

BAHNAKUSTIK

Infrastruktur, Fahrzeuge, Betrieb

07. – 08. November 2016 Planegg München

LÄRMMINDERUNG DURCH SCHIENENSTEGABSCHIRMUNG

Christian Czolbe¹, Günther Koller²

¹PROSE AG

Zürcherstraße 41, 8400 Winterthur, Schweiz

Email: christian.czolbe@prose.one

²SEKISUI

koocoo technology & consulting GmbH

St.-Veit Gasse 28/1/5, 1130 Wien, Österreich

Email: guenther.koller@koocoo.eu

ÜBERSICHT

Calmmoon Rail von SEKISUI ist ein vom Eisenbahn-Bundesamt (EBA) anerkanntes Produkt zur Schienenstegabschirmung (SSA) bzw. als Schallschutztechnik an Eisenbahnstrecken. Die SSA-Elemente werden an bestehende Gleise angebracht und wirken als Schallabschirmung des von der gesamten Schiene ausgehenden Rollgeräuschanteils. Schienenstegabschirmungen wurden seit 2010 auf mehreren Strecken in Deutschland eingebaut. Ihre Wirkung wird in der nationalen Berechnungsvorschrift zur Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall03) nach der 16. BImSchV [1] für den von der Schiene ausgehenden Rollgeräuschanteil mit etwa 3 dB anerkannt. Sie ist frequenzabhängig und für die Oktavbänder von 500 bis 2000 Hz mit 3 bis 5 dB angegeben.

Im Rahmen einer aktuellen Untersuchung in der Schweiz konnte der akustische Effekt abhängig vom Rollmaterial sowie für unterschiedliche Gleisparameter, insbesondere Schienen mit weichen und harten Zwischenlagen (ZL) näher untersucht werden. Im Ausgangszustand wurden am Gleisabschnitt mit weichen Zwischenlagen um ca. 3 dB höhere Vorbeifahrpegel gemessen als auf dem Gleisabschnitt mit harten Zwischenlagen. Für diesen Versuch wurden im Oktober 2015 zwei 80 Meter lange Streckenabschnitten mit der Schienenstegabschirmung Calmmoon Rail auf einer Strecke der BLS AG in der Nähe von Bern ausgerüstet.

Durch die Schienenstegabschirmung fielen die Vorbeifahrpegel der dort verkehrenden Fahrzeuge zwischen 1-2 dB beim Gleis mit harten Zwischenlagen und 3-4 dB beim Gleis mit weichen Zwischenlagen geringer aus. Die Höhe der Pegelreduktion hängt dabei einerseits vom Fahrzeugtyp und andererseits auch ein wenig von der ursprünglichen Schienendämpfung (TDR) des Oberbaus ab.

1 EINLEITUNG

In den letzten fünf Jahren wurden im Rahmen von europäischen Strategien zur Lärminderung im Schienenverkehr u.a. gleisseitige Schallschutzmaßnahmen untersucht. Darunter befinden sich Maßnahmen, die die Strukturdämpfung der Schiene erhöhen - sogenannte Schienenstegdämpfer (SSD) und solche, welche die Schallabstrahlung der Schiene durch Abschirmung beeinflussen – die SSA Calmmoon Rail von SEKISUI.

Auf dem Netz der ÖBB und der DB AG wurden bis Ende 2015 80 km SSA an verschiedenen Standorten verlegt. Im Folgenden sind einige relevante Projekte aufgelistet.

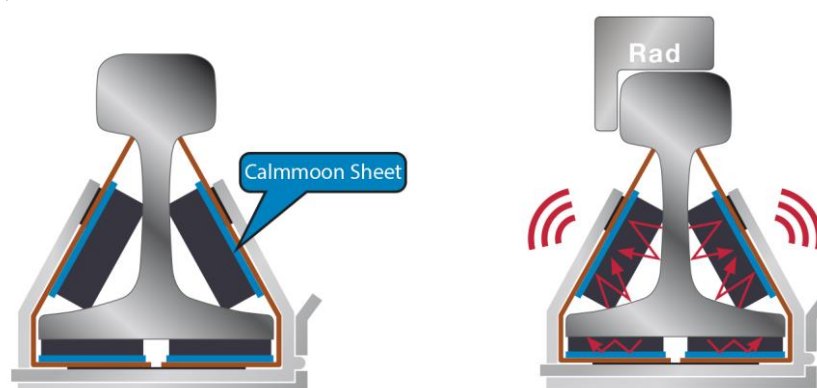
- ÖBB: Hainburg und Deutsch/Wagram Österreich 2008
- DB: Leipzig-Wahren – Wiederisch DB 2x900m 2010 [2]
- DB: Rahlstedt/Mariendorf, Hamburg, Bremen, Emmerich/Oberhausen [2] 2010-2011
- DB: Mittelrheintal: Gau-Algesheim 2011 [2], weitere 50 km im Mittelrheintal 2015

Bei den hier beschriebenen Messungen wurden an drei benachbarten Messabschnitten mit nahezu identischer akustischer Umgebung die Fahrgeräusche des Tagesverkehrs beidseitig des Gleises vor und nach Einbau der SSA nach ISO 3095 erfasst [3]. Neben den Schallemissionen wurden auch die Schienenschwingungen in z- und y-Richtung gemessen, sowie die Gleisabklingraten und die Schienenrauheiten von allen Gleiszuständen bestimmt.

2 TECHNIK UND INSTALLATION DER CALMOON RAIL

Die SEKISUI Chemical Co. Ltd. ist Hersteller des Calmmoon Rail Schienensteg-Lärminderungssystems. Calmmoon Rail setzt sich aus zwei Stahlblechwinkeln zusammen, an deren Innenseite verschiedene Lagen aus Polyethylen und dem Kunststoff Calmmoon befestigt sind (vgl. Grafik 1). Die Konstruktion wirkt somit auf den schienenseitig abgestrahlten Luftschall einerseits als umliegender Schallschirm und andererseits als Absorber im Hohlraum sowie als Entdröhnung des Schirmbleches.

Die Calmmoon Rail-Elemente werden jeweils im Bereich der Schwellenfächer montiert. Je Laufmeter Gleis werden ca. 8 kg Masse in Form der Schienenstegabschirmung verbaut. Verglichen mit Schienenstegdämpfern, welche als Masse-Feder-System die Dämpfung der Schiene erhöhen, werden nur etwa 1/6 der Masse verbaut.



Grafik 1. Calmmoon Rail Aufbau und Funktion

Die Installation der SSA gestaltet sich einfach. Nach Bestellung werden die Absorberelemente entsprechend des Schientyps, Schienenbefestigung, Schwellen sowie anderer Infrastruktureigenschaften gefertigt. Am Gleis werden die Schienenbefestigungen gelockert und es wird etwas Schotter von der Schiene per Hand oder mit einer Schottergabel entfernt, um anschließend die beiden Calmmoon Rail Elemente unter den Schienenfuß zu schieben. Anschließend werden die Schienenbefestigungen wieder festgezogen. Je nach Streckensituation, Sperrpause und Gleisbauarbeiter können in einer Nacht mehrere hundert Meter Gleis installiert werden.

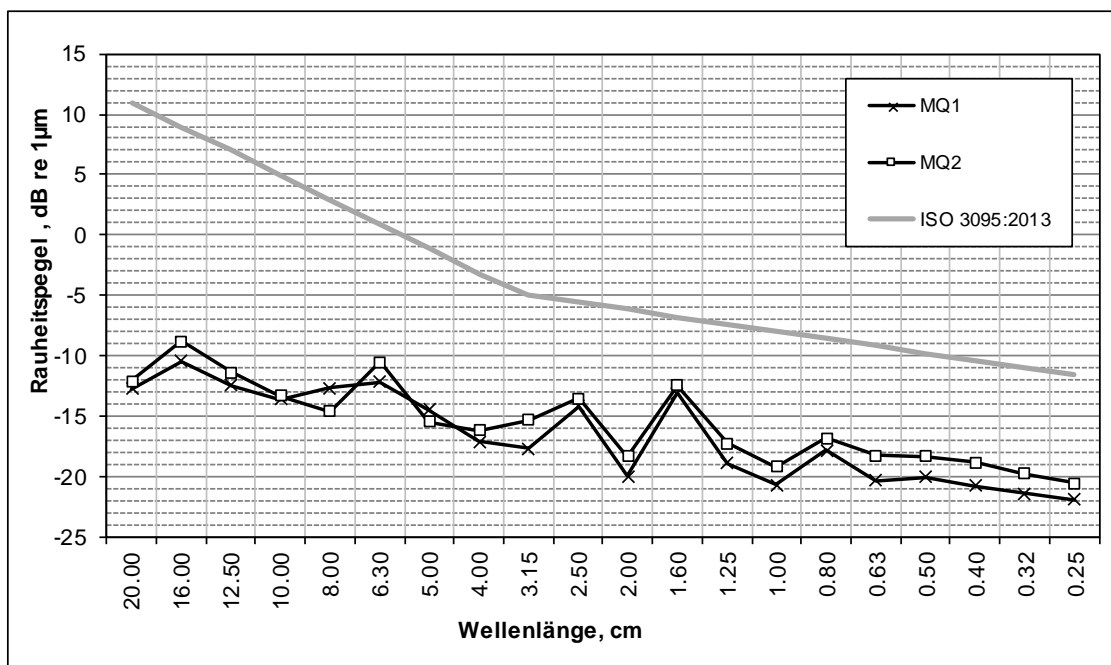


Grafik 2. Installation von Calmoon Rail auf einem deutschen Gleisabschnitt

3 MESSABSCHNITT UND GLEISPARAMETER

Auf der Einspurstrecke zwischen Kerzers und Müntschemier wurden zwei 80 Meter lange gerade Streckenabschnitte mit der Schienenstegabschirmung Calmoon Rail von SEKISUI ausgerüstet, um deren akustischen Effekt zu messen. Der Streckenabschnitt befindet sich nach der Oberbauerneuerung 2014 in hervorragendem Zustand, es herrscht eine durchgehend sehr niedrige Schienenrauheit und es verkehren sowohl Personen- als auch Güterzüge darauf.

Das Gleis ist für akustische Messungen ideal, da weder hohe Vegetation noch reflektierende Flächen die Schallausbreitung beeinflussen.



Grafik 3. Schienenrauheit an beiden Messquerschnitten mit SSA

3.1 Messgleise und Versuchsaufbau

Es wurden drei Messabschnitte in unmittelbarer Nähe für den Versuch gewählt, sodass die Schallmessungen eines Fahrzeuges nahezu zeitgleich und unter gleichen Bedingungen durchgeführt werden konnten. Die Vorbeifahrgeräuschmessungen fanden gemäß EN ISO 3095 statt. Während eines Tages konnten etwa 30 Züge dort gemessen werden. Ein

Referenzgleis mit harter Zwischenlage blieb zum Vergleich unberührt, während an zwei benachbarten Versuchsgleisen der Vergleich ohne/mit SSA durchgeführt wurde.

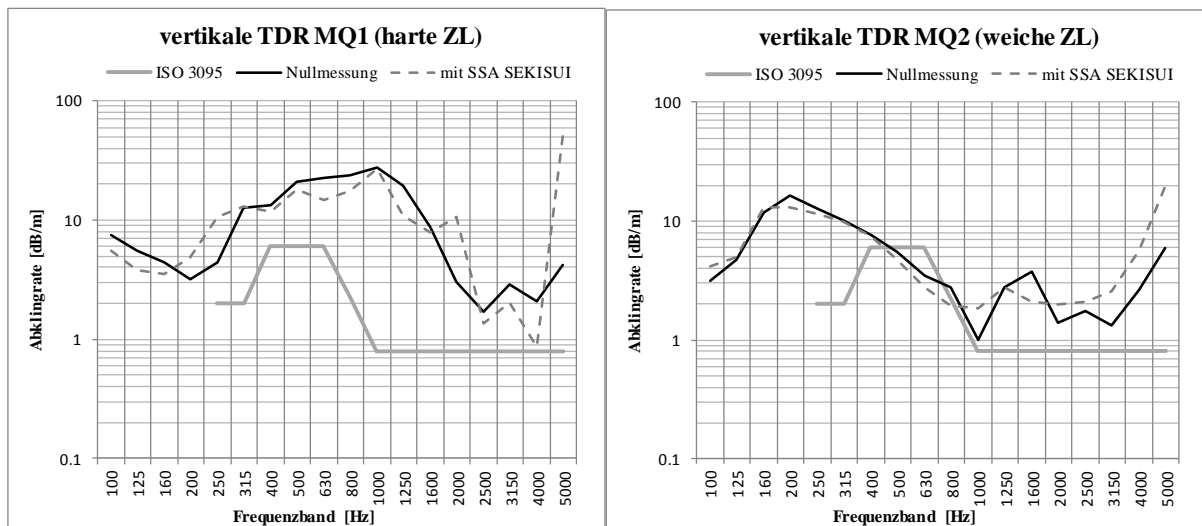
- MQ0: Referenzgleis, UIC 60 Schienen, B91 Schwellen, Ws, ZL: Zw-661-6 EVA (hart)
- MQ1: Versuchsgleis, UIC 60 Schienen, B91 Schwellen, Ws, ZL: Zw-661-6 EVA (hart)
- MQ2: Versuchsgleis, UIC 60 Schienen, B91 Schwellen, Ws, ZL: Zw-700-b 100kN (weich)

3.2 Schienenrauheit

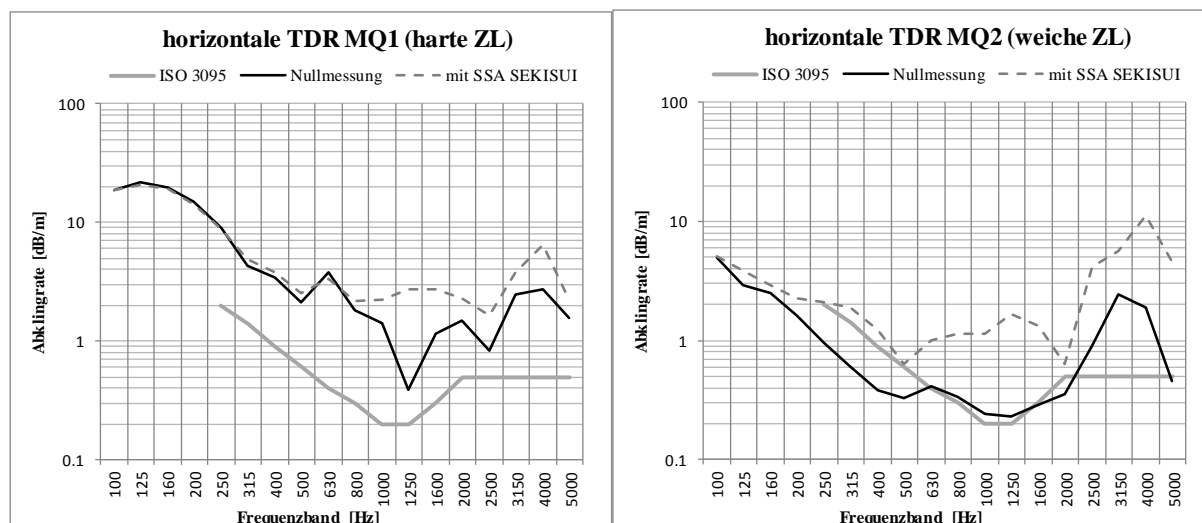
Die Schienenrauheiten an den unmittelbar hintereinanderliegenden Messabschnitten MQ0, MQ1 und MQ2 war sehr niedrig und lag deutlich unterhalb der Grenzkurve eines TSI NOI Referenzgleises (siehe Grafik 3).

3.3 Track-Decay-Rate

Die TDR wurden vor und nach der Installation von Calmmoon Rail SSA an beiden Versuchsgleisen gemessen. Bei der vertikalen TDR (Grafik 4) fielen die Unterschiede erwartungsgemäß gering aus. Hier wirkt vor allem die Masse im Schwellenfach, welche bei den SSA mit 2.5 kg im Verhältnis zu den SSD mit etwa 16 kg verhältnismäßig klein ausfällt.



Grafik 4. vertikale Abklingrate nach EN 15461 [4] MQ1 (harte ZL) und MQ2 (weiche ZL)



Grafik 5. horizontale Abklingrate nach EN 15461 [4] MQ1 (harte ZL) und MQ2 (weiche ZL)

Bei der horizontalen TDR (Grafik 5) hingegen ist im Frequenzbereich zwischen 800 und 2000 Hz ein Anstieg der Dämpfung durch SSA zu erkennen. Dies ist möglicherweise auf die Steifigkeit der Blechkonstruktion, die Fixierung des Blechs am Schienenfuß und die damit eingebrachte Reibungsdämpfung zurückzuführen.

4 ERGEBNISSE IM VORBEIFAHRPEGEL

In einer ersten Kampagne am 20.10.2015, der Nullmessung vor der Ausrüstung, wurden an einem Tag die auf der Strecke verkehrenden Züge gemessen. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die gemessenen Vorbeifahrpegel auf 80 km/h normiert und diese werden im Folgenden vorgestellt. Ein Unterschied der beiden Abschnitte mit harter ZL (Pegel-Differenz MQ1-MQ0 der auf 80 km/h normierten Schalldruckpegel in Tabelle 1) ist - wie zu erwarten - kaum vorhanden. Beim Messabschnitt MQ2 mit weicher ZL wurde indes ein um ca. 3 dB höherer auf 80 km/h normierter Vorbeifahrpegel festgestellt als beim Referenzabschnitt MQ0.

Zug-Art	Anz.	Mittelwerte [dB(A)] (Standardabw.[dB])			Pegel-Differenz [dB]	
		MQ1	MQ0	MQ2	Δ MQ1-MQ0	Δ MQ2-MQ0
Lötschberger	14	75.3 (1.4)	75.1 (1.4)	78.7 (1.7)	0.2	3.6
EW III mit Re420/Re465	15	79.7 (1.8)	79.8 (1.9)	82.1 (1.9)	-0.1	2.3
Güterzüge	1	84.5 (--)	84.2 (--)	87.2 (--)	0.3	3.0
Nina	1	75.7 (--)	75.9 (--)	78.7 (--)	-0.2	2.8

Tabelle 1: Vorbeifahrpegel, $L_{pAeq, Tp}$, 80 km/h vom 20.10.2015, Nullmessung ohne SSA

Nach der Installation der SSA an MQ1 und MQ2 und der Effektmessung am 28.10.2015 konnten deutliche Pegelreduktionen in den Vorbeifahrpegeln an beiden Abschnitten ermittelt werden (siehe Tabelle 2).

Zug-Art	Anz.	Mittelwerte [dB(A)] (Standardabw.[dB])			Pegel-Differenz [dB]	
		MQ1	MQ0	MQ2	Δ MQ1-MQ0	Δ MQ2-MQ0
Lötschberger	13	72.4 (1.8)	74.0 (2.1)	73.7 (1.9)	-1.6	-0.3
EW III mit Re420/Re465	15	77.9 (2.3)	79.2 (2.1)	79.1 (2.3)	-1.3	-0.1
Güterzüge	2	83.9 (2.6)	85.1 (1.3)	85.6 (0.5)	-1.2	0.5
Nina	3	74.7 (0.4)	77.2 (0.5)	76.3 (0.8)	-2.6	-0.9

Tabelle 2: Vorbeifahrpegel $L_{pAeq, Tp}$, 80 km/h vom 28.10.2015, Effektmessung mit SSA

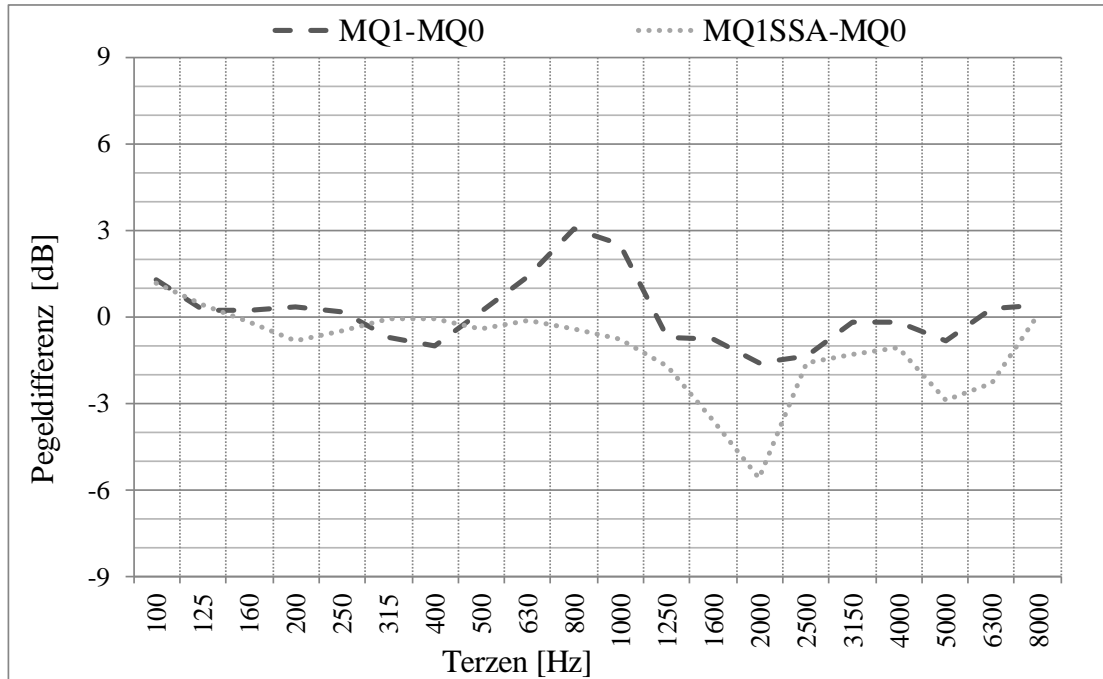
In Tabelle 3 sind schließlich die Pegelreduktionen mit/ohne SSA von beiden Abschnitten MQ1 und MQ2 jeweils zum Referenzgleis MQ0 für die beiden häufiger gemessenen Zugarten BLS RABe 535 kurz Lötschberger und EW3 mit Re420/Re465 angegeben. Beim Versuchsgleis MQ1 mit harter ZL liegt die Reduktion im Mittel bei 1.5 dB, beim Versuchsgleis MQ2 mit weicher ZL liegt sie bei 3.1 dB. Bei modernen Personenzügen mit kleinen Rädern und Radscheibenbremsen, wie der Lötschberger, fällt die Pegeländerung i.d.R. höher aus als bei älteren Reisezugwagen EW III (siehe auch [8]).

Zug-Art	Pegel-Differenz [dB] Effektmessung - Nullmessung	
	$\Delta N(MQ1) - \Delta E(MQ1)$ harte ZL	$\Delta N(MQ2) - \Delta E(MQ2)$ weiche ZL
Lötschberger	1.8	3.9
EW3 mit Re420/Re465	1.3	2.4
Mittelwert	1.5	3.1

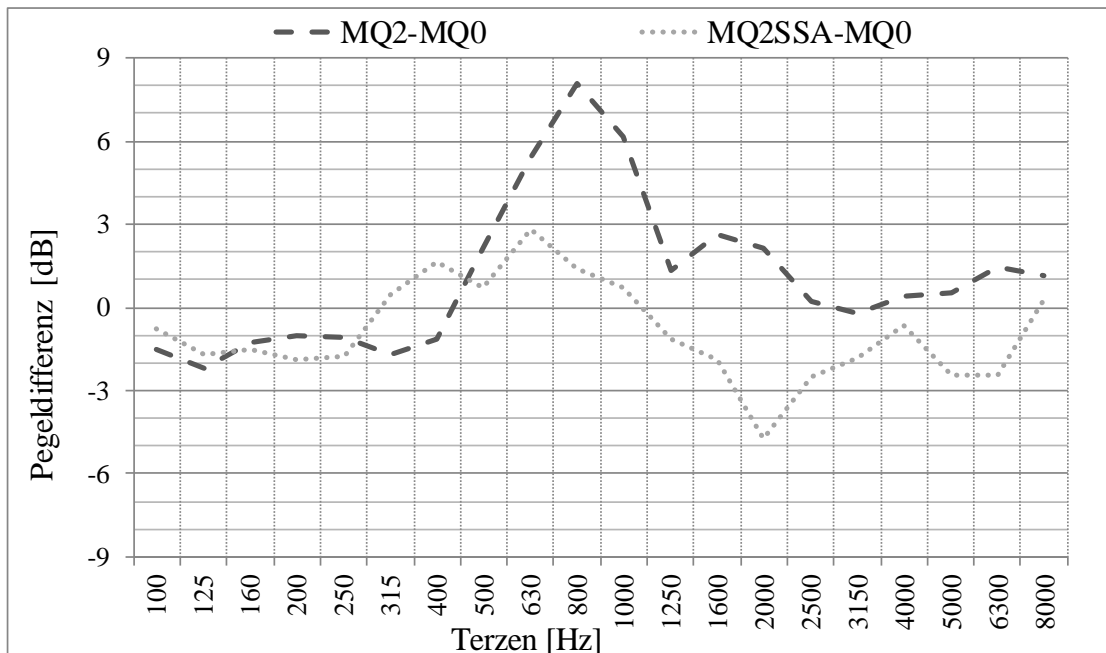
Tabelle 3: Pegelreduktion durch SSA an MQ1 (harte ZL) und MQ2 (weiche ZL)

5 ERGEBNISSE IM FREQUENZBEREICH

In Grafik 6 sind die gemittelten Terzpegel der Vorbeifahrgeräusche der Lötschberger Züge auf dem Versuchsgleis MQ1 mit harter Zwischenlage und in Grafik 7 vom Versuchsgleis MQ2 mit weicher Zwischenlage dargestellt.



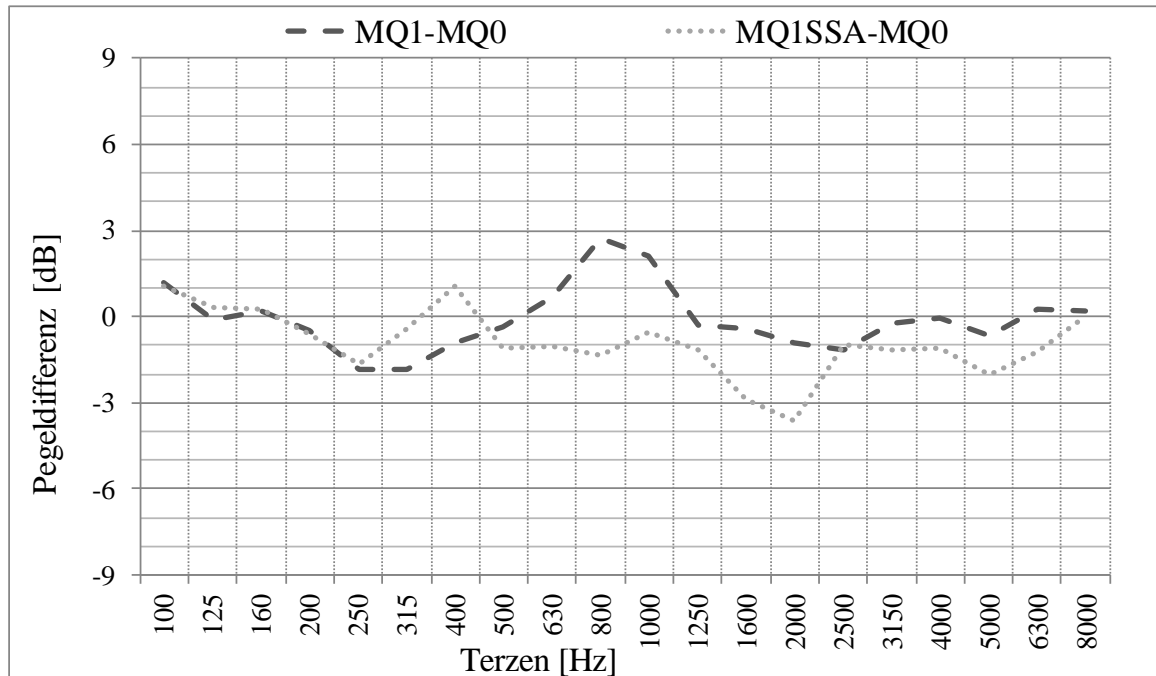
Grafik 6. Differenzspektrum Lötschberger MQ1-MQ0 (harte Zwischenlage)



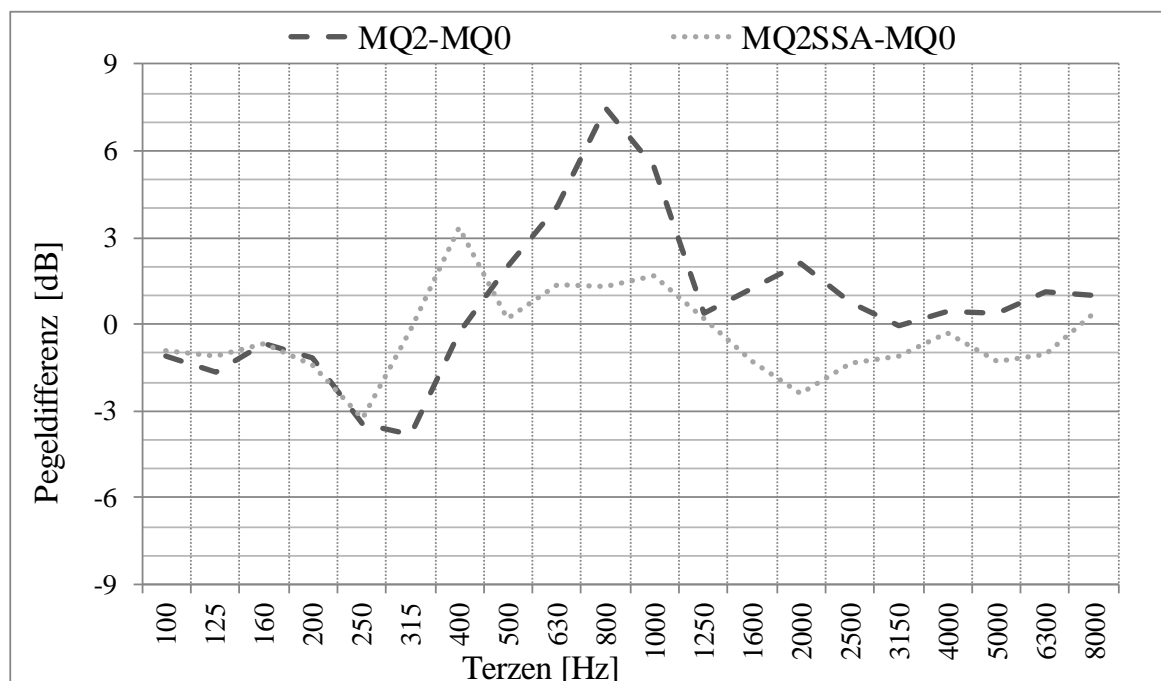
Grafik 7. Differenzspektrum Lötschberger MQ2-MQ0 (weiche Zwischenlage)

Eine relevante Pegelminderung durch SSA findet in den Frequenzbändern 630 bis 1000 Hz sowie 1600 bis 6300 statt. Diese führt dazu, dass der A-bewertete Vorbeifahrpegel durch die Maßnahme auch beeinflusst wird. Die Pegelunterschiede durch den Effekt mit SSA fallen in den genannten Terzbändern beim Versuchsgleis MQ2 deutlich höher aus, sie liegen hier im Bereich von 4-5 dB.

In Grafik 8 sind die gemittelten Terzpegel der Vorbeifahrgeräusche von EW3 Zügen auf dem Versuchsgleis MQ1 mit harter Zwischenlage und in Grafik 9 vom Versuchsgleis MQ2 mit weicher Zwischenlage dargestellt. Bei EW3 Wagen fällt der Wirkungsbereich durch SSA ähnlich zu den Lötchberger Zügen aus und liegt im Wesentlichen zwischen 500 bis 2000 Hz.



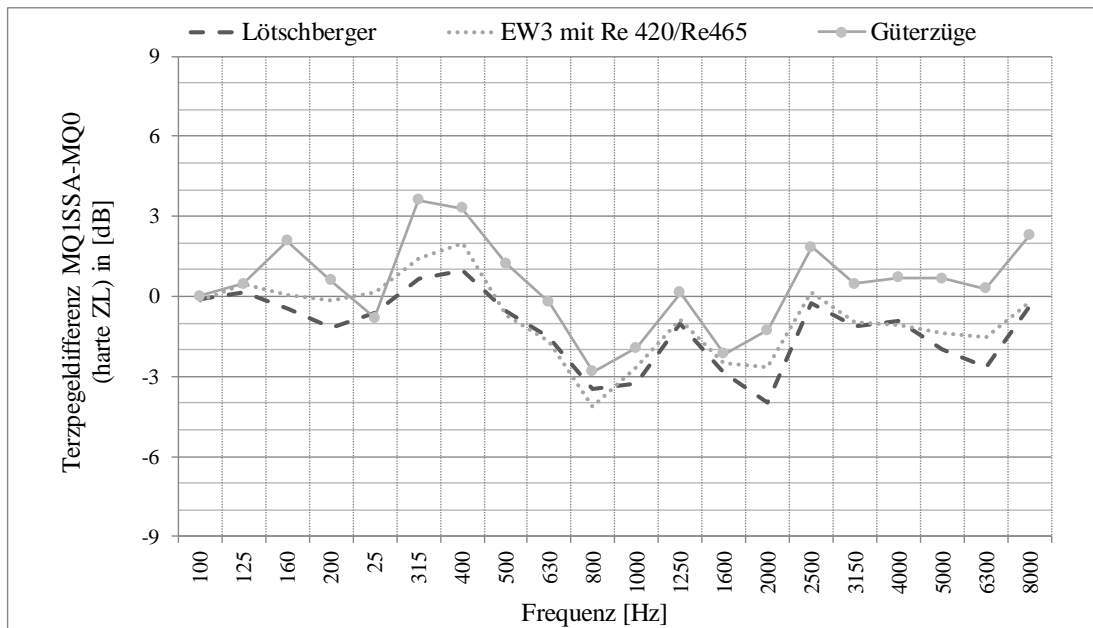
Grafik 8. Differenzspektrum EW3 Züge MQ1-MQ0 (harte Zwischenlage)



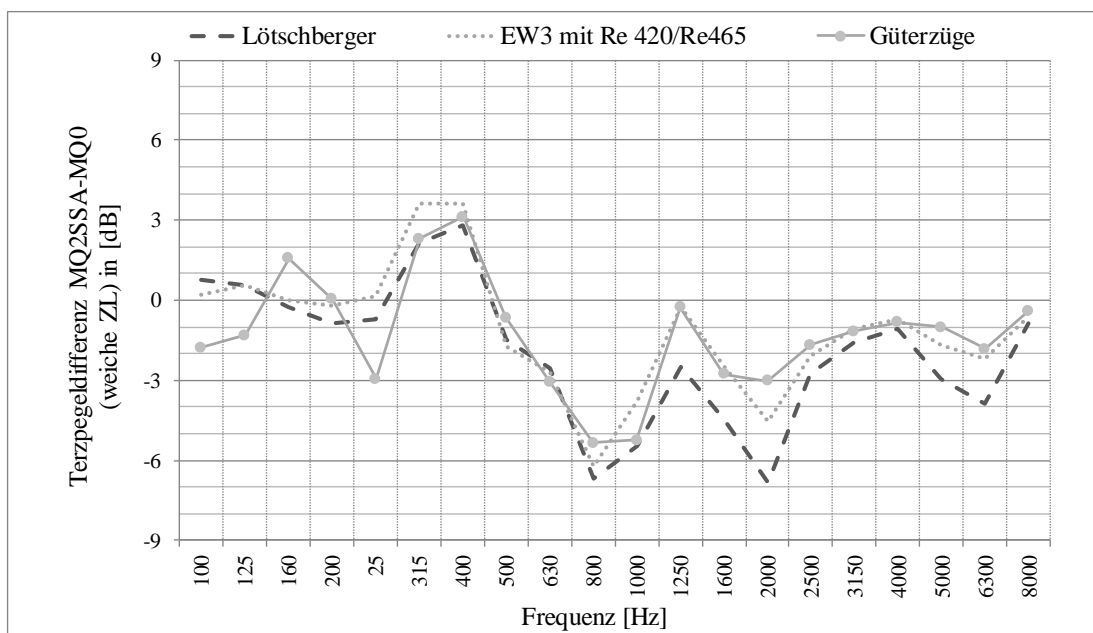
Grafik 9. Differenzspektrum EW3 Züge MQ2-MQ0 (weiche Zwischenlage)

In Grafik 10 und Grafik 11 sind die Differenzspektren dreier Fahrzeugtypen als Vergleich jeweils für das Versuchsgleis MQ1 und MQ2 abgebildet. Negative Werte zeigen hier eine Pegelreduktion und positive Werte einen Pegelanstieg an. Zu beachten ist, dass nur 1 bis 3 Güterzüge gemessen wurden.

Die Lage und Kontur der Terzpegelreduktion bei beiden Versuchsgleisen führt dazu, dass der A-bewertete Vorbeifahrpegel durch die Maßnahme auch deutlich beeinflusst wird. Die Pegelunterschiede durch den Effekt mit SSA fallen beim Versuchsgleis MQ2 mit weicher Zwischenlage generell höher aus und liegen im Bereich von 4-5 dB.



Grafik 10. Differenzspektren MQ1-MQ0 (harte Zwischenlage)



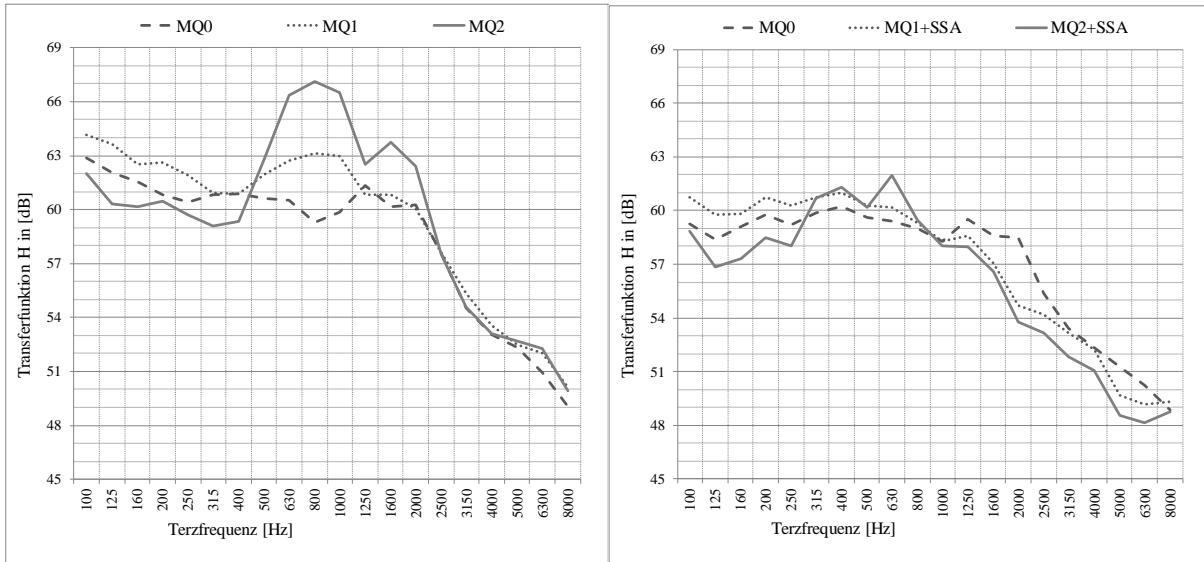
Grafik 11. Differenzspektren MQ2-MQ0 (weiche Zwischenlage)

Allerdings kann bei diesen Fahrzeugen insbesondere auf dem MQ2 beobachtet werden, dass es durch die SSA im Frequenzbereich 315 und 400 Hz zu einer leichten Pegelerhöhung kommt. Möglicherweise ist diese Pegelerhöhung auf die Abstrahlung durch die SSA Elemente selbst zurückzuführen. Der Energieerhaltungssatz gilt auch hier, so muss diejenige Energie, die nicht in Wärme oder Körperschall umgewandelt werden kann, wieder als Luftschall abgestrahlt werden.

Bei 1250 Hz und 2500 Hz ist überdies hinaus durch die pin-pin Mode ein Einbruch in der Wirkung gegeben, so wie das auch bei SSD beobachtet wurde.

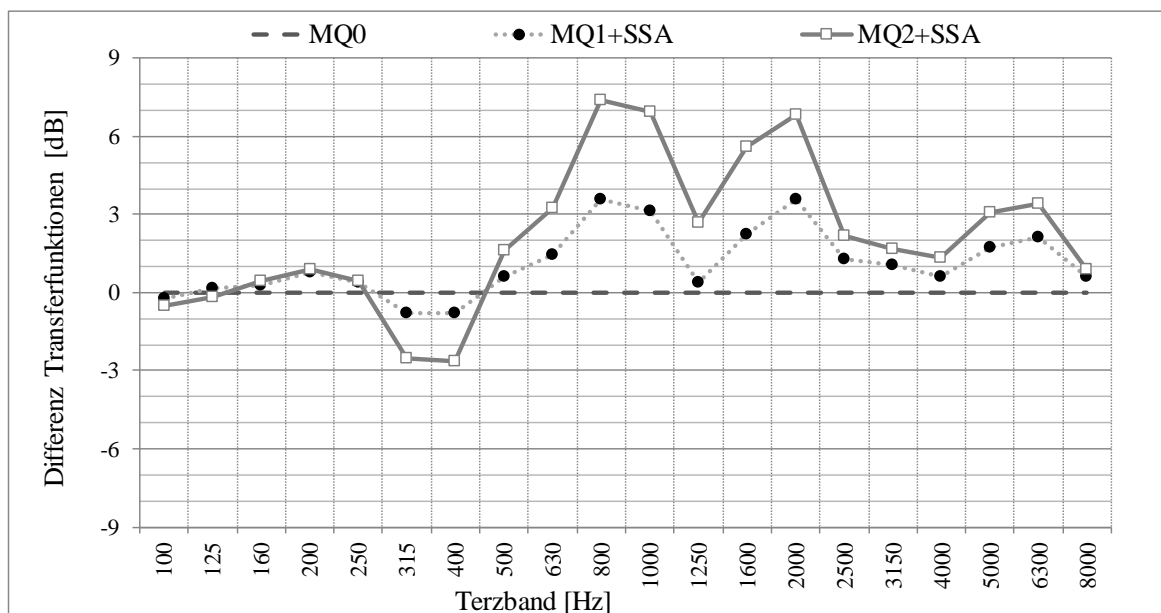
6 ERGEBNISSE IN DEN TRANSFERFUNKTIONEN

Transferfunktionen werden unterteilt in Gleis- und Fahrzeugtransferfunktionen. Gleistransferfunktionen bilden die Eigenschaften von Gleisabschnitten bezogen auf ihre Abstrahlung in Abhängigkeit von der Track Decay Rate ab. Hierfür muss u. a. die Track Decay Rate an jedem Messabschnitt bekannt sein. Fahrzeugtransferfunktionen beschreiben die Abstrahlung des Rollgeräusches über die Räder.



Grafik 12. Transferfunktionen Lötchberger, Nullmessung (links) und Effektmessung (rechts)

Bei den Vorbeifahrermessungen werden der Schalldruck in 7,5 m sowie Beschleunigungen am Schienenfuß erfasst. Aus den Beschleunigungen können die indirekten Radrauheiten der überfahrenden Züge berechnet werden [5], [6]. Die Wellenlängenspektren werden über die Geschwindigkeit in ein Frequenzspektrum transformiert. Für jeden Versuch kann so eine geschwindigkeitsunabhängige Gesamttransferfunktion berechnet werden [7]. Nach diesem Schema wurden für die Lötchberger (EMU mit relativ kleinen Raddurchmessern, Jakobsdrehgestellen und Radscheibenbremsen) jeweils die Gleistransferfunktionen in Grafik 12 berechnet.



Grafik 13. Differenztransferfunktionen Nullmessung - Effektmessung

Die Verläufe der Transferfunktionen liegen bei der Nullmessung stark auseinander, vor allem beim MQ2 mit weicher ZL zeigen sich größere Pegelunterschiede im mittleren Frequenzbereich zwischen 630 Hz bis 2500 Hz. Die Abweichungen zwischen MQ0 und MQ1 sind eher gering und nicht von Bedeutung. Nach der Installation der SSA gleichen sich die Transferfunktionen stark einander an.

Den Wirkungsbereich der SSA ist nach der Differenz der Transferfunktionen von Nullmessung – Effektmessung deutlich erkennbar (Grafik 13). Zwischen 630 und 6300 Hz werden die Terzpegel reduziert, wobei die größten Pegelunterschiede für die Zugart Lötchberger auf MQ1 mit >3 dB und auf MQ2 mit >6 dB bis 2000 Hz ermittelt wurden. Bei weicher ZL kann somit mehr Schienenschallanteil durch SSA absorbiert werden, daher ist hier der deutlich größere Effekt sichtbar.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Die Schienenstegabschirmung von SEKISUI führen zu einer Pegelminderung im Vorbeifahrgeräusch. Zwar wird die TDR nicht in dem Maße wie bei SSD erhöht, die Wirkung ist dennoch auch von der Ausgangssituation im Gleis abhängig. Dies liegt vor allem daran, dass eine Schiene mit weichen Zwischenlagen und geringer Dämpfung mehr Luftschall abstrahlt, als eine Schiene auf harter Zwischenlage.

Die Pegeländerung des Vorbeifahrgeräuschs ist also von der ursprünglichen Dämpfung der Schienen abhängig und die spektrale Wirkung ist für den Bereich zwischen 630 und 6300 Hz mit deutlichsten Effekten bis 2000 Hz zu beobachten. Dies weist Ähnlichkeiten zu Effekten durch Schienenstegdämpfer auf.

Der große Vorteil bei SSA liegt vor allem in der Gewichtsbilanz. Bei 8 kg pro Gleismeter gegenüber 24 kg wird hier weniger Material und Transport für eine Ausrüstung nötig. Mit einer LKW Ladung von 26 t können dann 3.2 km Gleis ausgerüstet werden.

8 LITERATUR

- [1] Anlage 2 der Sechzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung 16. BImSchV). Berechnung des Beurteilungspegels für Schienenwege (Schall 03); BGBl. 2014 Teil 1 Nr. 61, Bonn: 23.12.2014
- [2] DB Netz AG, Innovative Maßnahmen für Lärm- und Erschütterungsschutz am Fahrweg, Schlussbericht 12.06.2012,
- [3] PROSE Messbericht 02-00993, Schienenstegabschirmung 10-2015
- [4] EN 15461: Bahnanwendungen – Schallemission – Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften von Gleisabschnitten für Vorbeifahrtgeräuschmessungen; Deutsche Fassung EN 15461:2008+A1:2010
- [5] Janssens M.H.A., Dittrich M.G., de Beer F.G., Jones C.J.C., Railway noise measurement method for pass-by noise, total effective roughness, transfer functions and track spatial decay, journal of sound and vibration 293 (2006)
- [6] Ooppel M., Indirect Determination of the Track Decay Rate and the Wheel/Rail Roughness from Train Pass-by Rail Accelerations, Thesis MSc. TU Berlin 2011
- [7] BAFU (Hrsg.) sonRAIL Projektdokumentation, 07-2010
- [8] Czolbe C., Sieglitz R. Schienenabsorber in der Praxis - Untersuchung der Wirksamkeit bei Einsatz verschiedener Fahrzeugtypen ZEV Rail 135, 11/12 2011