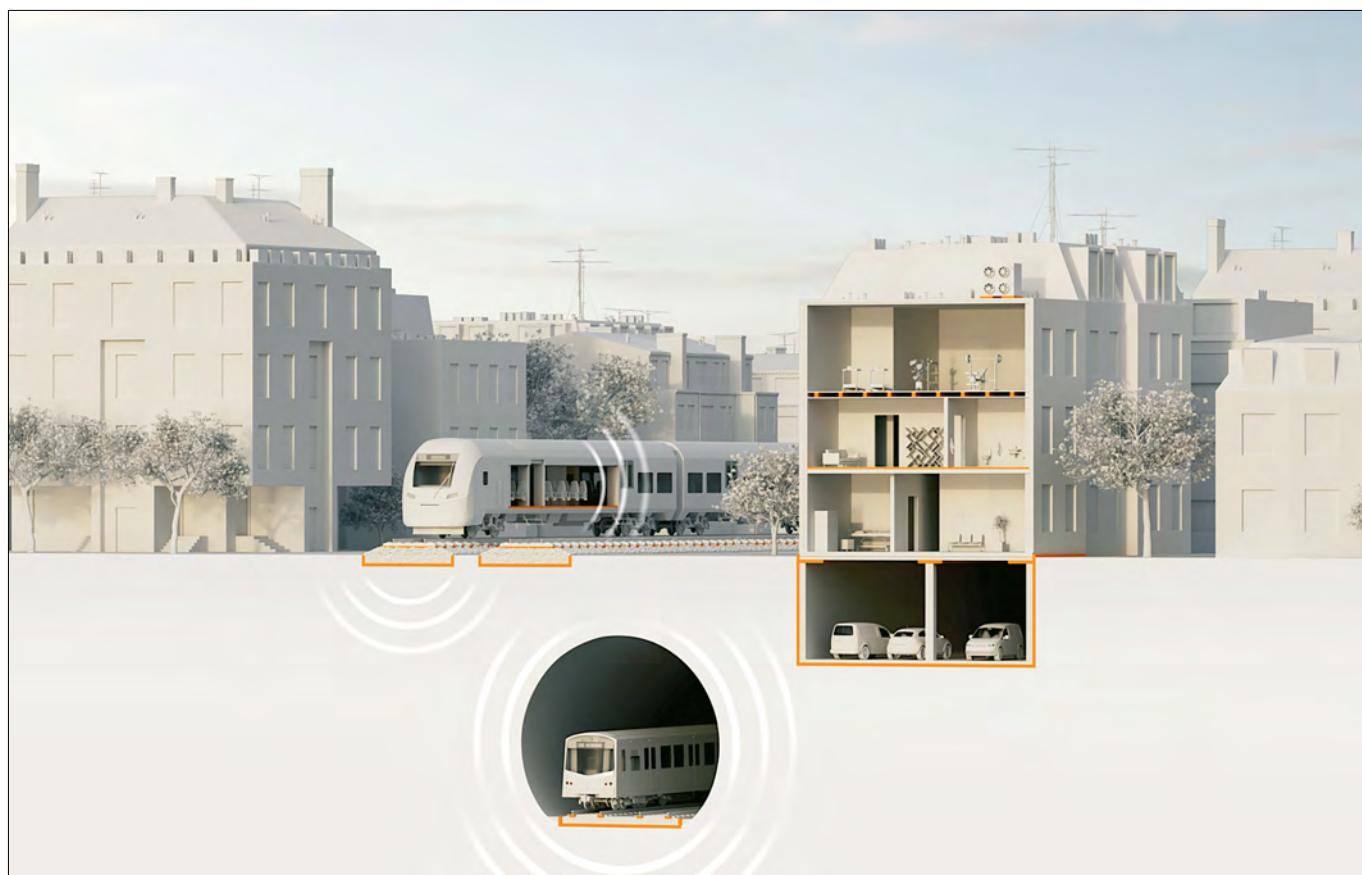


## Schwingungsschutz durch hochelastische Schwellensohlen – Neue Erkenntnisse durch Messungen im Gleis der ÖBB

Vibration Mitigation with Highly Elastic Under Sleeper Pads – New Findings from Measurements in ÖBB Track



# Schwingungsschutz durch hochelastische Schwellensohlen – Neue Erkenntnisse durch Messungen im Gleis der ÖBB

## Vibration Mitigation with Highly Elastic Under Sleeper Pads – New Findings from Measurements in ÖBB Track

Dr. Nishant Kumar, M.Sc, Dipl.-Ing. Martin Quirschmair, Ing. Andreas Augustin, Bürs (Österreich), Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Harald Loy, Innsbruck (Österreich), Dipl.-Ing. Dr. Günther Achs, Dipl.-Ing. Hanno Töll, Dipl. Ing. Roland Fischer, Wien (Österreich)

### Zusammenfassung

Schwellensohlen haben bereits in der Vergangenheit ihre positive Wirkung auf die Gleislage gezeigt. Durch die Verwendung von hochelastischen Schwellensohlen ergibt sich zudem eine wirtschaftlich attraktive Möglichkeit zur Reduzierung von Körperschall und Erschütterungen. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse von Schwingungsmessungen vorgestellt, bei denen ein Holzschwellengleis in ein besohltes Betonschwellengleis umgebaut wurde. Der Einbau erfolgte auf einem Streckenabschnitt der ÖBB unter der Vorgabe, dass die Erschütterungen nicht zunehmen. Die Schwingungsmessungen wurden von zwei voneinander unabhängigen Firmen, FCP (FCP Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH) und Getzner (Getzner Werkstoffe GmbH, Bürs), durchgeführt. Von beiden Parteien wurde im Frequenzbereich um 63 Hz (ein in der Literatur zum Vergleich herangezogener Wert) für zwei verschiedene Zugklassen eine Reduktion der Schwingungen im Abschnitt mit Schwellensohlen messtechnisch festgestellt. Darüber hinaus wurde eine spürbare Reduzierung der Schwingungen im unteren Frequenzbereich gemessen. Diese Ergebnisse zeigen, dass Körperschall und Erschütterungen durch hochelastische Schwellensohlen deutlich reduziert werden können.

### Abstract

Under Sleeper Pads have been showing their positive effects on track geometry. Additionally, highly elastic Under Sleeper Pads are an economically attractive solution for reducing structure-borne noise and vibrations. This article presents the results of vibration measurements in which a track with wooden sleepers was converted to a track with padded concrete sleepers. The installation was carried out on a ÖBB track section with the aim that the vibration levels do not increase. The vibration measurements were carried out by two independent parties: FCP (FCP Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH) and Getzner (Getzner Werkstoffe GmbH, Bürs). In the frequency range around 63 Hz (a value often used for comparison in the literature), a reduction in vibration levels was observed in the section with Under Sleeper Pads by both parties for two different train classes. In addition, a significant reduction in vibration levels was measured in the low frequency range. These results show that structure-borne noise and vibrations can be significantly reduced by using highly elastic Under Sleeper Pads.

### 1 Einleitung

Fahrende Züge erzeugen durch den Kontakt zwischen Rad und Schiene mechanische Schwingungen. Diese Schwingungen (Emissionen) breiten sich wellenförmig im Boden aus (Transmission) und werden am Empfangsort oft als stören-

de Immissionen empfunden (*Bild 1*). Erschütterungen können sich nachteilig auf Anwohner und schutzwürdige Bauwerke auswirken. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Erschütterungen durch Resonanzeffekte verstärkt werden oder abgestrahlter Körperschall als sekundärer Luftschall innerhalb von Gebäuden auf-

tritt. Lärm und Erschütterungen sind allgegenwärtige und unerwünschte Begleiterscheinungen der Schienenmobilität. Die Erhaltung und Verbesserung der Lebensqualität, insbesondere in schnell wachsenden Ballungsräumen, erfordert daher geeignete Maßnahmen. Es ist bekannt, dass störende Vibrationen am effektiv-



**Bild 1: Schwingungsübertragung von Eisenbahnstrecken an deren Umgebung**

ten durch Maßnahmen an der Quelle reduziert werden können [1].

Elastische Schichten, wie z. B. Unterschottermatten, reduzieren nachweislich die vom Gleis ausgehenden Schwingungen. Die Formel der Eigenfrequenz des Einmassenschwingers, bei der  $m$  die schwingende Masse,  $k$  die Steifigkeit und  $f_0$  die Eigenfrequenz darstellt, hilft hierbei den Einfluss der unterschiedlichen Komponenten zu verstehen:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

Vereinfacht ausgedrückt verringert sich bei einem Einmassenschwinger durch die Einführung elastischer Schichten die Steifigkeit und damit die Eigenfrequenz, wie in Formel (1) dargestellt. Da in diesem Modell die schwingungsmindernde Wirkung für Frequenzen größer  $\sqrt{2}f_0$  eintritt, führt dieser Effekt zu einer Verringerung der Schwingungsabstrahlung vom Gleis in die Umgebung im dominan-

ten Frequenzbereich [2, 3]. Eine höhere Masse senkt ebenfalls die Eigenfrequenz und verbessert damit die Schwingungsisolierung. Dies bietet sich beim Einbau von Unterschottermatten an, da neben der Steifigkeitsreduzierung auch die Masse des Schotters eine vorteilhafte Rolle spielt. Allerdings ist der nachträgliche Einbau einer Unterschottermatte oft schwierig und zeitaufwendig, da der gesamte Gleisrost und der Schotter entfernt werden müssen.

Der Einsatz von Elastizität durch Schwellensolehnen im Gleis führt im Frequenzbereich von 40 Hz bis 200 Hz in der Regel zu einer Reduktion der Schwingungspegel von 4 dB bis 7 dB [4, 5, 6]. Diese Ergebnisse stimmen sehr gut mit den mathematischen Vorhersagen des Impedanzmodells überein [2, 3]. Um den Körperschall bestmöglich zu reduzieren, lohnt es sich jedoch, hochelastische Schwellensolehnen mit einem geringen mechanischen Verlustfaktor in Betracht zu

ziehen, um Dämmwerte von 10 dB bis 14 dB zu erreichen [4]. Hochelastische Schwellensolehnen können somit Erschütterungen deutlich reduzieren und stellen eine vergleichsweise einfache und kostengünstige Lösung dar, da lediglich besohlte Schwellen eingebaut werden müssen, ohne dass kosten- und zeitintensive Umbaumaßnahmen durchgeführt werden müssen.

## 2 Ausgangslage und Ziel

Um den Anforderungen an einen modernen, emissionsarmen Schienenweg gerecht zu werden, wurde der Oberbau der ÖBB-Strecke Lustenau-Lauterach in Vorarlberg modernisiert. Ziel der ÖBB war es, nach dem Umbau maximal das gleiche Erschütterungsniveau wie vor dem Umbau vorzufinden. In diesem Artikel werden die durchgeführten Schwingungsmessungen vor und nach der Modernisierungsmaßnahme vorgestellt.



Der Umbau erfolgte von Holzschwellen auf beschlote Betonschwellen. Aufgrund der Anforderungen an den Erschütterungsschutz wurden zur Reduzierung der Erschütterungsemissionen hochelastische Schwellensohlen (Bild 2) des Typs SLS 1308 G in die sanierten Gleisoberbauabschnitte eingebaut. Die erschütterungsmindernden Eigenschaften des Gleises mit den hochelastischen Schwellensohlen sollten durch Messung der Erschütterungspegel vor und nach dem Umbau und der daraus resultierenden Einfügungsdämmung nachgewiesen werden. Zusätzlich wurde eine Referenzstrecke messtechnisch untersucht, bei der nur der Umbau von Holz auf Betonschwellen ohne Schwellensohlen erfolgte.

### 3 Beschreibung der Messungen

Die Messungen wurden an drei geraden Streckenabschnitten vor und nach dem Umbau durchgeführt. In Tabelle 1 werden die drei Messstellen (MS) im Detail vorgestellt. Bild 3 zeigt die drei Messstellen auf der Karte (schwarze Punkte). An den Messstellen MS1 und MS2 wurde das Gleis von Holzschwellen auf beschlote Betonschwellen umgebaut. Konkret wurden an den Messstellen MS1 und MS2 Schwellensohlen des Typs SLS 1308G ( $C_{\text{stat}} = 0,075 \text{ N/mm}^3$  nach EN 16730:2016,



**Bild 2: Schwellensole auf einer Betonschwelle aufgebracht**

Kategorie TC3), eingebaut. Die Messstelle MS3 wurde von Holzschwellen auf Betonschwellen ohne Schwellensohlen umgebaut. Die Messstellen MS1 und MS2 haben eine Streckenlänge von jeweils 200 m.

FCP führte die Messungen an den Messstellen MS1 und MS2 durch, wo nach dem Umbau Betonschwellen mit hochelastischen Schwellensohlen eingebaut wurden. Getzner führte die Messungen an der Messstelle MS2 durch, die von Holzschwellen auf Betonschwellen mit hochelastischen Schwellensohlen umgebaut wurde, und an der Messstelle MS3, die von Holzschwellen auf Betonschwellen ohne Schwellensohlen umgebaut wur-

de. Die messtechnische Untersuchung an der Stelle MS3 erfolgte der Vollständigkeit halber, um ausschließlich den Einfluss des Schwellentyps (Holzschwelle gegenüber Betonschwelle) zu untersuchen. Somit wurden an der Messstelle MS2 Messungen sowohl von FCP als auch von Getzner durchgeführt, was einerseits der Vergleichbarkeit und andererseits der Genauigkeit bzw. Übertragbarkeit der Messergebnisse diente.

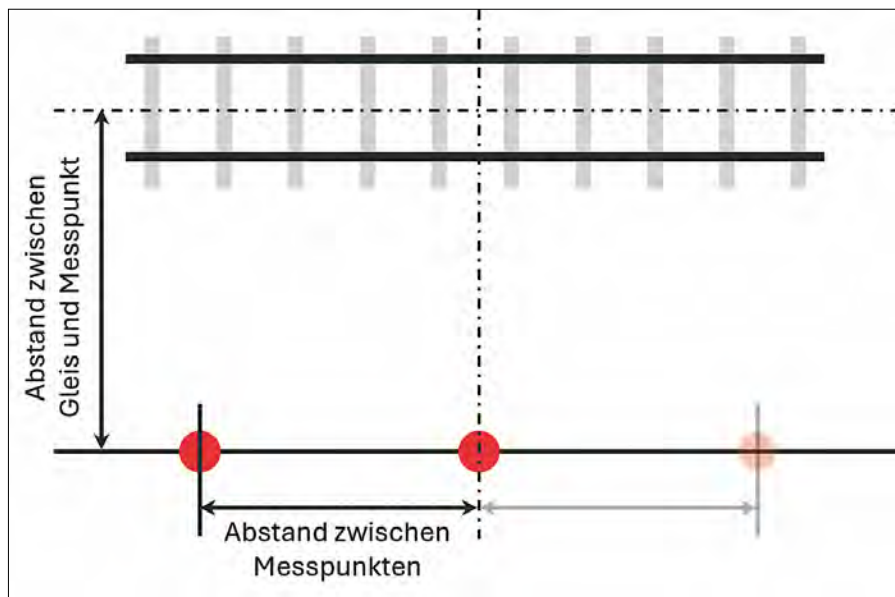
Die Messungen vor Umbau der Strecke fanden im März 2021 statt. Die Messungen nach Umbau der Strecke und einer entsprechenden Konsolidierungsphase erfolgten etwa ein Jahr später im April 2022. Beide Messungen, vor und nach dem Um-

| Messstelle | Streckenart   | Umbau von  | Messungen von   |
|------------|---------------|--|-----------------|
| MS1        | Gerades Gleis | Holz- auf Betonschwellen mit Schwellensohlen des Typs SLS 1308 G | FCP             |
| MS2        | Gerades Gleis | Holz- auf Betonschwellen mit Schwellensohlen des Typs SLS 1308 G | FCP und Getzner |
| MS3        | Gerades Gleis | Holz- auf Betonschwellen ohne Schwellensohlen                    | Getzner         |

**Tabelle 1: Übersicht der Messstellen inkl. Durchführungsverantwortung für die Schwingungsmessungen**



**Bild 3: Messstellen an der Strecke Lustenau-Lauterach mit Schwellensohlen (MS1 und MS2) und ohne Schwellensohlen (MS3)**



**Bild 4:** Beschreibung der Messpunkte für die Schwingungsmessungen an einer Messstelle (MS)

bau, wurden tagsüber zwischen 10:00 bis 17:00 Uhr bei sonnigem Wetter und Temperaturen um 21 °C durchgeführt.

Die Schwingungsmessungen wurden nach den einschlägigen Normen [7, 8] durchgeführt, wobei die Abstände der Messpunkte den in den Normen vorgegebenen Werten entsprachen. Bei FCP wurden an jeder Messstelle zwei Messpunkte gemessen, bei Getzner waren es drei Messpunkte, wie in *Bild 4* dargestellt ist. Es wurden mehr Messpunkte verwendet, um die Aussagekraft der Schwingungsmessungen zu erhöhen.

Die Streckenabschnitte wurden von Fahrzeugen mit unterschiedlichen Radsatzlasten befahren, so dass die Messungen für zwei Fahrzeugtypen (Talent und Astoro ETR610) durchgeführt wurden (*Bild 5*), die eine Geschwindigkeit von 60 km/h im Messbereich hatten. Auf diese Wei-

se konnte der Einfluss der verschiedenen Fahrzeugtypen auf die resultierende Erschütterungsminderung analysiert werden. Die Schwingungen neben dem Gleis wurden wie nachfolgend beschrieben gemessen.

### 3.1 Dynamische Analyse und grundsätzliches Vorgehen zur Messauswertung

Die Schwingungen wurden im Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz gemessen (Max-Hold-Methode, jeweils ganzer Zug) und mit dem Referenzwert  $5 \times 10^{-8}$  m/s in dB umgerechnet [7, 8]. *Bild 6* zeigt die gemessenen Schwingungspegel an der Messstelle MS2 mit Holzschwellen vor dem Umbau, zunächst exemplarisch für alle vorbeifahrenden Talent-Züge. Außerdem sind die an dieser Messstelle gemes-

senen minimalen, maximalen und mittleren Schwingungspegel für Talent-Züge dargestellt. Die nach dem Umbau gemessenen Schwingungspegel für Betonschwellen mit hochelastischer Schwellensole sind in *Bild 7* dargestellt. In diesem Abschnitt des Artikels werden nur die Messungen von Getzner an der Messstelle MS2 vor und nach dem Umbau besprochen, um das Bewertungsverfahren zu beschreiben, das später für unterschiedliche Vergleichsmessungen herangezogen wurde.

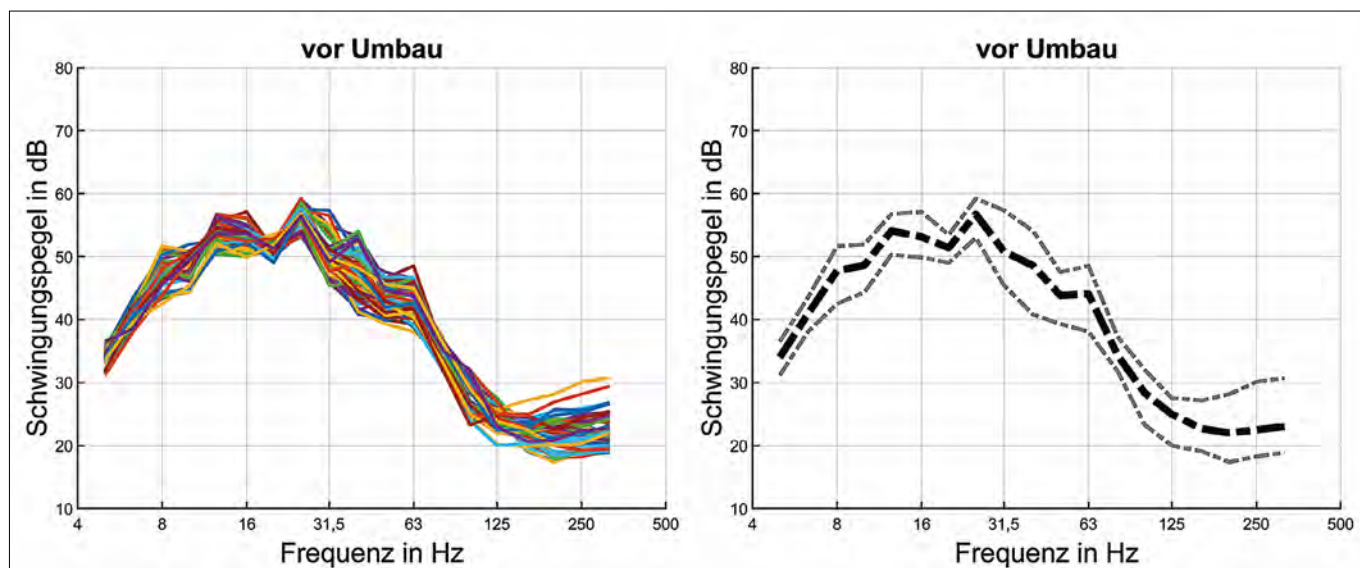
Der Vergleich der entsprechenden mittleren Schwingungspegel für die Messungen vor und nach dem Umbau ist in *Bild 8* dargestellt. Annähernd im gesamten Frequenzbereich von 4 Hz bis 315 Hz liegen die mittleren Schwingungsgeschwindigkeiten nach dem Umbau auf Betonschwellen mit Schwellensole des Typs SLS 1308 G niedriger als beim ursprünglichen Holzschwellenoberbau. Lediglich im Bereich der zu erwartenden Eigenfrequenz des Oberbausystems bei ca. 31,5 Hz liegen die Schwingungsgeschwindigkeiten auf nahezu gleichem Niveau. Erfahrungsgemäß sind Frequenzen zwischen 40 Hz und 200 Hz die Hauptursache für sekundären Luftschall in benachbarten Gebäuden [4]. Bei der in der Literatur häufig betrachteten Terzmittenfrequenz von 63 Hz konnte der Durchschnittspegel bei einer Zuggeschwindigkeit von 60 km/h von 44,1 dB auf 34,0 dB reduziert werden.

Es ist zu beachten, dass die Schwingungspegel über 160 Hz in beiden Situationen – vor und nach dem Umbau – sehr niedrig sind, wie *Bild 8* zeigt. Daher ist die Betrachtung der Einfügungsdämmung für Frequenzen über 160 Hz nicht aussagekräftig. Zusätzlich ist zu beachten, dass aufgrund der unterschiedlichen In-

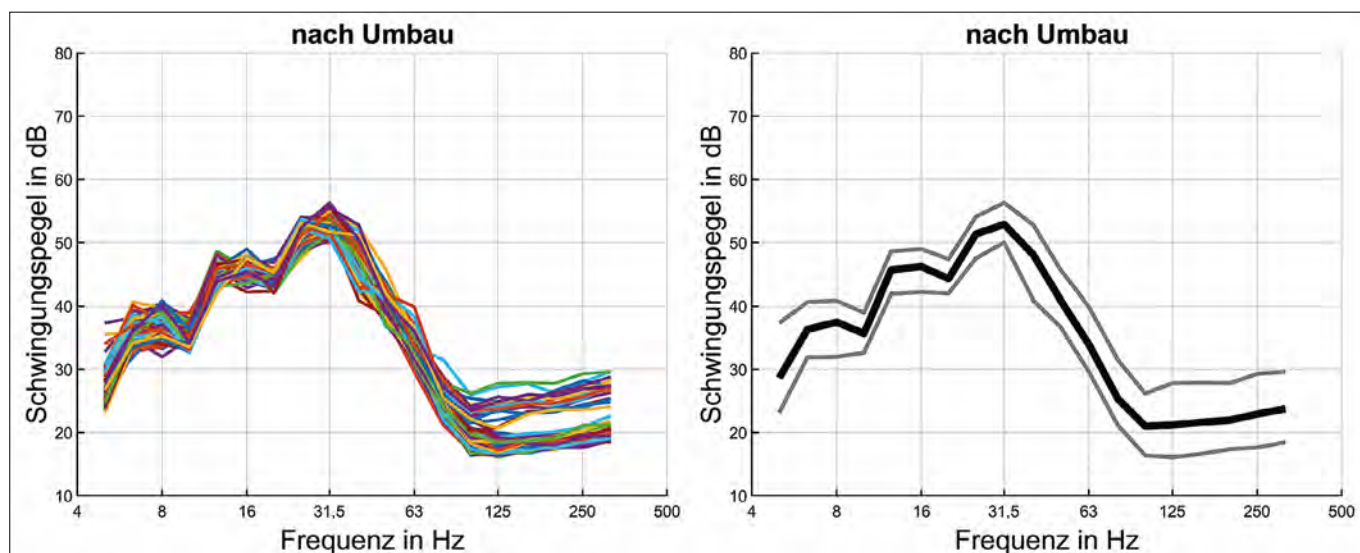


**Bild 5:** Messungen mit den Fahrzeugen Talent (links) und Astoro ETR610 (rechts)





**Bild 6:** Von Getzner gemessene Schwingungspegel (Referenzwert  $5 \times 10^{-8}$  m/s) aller Talent-Züge an der Messstelle MS2 für das Gleis mit Holzschwellen vor dem Umbau (links); Minimum, Maximum und Durchschnitt der Talent-Züge (rechts)

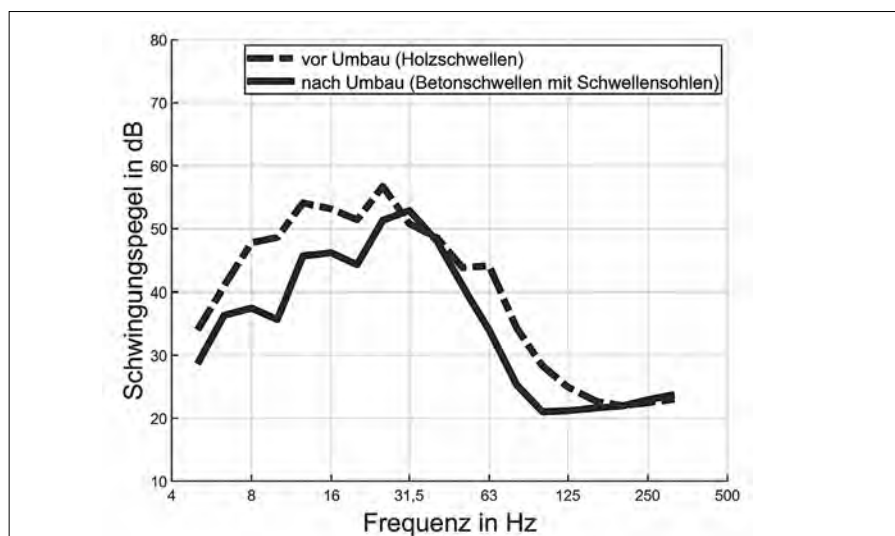


**Bild 7:** Von Getzner gemessene Schwingungspegel (Referenzwert  $5 \times 10^{-8}$  m/s) aller Talent-Züge an der Messstelle MS2 für das Gleis mit besohlten Betonschwellen nach dem Umbau (links); Minimum, Maximum und Durchschnitt der Talent-Züge (rechts)

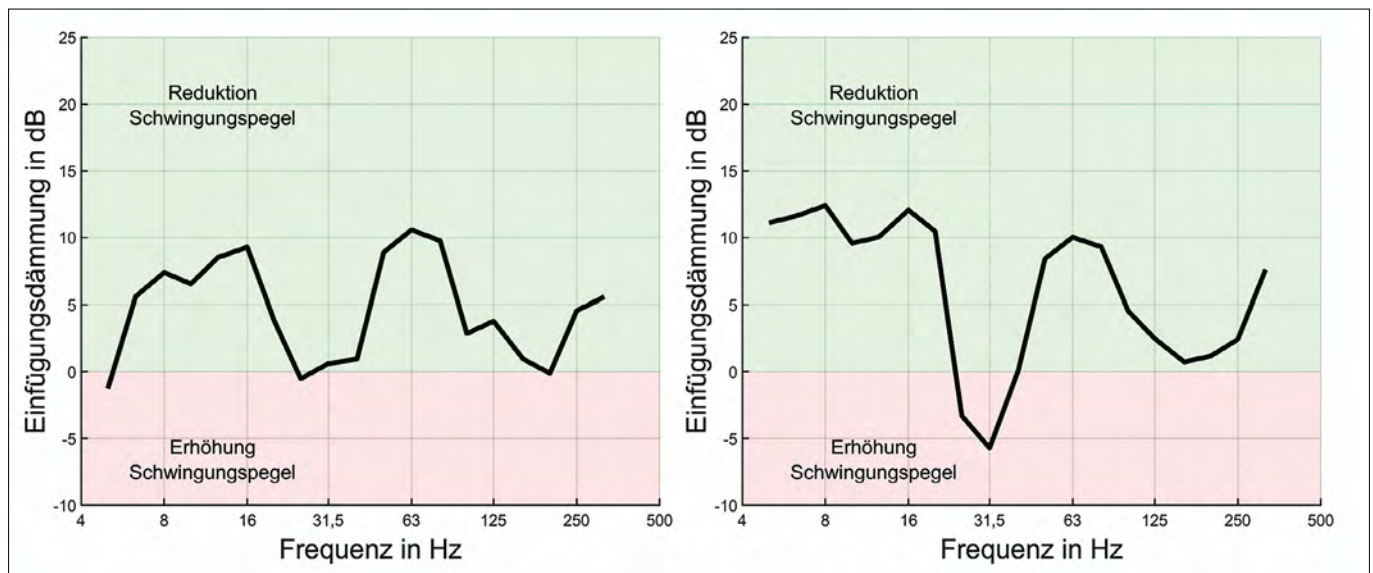
strumentierungen mittels Erdnagel (Bodenanker) und Asphalt (Bodenbefestigung) Frequenzen über 100 Hz für die Auswertung nicht betrachtet werden. Nach der Norm DIN 45672-2, Schwingungsmessungen an Schienenverkehrswegen, werden für allgemeine Anwendungen eine untere Terzmittenfrequenz von 4 Hz und eine obere Terzmittenfrequenz von 250 Hz gewählt [9]. Im besonderen Fall der Beurteilung der Einwirkung von Schwingungen auf den Menschen nach DIN 4150-2 ist der Frequenzbereich auf 80 Hz nach oben begrenzt [10].

### 3.2 Messergebnisse

Im letzten Schritt wurde die Einfügdämmung als Vergleich zwischen der Si-



**Bild 8:** Von Getzner gemessener durchschnittlicher Schwingungspegel an Messstelle MS2 (Referenzwert  $5 \times 10^{-8}$  m/s) für Talent-Züge, vor Umbau (Holzschwellen) und nach Umbau (Betonschwellen mit Schwellensohlen)



**Bild 9:** Von FCP gemessene Einfügungsdämmung an Messstelle MS1, Umbau von Holz- auf Betonschwellen mit Schwellensohlen, Zugtyp Talent (links) und Astoro ETR610 (rechts)

tuation vor und nach dem Umbau ermittelt, dargestellt als Differenz der jeweiligen Schwingungspegel. Dies kann durch Subtraktion der Schwingungspegelkurven erfolgen, siehe *Bild 8*. Die Einfügungsdämmung, ausgedrückt in dB, ist ein Maß für die schwingungsisolierende Wirkung einer Maßnahme. Positive Werte der Einfügungsdämmung bedeuten eine Verringerung der Schwingungspegel und damit eine positive Wirkung, während negative Werte der Einfügungsdämmung eine Zunahme der Schwingungspegel und damit eine negative Wirkung bedeuten.

Die Normen beschreiben die Einfügungsdämmung als die Differenz der Schwingungsgeschwindigkeiten zweier Oberbauten, bei denen eine oder mehrere Komponenten unterschiedlich sind, während die anderen Komponenten gleichbleiben [7]. Dies ist im vorliegenden Fall nur teilweise gegeben, da das Gleis mit Holzschwellen zum Zeitpunkt der Messungen im Jahr 2021 bereits in Betrieb war, während das Gleis mit Betonschwellen (mit und ohne Schwellensohlen) nach dem Umbau und den Schwingungsmessungen im Jahr 2022 relativ neu war. Im Folgenden werden die von den unterschiedlichen Parteien an den verschiedenen Messstellen gemessenen Einfügungsdämmungen beschrieben.

*Bild 9* (links) zeigt die Einfügungsdämmung (als Mittelwert aller Messpunkte an der Messstelle), die sich durch den Umbau von Holzschwellen auf Betonschwellen mit Schwellensohlen an der Messstelle MS1 für die von FCP gemessenen

senen Talentzüge ergibt. Die Ergebnisse der Einfügungsdämmkurve zeigen eine deutliche Verbesserung im Bereich der für den Sekundärschall relevanten Frequenzen von 40 Hz bis 200 Hz. Die größte Verbesserung wurde mit 10,1 dB bei der laut Literatur relevanten Terzmittenfrequenz von 63 Hz erreicht. Nur im Bereich der zu erwartenden Systemeigenfrequenz von 31,5 Hz ist eine leichte Abnahme der Wirksamkeit zu beobachten. Für den Zugtyp Astoro ETR610 sind die Ergebnisse für die Einfügungsdämmung ähnlich wie beim Talent-Zug (*Bild 9*, rechts). Auch hier konnte eine Reduktion des Schwingungspegels um ca. 10 dB bei 63 Hz beobachtet werden, wenn Betonschwellen mit hochelastischen Schwellensohlen verwendet werden.

Als nächstes ist die Messung der Einfügungsdämmung beim Wechsel von Holzschwellen auf Betonschwellen mit Schwellensohlen an der Messstelle MS2 dargestellt. Hier wurden die Messungen von beiden Parteien unabhängig voneinander durchgeführt. *Bild 10* und *Bild 11* zeigen die Ergebnisse der von FCP bzw. Getzner gemessenen Einfügungsdämmung. Die Ergebnisse der Einfügungsdämmkurve an der Stelle MS2 zeigen, analog zu MS1, eine deutliche Verbesserung im Bereich der sekundärschallrelevanten Frequenzen. Die größte Verbesserung wurde mit 9 dB bis 10 dB bei der laut Literatur relevanten Terzmittenfrequenz von 63 Hz erreicht. Bis 100 Hz sind die Ergebnisse für beide Zugtypen recht ähnlich, wobei im gesamten Frequenzbereich mit

Ausnahme der Systemeigenfrequenz bei ca. 31,5 Hz eine positive Einfügungsdämmung von ca. 10 dB zu beobachten ist. An dieser Messstelle MS2 ist unterhalb von 125 Hz eine große Ähnlichkeit zwischen den, unabhängig voneinander von FCP und Getzner für zwei verschiedene Zugtypen, durchgeführten Messungen zu erkennen. Es ist festzustellen, dass sich die Messergebnisse von FCP und Getzner oberhalb von 125 Hz für die Talent-Züge unterscheiden.

Die Ergebnisse oberhalb von 125 Hz, die in *Bild 10* und *Bild 11* grau schattiert dargestellt sind, wurden vermutlich durch die Ankopplung (Instrumentierung auf dem Erdnagel) beeinflusst und sind daher nicht vergleichbar. Außerdem sind die Schwingungspegel auch oberhalb von 125 Hz relativ niedrig, wie in *Bild 8* zu sehen ist. Diese unabhängigen Messungen bestätigen, dass hochelastische Schwellensohlen zur Verringerung des durch die dynamische Rad-Schiene-Interaktion verursachten Körperschalls eingesetzt werden können. Die Messergebnisse der Einfügungsdämmung stimmen mit einer weiteren Untersuchung aus Polen [11] überein, bei der Betonschwellen mit dem Sohlentyp SLS 1308 G zur Schwingungsminimierung eingesetzt wurden und eine Einfügungsdämmung von 11,6 dB bei 63 Hz gemessen wurde.

*Bild 12* (links und rechts) zeigt schließlich die Einfügungsdämmung an der Stelle MS3, die sich durch den Wechsel von Holzschwellen auf Betonschwellen (ohne Schwellensohlen) ergibt. Die Messun-



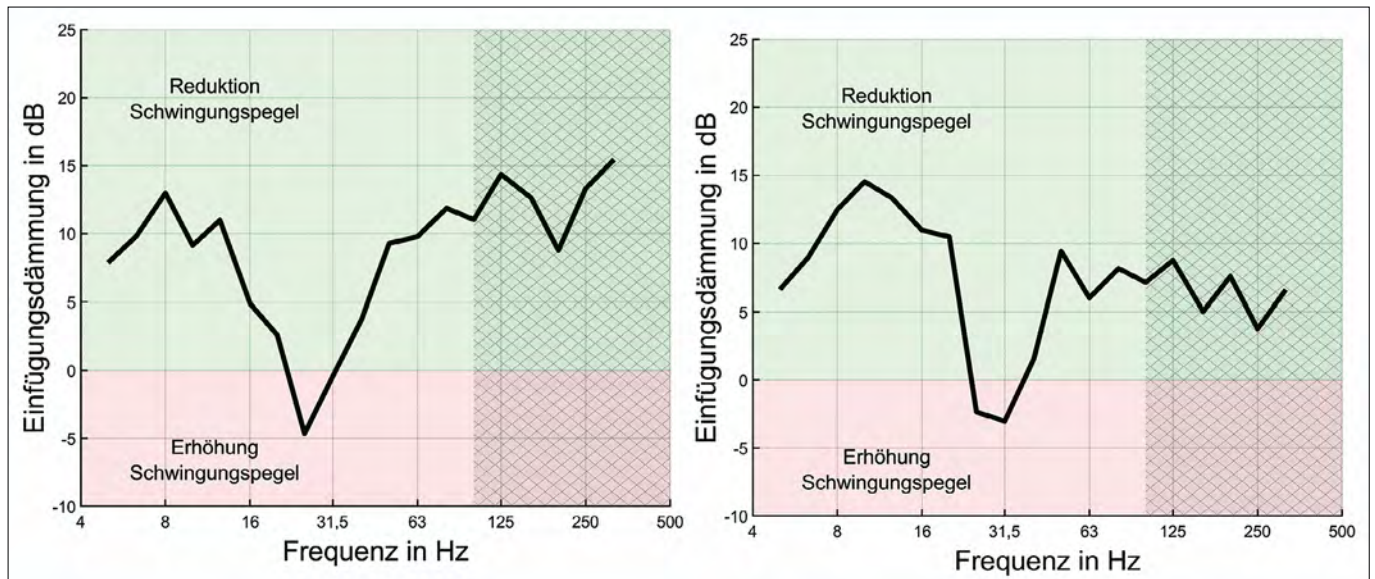


Bild 10: Von FCP gemessene Einfügungsdämmung an Messstelle MS2, Umbau von Holz- auf Betonschwellen mit Schwellensohlen, Zugtyp Talent (links) und Astoro ETR610 (rechts)

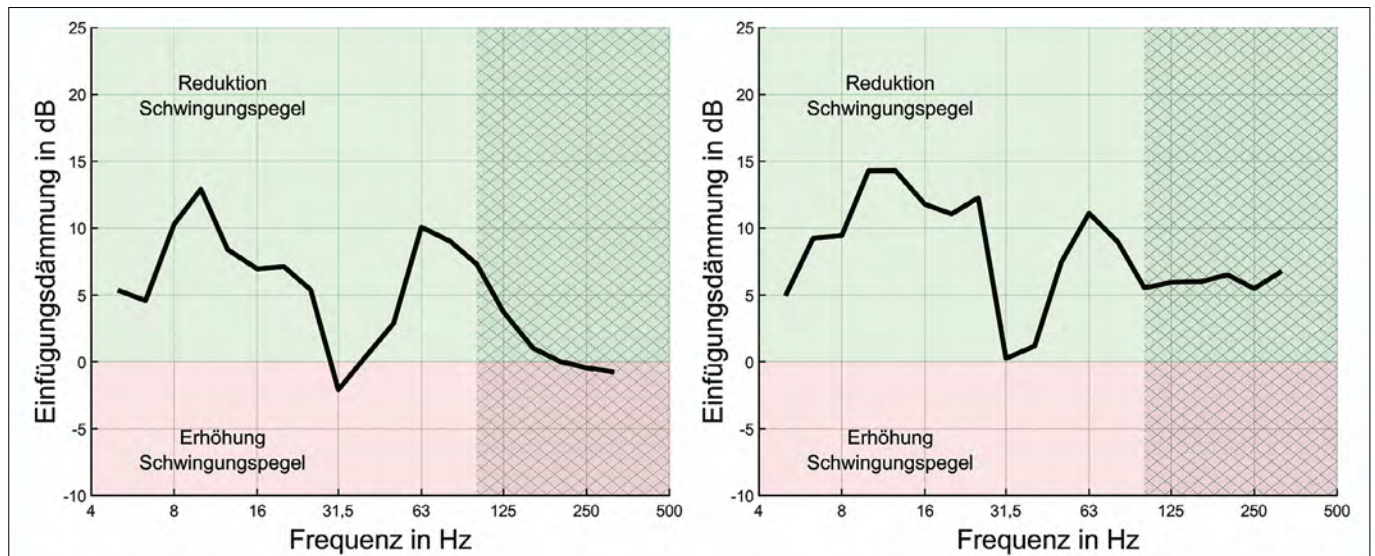


Bild 11: Von Getzner gemessene Einfügungsdämmung an Messstelle MS2, Umbau von Holz- auf Betonschwellen mit Schwellensohlen, Zugtyp Talent (links) und Astoro ETR610 (rechts)

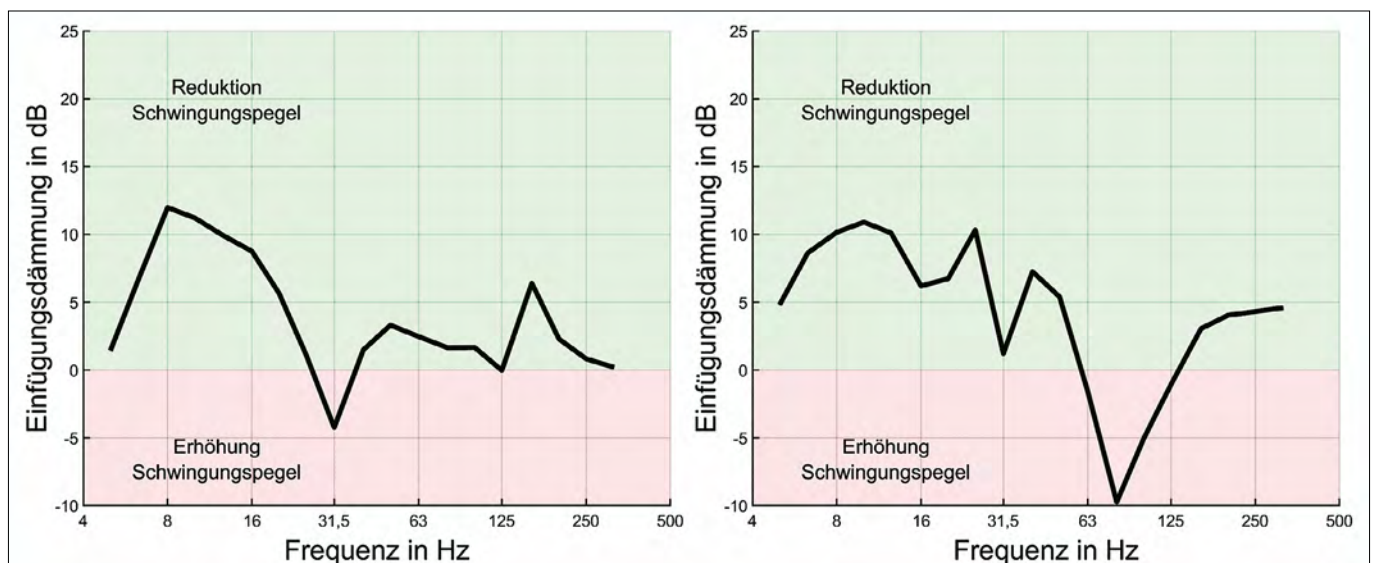


Bild 12: Von Getzner gemessene Einfügungsdämmung an Messstelle MS3, Umbau von Holz- auf Betonschwellen ohne Schwellensohlen, Zugtyp Talent (links) und Astoro ETR610 (rechts)



gen an dieser Messstelle wurden ausschließlich von Getzner durchgeführt. Bei 63 Hz ist eine vernachlässigbare Veränderung (0 dB bis 2 dB) der Einfügungsdämmung festzustellen. Die Betrachtung der Messungen gilt für beide Zugtypen, Talent und Astoro ETR610.

#### 4 Reduzierte Schwingungen durch High-End Elastomere

Auf der Grundlage, der im vorangegangenen Kapitel dargestellten Ergebnisse für die drei Messstellen können folgende Aussagen getroffen werden:

- Im Bereich der Terzmittenfrequenz von 63 Hz, die in der Literatur oftmals vergleichend herangezogen wird, variiert das Einfügungsdämmmaß mit Schwellensohlen in Abhängigkeit der Zuggattungen zwischen 9,8 dB und 11,1 dB. Dies entspricht einem Isolationsgrad bzw. einer Erschütterungsreduktion von ~69 %.
- Im Bereich der zu erwartenden Oberbaueigenfrequenz (hier bei ca. 31,5 Hz) kommt es zu einer leichten Resonanzverstärkung von im Mittel ca. 2 dB. Diese ist relativ gering. Hier dürfte sich die gute Dämmwirkung des Schotters positiv auswirken.
- Ab 31,5 Hz ist eine positive Einfügungsdämmung festzustellen. Die Minderungen liegen im Mittel über 5 dB, stellenweise sogar bei 12,5 dB. Dies ist wahrscheinlich auch auf die verbesserte Gleislage nach dem Umbau zurückzuführen. Die Schwellensohlen sorgen dafür, dass dieser gute Oberbauzustand über eine, im Vergleich zu den unbesohnten Abschnitten, längere Zeit aufrecht erhalten bleiben kann.
- Im Bereich des abgestrahlten Körperschalls bzw. sekundären Luftschalls, der üblicherweise zwischen 40 Hz und 200 Hz signifikant sein kann, ist die Dämmleistung sehr hoch (im Mittel 10,1 dB bei 63 Hz). Allerdings fällt die Dämmleistung bei 160 Hz stark ab. Dies ist erfahrungsgemäß auf die weichen Zwischenlagen mit einer Steifigkeit von 100 kN/mm zurückzuführen (Zweimassenschwinger-Effekt).
- Bei der Messstelle MS3, wo der Umbau von Holz- auf Betonschwellen ohne Schwellensohlen erfolgte, schwankte

die Einfügungsdämmung bei 63 Hz zwischen 0 dB und 2 dB für die beiden Zug-Typen. Es wurde kaum eine Veränderung festgestellt, während die Verwendung von Schwellensohlen zu einer erheblichen Verringerung der Schwingungspegel führte.

#### 5 Zusammenfassung und Schlussbetrachtung

Die Schwingungsmessungen wurden auf der Strecke Lustenau-Lauterach vor dem Umbau und nach dem Umbau durchgeführt. Ziel der ÖBB war es, durch den Umbau von Holz- auf Betonschwellen die Erschütterungspegel zumindest nicht zu erhöhen. Dazu wurden Betonschwellen mit hochelastischen Polyurethan-Schwellensohlen vom Typ SLS 1308 G eingebaut.

Für die Erschütterungsmessungen wurden drei gerade Gleisabschnitte ausgewählt: die Messstellen MS1 und MS2, die von Holzschwellen auf Betonschwellen mit Schwellensohlen umgebaut wurden, und MS3, die nur von Holzschwellen auf Betonschwellen ohne Schwellensohlen umgebaut wurde. FCP führte die Messungen an den Messstellen MS1 und MS2 durch, während Getzner die Messungen an MS2 und MS3 durchführte. Zwei Fahrzeugtypen, Talent und Astoro ETR 610, wurden untersucht, da diese regelmäßig auf der Strecke verkehren. An den beiden Messstellen MS1 und MS2, die von Holzschwellen auf Betonschwellen mit Schwellensohlen umgebaut wurden, wurde bei der in der Literatur häufig zum Vergleich herangezogenen Frequenz von 63 Hz für beide Zugarten eine Einfügungsdämmung im Bereich zwischen 9 dB und 10,1 dB erreicht, was einer Schwingungsminderung zwischen 65 % und 69 % entspricht. Die beiden unabhängigen Messungen von FCP und Getzner am Messpunkt MS2 ergaben ähnliche Ergebnisse für die Einfügungsdämmung der beiden Zugtypen – es konnte eine Reduktion der Schwingungspegel um ca. 10 dB durch den Einsatz von hochelastischen Schwellensohlen nachgewiesen werden. An der Messstelle MS3, die nur von Holzschwellen auf Betonschwellen umgebaut wurde, wurde eine vernachlässigbare Veränderung der Schwingungspegel (0 dB bis 2 dB) bei 63 Hz festgestellt.

Der Eisenbahnverkehr erzeugt mechanische Schwingungen aufgrund der In-

teraktion zwischen Fahrzeug und Fahrbahn, die entweder als Körperschall über das Erdreich oder als Luftschall übertragen werden. Mit geeigneten Schwellensohlen, zum Beispiel aus Sylomer® bzw. Sylodyn®, lassen sich nach heutigem Kenntnisstand die Schwingungen im für den Körperschall relevanten Frequenzbereich (40 Hz bis 200 Hz) um bis zu 10 dB bis 14 dB reduzieren. Optimierte Schwellensohlen können eine technische und wirtschaftliche Verbesserung des Schotteroberbaus hinsichtlich eines probaten Erschütterungsschutzes darstellen, wobei besonderes Augenmerk auf das verwendete Produkt gelegt werden muss. Schwellensohlen aus Polyurethan, die bedarfsgerecht elastische, elasto-plastische oder plastische Eigenschaften aufweisen, zeigen das Potential zukünftiger Entwicklungen.

Es hat sich gezeigt, dass der Einbau von elastischen Elementen, wie z. B. Schwellensohlen und Unterschottermatten, auf den Schottergleisen zu einer Verbesserung der langfristigen Gleisqualität führt und die Wartungsintervalle verlängert werden. Zukünftig sollten weitere Untersuchungen durchgeführt werden, um die Auswirkungen solcher Lösungen auf die langfristige Verringerung der Schwingungen zu validieren.

#797\_A3

(Bildnachweis: 1 bis 12, Verfasser)

#### Literatur

- [1] Sehner, M., Valdés Nava, L. E., Seidl-Nigsch, M., & Loy, H.: Vibration Mitigation: Under-Ballast Mats in Heavy-Haul Applications. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 28(4), 05023004, 2023.
- [2] DIN V 45673-4: Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen – Teil 4: Rechnerische Ermittlung der Einfügungsdämmung im eingebauten Zustand, Stand Juli 2008.
- [3] Wettschureck, R. G.; Kurze, U. vJ.: Einfügungsdämm-Maß von Unterschottermatten. ACUSTICA, 58, S. 177-182, 1985.
- [4] Loy, H.: Körperschall-/Erschütterungsschutz durch besohlte Schwellen – Wirkung und Grenzen. Eisenbahntechnische Rundschau, ETR Nr. 12, Dezember 2012.
- [5] Garburg, R., Stiebel D., and Cuellar, V.: RIVAS Deliverable D1.10: Description of test procedures based on laboratory tests and field tests including validation. Dezember 2013.
- [6] Ali Zakeri, J., Esmaeili, M., & Heydari-Noghabi, H.: A field investigation into the effect of under sleeper pads on the reduction of railway-induced ground-borne vibrations. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 230 (3), S. 999-1005, 2016.

- [7] DIN 45673-3: Mechanische Schwingungen – Elastische Elemente des Oberbaus von Schienenfahrwegen – Teil 3: Messtechnische Ermittlung der Einfügungsdämmung im eingebauten Zustand (Versuchsaufbau und Betriebsgleis), Stand April 2014.
- [8] ÖNORM S9020: Erschütterungsschutz für ober- und unterirdische Anlagen, Stand 15. Dezember 2015.
- [9] DIN 45672-2: Schwingungsmessung an Schienenverkehrswegen – Teil 2: Auswertverfahren, Stand November 2020.
- [10] DIN 4150-2: Erschütterungen im Bauwesen – Teil 2: Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden, Stand June 1999.
- [11] Loy, H., Biskup, M., Kwiatkowska, E.: Measuring the vibration-isolating effect of an elastic railway superstructure in Poland. Global Railway Review, 1, 2018.



*Dr. Nishant Kumar, M.Sc. (37).* Bis 2008 Studium Chemical Engineering am Indian Institute of Technology, Kanpur, Indien. Von 2008 bis 2010 Masterstudium Mechanical and Aerospace Engineering an der University of California, San Diego, USA. Von 2010

bis 2014 Doktoratsstudium zu Granular Material Modelling an der University of Twente, Niederlande. Ab 2017 Senior Researcher bei Virtual Vehicle Research GmbH (Österreich) im Bereich Forschung und Entwicklung. Seit 2022 Entwicklungsingenieur bei Getzner Werkstoffe GmbH mit Schwerpunkt Fahrbahn-Fahrweg-Interaktionssimulationen, Verbesserung des langfristigen Gleisverhaltens und Schwingungsreduktion im Eisenbahnoberbau mit Hilfe von Elastomeren.

Anschrift: Getzner Werkstoffe GmbH, Herre-nau 5, 6706 Bürs, Österreich.

E-Mail: nishant.kumar@getzner.com



*Dipl.-Ing. Martin Quirchmair (40).* Studium der Technischen Physik an der Technischen Universität Wien. Seit 2013 Entwicklungsingenieur bei Getzner Werkstoffe GmbH mit Schwerpunkt Oberbauoptimierung, Gleislagestabilität und Schwingungsreduktion im Eisenbahnoberbau mit Hilfe von Elastomeren. Von 2015 bis 2017 Projektmanager Railway für Getzner USA Inc. in Charlotte, North Carolina. Seit 2018 Entwicklungsingenieur in der Railway Division und u. a. Verantwortlicher für internationale Forschungsprojekte (z. B. Horizon 2020 – Shift2Rail), Fahrweg-Simulationen, Messungen im Gleis, Koordinator von Laboruntersuchungen und verantwortlich für die Produktgruppe Schwellenlager.

Anschrift: Getzner Werkstoffe GmbH, Herre-nau 5, 6706 Bürs, Österreich.

E-Mail: martin.quirchmair@getzner.com



*Ing. Andreas Augustin (47).* Besuch der Höheren Technischen Bundeslehranstalt für Maschinenbau und Automatisierungstechnik in Bregenz. Später berufsbegleitender Studiengang der Integrierten Produktentwicklung IPD an der Fachhochschule Dorn-

birn. Seit 1997 Tätigkeit als Konstrukteur im Maschinenbau bei der Firma KRAL AG. Ab 2000 Qualitätsingenieur in Forschung & Entwicklung bei Getzner Werkstoffe GmbH. Nach mehreren Führungspositionen im Qualitätswesen und der Entwicklung, Übernahme der F&E Gesamtverantwortung als Senior Vice President R&D und Engineering Services und Mitglied der Geschäftsleitung von 2008 bis inkl. 2017. Zusätzlich Mitglied im Board of Directors der Chinesischen Produktionsniederlassung von 2013 bis inkl. 2017. Danach tätig im Corporate Development mit Fokus auf Mergers and Acquisition, weltweite Kooperationen sowie strategisches Innovationsmanagement bis 2024. Derzeitige Funktion ist Leiter der zentralen Forschung & Entwicklung.

Anschrift: Getzner Werkstoffe GmbH, Herre-nau 5, 6706 Bürs, Österreich.

E-Mail: andreas.augustin@getzner.com



*Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Harald Loy (50).* Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität München, später Promotion an der Universität Innsbruck mit Auszeichnung. Ab 2005 Entwicklungsingenieur bei der Getzner Werkstoffe

GmbH im Bereich Forschung & Entwicklung. Schwerpunkte in den Bereichen Simulation, Laborprüftechnik und In-situ-Messungen. 2007 bis 2011 parallele Anstellung als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Innsbruck. 2014 Übernahme der Verantwortung als Leiter Team Systementwicklung. Ab 2018 Head of R&D Railway Division. 2023 Auszeichnung mit dem Vorarlberger Innovationspreis, wiederholte Nominierung für den Staatspreis für Innovation. Seit September 2023 Professor an der Universität Innsbruck, Leiter Lehrstuhl Eisenbahnwesen.

Anschrift: Universität Innsbruck, Institut für Infrastruktur, Intelligente Verkehrssysteme, Lehrstuhl für Eisenbahnwesen, Technikerstr. 13, 6020 Innsbruck, Österreich.

E-Mail: harald.loy@uibk.ac.at



*Dipl.-Ing. Dr. Günther Achs (45).* Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität Wien, Studien-zweig Konstruktiver Ingenieurbau. 2011 Abschluss des Doktoratsstudiums Technische Wissenschaften mit Auszeichnung (Dissertation:

„Erdbebengefährdung von Gründerzeithäusern“). Seit 2005 bei FCP Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH tätig, zunächst als Projektleiter im Bereich Akustik, Baudynamik und Messtechnik, später als Prokurist (2012), seit 2022 Geschäftsführender Gesellschafter. Gerichtssachverständiger für das Fachgebiet Schalltechnik, Schwingungstechnik, Akustik. Schwerpunkte der gegenwärtigen Tätigkeit: Schwingungs- und Schalltechnik im Bauwesen, Forschung und Entwicklung im Bereich Baudynamik und Erdbebensicherheit, Internationale Projekte zu Schwingungsminderung im Schienenverkehr. Anschrift: FCP Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH, Marxergasse 1 B, 1030 Wien, Österreich.

E-Mail: achs@fcp.at



*Dipl.-Ing. Hanno Töll (37).* Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Universität Wien, Schwerpunkt Infrastrukturplanung und -management. 2013 Abschluss des Diplomstudiums mit Auszeichnung. Seit 2014 tätig bei FCP Fritsch, Chiari & Partner

ZT GmbH, seit 2024 Handlungsbevollmächtigter. Gerichtssachverständiger für das Fachgebiet Schalltechnik, Schwingungstechnik, Akustik. Schwerpunkte der gegenwärtigen Tätigkeit: Akustik, Baudynamik und Schwingungstechnik, Entwicklung von Analyselösungen und Umweltmodellierung, Zulassungsanträge für innovative Gleiskonstruktionen, Leitung komplexer Infrastrukturprojekte

Anschrift: FCP Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH, Marxergasse 1 B, 1030 Wien, Österreich.

E-Mail: toell@fcp.at

*Dipl. Ing. Roland Fischer (53).* Studium an der Universität für Bodenkultur, Fachrichtung Kulturtechnik und Wasserwirtschaft. Seit 2007 bei der ÖBB Infrastruktur AG beschäftigt. Von 2007-2014 für Projekte Neu-/Ausbau tätig und ab 2014 bei Streckenmanagement und Anlagenentwicklung/ Fahrwegtechnik in der Fachabteilung Oberbau. Spezialgebiete sind Feste Fahrbahn, Spannbetonschwellen und der Erschütterungsschutz.

Anschrift: ÖBB-Infrastruktur AG/Streckenmanagement und Anlagentechnik/Fahrwegtechnik, Lassallestraße 5, 1020 Wien, Österreich.

E-Mail: roland.fischer@oebb.at