Schallmesswagen
SO / SOK	Schienenoberkante
SSA	Schienenstegabschirmung
SSD	Schienenstegdämpfer
SSDA	Kombination von Schienenstegdämpfer und -abschirmung
SSE	Schienenschmiereinrichtung
SSW	Schallschutzwand
SU	Schotterumschlag
TDR	Track Decay Rate (Gleisabklingrate)
TEL	Vorbeifahrtexpositionspegel
W	Walze